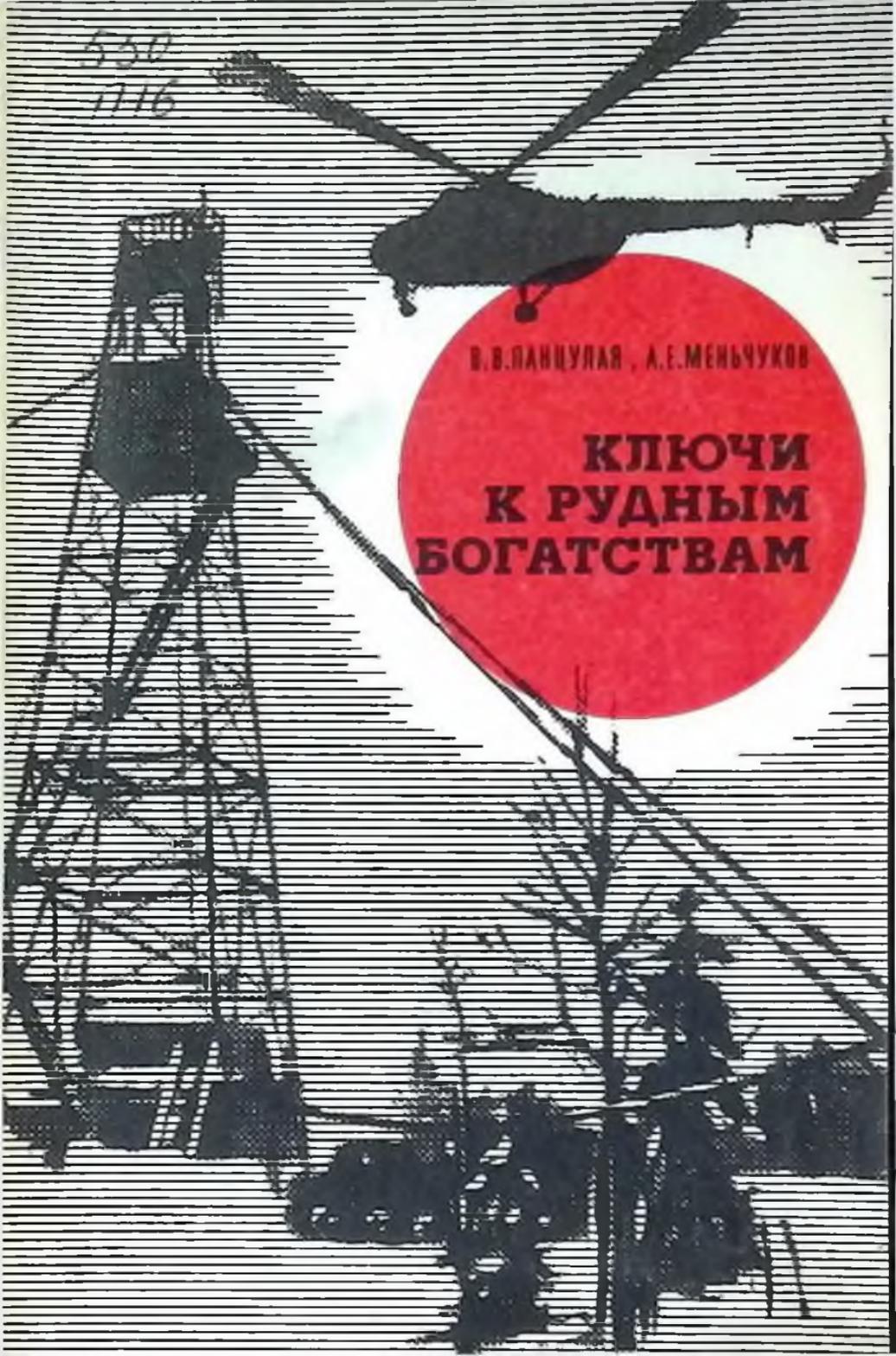
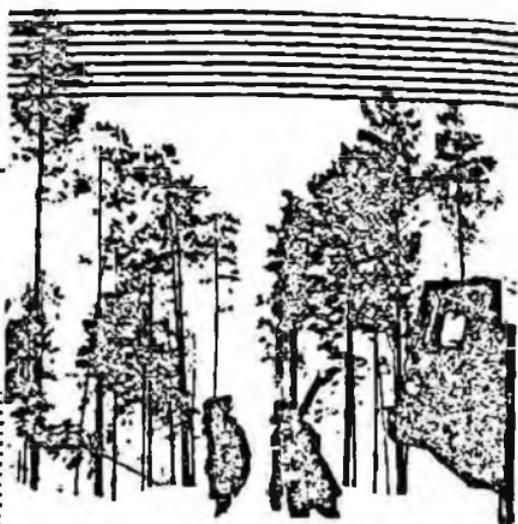


550
1716

В. В. ПАНЦУЛАЯ, А. Е. МЕНЬЧУКОВ

**КЛЮЧИ
К РУДНЫМ
БОГАТСТВАМ**



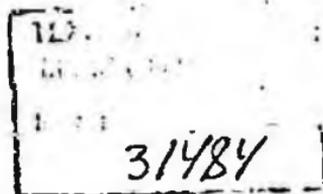


77 2004

550
П16

В.В. ПАНЦУЛАЯ, А.Е. МЕНЬЧУКОВ

КЛЮЧИ К РУДНЫМ БОГАТСТВАМ



Панцулая В. В., Меньчуков А. Е. Ключи к рудным богатствам, М., «Недра», 1975, 159 с.

В книге в популярной форме излагаются основы теоретической металлогении, освещаются закономерности размещения полезных ископаемых в земной коре, характеризуются важнейшие рудные формации и типы рудоносных площадей. Особое внимание уделено составлению прогнозно-металлогенических карт и их использованию для направления поисков определенных видов минерального сырья. Рассмотрены поисковые критерии рудных месторождений, геологические и геохимические методы их выявления; затронуты некоторые вопросы экономики минерального сырья.

Книга рассчитана в первую очередь на молодого читателя с целью привлечь его внимание к геологии. Но она может быть полезна и для геологов, студентов, туристов и краеведов, интересующихся изучением природы.

Таб. 15, ил. 30, список лит. — 20 назв.

*Прочти хотя б до середины,
А ось прочтешь и до конца!*
А. Твардовский



ПРИГЛАШЕНИЕ К ПОИСКАМ

Мы никогда не были у вас в доме, дорогой читатель, но тем не менее беремся утверждать, что ваша одежда висит в гардеробе, посуда хранится в буфете или серванте, книги стоят на полках, кастрюли находятся на кухне, а подушки — на кровати... Не смейтесь над такой «проницательностью» и не спешите обвинять авторов в примитивизме! За шуткой должно скрываться серьезное, а в занимательной литературе парадоксальная или наивная на первый взгляд постановка вопроса часто помогает глубже раскрыть сущность рассматриваемого явления.

Давайте задумаемся — а почему, в самом деле, человек может почти с полной уверенностью предсказывать расположение вещей в незнакомой квартире? Конечно, потому, что на протяжении веков выработался *наиболее рациональный* способ размещения бытовых предметов, отвечающий их назначению и удобству использования. Бесспорно, каждый вправе располагать свои вещи, как ему вздумается,

и в принципе можно допустить, что найдется оригинал, хранящийся книги в холодильнике, а продукты питания — в письменном столе. Но единичные исключения не опровергают общих правил. В целом существует несомненная закономерность расположения вещей во всех квартирах, которая и позволяет делать соответствующий прогноз. Эта закономерность является статистической, справедливой для большого количества наблюдений, поскольку в отдельных случаях возможны по воле человека любые нарушения.

От рассмотренного примера легко перейти к природным закономерностям организации вещества, проявляющейся на самых различных уровнях: от атомов, составленных из элементарных частиц, до планетных систем и галактик. Природные закономерности, разумеется, не зависят от воли человека. Часто они оказываются весьма сложными, подчиняющимися таким процессам, предсказание или математическое моделирование которых возможно только при помощи теории вероятностей. Например, в химические реакции вступают определенные вещества в строго лимитированных молекулярных количествах, поэтому результаты химической реакции можно точно вычислить заранее, без математической статистики. Гораздо сложнее ядерные реакции, где играют роль и случайности движения соударяющихся частиц, и релятивистское изменение их массы при скоростях, близких к скорости света, и многие другие факторы. Потому для описания, а тем более предсказания результатов ядерной реакции приходится прибегать к формулам квантовой механики и теории вероятностей.

В данной книге нас интересует уровень организации вещества в земной коре, приводящий к образованию месторождений рудных полезных ископаемых. Закономерности их формирования и размещения чрезвычайно сложны и до сих пор еще полностью не расшифрованы. К числу факторов, определяющих локализацию рудных месторождений, относятся особенности строения земной коры (которая далеко не однородна!), наличие магматических очагов, существование глубоких разломов, способствующих

внедрению магматических тел в верхние горизонты земной коры, направленность и интенсивность тектонических движений отдельных частей (блоков) земной коры, условия накопления осадочных пород, их мощность, складчатость и многое другое. Почти каждый из перечисленных факторов является в наши дни предметом изучения обособленных геологических наук: тектоники, геофизики, стратиграфии, литологии, минералогии, петрографии, учения о магматизме и метаморфизме, теории рудообразования и других. На стыке этих наук, из синтеза их важнейших положений родилась бурно развивающаяся в настоящее время *металлогения*, которая занимается именно определением закономерностей формирования и размещения рудных месторождений в пространстве и времени (ниже мы поясним, что под этим следует понимать).

Правда, уже много веков назад, на заре развития горного дела, были знатоки руд — «*рудознатцы*», которые умели находить месторождения без всякой металлогении, опираясь на эмпирически выявленные свойства минералов. Но, во-первых, все легко открываемые месторождения давным-давно открыты, а для выявления труднооткрываемых месторождений необходим научный прогноз. Во-вторых, стремление к точным знаниям причин наблюдаемых явлений проникает теперь в такие области естественных наук, которые раньше ограничивались только описанием и систематизацией явлений. Можно сказать, что металлогения представляет собой аналитическую ветвь учения о рудных полезных ископаемых, ведущую к открытиям новых минеральных богатств.

С уверенностью, базирующейся на опыте, геолог-практик сравнительно недавнего прошлого утверждал (и не ошибаясь), что олово и вольфрам следует искать вблизи кислых изверженных пород — гранитов, а хром и платину — вблизи ультраосновных изверженных пород — дунитов и перидотитов; что колчеданные руды меди, свинца и цинка обычно приурочены к толщам пород смешанного вулканического и осадочного происхождения, располагаясь в определенных структурных зонах; что золото часто встречается в кварцевых жилах; что месторождения рту-

ти, сурьмы, мышьяка часто располагаются в местах
глубинных разломов земной коры и т. д.

Однако, основываясь на эмпирических выводах из
многолетних наблюдений, прежние геологи, безусловно,
понимали, что здесь дело не в случайных совпаде-
ниях, а в глубокой причинной взаимосвязи состава
и структуры горных пород с процессами рудообразо-
вания.

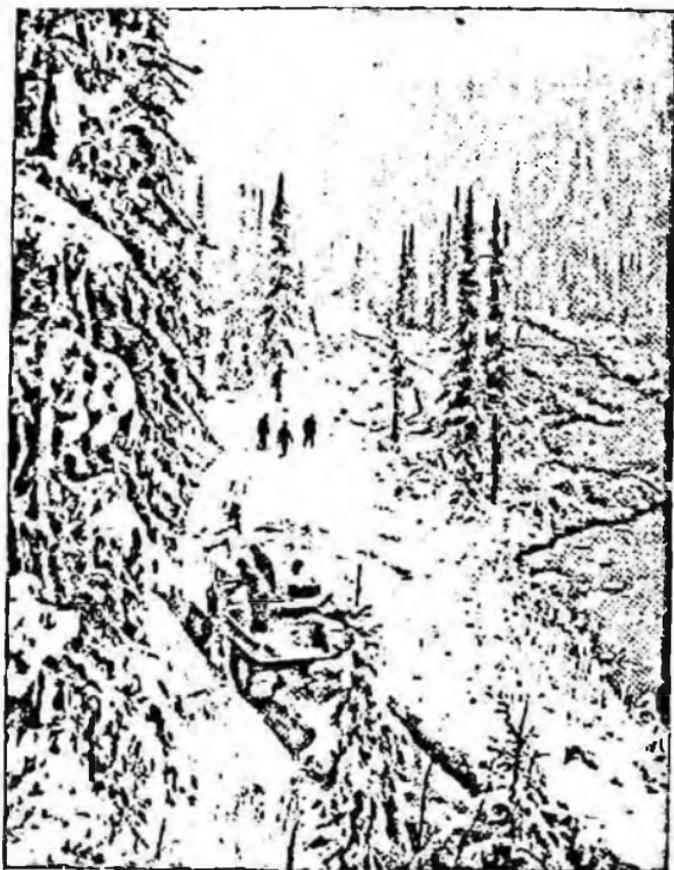


Рисунок 1, а. Пешком и вездеходом на Большой Калым к поис-
ковым участкам железа

Современный геолог-металлогенист не только знает весь комплекс благоприятных признаков, необходимых для поисков определенных видов месторождений, но и может объяснить (правда, еще не во всех деталях), какая геологическая обстановка существовала в далекие эпохи формирования месторождений и какие причины обусловили их наблюдаемую ныне локализацию в том или ином месте.

«Так что же,—спросит читатель,—значит, открытие рудных месторождений стало теперь про-



Рисунок 1.6. Доставка вертолетом Ми-6 геологического оборудования в труднодоступный горный таежный район

стым делом и прогнозы выдаются с полной гарантией?» К сожалению, нет! Ошибки и просчеты еще нередки.. Кстати, не бывает ли так, что вы не можете найти какой-либо предмет в своем доме, хотя знаете, что он там есть? Абсолютно надежное прогнозирование месторождений полезных ископаемых— дело будущего, возможно, не очень далекого. Но даже если наступит такое время, разве тогда исчезнет романтика геологических работ: сотни километров тяжелых маршрутов по горам, лесам и пустыням, дым костров, тихие песни под гитару, труд поисков и радость находок, когда рука сжимает только что отбитый образец руды, а глаза видят— вот она, новая жила? Ведь *знание и умение* — понятия разные! Одно дело — правильно предсказать, где следует искать требуемые полезные ископаемые, другое — фактически обнаружить месторождение, разведать и передать на службу народному хозяйству. Недаром в практику советских геологов все шире и шире внедряются новейшие достижения науки и техники. Современные рудознатцы оснащены самолетами, вертолетами и вездеходами (рисунок 1), разнообразными буровыми станками, позволяющими проникать в глубь земной коры на несколько километров, механизмами для проходки горных выработок, электронной и ядерной аппаратурой.

В этой небольшой книжке, конечно, невозможно даже бегло коснуться всех отраслей геологических наук и направлений работ геологов. Авторы стремились вкратце рассказать заинтересованному читателю о металлогении, обеспечивающей в наши дни *научную стратегию поиска рудных богатств*, и об основных *методах их выявления*.

Названия разделов книги соответствуют тем главным задачам, которые встают перед каждой геологической организацией, занимающейся поисками рудных месторождений, и могут быть в самом общем виде выражены следующими кардинальными вопросами: Что искать? Где искать? Как искать?

Как отвечают на эти вопросы современные рудознатцы, вы узнаете на страницах этой книги.

Следует признать, что сравнение рудных месторождений с кладами сокровищ не блещет оригиналь-

ностью, но такое сопоставление близко к действительности и удобно для рассказа. Сокровищница, куда мы намерены спуститься, представляет собой огромный лабиринт, где одни коридоры освещены хорошо, другие — слабо, а есть немало и совсем темных. Этот лабиринт не что иное, как многообразие отраслей науки и техники, необходимых для успешного поиска рудных месторождений. Мы лишь быстро пройдем по главным ветвям лабиринта. Однако нет сомнения, что многие из читателей в дальнейшем углубятся в его тайники. Что же касается «ключей к рудным богатствам», то их секрет будет раскрыт только в конце книги.

Итак, будем считать, что наш геологический поисковый отряд читателей — разведчиков недр — организован, пора за дело! Работа отрядов и экспедиций обычно начинается с «предварительной камералки» — ознакомления с районом и предметом будущих поисков. В данном случае «районом» является вся земная кора, а предметом — все основные виды металлических полезных ископаемых.



ЧТО ИСКАТЬ ?

О РУДАХ И РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Что такое руда? Вы пожмаете плечами: «Вот так вопрос! Это ведь каждый знает!» Ну, а все-таки, не попробуете ли вы кратко и четко сформулировать, что в сущности следует понимать под этим широко известным, столь часто употребляемым словом? Попробовали? Дело не слишком простое. Еще древнеримский поэт Квинт Гораций Флакк говорил: «Трудно хорошо выразить общеизвестные истины». (Объясните, например, что такое «жизнь», «вселенная», «космос», «природа».)

Руда, очевидно, тоже принадлежит к числу понятий, которыми мы пользуемся в обиходе, не задумываясь над их научной формулировкой. А в данном случае нелегко дать точную формулировку еще и потому, что содержание термина «руда» не всегда было постоянным, да и теперь, как мы уже вскользь отмечали, в некотором смысле продолжает изменяться.

Заглянем в историю вопроса. В «Толковом словаре живого великорусского языка» Влади-

мира Даля, изданном в 1882 г., читаем: «Рудый, рудой — рыжебурый». Помните, ведь гоголевского пасечника звали Рудый (т. е., рыжий) Панько! От этого же корня происходило и старинное русское название крови — руда. Колдуны знали таинственные «заговоры на руду», которые шептали над ранеными воинами, и, якобы, останавливали кровотечение. В романе А. К. Толстого «Князь Серебряный» старый мельник заговором руды спас порубленного опричника Вяземского. Но какая же связь между указанными значениями слова «руда» и его пониманием в качестве минерального вещества? Очевидно, та, что наши предки впервые столкнулись с природными соединениями металлов в выходах рудных тел на поверхность Земли, где в результате процессов окисления образуются гидроокислы железа, придающие рудной массе красноватую или рыжеватую окраску. Конечно, лишь немногие руды фактически имеют «рудный» цвет, но это короткое название так прочно привилось, что его давно уже применяют, не вспоминая о первоначальном значении.

Посмотрим, как определяет Даль в своем словаре руду в ее минералогическом смысле: «Руда — природное химическое соединение металла с иными веществами, нередко еще с примесью каменистых и землянистых частей. Рудознатец, или рудовед. — знаток руд».

Можно ли сейчас, спустя 90 лет, считать формулировку В. Даля правильной? И да, и нет! Выражаясь математическим языком, эта формулировка необходима, но не достаточна. В ней отсутствует указание на количественное содержание металла, обеспечивающее возможность и выгоду его извлечения для практических целей. А ведь именно с такой точки зрения руда и считается *полезным* ископаемым.

Вот какое определение находим в Большой Советской энциклопедии (том 37, 1955 год): «Руда — природное минеральное сырье, содержащее металлы или их соединения в количестве и виде, пригодном для промышленного использования».

Сходную по смыслу формулировку дает академик В. И. Смирнов (1969): «Руда — минеральный

агрегат, в котором содержание ценного компонента достаточно для целей промышленного извлечения».

Таким образом, промышленный, экономический аспект является необходимым условием современного понимания термина «руда». Поясним это некоторыми примерами. Общеизвестно, что основной составной частью всех разновидностей глин является глинозем — окись алюминия Al_2O_3 . Однако это совсем не означает, что из любой глины можно получать в промышленных масштабах алюминий! Технология такого производства и огромные затраты энергии не окупались бы стоимостью извлеченного металла. Поэтому практически пригодны для указанной цели только некоторые обогащенные алюминием природные образования — бокситы, имеющие определенное родство с глинами.

А вот пример несколько другого рода. Немецкий геолог М. Неймайр в 1903 году писал в своей известной книге «История Земли»: «Металлический уран не находит применения, только соединения его служат для химии и фотографии (краски). Единственным местом разработки урановых руд является Иохимсталль». Эта цитата вызывает теперь улыбку. Любой школьник в наши дни знает колоссальное народнохозяйственное и военное значение урана — важнейшего сырья для получения атомной энергии! Так, еще в 1955 году на состоявшейся в Женеве Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в одном из обзорных докладов отмечалось, что с 1945 по 1955 год только в капиталистических странах (главным образом, в Северной и Южной Америке и Австралии) было выявлено 15 новых урановых рудных районов, включающих десятки промышленных месторождений. Как видим, 70 лет тому назад даже специалисты ранга Неймайра не подозревали о беспрецедентной переоценке роли урана, превратившегося из скромного сырья для красок в одну из основ могущества государств.

В начале XX века совсем или почти не находили практического применения вольфрам, хром, висмут, селен, индий, германий и многие другие элементы, имеющие сейчас большую ценность. Интересно, что

так называемые рассеянные и редкоземельные элементы обычно образуют незначительную в количественном отношении примесь к более распространенным полезным ископаемым: с железом часто ассоциируют титан и ванадий, с медью — кобальт и никель, со свинцом и цинком — кадмий, галлий, индий, с золой каменного угля — германий и т. д.

В сравнительно недавнем прошлом на эти примеси не обращали внимания, они оставались в отвалах рудников и отходах обогатительных фабрик. А в наши дни стоимость подобных элементов-примесей нередко оказывается гораздо больше, чем основного добываемого на соответствующем месторождении металла, скажем, меди или свинца.

Руды, из которых извлекают несколько полезных компонентов, называются *комплексными*. Их переработка является весьма сложной технической задачей, успешно решенной только недавно и требующей дальнейшего совершенствования. В наши дни из 70 химических элементов, выпускаемых цветной металлургией, более половины получают попутно из комплексных руд.

Итак, подведем некоторые итоги. Когда мы говорили об изменчивости содержания термина «руда», то имели в виду качественную и количественную характеристики. С одной стороны, бурный технический прогресс вовлекает в промышленное использование такие элементы таблицы Менделеева, которые люди раньше не умели применять, да и хорошо не знали их свойств. Мы уже упоминали в связи с этим уран и некоторые рассеянные элементы; список можно пополнить торием, литием, бериллием, реннием, цирконием, таллием, цезием и другими. Здесь уместно отметить, что по подсчетам советских ученых человечество потребляло в древности 18 химических элементов, в средние века — 25, в XIX веке — 47, в начале XX века — 54, а в середине — 80, не считая искусственно получаемых трансураниевых элементов.

С другой стороны, усовершенствование методов переработки руд позволяет непрерывно снижать минимальный барьер содержания полезных компонентов, при котором извлечение металлов оказывается

рентабельным. Например, по данным В. И. Смирнова, среднее содержание меди в добываемой руде на разных стадиях развития горной промышленности выражалось следующими цифрами (здесь и дальше имеются в виду весовые проценты): начало XIX века — 10, 1800 год — около 4, 1920—1930 годы — 1,5 и в настоящее время — около 1 (и даже 0,3—0,5%).

За этими показателями скрывается огромный рост потребления меди (конечно, как и других металлов), ставший возможным только благодаря широкому вовлечению в эксплуатацию месторождений с «бедными» рудами, о чем мы подробнее расскажем дальше.

Теперь, когда читатель ознакомился с современным пониманием термина «руда», становится ясным, почему на вопрос «что искать?» мало ответить одним словом: «железо» или «олово». Надо четко представлять себе, в каких разновидностях руд может быть заключен искомый металл в изучаемом районе, какие типы и масштабы месторождений наиболее вероятны, каковы будут экономические условия их разработки.

Приведем пример из художественной литературы. В романе П. И. Мельникова-Печерского «В лесах» говорится о том, как в 60-х годах прошлого века ловкий авантюрист, паломник Стуколов, морочил заволжских купцов рассказами о богатейших золотых россыпях на реке Ветлуге: «Глядите!—И, вынув из кармана замшевый мешок, Стуколов развязал его, и густая струя золотого песка посыпалась на чайное блюдечко...»

Купец Потап Чапурин, соблазненный надеждой быстро «выйти в миллионщики», едет со Стуколовым в лесную глушь, и после ряда приключений воочию убеждается, что в песках на Ветлуге действительно много золотистых крупинок. Чапурин уже готов вложить большие деньги в создание прииска, едва не став жертвой мошенников. Только в последний момент сведущий человек, проверив «золотой» песок, разъясняет купцу, что это не золото, а серный колчедан, пирит.

Какой же вывод можно сделать из этой истории? Купец Чапурин очень слабо знал, что он хотел ис-

катель, плохо представлял себе, где золото должно находиться («Ветлуга велика!» — предупреждали его лесники), и совершенно не имел понятия о том, как взяться за дело. Не думайте, что в наше время ничего подобного не происходит! Разумеется, авантюристы сейчас не заманивают геологов в свои сети, но, что греха таить, случается и так, что сами геологи в недостаточной степени изучают все свойства руд, без глубокого обоснования ведут поиски, не используют в полной мере рациональную методику и технику разведки. В итоге иногда на долгие годы затягивается изучение отдельных месторождений, а иной раз промышленность и вообще отказывается осваивать разведанные месторождения, поскольку выясняется, что они по качеству и (или) количеству полезного ископаемого не соответствуют существующим требованиям.

Чтобы хорошо разбираться в этих требованиях, полезно знать историю освоения металлов человечеством, к беглому обзору которой мы и перейдем.

КОГДА ИСКОПАЕМЫЕ СТАЛИ ПОЛЕЗНЫМИ

В «каменном веке», длившемся около 800 тыс. лет, первыми полезными ископаемыми, которые научился применять человек, были обломки крепких горных пород; лишь в конце этого периода появилась глиняная посуда. По всей вероятности, металлы — медь, золото, железо — стали известны людям сначала в самородном виде, и лишь гораздо позже стали выплавлять металлы из руд. Ученые полагают, что золотые украшения появились в Египте за 12 тысяч лет до нашей эры, а на территории Европы — за 4 тысячи лет до нашей эры. Древнейшие золотые монеты чеканились в Китае, Индии, Египте, Месопотамии; их возраст — 1500—1000 лет до нашей эры. Задолго до нашей эры золото было известно также в Греции и на Кавказе: вспомним знаменитый древнегреческий миф о походе аргонавтов в Колхиду (Западную Грузию) за «золотым руном».

Само название «золотое руно» объясняется тем, что населявшие Колхиду племена промывали золо-

тоносный песок в реках с помощью бараньих шкур, на шерсти которых задерживались тяжелые крупинки золота.

Медь также имеет весьма солидную родословную, не уступающую золоту. По мнению исследователей, начало применения человеком самородной меди восходит к 12-му тысячелетию, а металлургическая переработка руды — к 4-му тысячелетию до нашей эры. На территории Сирии археологи обнаружили остатки медеплавильных печей и горных выработок, относящихся к эпохе древнееврейского царя Соломона (X век до нашей эры). Примерно такого же возраста остатки медеплавильных печей известны во многих местах на Кавказе. Римляне в больших количествах добывали медь в своих колониях. Например, на древнеримских рудниках Рио-Тинто в Испании трудились 20 000 рабов, а судя по остаткам шлаков, здесь выплавлялось около 2400 тонн меди в год. Интересно, что обитавшие в районе Верхнего озера в Северной Америке индейцы вплоть до XVIII века обрабатывали самородную медь молотками, но плавить руду не умели.

Почти одновременно с медью люди научились добывать олово, свинец, сурьму и серебро. Сплавы этих металлов с медью, объединяемые под названием *бронзы*, были красивы на вид, легко обрабатывались и стали чрезвычайно широко применяться в древнем мире для изготовления оружия, шлемов и лат, посуды, различной утвари.

«Бронзовый век» начался в Египте и Месопотамии за 4000—3500 лет до нашей эры, в Европе — за 3000—2500 лет до нашей эры. Наряду с бронзой очень давно известна светлая медь — латунь (сплав меди с цинком), хотя чистый цинк был получен только в XVI веке. Как указывает советский ученый И. Г. Магакьян, в древности, очевидно, использовалась для сплавов с медью окисленная цинковая руда, часто встречающаяся в верхних горизонтах свинцово-цинковых месторождений. Сведения о выплавке латуни есть в ассирийских и урартских клинописях, датируемых VIII—IX веками до нашей эры.

Первое знакомство человека с железом произошло, по всей вероятности, в результате находок железных метеоритов. На основании археологических данных ученые полагают, что метеорное железо стало известно в Ассирии, Индии и Китае уже за 15 тыс. лет до нашей эры. Упоминание о железе встречено в египетских папирусах, относящихся к 4-му тысячелетию до нашей эры. Судя по содержанию надписей, железо ценилось тогда очень высоко, вероятно, дороже золота.

Плавка железных руд и изготовление кованных изделий возникли в Египте и Месопотамии во втором тысячелетии до нашей эры, а в VIII—IX веках до нашей эры железо довольно широко распространилось во многих странах, включая южную часть России, Кавказ и Закавказье. Так, обитавшие на восточном побережье Черного моря предки грузин — халибы — считались искусными металлургами, и их железные изделия славились своим качеством. Историко-археологическими исследованиями удалось доказать, что халибы применяли в качестве железной руды магнетитовые пески, распространенные в прибрежной полосе моря. Эти пески содержат значительную примесь титана, чем и объясняется особая прочность халибского железа (оно было природно-легированным).

«Железный век» пришел на смену бронзовому веку у разных народов не одновременно. Очень интересные сведения, например, приводит польский писатель Зенон Косидовский, известный научным исследованием Библии. В XII веке до нашей эры в «землю Ханаанскую» (современная территория Сирии и Израиля) вторглись «пришельцы с моря», филистимляне, владевшие тайной плавки железа и вооруженные железным оружием, тогда как коренные жители страны железа не знали и жили еще в бронзовом веке. Поэтому сравнительно малочисленные филистимляне легко побеждали ханаанцев и израильтян с помощью своих грозных мечей.

До сих пор мы рассказывали в основном о Египте и Малой Азии, которые являются колыбелью горного дела и металлургии. В Европе, после крушения Римской империи, первые каменоломни и рудники

были заложены в Тироле в VII—VIII веках. В X—XI веках добыча руд развилась в Германии, Чехии, Венгрии, Норвегии и Швеции.

Народы, издавна населявшие необъятную территорию нашей великой Родины, имеют богатые традиции добычи и обработки металлов. В этой связи уже упоминался Кавказ; давним очагом горно-металлургического промысла была также Средняя Азия. Так, в Карамазаре (Северный Таджикистан) разработка свинцовых и серебряных руд началась еще в бронзовом веке, достигнув большой интенсивности в IX—XI веках нашей эры. Добыча олова и золота в Средней Азии и на Алтае восходит к первому—второму тысячелетиям до нашей эры. Древние русские племена выплавляли железо из местных руд (в Новгородских, Тульских, Олонецких землях) на древесном угле по крайней мере в IX веке нашей эры.

Академик В. И. Смирнов (1969) в своей монографии «Геология полезных ископаемых» называет старинные документы, в которых упоминается о выделке железных изделий на Руси: договор Игоря (945 год), летопись Нестора (1096 год), «Русская Правда» Ярослава. Много сделал для развития горного дела и металлургии великий князь Иван III, писавший в 1488 году: «...в моей земле руда золотая и серебряная есть». В 1491 году Иваном III направлен из Москвы в Печорский край отряд рудознатцев «для сыску медных и серебряных руд». По существу это была первая правительственная поисковая экспедиция.

От XVII века сохранилось уже много документов о поисках рудных месторождений в разных частях Российского государства. Так, с 1617 по 1668 годы были проведены крупные по тем временам экспедиции Бертенъева на Печору, Хрипунова и Бахтеярова на Ангару и Витим, Пояркова на Зею и Шилку, Шпилькина на Мезень, Тумашева на Урал и др.

Особенно бурное развитие горного дела и металлургии в России относится к царствованию Петра I, когда усиление экономической и военной мощи страны вызвало резкое увеличение потребности в металлах. В 1700 году Петром I был создан «Приказ ру-

докопных дел», где сосредоточилось руководство всеми поисковыми и разведочными работами. В 1717 году этот Приказ был реорганизован в «Государственную Берг-Коллегию». Специальным указом разрешалось «всем и каждому, какого б чина и достоинства не был, во всех местах, на собственных и чужих землях, искать, копать, плавить всякие металлы..., також и минералы». Берг-Коллегии предписывалось оказывать желающим всякую помощь «и показать, каким образом с той рудой и минералами наилучше поступати».

В то же время устанавливались строгие наказания, вплоть до смертной казни, для лиц, утаивших от государства открытия руд и других полезных ископаемых. Крупнейшей сырьевой базой петровской эпохи стал Урал. Необходимо отметить, что начиная со времен Петра I и на протяжении всего XVIII века Россия занимала первое место в мире по производству чугуна и стали, превосходя в этом отношении Францию в 4 раза и Англию — в 2,5 раза.

Дальнейшая история изучения и освоения полезных ископаемых становится труднообозримой и выходит за рамки задач нашей книги.

В настоящее время полезные ископаемые представляют собой важнейшую составную часть естественных производительных сил. Среди всех природных ресурсов, используемых для удовлетворения потребностей общества, доля извлекаемых из недр минеральных веществ достигает 80 процентов. При этом в течении первой половины XX века добыто полезных ископаемых гораздо больше, чем за всю предыдущую историю человечества. Особенно резкий рост мирового потребления минерального сырья наблюдается в послевоенные годы. Подсчитано, что с 1948 по 1968 годы население Земли увеличилось на 40 процентов, а добыча угля и железной руды за этот период возросла более чем втрое, нефти и газа — в 6 раз и т. д.

Академик И. Мельников в опубликованной в журнале «Наука и жизнь» (1973 год, № 1) статье отмечает, что Советский Союз — единственное государство в мире, которое имеет на своей территории месторождения всех видов минерального сырья и в

случае необходимости может полностью обходиться без импорта полезных ископаемых.

Мы пока освоили сравнительно небольшую, наиболее доступную часть полезных ископаемых, но богатства недр еще огромны! Для выявления оставшейся части рудных богатств придется приложить большую настойчивость и старание. Возможно, в числе открывателей новых месторождений будут и читатели этой книги.

ГРУППЫ И РАЗНОВИДНОСТИ ИСКОПАЕМЫХ

Совершенно необходимая в любой области естественного познания классификация изучаемых объектов может быть простой или сложной в зависимости от того, какие признаки кладутся в основу систематики. Например, лесник раздельно считает, сколько в лесу дубов, осин, кленов и т. д.; животновод не станет складывать поголовья коров и лошадей. Это примеры простой систематики, проводимой по немногим и вполне очевидным признакам. Гораздо сложнее обстоит дело с полезными ископаемыми, которые приходится классифицировать с различных точек зрения: по происхождению (генезису), минеральному составу, промышленному использованию, возрасту, характеру залегания, условиям разработки и т. д. Нередко классификационные признаки оказываются противоречивыми. Так, железные руды, одинаковые в смысле промышленного использования, могут иметь различное происхождение: магматическое, гидротермальное, осадочное или метаморфогенное. С другой стороны, генетически родственные гидротермальные руды меди, свинца, цинка, олова и т. д. различны по составу и областям применения.

В самых общих чертах полезные ископаемые могут быть подразделены по агрегатному состоянию на твердые, жидкие и газообразные.

Твердые — это различные горные породы, отдельные минералы (алмаз, берилл, кварц, кальцит, каменная соль и т. д.), руды металлов и самородные металлы (золото, серебро, медь), каменный уголь, торф.

Жидкие — нефть и подземные воды. Среди последних различают пресные, минеральные и горячие (термальные) воды, а также так называемые промышленные воды, содержащие в растворенном виде ценные химические элементы, извлечение которых технически возможно и экономически выгодно. Например, из промышленных вод добывают йод, бром и бор; известны воды с промышленным содержанием урана; воды с растворенным радиоактивным газом радоном широко используются на курортах.

Газообразные полезные ископаемые представлены горючими и инертными газами (в частности, гелием). Интересно отметить, что еще в недавнем прошлом горючие природные газы почти не использовались и считались лишь любопытным феноменом, с которым связано немало страшных историй о блуждающих огнях, храмах огнепоклонников и т. д. В наши дни общеизвестно колоссальное промышленное и бытовое значение горючего газа.

Условия нахождения в земной коре твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых весьма специфичны и изучаются разными отраслями геологических наук. Наша книга посвящена *металлогении*, поэтому мы больше не будем говорить о жидких и газообразных ископаемых.

Твердые полезные ископаемые принято делить на три большие группы или, вернее, класса: металлические, неметаллические и горючие (или каустобиолиты).

Металлические полезные ископаемые в подавляющем большинстве представлены *рудами*, т. е. такими природными соединениями, в которых полезный компонент (металл или несколько металлов) составляет лишь часть общей минеральной массы и нуждается в извлечении. Последнее осуществляется посредством специальной технологической переработки руды, позволяющей отделить полезные минералы от пустой породы и получить концентрат, в котором содержание металла гораздо выше, чем в исходной «сырой» руде. Такой процесс называют *обогащением*. В настоящее время лишь немногие разновидности железных и марганцевых руд применяются в металлургии без обогащения (рисунок 2).

Раньше термин «руда» относился только к металлическим полезным ископаемым. Однако есть и неметаллические ископаемые, требующие извлечения из добытой горной массы, например асбест, апатит, агат, сера и другие, которые теперь называют горнорудным сырьем. Как видите, мы неспроста говорили об изменчивости понятия «руда», и этот разговор еще не кончен.

В отличие от руд многие нерудные полезные ископаемые применяются целиком, подвергаясь лишь механической или термальной обработке: дроблению, распиловке, теске, обжигу и т. д. К ним принадлежат гранит, мрамор, известняк, песчаник, различные глины, уголь, торф и многие другие.

Дальнейшее подразделение полезных ископаемых производится с учетом более узких отраслей их промышленного использования, в рамках которых вы-

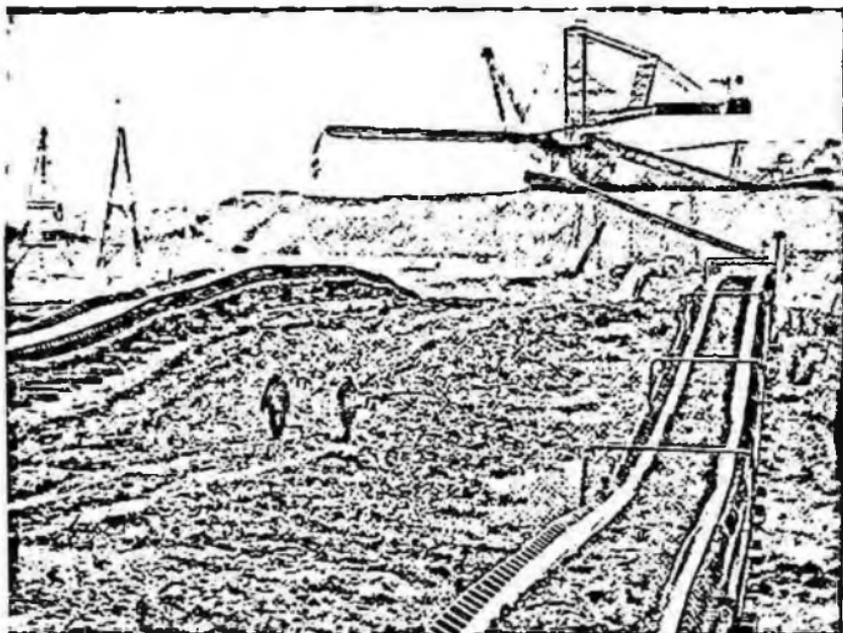


Рисунок 2. Семиклометровая система транспортеров Михайловского горно-обогатительного комбината выбрасывает пустую породу в отвалы в специально удаленные от рудника места (Курская магнитная аномалия — КМА.)

деляются группы металлов, минералов и горных пород, имеющих определенные сходные признаки.

Приведем в несколько упрощенном виде систематику твердых полезных ископаемых, применяемую в Министерстве геологии СССР (Инструкция 1969 года) для нанесения месторождений на геологические карты. В ней предусмотрены следующие группы и разновидности ископаемых:

Группа I. Горючие ископаемые.

Твердые горючие ископаемые: каменный уголь, бурый уголь, сапропелит, лигнит, торф, горючие сланцы.

Группа II. Металлические ископаемые.

1. *Черные* * металлы: железо, марганец, титан, хром.

2. *Цветные* * металлы: медь, свинец, цинк, олово, никель, кобальт, мышьяк, алюминий.

3. *Редкие* металлы и *рассеянные элементы*: молибден, вольфрам, ванадий, бериллий, литий, тантал, ниобий, ртуть, сурьма, висмут и другие.

4. *Благородные* металлы: золото, серебро, платина.

Группа III. Неметаллические ископаемые.

1. *Химическое сырье*: серный колчедан, сера, барит, алуни́т и др.

2. *Минеральные удобрения*: апатит, фосфорит.

3. *Керамическое сырье*: кварц, полево́й шпат, каолин.

4. *Абразивные материалы*: корунд и наждак, гранат, пемза, диатомит, трепел.

5. *Прочие* неметаллические ископаемые: асбест, слюда, тальк, графит, магнезит, озокерит.

Группа IV. Соли и рассолы.

Каменная соль, сода, калийные соли, селитра, бораты, йод, бром.

Группа V. Строительные и огнеупорные материалы.

1. *Изверженные* породы: гранит, диорит, габбро, вулканические туфы, перлит и др.

* Названия «черные» и «цветные» металлы установились по преобладающему цвету рудных минералов и являются условными.

2. *Карбонатные* породы: известняк, мрамор, доломит, мел, мергель и др.

3. *Глинистые* породы: глины бентонитовые, кирпичные, огнеупорные и другие; глинистые сланцы (кровельные).

4. *Обломочные* породы: галечник и гравий, песок строительный, формовочный и стекольный, песчаник.

5. *Прочие* породы: гипс, минеральные краски и др.

Группа VI. Драгоценные и поделочные камни.

Алмазы, прочие драгоценные камни, поделочные камни: яшма, агат, опал, онискс и др.

Группа VII. Оптические материалы.

Исландский шпат, пьезокварц, оптический флюорит.

Необходимо отметить, что в настоящее время многие специалисты склоняются к выделению лишь двух групп металлов: *черных* и *цветных* (включая редкие и благородные), поскольку понятия «редкие», «малые» и «благородные» стали сейчас весьма условными и не имеют четких определений.

МНОГО ЛИ МЕТАЛЛА РУДЕ НАДО?

Мы уже говорили, что с промышленной точки зрения руда должна удовлетворять требованию о некотором минимальном содержании полезного металла (или металлов), причем по мере развития техники переработки руд этот порог постепенно снижается. Действующие в тот или иной период времени требования к минимальному содержанию в руде полезных компонентов и максимально допустимому содержанию вредных примесей называются *промышленными кондициями*. Промышленные кондиции не являются постоянными, а зависят от многих условий. Во-первых, как было отмечено, они меняются исторически в связи с общим прогрессом науки и техники. Во-вторых, кондиции обуславливаются типами, масштабами и расположением разрабатываемых месторождений. Наконец, в-третьих, промышленные кондиции зависят от физико-химических и

технологических свойств руд, в особенности от их обогатимости.

На практике промышленные кондиции устанавливаются для каждого месторождения на основании многочисленных лабораторных и заводских испытаний руд, а также экономических расчетов. Они являются очень важными показателями и подлежат утверждению Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ).

Однако, несмотря на различия кондиций, их величины для определенных типов руд все же сопоставимы, и потому можно дать ориентировочную общую оценку промышленных содержаний металлов в рудах. Например, в железных рудах, поступающих в плавку без обогащения, минимальное содержание железа зависит от плавкости руды, обусловливаемой минеральным составом: магнетитовые и гематитовые руды должны содержать не менее 46—50 процентов металла (в очень богатых рудах бывает до 70 процентов железа); для бурых железняков этот предел снижается до 37—45 процентов, а для легкоплавких сидеритовых (карбонатных) руд — до 30 процентов. Руды, не отвечающие указанным требованиям, подвергаются обогащению с помощью различных методов. В частности, таковы так называемые «железистые кварциты», образующие самые крупные на Земле месторождения.

Нижний предел содержания железа в обогащаемых рудах в настоящее время составляет 25 (в отдельных случаях 15) процентов; при более низких содержаниях переработка руд уже становится невыгодной.

Основными вредными примесями в железных рудах считаются сера, фосфор и мышьяк. Содержание серы не должно превышать 0,25 процента; фосфора — 0,2 процента, мышьяка 0,1 процента. Как видите, требования очень жесткие: всего каких-нибудь 0,6 процента суммарных вредных примесей могут сделать руду непригодной! С другой стороны, в руде бывают и полезные примеси, улучшающие свойства выплавляемого чугуна и стали. К ним относятся марганец, хром, титан, ванадий, никель, кобальт (речь в данном случае идет именно о *примесях*, а

не о самостоятельных рудах названных элементов). При наличии обогащающих примесей руды называются *природно-легированными*.

Хотя содержание железа в кондиционных рудах колеблется в довольно широких пределах, все же это цифры порядка нескольких десятков процентов. Близкие в количественном отношении требования предъявляются и к марганцевым рудам, в которых содержание марганца должно быть не ниже 30—35 процентов, желательнее более 40 процентов.

Существенно иные пределы установлены для руд цветных металлов, где промышленные кондиции выражаются обычно первыми единицами процентов. Так, мы уже упоминали ранее, что в настоящее время разрабатываются медные руды с содержанием меди около 1 процента и даже ниже. Для свинца минимальным порогом считается содержание от 2 до 3—5 процентов, для цинка — 6—8 процентов.

Свинец и цинк почти всегда встречаются в природе совместно, в одних и тех же рудах, нередко содержащих еще и медь, золото, серебро, а также рассеянные элементы — кадмий, селен, теллур и др. Такие руды называются *полиметаллическими* (т. е. «многометаллическими»); кондиции для них, как правило, устанавливаются по сумме полезных компонентов.

В самых низких концентрациях содержатся в рудах наиболее ценные редкие, радиоактивные и благородные металлы. Например, минимальное содержание молибдена в промышленных рудах разных типов составляет 0,1—0,2 процента, а при 0,5 процента молибдена руды уже считаются богатыми! Примерно такие же требования и к содержанию ртути, обычно находящейся в добываемых рудах в количестве 0,3—0,5, редко до 1 процента.

Уран в недавнем прошлом извлекался только из очень богатых руд, в которых его содержание составляет несколько процентов (подобные месторождения крайне редки). В связи с огромным спросом на это важнейшее стратегическое сырье быстро развивалась технология обогащения урановых руд, и сейчас используются преимущественно руды с содержанием урана в десятые и сотые доли процента.

Напомним, что в состоянии радиоактивного равновесия на 1 грамм урана приходится лишь $3,4 \times 10^{-7}$ грамма радия. Отсюда ясно, какой сложной задачей является получение радия в чистом виде. Недаром В. Маяковский сравнивал поэзию с добычей радия: «...в грамм добыча, в год труды».

Содержание в рудах благородных металлов — золота и платины — принято выражать не в весовых процентах, а в граммах металла на тонну горной породы в коренных месторождениях или на кубометр рыхлых песков в россылях. В зависимости от размеров золотоносных тел и условий их разработки минимальное промышленное содержание золота в коренных месторождениях колеблется от 2—3 до 10 граммов на тонну. Мелкие россыпи разрабатываются вручную при концентрации золота около 1 грамма на кубометр, а для крупных россыпей, эксплуатируемых с помощью драги, этот показатель снижается до 100—200 миллиграммов на кубометр, а иногда и меньше. В рудах платины и близких к ней элементов — платиноидов (осмий, иридий и др.) содержание металла должно быть не ниже 2—5 граммов на тонну.

С очень малыми концентрациями полезных компонентов приходится сталкиваться также при добыче рассеянных и редкоземельных элементов, получаемых попутно с другими металлами. Так, селен, теллур и кадмий извлекаются из полиметаллических руд, где содержание кадмия иногда достигает 1—5 процентов, а селена и теллура значительно ниже. Индий присутствует в некоторых цинковых минералах в количестве до 10—20 граммов на тонну; рений содержится в молибденовых рудах в количестве нескольких граммов на тонну.

Пожалуй, мы уже утомили читателя цифрами. Выход из них ясен: содержание различных металлов в рудах соответствует разным математическим порядкам величин, а потому и промышленные кондиции в этом отношении весьма разнообразны. Рассмотренные данные в обобщенном виде сведены в таблицу 1.

Таким образом, качество руд в первую очередь определяется содержанием металлов с учетом тре-

Таблица 1

Минимальные промышленные содержания
металлов в рудах

Группа металлов	Типичные представители	Порядок минимального содержания металла в процентах
Черные Цветные Редкие	Железо, марганец Медь, свинец, цинк Молибден, вольфрам, олово, ртуть	Десятки Единицы 0,1—0,3
Радиоактивные Благородные	Уран, торий Золото, платина	0,05—0,1 0,0002—0,0005

бований промышленных кондиций. Принято различать *богатые* (высокосортные), *рядовые* (среднего качества) и *бедные* (низкосортные) руды.

Советский геолог В. И. Красников произвел анализ материалов о запасах и добыче металлов из руд различного качества по большому числу отечественных и зарубежных месторождений. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Соотношение запасов и добычи черных и цветных
металлов из руд различного качества

Качество руд	Разведанные запасы в процентах от их суммы	Добыча металлов в процентах
Богатые	5	5
Рядовые	30	50
Бедные	65	45

Приведенные цифры показывают, что на долю бедных руд приходится около $\frac{2}{3}$ мировых разведанных запасов черных и цветных металлов, но добыча из них пока отстает. Наиболее интенсивно разрабатываются рядовые руды, обеспечивающие примерно половину мировой добычи металлов. Однако запасы этих руд ограничены по сравнению с масштабами

потребления и довольно скоро будут исчерпаны. Богатые руды встречаются сравнительно редко (причем, как правило, в небольших месторождениях) и играют в общем балансе подчиненную роль.

Таким образом, в перспективе главным ресурсом для дальнейшего развития металлургической промышленности являются бедные руды.

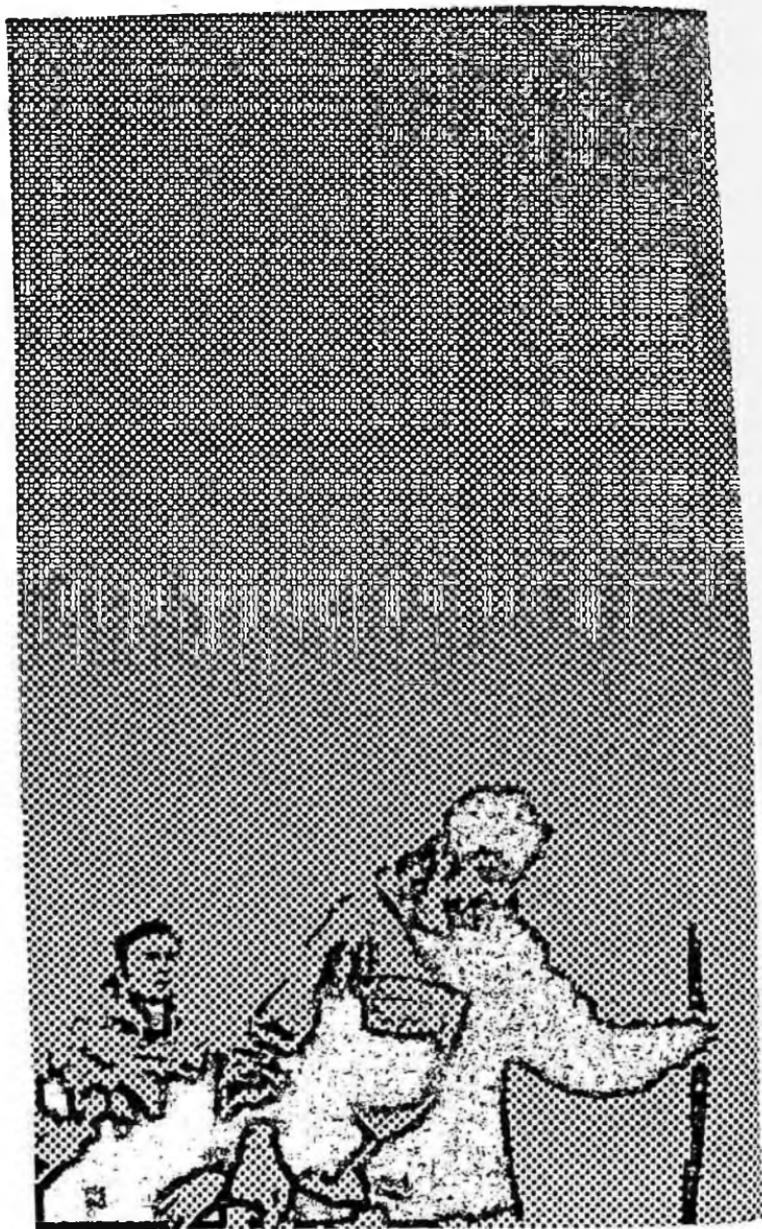
О МИНЕРАЛЬНОМ СОСТАВЕ РУД

Лабиринт, по которому мы бродим в поисках рудных богатств, привел нас обратно к исходному пункту. Необходимо снова поговорить о том, что представляет собой руда, но на этот раз в смысле вещественного состава.

Ранее было дано определение руды как минерального агрегата. Естественно, возникает вопрос, а из каких же именно минералов состоят руды? На это отвечает минералогия, которая лет 150—200 тому назад понималась очень широко и объединяла все накопленные тогда геологические знания, а сейчас является лишь одной из отраслей геологических наук. Мы не сможем далеко углубиться в огромный минералогический коридор нашего лабиринта; ограничимся краткими сведениями, непосредственно касающимися рудных полезных ископаемых.

Минералами называют химические элементы или их соединения, образующиеся в результате различных физико-химических процессов, протекающих в земной коре и ее водной и воздушной оболочках. Заметим, что термин «минерал» произошел от латинского слова «*минера*», означающего штуф, кусок руды. В настоящее время известно более 2000 минералов, из которых достаточно широко распространены лишь несколько сотен, а практически используется еще меньше.

Существуют различные классификации минералов, базирующиеся на их химическом составе, способе образования (генезисе), форме кристаллов, внешних признаках и физических свойствах. Мы за-



тронею только химическую классификацию, предусматривающую выделение крупных групп (гипов) минералов.

I. *Самородные элементы*, преимущественно металлы (золото, платина, серебро, медь, ртуть), частично и неметаллы (сера, углерод).

II. *Сульфиды*, или сернистые соединения железа, меди, свинца, цинка, сурьмы, молибдена, ртути и т. д. К ним принадлежат такие распространенные минералы, как серный колчедан (пирит), медный колчедан (халькопирит), свинцовый блеск (галенит), цинковая обманка (сфалерит). Сульфиды являются важнейшими рудами на цветные и многие редкие металлы.

III. *Сульфаты*, или соли серной кислоты, представленные гипсом, баритом, минералом стронция целестином и т. д. Сульфаты меди, свинца, цинка образуются только при окислении сульфидов.

IV. *Кислородные соединения* — окислы и гидроксиды, к которым принадлежат многие минералы железа, марганца, хрома, урана, олова, алюминия. Наряду с сульфидами окисные руды имеют первостепенное промышленное значение.

V. *Карбонаты*, или соли угольной кислоты. Среди них наиболее распространены такие минералы, как кальцит, доломит, магнезит, образующие громадные массивы осадочных горных пород. К карбонатам относится и ряд рудных минералов железа, марганца, свинца, цинка и других, имеющих большую промышленную ценность.

VI. *Силикаты*, или кремнистые соединения, чрезвычайно широко распространенные в земной коре. К ним принадлежит более одной трети всех известных минералов, в том числе и важнейшие породообразующие минералы (полевые шпаты, слюды, оливин и др.). Однако в качестве руд силикаты играют сравнительно небольшую роль. Интерес представляют берилл, некоторые минералы железа и урана. Зато к силикатам принадлежит характернейший спутник рудных жил — кварц, или кремнезем. Такие разновидности кремнезема, как горный хрусталь, яшма, халцедон, опал, являются ценными полезными ископаемыми.

VII. *Фосфаты*, или соединения фосфора, имеющие существенное значение в качестве минеральных удобрений.

VIII. *Галоиды*, или соли фтористой, соляной и других галоидно-водородных кислот. Среди минералов этой группы очень важны каменная соль (галит) и другие минеральные соли, из которых, в частности, извлекают натрий, калий и магний. Большой спрос находит также плавиковый шпат — флюорит.

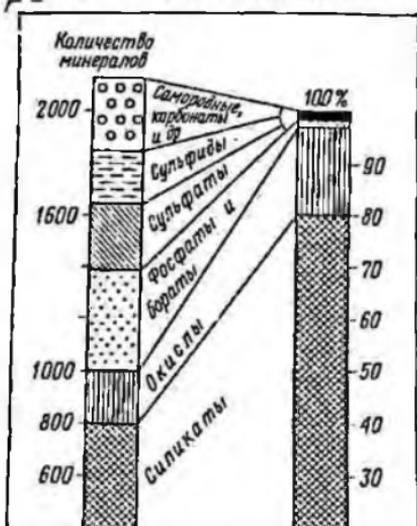


Рисунок 3. Количество минералов и химических соединений в земной коре

IX. *Минеральные вещества органического происхождения* используются в основном как топливо (нефть, битум, уголь). Однако иногда они могут рассматриваться в качестве руды, поскольку в некоторых месторождениях асфальтитов и углей содержатся промышленные концентрации урана и рассеянных элементов. На рисунке 3 показана распространенность важнейших типов минералов и количество минералов в каждом типе.

В минеральных агрегатах, образующих тела металлических полезных ископаемых, различают рудные и нерудные минералы. Первые из них относятся к какому-либо из перечисленных типов и являются носителями ценных компонентов, ради которых и добывается руда. Нерудные минералы служат вместе с цементом, рудных. По составу они обыч-

но близки к горным породам, в которых залегают рудные тела, но часто оказываются более или менее измененными в процессе рудообразования.

Многие рудные тела имеют форму жил, сложенных в основном кварцем, кальцитом или баритом (иногда их смесью); в таких случаях нерудные минералы называются *жилльными*. Соотношение между рудными и нерудными (жилльными) минералами для руд разных металлов и месторождений колеблется в очень широких пределах. Например, богатые железные руды целиком состоят из минералов железа (магнетита или гематита), тогда как в богатых золотоносных жилах количество золота составляет тысячные доли процента от отношению к массе кварца.

Обычно руды, в которых рудных минералов больше 80 процентов, называют *сплошными*, или *массивными*. Если рудных минералов меньше 80 процентов, руда называется *вкрапленной*, причем различают густую (80—50 процентов), среднюю (50—30 процентов) и убогую (меньше 30 процентов) вкрапленность. Вкрапленные руды обычно характерны для благородных, редких и частично цветных металлов.

Важной характеристикой руд является их текстура и структура.

Под *текстурой* понимается взаимное пространственное расположение слагающих руду минеральных агрегатов. Рудные минералы могут быть заключены в нерудной массе, как изюминки в кексе, или чередоваться с нерудными наподобие начинки в слоеном пироге (да простят нам кулинарные сравнения!), либо заполнять объем рудного тела другими способами (рисунок 4).

Структура руды определяется последовательностью кристаллизации рудослагающих минералов, их формой, размерами и сочетанием. От текстуры она отличается тем, что характеризует не весь объем рудной массы, а только агрегаты собственно рудных минералов. Они могут состоять из зерен примерно одинаковой величины (равнозернистая структура) или, наоборот, крупные зерна одних минералов могут быть заключены в мелкозернистой массе других (не-

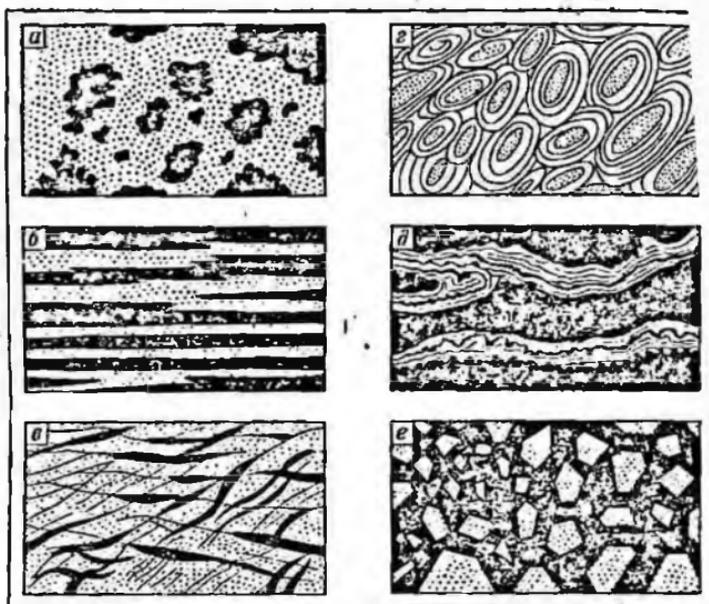


Рисунок 4. Некоторые типы текстур руд (по В. И. Смирнову):
 а — пятнистая; б — полосчатая; в — прожилковая; г — оолитовая,
 д — коллоидная; е — брекчиевая

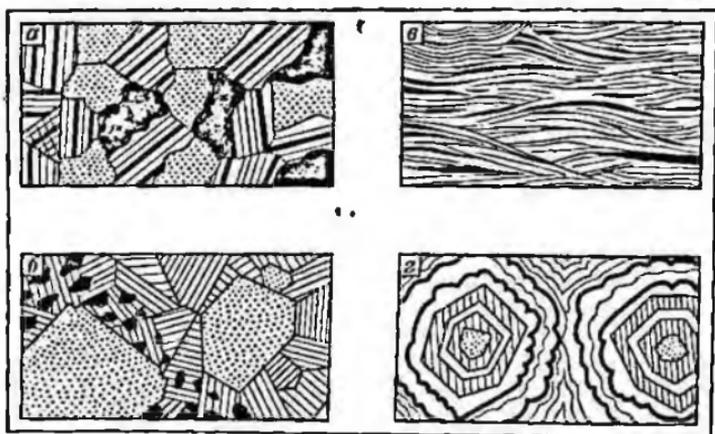


Рисунок 5. Некоторые типы структур руд (по В. И. Смирнову):
 а — равнозернистая; б — неравнозернистая; в — волокнистая; г — зональная

равнозернистая структура), или же минеральные зерна имеют форму пластин, волокон и т.д. Примеры типичных структур руд показаны на рисунке 5.

В заключение приведем список некоторых важнейших рудных минералов, с указанием их состава, плотности по отношению к воде и содержания металлов (таблица 3). Обратите внимание на большую раз-

Таблица 3
Важнейшие рудные минералы

Добываемые металлы	Промышленные минералы	Химические формулы минералов	Содержание металла в минерале в процентах	Плотность, г/см ³
Железо	Магнетит	Fe_3O_4	72	4,8—5,3
	Гематит	Fe_2O_3	70	5,2
	Сидерит	$FeCO_3$	48	3,96
	Бурый железняк	$HFeO_2 \cdot nH_2O$	48—63	2,7—4,3
	(лимонит)			
Марганец	Пиролюзит	MnO_2	63	4,7—5,0
	Псилломелан	$mMnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$	45	4,7
	Манганит	$MnOOH$	62	4,3
	Родохрозит	$MnCO_3$	48	3,7
Хром	Хромит	$FeCr_2O_4$	46	4,5
Титан	Ильменит	$FeTiO_3$	32	4,7
Медь	Халькопирит	$CuFeS_2$	34	4,2
	Халькозин	Cu_2S	80	5,8
	Ковеллин	CuS	66	4,6
	Борнит	Cu_5FeS_4	63	5,3
	Малахит	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	57	4
Свинец	Галенит	PbS	86	7,6
	Церуссит	$PbCO_3$	77	6,4
Цинк	Сфалерит	ZnS	67	3,5—4

Продолжение табл. 3

Добываемые металлы	Промышленные минералы	Химические формулы минералов	Содержание металла в минерале в процентах	Плотность, г/см ³
Алюминий	Боксит	Смесь минералов с общим составом $Al_2O_3 \cdot nH_2O$	30—65	2,5—3,5
Сурьма	Антимонит	Sb_2S_3	71	4,66
Ртуть	Киноварь	HgS	86	8,0
Мышьяк	Арсенопирит Реальгар	$FeAsS$ AsS	46 70	5,9—6,3 3,5
Никелин	Никелин Пентландит	$NiAs$ $(Fe_2Ni)_9S_8$	44 34	7,8 4,5—5,0
Кобальт	Кобальтин	$CoAsS$	35	6,4
Олово	Касситерит	SnO_2	79	6,5—7,1
Молибден	Молибденит	MoS_2	60	4,8
Вольфрам	Вольфрамит	$(Fe, Mn)WO_4$	60	7,12—7,51
Уран	Уранинит (урановая смолка)	UO_2	33	6,5—10,0
Серебро (кроме самородного)	Аргентит	Ag_2S	87	7,4
Золото (кроме самородного)	Калаверит	$(Au, Ag) Te_2$	44	9,4

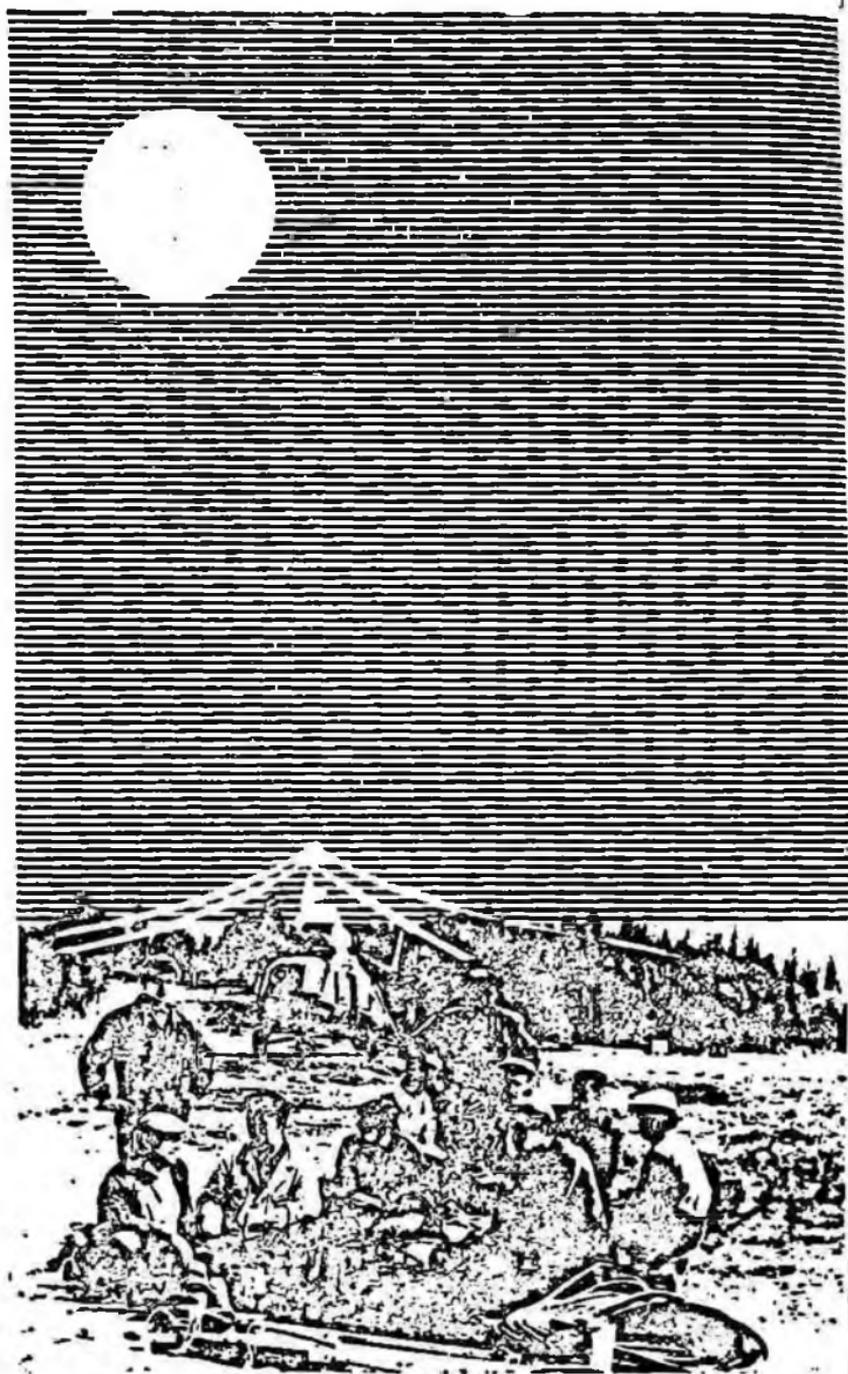
ницу между содержанием металлов в рудах и рудных минералах. Это разные понятия! Например, в наиболее распространенном медном минерале халькопирите содержание меди составляет 34 процента, а в халькозине достигает даже 80 процентов, тогда как в добываемых промышленных рудах среднее содержание меди на рудную массу всего лишь 1—2 процента. Нетрудно понять, что это объясняется преобладающим вкрапленным типом руд.

«РОДИНА» РУДЫ

Неизбежный вопрос любой анкеты — «место рождения?» — по отношению к рудам оказывается далеко не простым. Правда, мы с начала книги пользуемся термином «рудное месторождение» без особых комментариев, поскольку его основной смысл ясен из самого названия. Да, конечно, месторождение — это «место, где родится» (т. е. образуется) руда, а точнее, где она залегает и откуда может добываться с помощью наземных (карьеры) или подземных (штольни, шахты) горных выработок.

Но вспомним многообразие принципов классификации руд, которое распространяется и на рудные скопления в земной коре, да еще усложняется необходимостью учета и анализа таких факторов, как генезис месторождений, их структура, форма и размеры рудных тел, запасы полезных ископаемых, условия разработки. Как говорят в наши дни, понятие о рудных месторождениях обладает большой информационной емкостью, и накопленная информация может рассматриваться в различных аспектах. Мы пока коснемся только общих представлений.

Известно, что в земной коре содержатся все химические элементы таблицы Менделеева, причем восемь из них (кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, натрий, калий и магний) слагают по весу 98 процентов состава земной коры, а на долю остальных 96 элементов приходится лишь 2 весовых процента (рисунок 6). Минералы являются соединениями химических элементов, а горные породы представляют собой сочетания различных минералов; отсюда ясно неодинаковое и неравномерное распреде-



лене химических элементов в разных типах горных пород. Однако для целей геохимии, минералогии и теории рудообразования часто бывает необходимо знать средние, обобщенные цифры распространения элементов в земной коре в целом, без дифференциации по типам горных пород. Эти средние величины, численно равные количеству весовых процентов, по

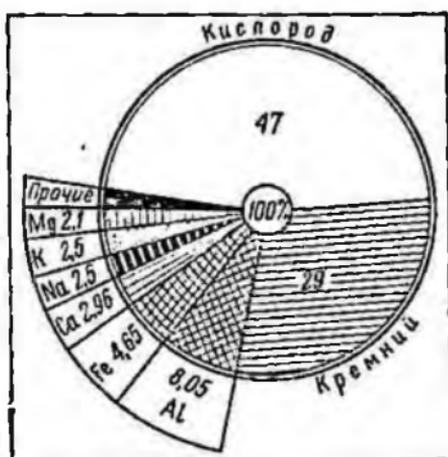


Рисунок 6. Диаграмма состава земной коры.

предложению А. Е. Ферсмана, называются *кларками* химических элементов (по имени американского геохимика Кларка). Например, среднее содержание алюминия в земной коре составляет 8,05 процента; следовательно, кларковым числом алюминия считается 8,05.

Вычисление кларков — дело крайне сложное и трудоемкое, требующее учета огромного количества фактических данных, изменяющихся по мере накопления нового материала геохимических исследований. Поэтому неудивительно, что результаты определения кларков различными авторами обычно не сходятся между собой. Мы пользуемся величинами, полученными академиком А. П. Виноградовым (1962 год), с учетом некоторых уточнений, внесенных в последние годы Н. И. Софроновым.

Кларки элементов колеблются в чрезвычайно широких пределах, от десятков-процентов до миллионных долей процента, но может быть выделен ряд групп элементов с близкими кларками. Поэтому

Кларковые числа обычно группируют по математическим порядкам или классам, характеризующим распространенность соответствующих элементов в земной коре. Представление об этом дает таблица 4,

Таблица 4

Распространенность некоторых элементов в земной коре

Кларковые числа (классы)	Элементы
Более 10	Кислород, кремний
10—1	Алюминий, железо, кальций, натрий
1—0,1	Водород, марганец, углерод, фосфор
0,1—0,01	Барий, цирконий, хром, медь
0,01—0,001	Никель, цинк, свинец, бериллий, кобальт
0,001—0,0001	Молибден, вольфрам, уран, бор, сурьма
0,0001—0,00001	Серебро, ртуть, висмут, кадмий
0,00001—0,000001	Золото, платина, теллур, индий
Менее 0,000001	Радий, неон, ксенон

где помещены не все элементы таблицы Менделеева, а наиболее характерные для каждого класса (академик В. И. Вернадский, впервые составивший такую таблицу полвека назад, называл эти классы «декадами»).

Таким образом, рудные месторождения представляют собой не что иное, как весьма небольшие участки земной коры с повышенной по сравнению с кларком концентрацией тех или иных полезных элементов. Какое же повышение концентрации металлов можно считать достаточным для того, чтобы соответствующий участок рассматривался в качестве *месторождения*? Ответ на этот вопрос зависит от того, какие минимальные промышленные кондиции установлены для данного металла и каково его распространение в земной коре (т.е. кларк). Отношение минимального промышленного содержания элемента к его кларку называется *коэффициентом концентрации* и в известной степени характеризует вероятность образования соответствующих месторождений: чем меньше коэффициент концентрации, тем легче может возникнуть промышленное скопление элемента на

фоне его общего рассеяния в горных породах. Из всего сказанного легко заключить, что коэффициенты концентрации разных металлов в месторождениях неодинаковы (таблица 5).

Таблица 5
Коэффициенты промышленной концентрации
некоторых металлов

Металл	Среднее содержание в земной коре в процентах (кларк)	Минимальное содержание в промышленных месторождениях в процентах	Коэффициент концентрации
Алюминий	8,05	11 (в сленитах)	1,4
Железо	4,65	25	5,4
Магний	2,10	16	7,6
Марганец	0,10	20	200
Медь	0,01	1	100
Цинк	0,009	6	67
Никель	0,006	0,25	42
Кобальт	0,002	0,1	50
Свинец	0,002	3	150
Золото	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-4}$	700

Элементы в таблице 5 расположены по убывающим кларкам (т. е. от более распространенных к менее распространенным), а для коэффициентов концентрации в общем заметна обратная тенденция: наименьшую по сравнению с кларком концентрацию (1,4—5,4) требуют месторождения алюминия и железа, а наибольшую (700) — золота. Однако здесь есть и свои «аномалии». Обращает на себя внимание высокий коэффициент концентрации марганца (200), что объясняется повышенными условиями на руду.

Безусловно, кроме повышенной концентрации металла, обеспечивающей образование *руды*, месторождение должно обладать и достаточными геометрическими размерами рудных тел, чтобы в них могла быть заключена такая масса полезного ископаемого, которая представляет практический интерес. Залегающее в недрах количество полезного ископаемого называется *запасами*, сочетание размеров рудных тел

с запасами минерального сырья характеризует масштабы оруденения.

С позиции масштабов оруденения далеко не каждое скопление рудных минералов может называться месторождением. В этом смысле принято различать:

точки минерализации, представляющие собой отдельные очень мелкие прожилки или гнезда рудных минералов, явно не заслуживающие разработки. Важно подчеркнуть, что такие скопления не отвечают промышленным требованиям к руде данного металла; *рудопроявления* — т. е. как говорит само название, проявления *руды*, удовлетворяющей условиям в отношении качества. Однако по масштабам оруденения рудопроявления малы и не заслуживают разработки, чем и отличаются от месторождений. Следует иметь в виду, что нередко рудопроявления оказываются просто слабо изученными, недостаточно разведанными на глубину, а после дополнительных геологоразведочных работ выясняются их промышленные масштабы. Поэтому к оценке перспективности рудопроявлений надо подходить с большой осторожностью: за их счет часто «пополняются ряды» месторождений. Образно выражаясь, рудопроявления — это призывники, которые все обязаны явиться в военкомат, а там уже комиссия решит, кто годен к строевой, а кто нет;

месторождения — это рудопроявления, для которых доказано наличие хотя бы одного рудного тела, отвечающего минимальным промышленным требованиям в отношении качества и количества (т. е. запасов) интересующего потребителей сырья.

Просим читателя обратить внимание на тот факт, что в ходе геологоразведочных работ возможен переход только от низших категорий оруденения к высшим, т. е. от точек минерализации к рудопроявлениям, а от рудопроявлений к месторождениям, но не наоборот. Данное обстоятельство в значительной степени предопределяет ответ на вопрос «как искать?», ожидающий нас в последнем разделе.

Месторождения прежде всего делятся на *промышленные* (заслуживающие разработки или эксплуатироваемые) и *непромышленные*, разработка которых при

существующих технико-экономических условиях нецелесообразна. Непромышленные месторождения представляют собой один из резервов развития экономики, поскольку в дальнейшем их освоение может стать рентабельным.

В свою очередь промышленные месторождения с точки зрения масштабов подразделяются на несколько категорий:

уникальные, огромные по запасам и размерам рудных тел (иногда они занимают десятки и сотни квадратных километров). Подобные месторождения редки. Примерами уникальных месторождений служат Курская магнитная аномалия (СССР) по железу (рисунок 7), Никопольское и Чиатурское (СССР) по марганцу (рисунок 8), Клаймакс (США) по молибдену, Альмаден (Испания) по ртути, Витватерсранд (ЮАР) по золоту и урану;

крупные, обеспечивающие создание ведущих предприятий для целых отраслей горнорудной промышленности. Подобных месторождений обычно единицы, редко десятки в отдельных странах;

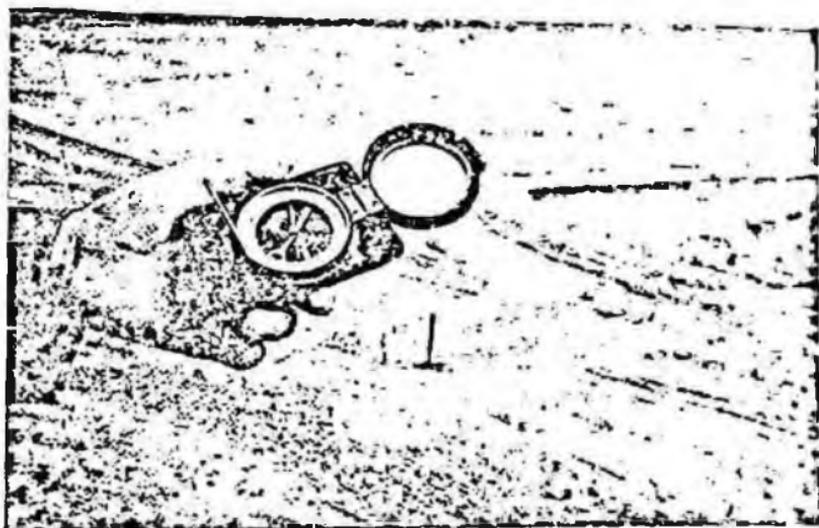


Рисунок 7. Под влиянием Курской магнитной аномалии магнитная стрелка компаса отклоняется от нормального положения

средние, на базе которых строятся рядовые предприятия добывающей и перерабатывающей промышленности;

мелкие, способные каждое в отдельности обеспечить сырьем только мелкие горнорудные предприятия. Наличие нескольких сближенных мелких месторождений в сумме создает значительную сырьевую базу соответствующего района.

Какое же количество запасов необходимо для того, чтобы отнести конкретное месторождение к одной из перечисленных категорий? Есть шутка: три волоса на голове — это мало, а в супе — много! Относительность понятий «много» и «мало» так же ясно видна на примере масштабов месторождений, как «богатые» и «бедные» на примере качества руд.

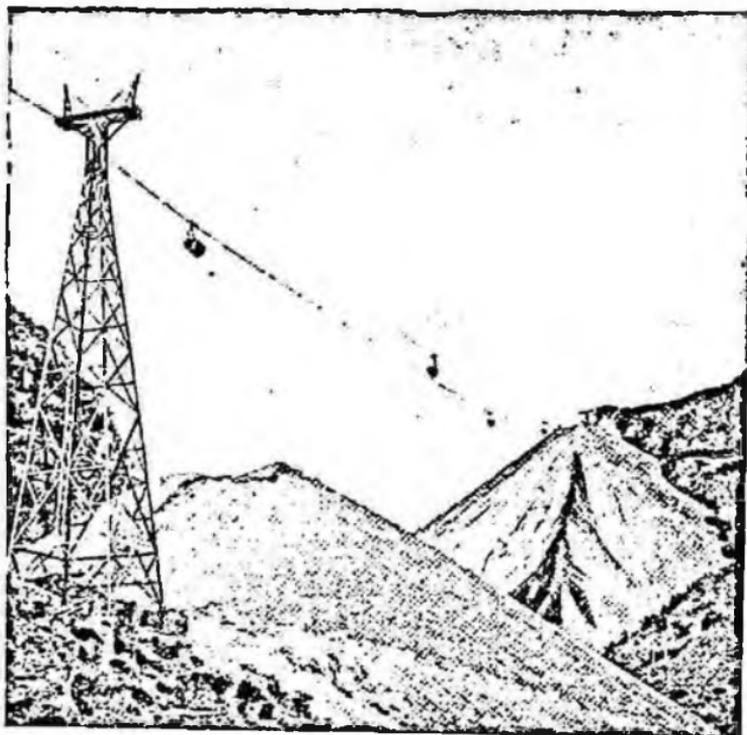


Рисунок 8. Доставка марганцевой руды на рудоуправлении имени Ленина (Чнатурские рудники)

Так, месторождение железа считается крупным, если содержит сотни миллионов тонн металла, а месторождение золота будет отнесено к такой же категории при наличии всего лишь 50—70 тонн металла. Это с полной очевидностью вытекает из приведенных сведений о промышленных кондициях, кларках и коэффициентах концентрации.

Группировка месторождений важнейших металлов по масштабам запасов приведена в таблице 6.

Таблица 6

Категории месторождений некоторых металлов в зависимости от количества запасов

Полезные ископаемые	Категории месторождений и запасы в тоннах			
	Мелкие	Средние	Крупные	Уникальные
Железо	$< 1 \cdot 10^8$	$(1-5) \cdot 10^8$	$> 5 \cdot 10^8$	$п. 10^9$
Марганец	$< 1 \cdot 10^7$	$(1-5) \cdot 10^7$	$> 5 \cdot 10^7$	$п. 10^8$
Медь	$< 200 \cdot 10^3$	$(200-1000) \cdot 10^3$	$> 1000 \cdot 10^3$	$п. 10^7$
Свинец	$< 100 \cdot 10^3$	$(100-500) \cdot 10^3$	$> 500 \cdot 10^3$	$п. 10^7$
Цинк	$< 200 \cdot 10^3$	$(200-700) \cdot 10^3$	$> 700 \cdot 10^3$	$п. 10^7$
Алюминий (бокситы)	$< 5 \cdot 10^6$	$(5-50) \cdot 10^6$	$> 50 \cdot 10^6$	$п. 10^8$
Олово	$< 5 \cdot 10^3$	$(5-20) \cdot 10^3$	$> 20 \cdot 10^3$	$п. 10^6$
Ртуть	$< 2 \cdot 10^3$	$(2-10) \cdot 10^3$	$> 10 \cdot 10^3$	$п. 10^5$
Молибден	$< 5 \cdot 10^3$	$(5-50) \cdot 10^3$	$> 50 \cdot 10^3$	$п. 10^5$
Сурьма	$< 10 \cdot 10^3$	$(10-50) \cdot 10^3$	$> 50 \cdot 10^3$	$п. 10^5$
Мышьяк	$< 5 \cdot 10^3$	$(5-50) \cdot 10^3$	$> 50 \cdot 10^3$	$п. 10^5$
Серебро	$< 0,1 \cdot 10^3$	$(0,1-1) \cdot 10^3$	$> 1 \cdot 10^3$	$п. 10^4$
Золото	< 10	$10-50$	> 50	$п. 10^3$

В целом можно сказать, что запасы промышленных месторождений черных металлов измеряются десятками миллионов и даже миллиардами тонн, цветных металлов — десятками и сотнями тысяч тонн, редких металлов — тысячами и десятками тысяч тонн, радиоактивных металлов — сотнями и тысячами, изредка десятками тысяч тонн, благородных металлов, рассеянных и редкоземельных элементов — тоннами и десятками тонн.

Необходимо отчетливо представлять себе ничтожность запасов рудных месторождений по сравнению с

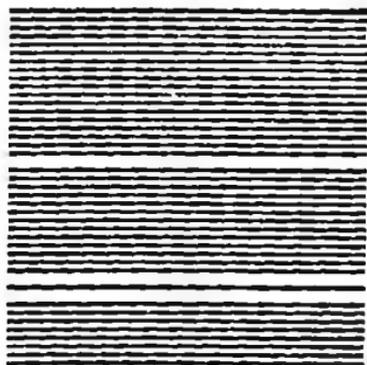
колоссальным количеством металлов, рассеянным в горных породах и пока не доступным для извлечения. Подсчитано, например, что суммарные запасы меди по всем месторождениям мира (без СССР) равны ее количеству, заключенному в 400 кубических километрах горных пород (при кларковом содержании). Аналогично мировые запасы свинца эквивалентны 700, цинка — 100, молибдена — 25, олова — 15 кубическим километрам горных пород и т. д. Словом, примерно в 1000 кубических километрах земной коры содержится в рассеянном виде такое количество металлов, которое соответствует запасам всех рудных месторождений нашей планеты.

Как известно, объем Земли равен приблизительно $1,08 \cdot 10^{12}$ кубических километров. Примем, что верхний слой земной коры, в котором залегают месторождения, составляет по объему лишь одну миллионную часть земного шара. Даже при таком допущении объем этого слоя будет более 10^6 кубических километров, т. е. в 1000 раз больше, чем нужно для покрытия всех рудных запасов! Следовательно, рудные месторождения представляют собой исключительные природные явления.

Теперь уместно спросить, какие именно геологические и физико-химические факторы приводят к образованию рудных месторождений и каковы закономерности их размещения в земной коре. Иными словами, уже вполне назрел вопрос «где искать?».

Вы хотите получить ответ? Тогда будьте любезны пройти вместе с нами дальше.

ГЕОСФЕРЫ ЗЕМНОГО ШАРА



ГДЕ ИСКАТЬ ?

Чеховский Ванька Жуков, как известно, послал свое письмо по слишком неопределенному адресу: «на деревню, дедушке». Один наш знакомый мальчик, наоборот, был склонен к излишней детализации и надписывал адреса так: «Вселенная. Солнечная система. Планета Земля. Советский Союз»... и т. д. У нас пока нет почтовой связи с другими галактиками и даже планетами, но идея поиска адресата здесь развита правильно — от более крупных ориентиров к более мелким. По этому же принципу приходится искать месторождения в земной коре, последовательно переходя от наиболее крупных планетарных структур — континентов и океанов — к металлогеническим провинциям, зонам и поясам, рудным районам и полям, локальным рудовмещающим структурам и конкретным рудным телам. Конечно, при этом необходимо знание причин образования рудных месторождений, их генетических типов и закономерностей распростране-

ния. Вот почему тема нашего очередного похода по лабиринту геологических знаний может быть названа: «Земная кора — вместилище рудных кладов», а последовательность маршрута таит в себе: Строение Земли — Основы теории происхождения и распространения рудных месторождений — Генетическую классификацию месторождений — Основы металлогении — Рудоносные площади.

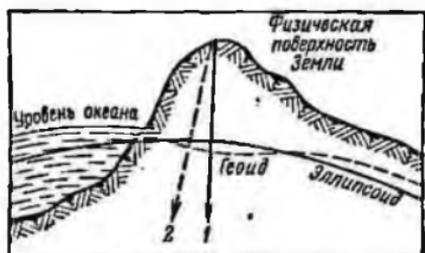


Рисунок 9. Уровневая и физическая поверхность земной коры:
1 — направление нормали; 2 — направление отвеса

Наша планета Земля представляет собой своеобразную фигуру, состоящую из концентрических слоев (оболочек — геосфер), образованных веществом Земли. Поверхность воды в океанах и сообщающихся с ними морях в состоянии полного покоя и равновесия являлась бы одной из уровневых поверхностей Земли. Эту уровневую поверхность, мысленно продолженную под материками так, чтобы она везде пересекала направление отвесной линии под прямым углом, в геодезии принимают за сглаженную фигуру Земли и называют *геоидом*. Отклонения отвеса и аномалии силы тяжести отражают особенности внутреннего строения Земли и используются для выяснения вопросов о распределении масс внутри Земли и особенно для изучения строения земной коры (рисунок 9).

В направлении от внешней среды к центру Земли (рисунок 10) расположены *атмосфера, гидросфера, земная кора, силикатная твердая мантия Земли* (верхняя и нижняя) и *ядро Земли*, обладающее *металлическими свойствами* (делится на внешнее ядро — жидкое и центральное субъядро, по-видимому, твердое).

Область обитания организмов, включающая ниж-

нюю часть атмосферы, всю гидросферу и верхнюю часть земной коры, называется *биосферой*.

В нижних сферах нашей планеты находятся источники сил, которые образуют не только месторождения полезных ископаемых, но и являются причиной движений земной коры, землетрясений, вулканических явлений и многих других процессов, имеющих важное значение в жизни людей. Наши знания

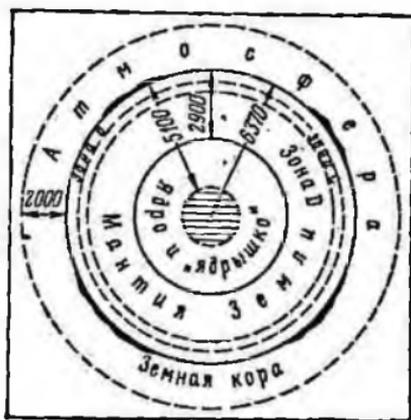
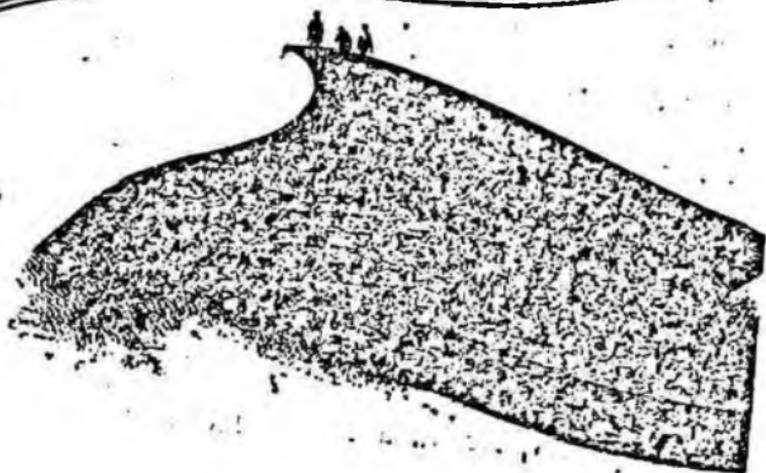
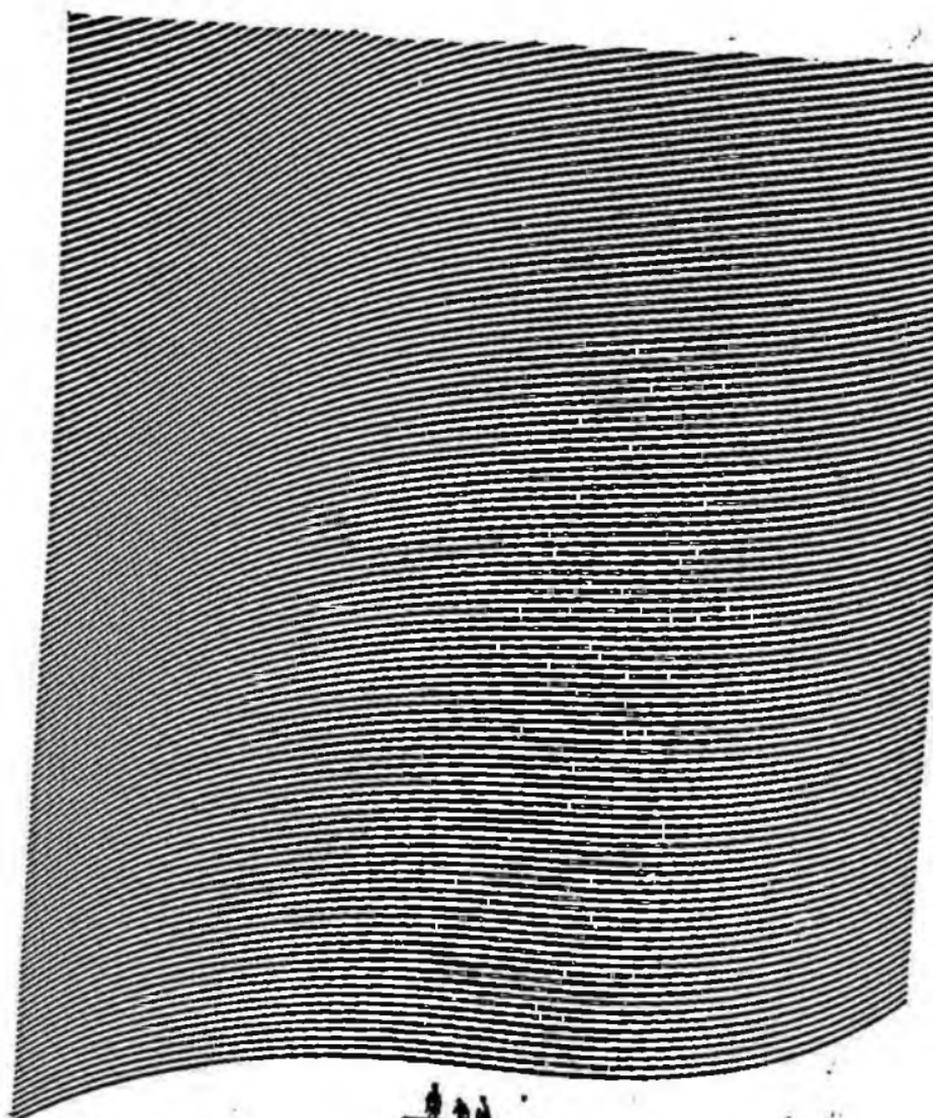


Рисунок 10. Геосферы земного шара (по В. А. Магницкому). Расстояния в километрах

о глубинном строении Земли весьма ограничены. Они основываются на геофизических исследованиях.

Земная кора, или *литосфера*, является верхней твердой оболочкой Земли толщиной 15—80 километров. Сверху она ограничена атмосферой и гидросферой, а снизу поверхностью так называемого раздела *Моховичича (Мохо)*, установленного в начале столетия югославским ученым. Поверхность Мохо отделяет литосферу от мантии. Раздел Моховичича в районах горных сооружений образует выступы, направленные к центру Земли, которые часто называют «корнями гор».

Ниже раздела Моховичича располагается среда, имеющая одинаковые физические свойства как под океанами, так и под континентами. Ее называют оболочкой, или *мантией*, Земли. В пределах мантии Земли выделяют три зоны (смотри рисунок 10), различающиеся между собой по скорости распространения волн землетрясений и по химическому составу: зона



В располагается примерно до глубины 400 километров, зона *C* — до 900 и зона *D* имеет нижнюю границу на глубине 2900 километров.

На глубине 2900 километров отмечается четко выраженное изменение скорости распространения упругих колебаний. Так, скорость продольных сейсмических волн снижается здесь с 13,7 до 7,4 километров в секунду, а поперечные волны глубже 2900 километров вообще не распространяются. Поэтому от глубины 2900 километров и до центра Земли выделяют *ядро*, которое сложено материей, по сейсмическим свойствам весьма близкой к жидкостям.

В пределах ядра на глубине около 5100 километров вновь отмечается увеличение скорости продольных волн, что указывает на существование второго внутреннего ядра, которое называют также *ядрышком*.

Кору и верхнюю мантию рассматривают как особую часть разреза земного шара, имеющую непосредственное отношение к геологическим явлениям, наблюдаемым на поверхности, в том числе к землетрясениям. Эта часть разреза Земли называется *тектоносферой*, так как она определяет тектоническое строение нашей планеты.

Тектоносфера на материках в разных местах различна: одна — под *океанами*, другая — под *платформами*, третья — под *складчатыми зонами*. Эти различия касаются толщины коры, относительной роли слагающих ее слоев, физических свойств верхних слоев мантии.

Схематически принято выделять три слоя земной коры (рисунок 11). Самое верхнее положение занимает прерывистая (покрывает не всю Землю) осадочная оболочка (таблица 7). Она имеет мощность до 15 километров и состоит из осадочных пород, накопившихся на дне существовавших в прежние эпохи и современных водоемов (морей, лагун, озер, рек). Общее количество осадочных пород огромно и оценивается цифрой $1,7 \cdot 10^{18}$ тонн.

Главную массу осадочных пород составляют глины и сланцы (около 55 процентов), карбонатные породы (около 25 процентов), пески и песчаники (около 20 процентов).

Ниже залегает так называемая *гранитная оболочка*, сложенная главным образом гранитами, гнейсами и метаморфическими породами. Граниты и частично гнейсы представляют собой горные породы, возникшие в результате застывания и кристаллизации вышедшей из глубины расплавленной массы — *магмы*, а метаморфические породы и часть гнейсов образовались путем перекристаллизации осадоч-

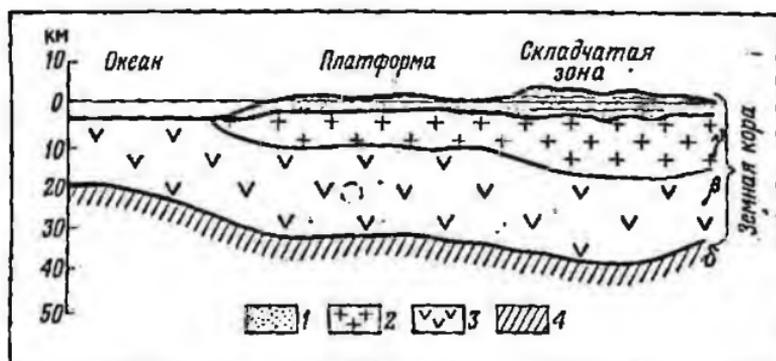


Рисунок 11. Схема строения земной коры:
1 — осадочные породы; 2 — слой «гранита»; 3 — слой «базальта»;
4 — ультраосновные породы мантии

ных пород под влиянием высокой температуры и давления. Гранитный слой также не имеет сплошного распространения: он отсутствует на большой площа-

Таблица 7

Физические свойства и мощности оболочек земной коры

Показатели	Осадочная	Гранитная	Базальтовая
Плотность в граммах на кубический сантиметр	Средняя 2,4	2,7	2,9
Скорость распространения продольных упругих волн в километрах в секунду	До 5,5	5,5—6,5	6,5—7,0
Мощность в километрах	0—15	0—30	5—40

ди в центральной части Тихого океана и в отдельных наиболее глубоких частях Атлантического океана. Гранитный слой сосредоточен в основном под материками и в неглубоких местах океанов. Под материками мощность этого слоя колеблется от 10 до 30 километров, увеличиваясь, по-видимому, под горными хребтами. Строение гранитного слоя наблюдается непосредственно в районах его выхода на поверхность Земли, где отсутствует осадочный слой,— на кристаллических щитах (Балтийский, Канадский, Алданский, Индийский, Африканский и др.).

Широкое распространение на Земле огромных покровов *базальта*, изливания которого происходили через глубокие разломы земной коры, послужило основанием для утверждения о том, что под гранитным слоем залегает *базальтовая* оболочка, состоящая из более тяжелой, чем гранит, и сравнительно бедной кремнеземом базальтовой породы. Толщина базальтового слоя достигает 40 километров. В ряде мест на поверхность океанического дна выходит непосредственно базальтовый слой.

Большое многообразие глубинных разрезов земной коры можно разделить на три основных типа.

Океанический — под водами океана осадочные породы и гранитный слой отсутствуют или имеют незначительную мощность. Мощность слоя базальта на некоторых участках не превышает 5 километров.

Континентальный — земная кора достигает наибольшей мощности в горных районах. Суммарная мощность осадочных и гранитных слоев в центральных высокогорных областях Азиатского материка составляет около 40—45 километров, базальтовый слой также увеличен до 25—30 километров. Поверхность Мохоровичича уходит здесь на недостижимую глубину — 70 километров и более. На глубине 30—40 километров давление (статическое, определяется массой столба вышележащих пород) имеет величину 10—15 тысяч килограммов на квадратный сантиметр.

Переходный — температура может изменяться в весьма широких пределах, и ее средние значения (600 градусов на глубине 300 километров) могут весьма сильно различаться в областях с неодинаковой

структурой земной коры. Это свидетельствует о том, что на больших глубинах вещество должно находиться в ином состоянии, чем вблизи от поверхности.

Поверхность Мохоровичича находится на глубине всего 30—40 километров на суше и 5—7 километров под уровнем дна океана. Дальше, примерно до глубин 3000 километров, расположена мантия. Но хотя мантия составляет 80 процентов объема земного шара, ее состав до сих пор неизвестен. А земная кора со всеми ее полезными ископаемыми как раз и произошла из вещества мантии.

ЛЕТОПИСЬ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ

Планета Земля прошла огромный и чрезвычайно сложный путь развития и последовательных изменений, прежде чем «клик Земли» приобрел современные черты и на ней появился человек. На протяжении миллиардов лет истории Земли длительные эпохи ее относительного покоя неоднократно сменялись более краткими эпохами бурных и резких перемен (геологические революции), когда быстро изменялись формы рельефа земной поверхности, очертания материков, морей и океанов, климатические условия и формы органического мира — животные и растительные.

Земля представляет собой богатейшую летопись, в которой записана весьма отчетливо вся история материков, морей и их обитателей. Листы великой летописи истории Земли — это пласты горных пород, отложившиеся в разные *эры, периоды, эпохи* и *века* один над другим в последовательности по мере их образования.

«Матушка природа, — писал Чехов, — это книга, которую надо читать и видеть». Мы теперь хорошо умеем читать эту книгу. Мы знаем, что слои, отлагавшиеся в каждое определенное время земной истории, характеризуются остатками животных и растений, находимых только в этих слоях в виде отпечатков, окаменелостей, костей и скелетов, которые и являются письменами летописи Земли.

Великий художник и естествоиспытатель Леонардо да Винчи (конец XV столетия) был одним из первых, кто признал в ископаемых окаменелостях не

простую «игру природы» а подлинные остатки некогда живших организмов.

Подобно делению книги на тома, главы, разделы и параграфы, ученые установили относительное исчисление геологического времени* начиная с образования земной коры до наших дней. При этом летопись Земли читается двояко: одна группа терминов касается самих напластований горных пород, а другая — интервалов времени, за которые соответствующие слои образовались.

Деление напластований

Группа	Система	Отдел	Ярус
	Интервалы времени		
Эра	Период	Эпоха	Век

Обычно начало каждой новой эры характеризуется изменением облика животного и растительного мира, а также существенными перестройками суши и морей (таблица 8).

В XX веке явления радиоактивного распада ряда химических элементов, содержащихся в минералах, позволили геологам перейти к абсолютному летоисчислению**, выраженному в годах.

В результате трудов нескольких поколений геологов была установлена общая последовательность накопления слоев земной коры, получившая название *стратиграфической шкалы*. Верхняя часть ее (*фанерозой*) составлена при помощи палеонтологического метода с большой тщательностью. Она делится на три группы: *палеозойскую*, *мезозойскую* и *кайнозойскую*. Каждая группа делится на системы; каждая система подразделяется на два-три отдела; последние в свою очередь делятся на ярусы и подчиненные им зоны. Как системы, так и многие ярусы могут быть

* *Относительная геохронология* заключается в определении относительного возраста горных пород, который дает представление о том, какие отложения в земной коре являются более молодыми и какие более древними, без оценки длительности времени, прошедшего с момента их образования.

** *Абсолютная (или ядерная) геохронология* устанавливает так называемый абсолютный («изотопный» или «радиологический») возраст горных пород, т. е. возраст, выраженный в единицах времени, обычно в миллионах лет.

Таблица 8

Основные подразделения геохронологической шкалы

Группа (эра)	Система (период)	Стратиграфический индекс	Интервал времени (миллионов лет назад)	Некоторые геологические события на территории СССР	
Фанерозой	Кайнозойская	Четвертичная (антропоген)	Q	0—1,5	Оледенение Русской и Западно-Сибирской равнин; поднятие Кавказа, Тянь-Шаня и других горных хребтов
		Неогеновая	N	1,5—25	Складчатость, образование гор и рудных месторождений на Кавказе, в Карпатах, в Крыму
		Палеогеновая	Pg	25—67	Затопление морем многих районов СССР, местами подводный вулканизм и рудообразование
	Мезозойская	Меловая	Cr	67—137	Образование мощных толщ сланцевых и карбонатных морских отложений. Складчатость, вулканизм и рудообразование на Дальнем Востоке, Кавказе, в Средней Азии
		Юрская	J	137—195	
		Триасовая	T	195—230	Большая часть территории СССР представляла собой сушу. Море в Крыму, местами на Кавказе и Дальнем Востоке
	Палеозойская	Пермская	P	230—285	Складчатость, вулканизм, образование гор и рудных месторождений на Урале, Алтае, в Центральном Казахстане, Тянь-Шане
		Каменноугольная (карбон)	C	285—350	Море затопило большую часть территории СССР. В Подмосковье и Донбассе образовались угольные залежи

Продолжение табл. 8

Группа (эра)	Система (период)	Стратиграфический индекс	Интервал времени (миллионов лет назад)	Некоторые геологические события на территории СССР	
Фанерозой	Палеозойская	Девонская	D	350—410	Господство моря в европейской части СССР, Средней Азии, Западной Сибири Складчатость, вулканизм и горобразование в Саянах. Море покрыло Сибирь и Среднюю Азию
		Силурийская	S	410—440	
		Ордовикская	O	440—500	
		Кембрийская	Ст	500—570	
Докембрий	Протерозойская	(Разные подразделения)		570—2600	Образование гор в Карелии, Забайкалье, на Кольском полуострове, Украине
	Архейская			2600—? (3500)	

прослежены на всех континентах, но большая часть стратиграфических зон имеет только местное значение.

Для предшествующего палеозою отрезка шкалы (*докембрий*), соответствующего огромной по мощности толще пород, палеонтологический метод имеет ограниченное применение из-за плохой сохранности или отсутствия окаменелостей. Вследствие этого нижняя — докембрийская — часть стратиграфической шкалы расчленена менее детально, чем фанерозой.

По степени метаморфизма горных пород и другим признакам докембрий делится на *архей* (или *археозой*) и *протерозой*.

Стратиграфическая шкала является основой для создания соответствующей ей *геохронологической шкалы*, отражающей последовательность отрезков

времени, в течение которых формировались те или иные толщи пород (смотри таблицу 8).

Геохронологическая шкала указана в соответствии с цифрами, утвержденными Комиссией по абсолютному возрасту геологических формаций Академии наук СССР в 1964 году. Названия эр составлены из греческих слов: «архе» — начало, «палайос» — древний, «мезос» — средний, «кайнос» — новый, «зоон» — животное.

Например, силурийский период получил название от одного древнего кельтского племени — силуров, которое жило в теперешней Западной Англии, в графстве Уэльс, где прекрасно развиты главные нижние пласты палеозойских отложений, относящиеся к силурийской системе. Юрская система заимствовала свое название от Юрских гор во Франции, где осадочные пласты юрского периода были впервые хорошо изучены, и т. д.

Продолжительность наиболее древнего, докембрийского времени развития Земли составляет около 5/6 всей ее геологической истории. Каждый из периодов фанерозоя, за исключением последнего *антропогенового* (*четвертичного*), охватывает примерно равные интервалы.

Антропогеновая система, соответствующая времени существования человека, намного короче. Расчленение антропогена проводится, в отличие от других периодов, по фауне наземных млекопитающих, которая эволюционирует гораздо быстрее, чем морская фауна (в составе последней за время антропогена не произошло принципиальных изменений), а также на основе изучения ледниковых отложений, характеризующих эпохи всеобщего похолодания.

Каждый геологический возраст горных пород имеет свой установленный буквенный индекс (смотри таблицу 8) и принятый стандартный цвет. Все условные обозначения стратиграфической шкалы были утверждены в 1881 году на Втором Международном геологическом конгрессе в Болонье и с тех пор являются общепринятыми во всем мире.

Для определения относительного возраста слоистых осадочных и пирокластических (т. е. состоящих из обломочного материала вулканических изверже-

ний) пород, а также вулканических лав широко применяется принцип последовательности напластования, так называемый закон Стенсена (*Стено*). Согласно этому принципу, каждый вышележащий пласт (при ненарушенной последовательности залегания слоистых горных пород) моложе нижележащего.

Относительный возраст интрузивных пород и других неслоистых геологических образований определяется по соотношению с толщами слоистых горных пород.

Послойное расчленение геологического разреза, т. е. установление последовательности напластования слагающих его пород, составляет *стратиграфию* данного района. Для сравнения стратиграфии удаленных друг от друга территорий (районов, стран, материков) и установления в них толщ близкого возраста используется *палеонтологический метод*, основанный на изучении захороненных в пластах горных пород окаменевших остатков вымерших животных и растений (морских раковин, отпечатков листьев и т. д.). Среди них выделяются *руководящие* виды флоры и фауны, характерные только для определенных ярусов и потому позволяющие датировать соответствующие пласты.

Наиболее древние породы, найденные на Земле, имеют возраст около 3500 миллионов лет и знаменуют собой начало архея. Пород, возникших в интервале времени от 3500 до 4500 миллионов лет (предполагаемый возраст Земли), с достоверностью не обнаружено.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЯ В ЗЕМЛЕ

В зоне соприкосновения верхней мантии и земной коры вследствие разных физических свойств и наличия потока тепла из недр Земли создается перепад температур, возникает своего рода мощная тепловая машина, часть энергии которой расходуется на механические процессы — движения, деформации, сотрясения. На нижней границе земной коры по этой же причине должны идти усиленная дифференциация вещества, миграция элементов и их концентрация.

О причине землетрясений еще Ломоносов писал: «Сила поднявшая таковую тягость ни чему.. приписана быть не может, как господствующему жару в земной утробе».

Изучение истории тектонических движений позволило установить ряд закономерностей в их развитии, что принадлежит к основным достижениям современной тектоники*.

Уже давно было подмечено, что смятие пластов горных пород в складки происходит не непрерывно, а периодически. Такие периоды высокой тектонической активности в истории Земли длятся приблизительно от 4 до 10 миллионов лет (в масштабах геологической шкалы это очень мало!) и распространяются на огромные площади, нередко имея общепланетарное значение. Их обычно называют орогеническими фазами, или *фазами складкообразования*, а сближенные во времени фазы объединяют в орогенические** эпохи, или *эпохи тектогенеза****.

В развитии земной коры выделяют *тектонические циклы*, охватывающие периоды времени от возникновения подвижных структур (геосинклиналей, смотри ниже) до их полного замыкания, превращения в горные сооружения, а затем — в неподвижные структуры — молодые платформы.

Продолжительность циклов в фанерозое примерно 150—200 миллионов лет. Эпохи тектогенеза входят в состав каждого цикла и носят те же названия, что и весь соответствующий цикл: байкальская, каледонская, герцинская (или варисийская), альпийская (таблица 9).

В *первой половине* каждого цикла преобладают опускания земной коры, геосинклинали заливаются морем, на дне которого в интенсивно развивающихся прогибах накапливаются очень мощные толщи осад-

* *Тектоника* — отрасль геологии, изучающая движения и деформации земной коры и те особенности ее строения, которые этими движениями и деформациями создаются.

** «Орогенез» буквально означает «горообразование». Этот процесс не идентичен складчатости, и потому сейчас предпочитают термин «тектогенез».

*** *генез* — часть сложного слова, означающая происхождение, возникновение; например тектогенез, рудогенез и т. п.

Эпохи и основные фазы тектогенеза Т а б л и ц а 9

Геологическое время		Основные фазы тектогенеза, или складчатости (начало и конец в миллионах лет назад)	Эпохи тектогенеза						
Эра	Период, эпоха								
Кайнозой	Антропоген		1,5 5	Валахская	Позднеальпийская	Альпийская			
	Неоген	Плиоцен							
		Миоцен	16 20	Штирийская					
	Палеоген	Олигоцен	34	Пиренейская					
		Эоцен*	38						
		Палеоцен	52 59	Новоларамийская					
			63 70	Древнеларамийская					
	Мезозой	Мел	Поздний мел	130 145 155 170 175 190 195 210 235 250			Новокиммерийская Батская Донецкая Древнекиммерийская	Раннеальпийская (киммерийская, тихоокеанская)	
			Ранний мел						
		Юра	Поздняя юра						
Средняя юра									
Ранняя юра									
Триас									
Палеозой		Пермь			250	Пфальцская			Герцинская или варисцидская

Геологическое время		Основные фазы тектогенеза, или складчатости (начало и конец в миллионах лет назад)	Эпохи тектогенеза
Эра	Период, эпоха		
Палеозой	Пермь	$\frac{285}{295}$ Астурийская	Герцинская или варисцийская
	Карбон	$\frac{330}{340}$ Бретонская	
		$\frac{360}{370}$ Среднедевонская	
		Девон	
	Силур	$\frac{440}{450}$ Таконская	
	Ордовик	$\frac{525}{545}$ Салаирская	Байкальская
	Кембрий	$\frac{560}{?}$ Ассиитская	
Докембрий		?	

ков; мелкими морями в значительной мере заливаются и платформы, где накапливаются осадки меньшей мощности. В геосинклиналях для этой стадии характерны подводные вулканические излияния преимущественно базальтовых лав.

Во второй половине цикла как раз и развивается тектогенез. В это время в геосинклиналях образуются поднятия, сопровождаемые смятием слоев в складки, внедрением гранитов и других магматических пород, а позже образованием горных хребтов, глубоких расколов в земной коре, разделением ее на поднимающиеся и оседающие глыбы, наземными вулкани-

ческими излияниями (рисунок 12). Платформы также испытывают поднятие и осушение, но их рельеф остается равнинным.

В результате указанного циклического хода развития земной коры на поверхности Земли сейчас могут быть выделены крупные структурные комплексы различного возраста и строения. На огромной площади

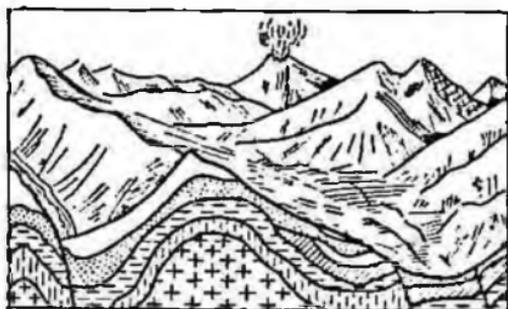


Рисунок 12. Складчатые горы, возникшие на месте геосинклиналя

нашей страны, характеризующейся большим разнообразием геологического строения, можно с успехом изучать все важнейшие структурные элементы земной коры.

Границы эпох тектогенеза указаны в таблице 9 ориентировочно, в разных складчатых областях они проводятся различно.

О ПОДВИЖНЫХ ЗОНАХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Учение о подвижных зонах земной коры — *геосинклиналях* — было заложено свыше 100 лет тому назад американским геологом Дж. Холлом, а затем развивалось в трудах Э. Ога, Л. Кобера, Г. Штилле, М. Кэя и др. В Советском Союзе крупные труды в области теории геосинклиналей принадлежат Н. С. Шатскому, В. В. Белоусову, В. Е. Хайну, А. А. Богданову, М. В. Муратову и др. В настоящее время это учение считается одним из важнейших достижений геологической науки и во многом предопределяет направление поисков полезных ископаемых. Мы коснемся лишь некоторых «кирпичей» из

огромного, еще не вполне достроенного здания теории геосинклиналей. Сущность ее заключается в противопоставлении друг другу обширных участков земной коры, обладающих различной подвижностью и разной активностью тектонического режима: геосинклиналей и платформ.

Геосинклинальный процесс свойствен высокоподвижным, линейно вытянутым зонам, располагающимся обычно на окраине более древних континентов, но иногда и внутри континентов. *Геосинклинальные прогибы*, ограниченные с боков глубинными разломами, имеют в длину десятки и сотни километров при сравнительно небольшой ширине; в начале своего существования эти прогибы заполнены неглубоким морем, дно которого быстро погружается. Развитие нисходящих тектонических движений и является наиболее характерной особенностью раннего этапа геосинклинального процесса.

А теперь разрешите на минуту отвлечься и задать вам риторический вопрос: какой толщины слой песка можно насыпать в таз глубиной 10 сантиметров, чтобы песок не возвышался над бортом таза? «Не больше десяти сантиметров»,— скажете вы, и будете правы. А какой толщины слой осадков может накопиться в геосинклинальном море, имеющем глубину не более 1 километра? «Во всяком случае, меньше 1 километра» — вероятно, ответите вы, и будете неправы. Мощность осадочных толщ в геосинклинальных прогибах в течение одного этапа достигает 8—10 километров и более. Это объясняется *компенсированным прогибанием* морского дна, при котором скорость углубления водоема равняется скорости накопления осадков. Таким образом, море все время остается неглубоким, а толщина слоев осадочных пород в несколько раз превышает толщину слоя воды. Источником материала осадков может служить прилегающая к прогибу суша, откуда реки и временные потоки сносят в море частицы разрушающихся древних пород. Геосинклиналь в таком случае называется *терригенной* («терра» — земля). В другом случае прогибание морского дна сопровождается интенсивным подводным вулканизмом, обычно базальтоидного состава. В море изливаются потоки лав и

выбрасывается обломочный туфовый материал, смешивающийся с терригенным материалом. В итоге образуются толщи смешанных вулканических и осадочных пород, а соответствующая геосинклиналь называется вулканогенной эвгеосинклиналию, или просто *эвгеосинклиналию*.

В конце первого (раннего, или собственно геосинклинального) этапа геосинклинального цикла направление тектонических движений меняется: погружение уступает место воздыманию, внутри прогиба растут зоны поднятий, называемые *геоантиклиналями* и проявляющиеся в виде цепочек островов. Примером современной геоантиклиннали может служить Курильская гряда. Затем в геосинклиннали обычно происходит полная инверсия (обращение) тектонического режима, совпадающая с главной для данного района фазой тектогенеза, называемой также главной *фазой складчатости*, поскольку именно в это время накопившиеся в прогибе осадочные толщи сжимаются в складки, наблюдаемые на земной поверхности (вспомним рисунок 12).

Главная фаза складчатости знаменует наступление второго, так называемого *орогенного* этапа развития геосинклиннали. Последняя представляет собой уже не море, а горную страну, где сохраняются лишь сравнительно небольшие впадины с морской водой — заливы, лагуны, лиманы. В них нередко формируются пласты каменного угля, накапливаются соленосные осадки.

Очень характерной чертой ранней стадии орогенного этапа является внедрение в зонах поднятий крупных магматических тел — интрузий гранитного состава.

Складчатые горы сначала растут за счет внутренних тектонических сил, а потом начинают интенсивно разрушаться под действием внешних факторов — выветривания и растрескивания горных пород, их размыва реками и дождевыми потоками. Сносимый с гор материал накапливается в равнинах, где образуются мощные толщи обломочных пород — *молаессы*. Появление молаессы также служит характерной особенностью орогенного этапа, в основном его поздней стадии. В это же время активно действуют наземные

вулканы, изливающие потоки лав липаритового, андезитового и базальтового состава.

Орогенный этап не имеет отчетливо выраженного окончания. Возникшая на месте геосинклинали складчатая область постепенно консолидируется, складчатость в ней затухает и уступает место глыбовым подвижкам жестких блоков земной коры, горный рельеф выравнивается. Таким образом, геосинклиналь превращается в молодую платформу, возраст которой принято указывать добавлением частицы «эпи» (над, после) к названию той эпохи тектогенеза, в течение которой существовала геосинклиналь. Например, на территории Северного Кавказа и Предкавказья в герцинскую эпоху (средний и поздний палеозой) развивалась крупная геосинклиналь, которая в конце палеозоя была консолидирована и превратилась в эпигерцинскую платформу (так называемую Скифскую), сохранившуюся по настоящее время (сейчас это обширные равнины Кубани и Ставрополя). Древний складчатый фундамент платформы покрыт чехлом молодых горизонтально залегающих осадков.

В истории Земли, по крайней мере с протерозоя, отмечается тенденция к последовательному сокращению площадей геосинклиналей и увеличению платформ. Однако платформенное состояние, по-видимому, не является конечной формой существования земной коры. В определенных условиях на платформах снова возникают подвижные пояса, называемые эпиплатформенными орогенами, или *областями активизации*.

Кратко обрисованная схема геосинклинали процесса приведена в таблице 10.

Глубинное содержание геосинклинали процесса заключается в преобразовании коры океанического типа в континентальную.

До сих пор мы рассматривали эволюцию отдельного геосинклинали прогиба. В структурах земной коры чаще встречаются целые *геосинклинали системы*, состоящие из нескольких прогибов и разделяющих их геоантиклинальных поднятий. Каждой системе свойственны: общий структурный план, одна и та же ориентировка прогибов и поднятий, единое

Таблица 10

Схема развития геосинклинали

Этапы развития	Стадии	Тектонический режим	Осадконакопление	Магматизм
Платформенный (молодая платформа)	Орогенная	Спокойный. Небольшие вертикальные подвижки (эпирогенические колебания)	Формирование пологозадающего чехла из терригенных и карбонатных пород	Не характерен. Местами intrusion лав из трещин
	Поздняя	Контрастные движения глыбывые поднятия гор и образование межгорных впадин	Накопление моласс	Извержения наземных вулканов. Внедрение «малых интрузий»
Собственно платформенный	Ранняя	Общее поднятие, возникновение складчатых гор	Образование маломощных угленосных, гипсоносных и карбонатных толщ	Интрузии гранитов (не всегда)
	Зрелая	Главная фаза складчатости Обособление геосинклиналей. Замедление нисходящих движений	Образование коралловых рифов Осаждение «флиша» (чередование песчаников, мергелей, известняков)	Интрузии умеренно кислых гранитов и габброидных пород
Догосинклинальный	Начальная	Интенсивное опускание дна геосинклинальных прогибов. Возникновение глубинных разломов	Накопление мощных толщ глинистых сланцев и слонистых песчаников	Подводный вулканизм. Образование вулканогенно-осадочных толщ диабазового и порфитового состава (только в заключительных фазах)
		Древняя платформа, сложенная метаморфическими и изверженными породами архая — протерозоя		

Ход времени

или близкое время складчатости, т.е. перехода от собственно геосинклинального этапа к орогенному. Вместе с тем прогибы могут различаться по характеру их осадочного заполнения. Иными словами, в пределах одной геосинклинальной системы могут одновременно существовать как вулканогенные, так и терригенные геосинклинали.

Следующей по крупности структурной единицей земной коры является *геосинклинальная область*, представляющая собой две или несколько геосинклинальных систем, разделенных *срединными массивами*. Так называются жесткие глыбы, оставшиеся от того древнего фундамента, на котором были заложены геосинклинальные прогибы. Следует уяснить разницу между срединными массивами и геоантиклиналями. Последние, как уже было сказано, возникают несколько позже прогибов и являются образованиями того же тектонического цикла, а срединные массивы — это части более древних структур, уцелевшие от переработки геосинклинальным процессом. Хорошим примером геосинклинальной области служит Кавказ. Складчатые горные хребты Большого и Малого Кавказа возникли из существовавших здесь в мезозое и кайнозое геосинклинальных систем, разделявшихся Закавказским срединным массивом, который сложен докембрийскими и нижнепалеозойскими метаморфическими породами, вмещающими верхнепалеозойские граниты. В настоящее время срединный массив морфологически представлен Рионской и Куринской равнинами, приуроченными к зонам молодых погружений фундамента. А на водораздельном (между реками Риоли и Курой) Сурамском хребте древний фундамент высоко приподнят и обнажен, здесь-то и можно наблюдать его геологическое строение. Схематический разрез условной геосинклинальной области приведен на рисунке 13.

Геосинклинальные области в свою очередь являются частями еще более крупных структур планетарного масштаба — *геосинклинальных поясов*. Такие пояса достигают в длину десятков тысяч километров при ширине в сотни и даже тысячи километров. Они располагаются либо между древними континентальными платформами, либо между платформами и

ложем океана, включая внутренние и окраинные моря, островные дуги и глубоководные желоба. Видный советский тектонист В. Е. Хаин выделяет в новейшей истории Земли, так называемом *неогее*, охватывающем последние 1,6 миллиарда лет, следующие главные геосинклинальные пояса (рисунок 14):

Тихоокеанский, кольцом окружающий Тихий океан и отделяющий его ложе от платформ Северной и Южной Америки, Азии, Австралии и Антарктиды;

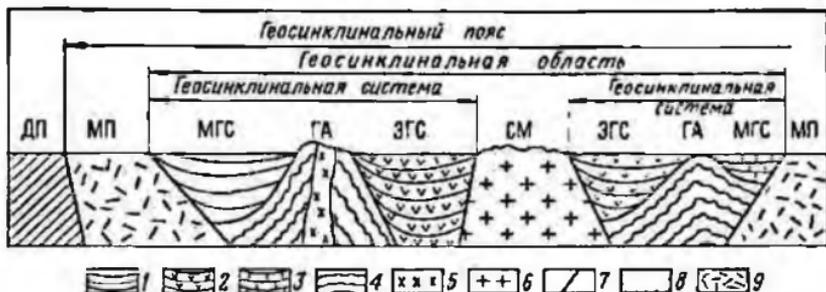


Рисунок 13. Схема строения геосинклинальной области:

ДП — древняя платформа; МП — молодая платформа; СМ — средний массив; МГС — многогеосинклиналь (внешний прогиб); ГА — геосинклиналь (внутренний прогиб); ЭГС — эггеосинклиналь (внутренний прогиб).

Образования геосинклинального дна: 1 — терригенные толщи в прогибах; 2 — вулканогенные толщи в прогибах; 3 — карбонатные толщи в прогибах; 4 — складчатые толщи разного состава в поднятиях; 5 — складчатые гранитоиды; 6 — древние гранитоиды; 7 — глубинные разломы; 8 — древние платформенные отложения; 9 — молодые платформенные отложения геосинклинального пояса

Средиземноморский, сочленяющийся с первым в области Малайского архипелага и простирающийся через юг Евразии и север Африки до Гибралтара;

Урало-Монголо-Охотский, огибающий Сибирскую платформу с запада и юга и отделяющий ее от Восточно-Европейской и Китайско-Корейской платформ;

Атлантический, охватывающий побережья материков в северной части Атлантического океана;

Арктический — вокруг Северного Ледовитого океана.

Иногда Тихоокеанский и Атлантический геосинклинальные пояса подразделяют соответственно на Восточно- и Западно-Тихоокеанский, Восточно- и Западно-Атлантический.

Изучая каледонские, герцинские, альпийские

складчатости, можно убедиться что в разных частях планеты они проявляются по-разному и не в одно и то же время.

Продолжительность эпох складчатости, т.е. процесса превращения мобильной геосинклинальной зоны в платформу, иногда довольно велика. Она может достигать длительности геологического периода и более, однако в сравнении с огромным временем предшествующего геосинклинального развития и после-



Рисунок 14. Геосинклинальные пояса и платформы Земли (по В. Е. Ханну)
 I — главные древние платформы докембрийского фундамента; II — молодые платформы (геосинклиналии, консолидированные в палеозое и мезозое); III — геосинклинальные пояса неогена; 1 — Северо-Американская; 2 — Восточно-Европейская; 3 — Сибирская; 4 — Колымская; 5 — Китайско-Корейская; 6 — Индостанская; 7 — Северо-Африканская; 8 — Южно-Африканская; 9 — Гавано-Бразильская; 10 — Австралийская; 11 — Антарктическая

дующего платформенного развития эпоха складчатости является весьма короткой и представляет собой

важный переломный момент в истории данного участка земной коры.

Заканчивая беглое описание геосинклинального процесса, необходимо подчеркнуть, что всем его стадиям сопутствует формирование определенных типов рудных месторождений. Но об этом мы поговорим подробнее ниже.

ПЛАТФОРМЫ И ИХ СТРОЕНИЕ

Процесс образования платформ читателю, вероятно, в основном уже ясен из предыдущего изложения. Уточним эти представления, опираясь на недавно опубликованную обзорную работу группы ведущих советских тектонистов.

В строении материков различают два типа платформ: *древние* (так называемые «кратоны») и *молодые*, послепротерозойские.

Древние платформы имеют кристаллический фундамент, сложенный изверженными и метаморфическими породами докембрия; их осадочный чехол сохранился лишь местами и тоже сильно метаморфизован. На Земле известно 15 древних платформ, в том числе наиболее крупные: Восточно-Европейская, Сибирская, Китайско-Корейская, Северо-Американская, Северо-Африканская, Южно-Африканская, Аравийская, Индостанская, Бразильская, Антарктическая (смотри рисунок 14).

Молодые платформы обладают консолидированным складчатым основанием и входят в состав складчатых поясов, являясь эпигеосинклинальными образованиями.

В пределах древних и молодых платформ выделяются главнейшие структурные элементы.

Щиты представляют собой длительно поднимающиеся и потому глубоко размытые части платформ, лишенные осадочного чехла. В щитах бывают выведены на поверхность древнейшие породы, относящиеся к «гранитному» слою земной коры. Примеры щитов — Балтийский, Алданский, Гвианский и др.

Плиты в противоположность щитам испытывают устойчивые опускания и покрыты мощным осадоч-

ным чехлом. Фундамент платформы в них залегает на глубине 2—3 километра и более. Примерами плит древних платформ служат Русская и Сахарская, а молодых платформ — Западно-Сибирская и Туранская.

Фундамент древних платформ иногда бывает расколот, и в нем возникают огромные желобообразные тектонические депрессии *авлакогены*, достигающие в длину нескольких сотен километров при ширине до 100 километров и более. Авлакогены заполнены осадочными породами; поверхность фундамента в них бывает опущена до 10 километров и более. Примеры авлакогенов Восточно-Европейской платформы — Днепровско-Донецкий и Пачелмский.

Синеклизы являются крупными тектоническими впадинами, расположенными во внутренних частях платформы. Их поперечник исчисляется сотнями километров, а глубина прогибания в центре достигает нескольких километров. Примеры синеклиз — Московская (на Русской плите), Амударьинская (на Туранской плите), Иллинойская (на Северо-Американской платформе).

Антеклизы противопоставляются синеклизам и представляют собой области пологого сводообразного изгибания фундамента, причем в сводах антеклиз мощность осадочного чехла бывает невелика. Примеры антеклиз — Воронежская и Волго-Уральская на Восточно-Европейской платформе, Анабарская — на Сибирской, Туркменская — на Туранской плите.

Известен еще ряд платформенных и переходных структур (в частности, *краевые прогибы*, отделяющие платформы от геосинклинальных систем), но рассматривать их здесь нет возможности.

Не устали ли вы, дорогой читатель? Надо, как водится у геологов, сделать небольшой привал, а заодно и подвести некоторые итоги. Мы уже довольно хорошо познакомились со структурами земной коры, т. е. знаем, как устроено «вместилище рудных кладов». Но этого еще мало для ответа на вопрос — «где искать?». Теперь необходимо уяснить причины и условия формирования рудных месторождений в рассмотренных структурах, иначе мы будем похожи

на кладовщика, нашедшего лишь пустой сундук без сокровищ. Предстоящий маршрут к основам теории рудообразования будет, пожалуй, еще труднее только что законченного, но... вспомним песню: «крепись геолог, шагай геолог.» Отступать нельзя!

ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ РУДНЫХ БОГАТСТВ

Обратили ли вы внимание на тот факт, что «гражданка руда» довольно уклончиво ответила на вопрос о месте ее рождения? Были охарактеризованы разные типы месторождений с точки зрения их масштабов, но ничего не говорилось о процессах, обуславливающих промышленные скопления рудных минералов. (Возможно, некоторая ответственность за это ложится и на авторов, но ведь всегда приятнее обвинять других, чем себя!) Итак, мы потребовали от упомянутой «гражданки» объяснений по поводу неточного заполнения анкеты, и услышали чистосердечное признание, что руда решила раскрыть тайну своего происхождения лишь после того, как читателю будут доложены «смягчающие обстоятельства», а именно, те общие сведения о Земле, без которых трудно рассказывать о формировании рудных месторождений. Поскольку это уже сделано, продолжим рассказ.

В древние и средние века какой-либо стройной теории рудообразования, разумеется, не существовало; были только весьма наивные и мистические представления о влиянии звезд и планет на происхождение металлов, о лечебных свойствах драгоценных камней и т. д. Хорошо переданы эти древние поверья в повести А. И. Куприна «Суламифь».

Следует упомянуть выдающегося для своего времени ученого Георгия Бауэра, который в середине XVI века под псевдонимом Агрикола опубликовал большую работу о полезных ископаемых Рудных гор в Чехословакии. Агрикола различал соли, металлы и минералы; он дал первую классификацию форм залегания рудных тел в виде жил, прожилков, штоков, пластов, которые, по его мнению, произошли в результате выделения металлов и других веществ

из вод, циркулирующих в земной коре («соков Земли»).

В XVIII и начале XIX века ученые о рудных месторождениях развивались под знаком великого спора плутонистов и непунистов (Плутон в древней мифологии — бог подземного царства, Нептун — бог морей). Плутонистов возглавлял шотландский геолог Джемс Хеттон, утверждавший, что все рудные месторождения созданы внутренним теплом Земли и образовались за счет интрузий (внедрений) в верхние части земной коры глубинных магматических расплавов кремнистого и сернистого состава. Этой точке зрения способствовало то обстоятельство, что Хеттон изучал рудные жилы, залегавшие в магматических породах и действительно имевшие глубинное происхождение, но он поспешил признать данный процесс рудообразования единственным.

Школу непунистов возглавлял профессор Фрайбергской Горной академии А. Г. Вернер, придававший исключительную роль воде и стремившийся доказать, что все рудные тела формируются из водных растворов, просачивающихся по трещинам горных пород и выщелачивающих на своем пути полезные компоненты, рассеянные в этих породах. Источником поверхностных вод, проникающих в глубь Земли, считался Мировой океан.

Слишком односторонние и во многом ошибочные гипотезы непунистов и плутонистов имели определенное положительное значение, поскольку участники спора стремились как можно детальнее изучать и описывать месторождения и накопили много ценного фактического материала. Но плутонистов и непунистов далеко опередил в своих научных идеях гениальный русский ученый М. В. Ломоносов, создавший в середине XVIII века выдающиеся труды по геологии, минералогии и теории рудообразования: «Первые основания металлургии или рудных дел», «О слоях земных», «Слово о рождении металлов от трясения земли» и др. Ломоносов полагал, что руды образовались из глубинных (а не из поверхностных, как думал Вернер) горячих водных растворов или паров. По его мнению, «горная материя сгущалась от воды отделяясь и принимая в себя серные

пары, металлы с ними соединяла», а рудные жилы «... суть не что иное, как в горах щели, разные минералы и руды в себе содержащие».

Заложенные Ломоносовым традиции комплексного, разностороннего изучения природных явлений и раскрытия их сущности посредством анализа фактов, а не заранее надуманных схем были в дальнейшем развиты целой плеядой талантливых русских ученых, обычно занимавших более прогрессивные позиции, чем их западные коллеги. Еще до установления Советской власти крупные исследования в области геологии рудных месторождений осуществлялись А. П. Карпинским, В. А. Обручевым, К. И. Богдановичем и др.

После Великой Октябрьской социалистической революции получили небывалый размах геологоразведочные работы во всех Советских республиках и государством были обеспечены исключительно благоприятные условия для разносторонних научных исследований. Здесь невозможно перечислить всех советских ученых, блестяще обобщивших огромный фактический материал по геологии полезных ископаемых. Назовем лишь некоторых широко известных геологов-рудников и металлогенистов: это основатели геохимической школы В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман и его ученики Д. И. Щербаков, В. В. Щербина, А. А. Сауков и др.; исследователи структур, состава и условий образования месторождений А. Н. Заварицкий, М. А. Усов, В. М. Крейтер, П. М. Татаринов, А. Г. Бетехтин, Ф. И. Вольфсон, Н. М. Страхов, Г. С. Дзоценидзе, В. Н. Котляр и др.; металлогенисты, уделившие в своих трудах особое внимание закономерностям формирования и размещения месторождений в земной коре, С. С. Смирнов, Ю. А. Билибин, В. И. Смирнов, Е. А. Радкевич, А. И. Семенов, К. И. Сатпаев, И. Г. Магакьян, Г. А. Твалчрелидзе и др.

К чему же сводятся в настоящее время основные положения теории рудообразования? Прежде всего следует сказать о неодинаковых свойствах химических элементов к рассеянию и концентрации в земной коре. Читатель уже знает о коэффициентах концентрации металлов в месторождениях; добавим,

что способность к концентрации не всегда связана с величиной кларка. Например, такие важные в промышленности металлы, как медь, свинец и цинк, часто образуют крупные месторождения, хотя имеют сравнительно низкие кларки. В то же время титан и ванадий, имеющие гораздо более высокие кларки, почти не образуют самостоятельных крупных месторождений. Причины этого заключаются в строении атомов элементов (в особенности их внешних электронных слоев), а также в структуре и энергии кристаллических решеток минералов.

В геохимии принято подразделять все элементы таблицы Менделеева на петрогенные и металлогенные.

Петрогенные элементы (названные так от греческого слова камень) слагают основную массу земной коры, т. е. все разновидности горных пород, а также месторождения нерудных полезных ископаемых и бокситов. К ним относятся кислород, щелочные металлы, алюминий, кремний, фосфор, углерод, галогены и др. Атомные номера этих элементов находятся преимущественно в пределах первой половины таблицы Менделеева (от 1 до 57); для их атомов характерна восьмиэлектронная внешняя оболочка. Петрогенные элементы образуют месторождения при очень низких коэффициентах концентрации (как уже отмечалось на примере алюминия), а еще чаще в качестве полезного ископаемого используются сами породы, состоящие из этих элементов, например гранит, известняк, песчаник и т. д.

Металлогенные элементы имеют высокие атомные массы и номера, располагаясь в нижней половине таблицы Менделеева, включая уран. Их атомы обладают 18-электронными внешними оболочками, а месторождения металлогенных элементов отличаются очень высокими коэффициентами концентрации, достигающими 1000 и более.

Петрогенные элементы встречаются в природе в виде окислов, силикатов, карбонатов, фосфатов, сульфатов и почти никогда не образуют сульфидов и арсенидов. Металлогенные элементы, наоборот, наиболее распространены в виде сульфидов, арсенидов и антимонидов (т. е. соединений с серой,

мышьяком и сурьмой); их окислы редки, за исключением железа, марганца, хрома и олова.

1 Следует заметить, что некоторые элементы занимают как бы промежуточное положение между петрогенными и металлогенными, играя двойственную роль: с одной стороны, они входят в состав горных пород как петрогенные элементы, а с другой — дают типичные месторождения тяжелых металлов. Характерными представителями подобных «неустойчивых элементов» служат железо и марганец.

Конечно, нас с вами интересуют в первую очередь *металлогенные элементы, концентрации которых мы и называем рудными богатствами.*

Процессы, приводящие к скоплению металлогенных элементов, могут происходить как в глубине литосферы, так и на ее поверхности или в гидросфере. Соответственно выделяются две большие *генетические группы* рудных месторождений: *эндогенные* и *экзогенные.*

Эндогенное рудообразование происходит в глубине земной коры за счет внутренней тепловой энергии земного шара. Мы уже знаем о существовании в недрах Земли расплавленной магмы, подробнее об этом поговорим несколько позднее. Вот магма-то и служит основным источником рудного вещества эндогенных месторождений, наиболее значительная подгруппа которых потому и называется *магматогенной.* Есть еще подгруппа *метаморфогенных* месторождений, которые также образуются вследствие эндогенных процессов, но без расплавления земной коры, т. е. без участия магмы. В данном случае роль концентратора металлогенных элементов играет метаморфизм — изменение горных пород под действием исплинских сил сжатия при тектонических движениях, сопровождающихся разогреванием (но не плавлением!) пород до 700—800° С.

Таким образом, «тектоника, магматизм и метаморфизм представляет собой связанные друг с другом формы эндогенных процессов, проявляющиеся в тесном взаимодействии» (Котляр, 1970).

Одним из результатов упомянутых процессов является формирование минералов (в том числе рудных), что по существу означает переход вещества

из подвижного, мобильного состояния (т. е. из магмы или раствора) в неподвижное, или стабильное. Различают следующие основные способы образования рудных минералов эндогенных месторождений.

Непосредственная кристаллизация минералов из магматического расплава происходит вследствие изменения физико-химических условий при подъеме магмы в верхние горизонты земной коры. Так возникают почти все месторождения хрома, платины, титана, апатита, многие месторождения железа (магнетита).

Остающийся в магматических очагах расплав дает начало весьма интересным и ценным в практическом отношении природным образованиям — *пегматитам*, обычно представляющим собой жильные или гнездообразные тела, состоящие из крупных кристаллов полевого шпата, пронизанных более мелкими кристаллами кварца и сросшихся с большими кристаллами светлой и темной слюды. С пегматитами связаны промышленные месторождения берилла, изумруда, слюды, лития, редких земель, иногда урана, тория и др. В изучении пегматитов и создании их теории особенно большая роль принадлежит советскому ученому академику А. Е. Ферсману.

Другой эндогенный процесс — это выделение минералов из горячих растворов, циркулирующих под поверхностью земли и называемых *гидротермами*. Эти растворы в большинстве случаев косвенно связаны с магматическими очагами: как на первый взгляд ни странно, но огненно-жидкая магма, имеющая температуру 1000° С и более, при давлении около 3000 атмосфер (на глубине около 11 километров) содержит до 7 процентов перегретых водяных паров. По мере падения температуры и давления происходит кристаллизация магмы и выделение из нее насыщенных газами (так называемых «газоводных») растворов, богатых различными минеральными веществами. Их химический состав зависит как от состава исходной магмы, так и от пород, в которые внедрилась магма и откуда могут быть заимствованы те или иные элементы. Гидротермальные растворы, связанные с глубинными очагами, назы-

ваются *ювенильными*. Они проникают по трещинам на значительные расстояния от магматического очага, постепенно остывая и отлагая свой «полезный груз». При этом возможны два способа образования рудной массы: непосредственная кристаллизация рудных и жильных минералов в открытых полостях горных пород либо реакции замещения между гидротермами и твердыми породами (рисунок 15). Такие обменные реакции называются *мета-*

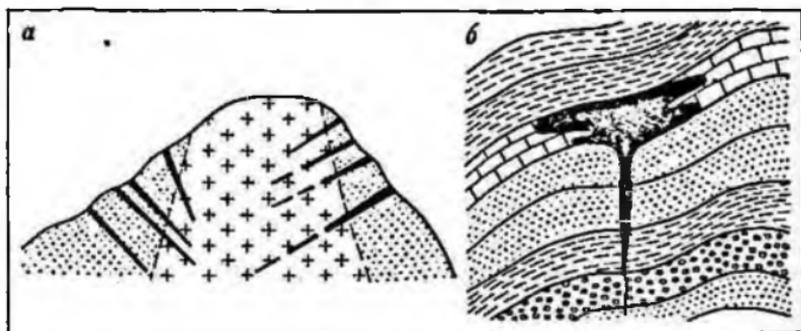


Рисунок 15. Рудные тела гидротермальных месторождений:

а — жилы, связанные с гранитной интрузией; *б* — метасоматическая залежь в пласте известняка

соматозом и заключаются в замене ранее существовавшего минерала новым, без изменения объема участвующих в реакции веществ. Например, если раствор сернокислой меди встретит на своем пути более растворимый сульфид цинка — сфалерит, то последний перейдет в раствор, а вместо него выделится на том же месте сульфид меди.

Гидротермальный процесс, в частности метасоматоз, имеет в природе огромное распространение. С этими явлениями связано большинство месторождений цветных и редких металлов, многие месторождения железа, урана, золота и др. Теория метасоматоза наиболее детально разработана в СССР академиком Д. С. Коржинским.

Своеобразной разновидностью метасоматического процесса является образование *скарнов* — известково-силикатных пород, возникающих в областях

контакта (соприкосновения) магматических интрузивных тел с осадочными породами преимущественно карбонатного состава. Можно сказать, что до внедрения интрузива осадочные породы залегают спокойно и не знают никаких бед, как вдруг на них обрушивается сразу два мощных «удара»: тепловая энергия горячего магматического тела и химическое воздействие гидротермальных растворов, циркулирующих в проницаемой зоне контакта. В результате

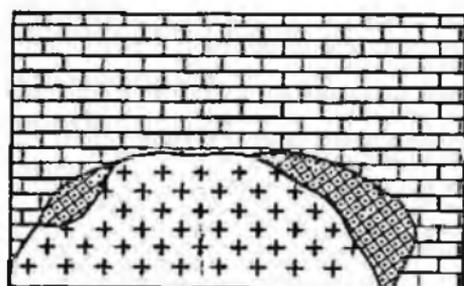


Рисунок 16. Схематический разрез скарнового месторождения.

1 — граниты; 2 — известняки; 3 — рудопосные скарны

происходит сложный контактный и гидротермальный метаморфизм пород, выражающийся в образовании ряда типичных скарновых минералов: граната, эпидота, пироксена, везувиана, скаполита, магнетита и других, в том числе многих рудных (сульфидов). Скарновые месторождения многочисленны и имеют большое промышленное значение, в особенности месторождения железа, меди, кобальта, вольфрама, молибдена, редких земель и урана. На рисунке 16 приведен схематический разрез типичного скарнового месторождения.

При вулканических извержениях вместе с лавой выделяется большое количество газов, в том числе и некоторых минеральных веществ в газообразном состоянии. Когда они остывают, то оседают на стенках кратера и создают накопления серы и борной кислоты. Такой процесс, называемый *сублимацией* и происходящий в воздушной среде, не имеет большого значения для формирования рудных месторождений. Иное дело — подводные вулканические извержения, происходившие на дне древних

морей, да и сейчас имеющие место в некоторых районах мира*.

При подводном вулканизме газообразные продукты извержений (так называемые *эксгаляции*) не рассеиваются в атмосфере, а улавливаются толщей воды и участвуют в химических реакциях образования и осаждения минеральных веществ. Кроме того, в воду поступают из вулканических центров также и гидротермы. В результате происходит процесс

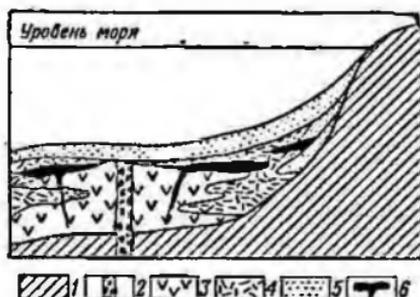


Рисунок 17. Схема вулканогенно-осадочного колчеданного месторождения (по В. И. Смирнову, с упрощением):

1 — дорудные породы континента и морского дна; 2 — жерло подводного вулкана; 3 — лавы; 4 — обломочный материал (пирокластиты); 5 — морские осадки; 6 — залежи колчеданных руд и связанные с ними жилы в трещинах

комбинированного *вулканогенно-осадочного* (называемого еще *эксгаляционно-осадочным*, или *гидротермально-осадочным*) рудообразования, занимающий промежуточное положение между эндогенным и экзогенным процессами: источник рудного вещества здесь глубинный, вулканический, а механизм образования рудных залежей на дне моря осадочный (рисунок 17). Руды этого типа называются *колчеданными*; к ним относятся месторождения меди, свинца, цинка и др. В изучение вулканогенно-осадочных месторождений большой вклад внесли советские ученые А. Н. Заварницкий, В. И. Смирнов, М. Б. Бородаевская, Г. С. Дзоценидзе, В. Н. Котляр и др. Крупные заслуги принадлежат также японским ученым Т. Ватанабе, К. Киношита и др.

Кроме колчеданных месторождений цветных металлов, к вулканогенно-осадочному типу относится довольно широко распространенная группа место-

* Мы имеем в виду действующие вулканы. Что же касается потухших, то, как показали океанографические исследования последних лет, их количество на дне океана чрезвычайно велико.

рожденный железа и марганца. Наиболее известным представителем железорудных (гематитовых) месторождений этого типа является месторождение Лан и Диль в ФРГ; с последним очень сходно Поладаурское гематитовое месторождение в Грузии.

Марганцеворудные (нередко с железом) месторождения вулканогенно-осадочного происхождения известны в Казахстане, Башкирии, Армении, Грузии и во многих других рудных провинциях мира.

До сих пор мы говорили только об эндогенных процессах рудообразования, теперь обратимся и к экзогенным («экзо» означает «снаружи»).

Экзогенные месторождения формируются в приповерхностной зоне земной коры. Их источником являются ранее существовавшие горные породы и минералы, а главным «созидателем» — солнечная энергия. Под действием воды, атмосферы и частично органических агентов происходит разрушение горных пород на мелкие части, так называемое *выветривание*, после чего рудное вещество снова концентрируется, но уже в других формах.

Главные факторы экзогенного рудообразования следующие.

Некоторые эндогенные рудные минералы оказываются устойчивыми при выветривании и не подвергаются никаким изменениям; они лишь переносятся водными потоками или силой тяжести на более или менее значительное расстояние от первоначального места залегания и при благоприятных условиях образуют новые механические накопления — *россыпи*. Последние могут располагаться непосредственно над разрушенными рудными телами и ниже по горному склону (элювиальные и делювиальные россыпи) или же постепенно концентрироваться в речных отложениях (аллювиальные россыпи, рисунок 18).

Важное промышленное значение имеют россыпи золота, платины, титана, тория (в виде минерала монацита), алмазов, иногда и железа (магнетита), олова (касситерита) и вольфрама.

При выветривании *силикатных* горных пород развиваются химические реакции, вследствие которых часть вещества первичных пород переходит в раствор и уносится, а другая часть остается на

месте, но ее состав подвергается определенным изменениям, причем обычно образуются глины. К таким оглиненным продуктам выветривания приурочиваются *остаточные месторождения*, в особенности алюминиевого сырья — латеритов и бокситов, а также ценного керамического сырья — каолина. С корой выветривания горных пород ультраосновного состава (серпентинитов, перидотитов) бывают связаны остаточные месторождения никеля.

Рисунок 18. Схема расположения золотосысых россыпей в долине реки:

1 — коренная золотосысая жила; 2 — элювиальная россыпь; 3 — делювиальная россыпь; 4 — русловая элювиальная россыпь, связанная с показанной на рисунке жилой; 5 — террасовая элювиальная россыпь, не связанная с показанной на рисунке жилой



На поверхности эндогенных *сульфидных месторождений* при выветривании возникают своеобразные остаточные образования, обогащенные гидроокислами железа (продуктами окисления пирита) и выделяющиеся красно-бурым цветом, — так называемые «железные шляпы». Обычно из железных шляп легко уносятся растворимые соединения, что приводит к их обогащению нерастворимыми минеральными веществами. Так, например, в сульфидных месторождениях часто присутствует рассеянное золото, извлекать которое из рядовых руд невыгодно вследствие низкой концентрации. В железных шляпах этих месторождений концентрация золота иногда повышается во много раз и приобретает промышленный интерес.

Нередко заслуживают внимания также «шляпы» марганцевых и свинцово-цинковых месторождений. Если в последних отсутствует пирит, то в зоне окисления развиваются вторичные свинцовые минералы — церуссит и англезит, а шляпы бывают обогащены серебром и золотом.

Инфильтрационные месторождения образуются за счет тех продуктов выветривания горных пород, которые перешли в водный раствор и поступили в

зону циркуляции грунтовых вод. В этом смысле инфильтрационные месторождения могут быть противопоставлены остаточным месторождениям.

Водные растворы «инфильтруются», т. е. просачиваются в поры горных пород, и при благоприятном составе последних отлагают в них свой полезный груз путем химических реакций замещения. К инфильтрационному типу принадлежат обычно небольшие, но иногда ценные в промышленном отношении месторождения железа, марганца, меди, ванадия, урана, фосфоритов и др.

Не правда ли, в этом процессе многое напоминает старую теорию нептунистов, так же как в образовании магматических месторождений есть общее со взглядами плутонистов, а гидротермальных — с идеями М. В. Ломоносова? Такова диалектика природы, явления которой многогранны и несут в себе единство противоположностей. Научное познание природы развивается «по спирали»: старые идеи возрождаются на новом уровне, обогащаясь новыми фактами и приводят к более глубокому раскрытию сущности этих фактов.

Осадочные, или седиментационные, месторождения образуют очень большую и важную группу экзогенных месторождений. Теория их формирования, в разработке которой видная роль принадлежит советским ученым (Н. М. Страхову, Л. В. Пустовалову, М. С. Швецову и др.), весьма сложна и не может быть здесь рассмотрена даже вкратце. Ограничимся беглым изложением сущности процесса.

Осадочные месторождения, как показывает само название, возникают в результате осаждения минерального вещества на дне водных бассейнов — морей, лагун, озер, рек и т. д. Осаждаться могут непосредственно минеральные частицы, сносимые с окружающей водоемы суши. Тогда это будут механические осадки, примером которых служат уже упоминавшиеся россыпи. Однако в гораздо больших масштабах происходят химические и биохимические (т. е. протекающие при участии микроорганизмов) процессы осаждения рудных и нерудных минералов из стекающих с суши поверхностных водных растворов, истинных или коллоидных. Такие

растворы резко отличаются от гидротерм низким давлением, равным атмосферному, и температурой, обычно не превышающей 20—30°С. Концентрация полезных веществ, особенно металлов, в поверхностных растворах очень мала, но зато количество этих растворов настолько велико, что они приносят в бассейны осадконакопления громадные массы солей и коллоидных зелей. Например, подсчитано, что в Мировой океан ежегодно поступает около 3 мил-

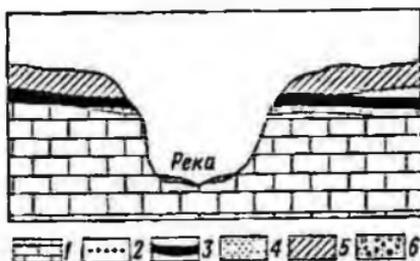


Рисунок 19. Схематический разрез осадочного месторождения: 1 — известняки; 2 — подрудные песчаники; 3 — пласт марганцевой руды; 4 — надрудные песчаники; 5 — глины и пески; 6 — речные отложения

лиардов тонн легкорастворимых солей! Концентрация железа в речных водах ничтожна — 0,003 грамма на литр, но река, равная Амазонке, может вынести примерно 2 миллиарда тонн железа за 200 тысяч лет.

Минеральные вещества, поступившие в морские бассейны, выпадают в осадок под действием различных физических и химических факторов: солености воды, ее температуры и окислительного потенциала, жизнедеятельности бактерий и др. Во всех случаях первостепенная роль принадлежит климатическим факторам, с позиций которых на Земле выделяются *аридные* засушливые зоны и *гумидные* зоны с избыточной влажностью. Осадконакопление в этих зонах существенно различно. Для аридных зон характерно интенсивное выпаривание воды и повышение солености замкнутых водоемов; в таких условиях образуются месторождения минеральных солей, гипса и доломита. В гумидных зонах формируются месторождения каменного угля, марганца и железа.

Осадочные месторождения, как правило, имеют пластообразную или линзообразную форму и очень большие размеры: протяженность пластов достигает десятков и даже сотен километров (рисунок 19).

Из рудных наиболее важны осадочные месторождения железа, марганца, алюминия и урана.

Таковы в общих чертах важнейшие положения теории рудобразования. Теперь следует несколько подробнее остановиться на некоторых ее деталях.

«ГЛУБИНА ОЧАГОВ» И «МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ ТЕРМОМЕТР» ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Эндегенные месторождения в большинстве случаев связаны с очагами *магмы* — расплавленной огненной массы очень сложного состава, которая образуется как в мантии, так и в нижней части литосферы. Причины и механизм образования магмы до сих пор полностью не выяснены, так как непосредственно наблюдать эти процессы невозможно. Предполагается, что существуют магмы двух типов: *базальтоидная*, связанная с плавлением вещества верхней мантии на глубине 100—150 километров от поверхности Земли, и *гранитоидная*, очаги которой располагаются в земной коре на глубинах 15—20 километров и даже меньше.

Развитие внутрикорковых магматических очагов тесно связано с тектоническими движениями, в силу чего наблюдается закономерная приуроченность эпох интенсивного гранитообразования к эпохам тектогенеза. Некоторые исследователи склонны рассматривать магматические очаги как прямой результат относительных подвижек блоков земной коры: подумайте только, какие колоссальные давления и температуры должны возникать при трении друг о друга «кусочков» массой в сотни миллиардов тонн! Во всяком случае, магматизм особенно энергично и полно проявляется в подвижных поясах земной коры — геосинклинальных областях и зонах тектонической активизации платформ. Характерные для подвижных поясов разломы проникают на очень большую глубину и служат путями воздействия энергии верхней мантии на кору: по ним восходят мощные тепловые потоки, способствующие плавлению коры, а также внедряется базальтоидная магма. Для гранитоидной магмы выходными каналами

к верхним горизонтам земной коры тоже служат разломы, но менее глубокого заложения.

При застывании и кристаллизации магмы происходят определенные изменения ее состава, называемые дифференциацией; с другой стороны, магма может заимствовать (ассимилировать) те или иные вещества из горных пород, в которые она внедрилась. В результате различных сочетаний процессов дифференциации и ассимиляции из двух типов первичных магм (базальтоидной и гранитоидной) образуется пестрая гамма магматических или изверженных горных пород. Их подразделяют на *интрузивные* (граниты, сyenиты, габбро, перидотиты и др.), раскристаллизовавшиеся не доходя до земной поверхности, и *эффузивные*, или *излившиеся* (лавы), которые сформировались на земной поверхности или очень близко от нее (базальты, андезиты, липариты, дациты и др.). Интрузивные породы характеризуются кристаллической структурой, а в составе эффузивных пород главную роль играет аморфная силикатная масса — вулканическое стекло.

Поскольку магматические породы могут образовываться на разных глубинах от земной поверхности, то различна и глубина возникновения магматогенных месторождений. Выделяют четыре глубинные зоны формирования рудных полезных ископаемых: ультраабиссальную, абиссальную, гипабиссальную и приповерхностную (рисунок 20).

Ультраабиссальная зона наиболее глубинная. Ее верхняя граница находится примерно в 10—15 километрах от поверхности земли, а вниз она тянется до самой мантии, т. е. до раздела Мохоровичича. Об этой зоне дают некоторое представление выходы древнейших глубокометаморфизованных пород, а также геофизические исследования.

Ультраабиссальная зона бедна полезными ископаемыми. В ней встречаются метаморфогенные месторождения рутила, корунда, графита и некоторые другие.

Абиссальная зона располагается непосредственно над ультраабиссальной и имеет условную верхнюю границу на глубине 3—5 километров от земной поверхности. Для нее особенно характерны интрузии

гранитов внутренних частей геосинклиналей, образовавшиеся в главную стадию складчатости. С ними ассоциируют многие месторождения редких металлов.

К верхней части абиссальной зоны приурочены ультраосновные интрузивные породы ранней стадии геосинклинального развития, несущие магматические месторождения хрома, титаномагнетита и платины. Кроме того, в верхах абиссальной зоны распола-

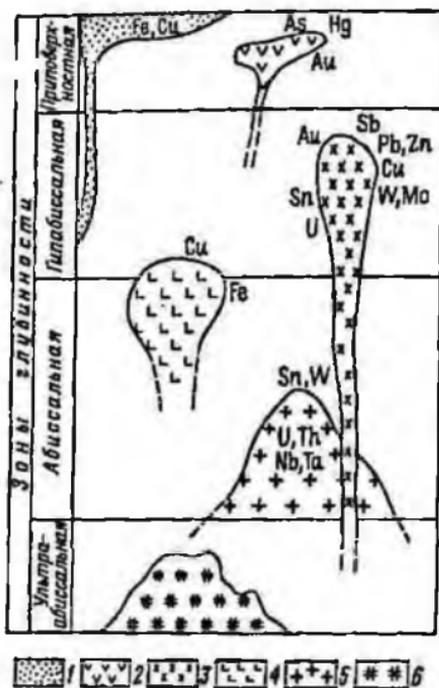


Рисунок 20. Схема размещения магматических пород и типовых рудных месторождений по зонам глубинности (по В. И. Смирнову, с упрощением):

1 — подводные эффузивы; 2 — субвулканические интрузии; 3 — малые интрузии гранитоидов; 4 — умеренно-кислые граниты; 5 — граниты; 6 — безрудные «палайогенные» граниты

гаются умеренно-кислые гранитоиды, с которыми связаны скарновые и гидротермальные месторождения цветных, редких металлов и золота. Как видно, рассматриваемая зона очень богата. Относящиеся к ней месторождения отличаются простым минеральным составом и преобладанием кристаллических структур руд.

Гипоабиссальная зона находится выше абиссальной на глубинах от 1—1,5 до 3—3,5 километра от земной поверхности. В этой зоне формируются интрузии разнообразного (как говорят, «пестрого»)

состава, с которыми связан ряд крупных месторождений железа, меди, свинца и цинка, золота и других металлов. Минеральный состав месторождений сложен, а распределение полезных компонентов в руде отличается большой неравномерностью.

Приповерхностная зона, как явствует из названия, начинается от самой поверхности земли и продолжается до глубины не более 1—1,5 километра, переходя глубже в гипабиссальную зону. Магматизм в приповерхностной зоне представлен в основном продуктами вулканических извержений — лавами, образующими при остывании покровы эффузивных пород, а также обломочным материалом, объединяемым под собирательным названием туфы. Кроме того, в областях активного вулканизма всегда присутствуют магматические тела, застывшие в жерлах и подводящих каналах вулканов, их называют *экструзиями*. Эффузии и экструзии обычно формируются на глубине не более 0,5 километра. Несколько глубже располагаются своеобразные интрузивные породы, генетически связанные с вулканическими очагами и родственные лавам по химическому составу, но имеющие кристаллическую структуру (однако не полнокристаллическую, как настоящие глубинные интрузии). Такие образования называются *субвулканическими интрузиями*; они играют важную металлогеническую роль.

В геосинклинальных областях в приповерхностной зоне формируются на ранней стадии развития вулканогенно-осадочные месторождения цветных металлов, железа и марганца, а на поздней стадии — гидротермальные и телетермальные месторождения золота, серебра, олова, ртути, барита.

В платформенных областях с рассматриваемой зоной связываются некоторые эндогенные месторождения железных и медных руд. В приповерхностной зоне формируются также все экзогенные месторождения.

Общезвестна тенденция повышения температуры по мере продвижения в глубину Земли. Принято считать, что изменение температуры (так называемый геотермический градиент) составляет в среднем 3°С на каждые 100 метров; следовательно, на

глубине 10 километров температура горных пород должна быть около 300°C . Однако исследования последних лет показали неточность таких расчетов и большое непостоянство геотермического градиента, зависящего от очагов местного разогревания земной коры. Во всяком случае, температура и давление наиболее велики в ультраабиссальной зоне и наименьшие — в приповерхностной. Непосредственная же температура рудообразования зависит главным образом от генетического типа месторождения и его связи с магматическим очагом. Необходимо иметь в виду, что в недрах Земли существует огромное давление в сотни и тысячи килограммов на квадратный сантиметр, а потому вода гидротермальных растворов может быть нагрета до критической температуры (374°C). При более высоких температурах растворы переходят в очень сложное состояние, промежуточное между газовым и жидким, называемое надкритическим.

Еще в начале текущего столетия американский ученый Линдгрэн разделил гидротермальные месторождения на три большие группы: гипотермальные, мезотермальные и эпитермальные. Согласно Линдгрэну, *гипотермальные* месторождения образуются на больших глубинах при очень высоком давлении и высоких температурах ($500\text{—}300^{\circ}\text{C}$). *Мезотермальные* месторождения формируются на средней глубине при высоком давлении и средних температурах ($300\text{—}200^{\circ}\text{C}$); *эпитермальные* — в приповерхностной зоне при среднем давлении и низкой температуре ($200\text{—}50^{\circ}\text{C}$). Эта классификация долго была весьма популярной и входила во все учебники по полезным ископаемым, поэтому упомянутые термины и сейчас еще можно встретить в геологических отчетах, статьях и т. д. Однако постепенно выяснилось, что предложенная Линдгрэном группировка месторождений отражает только температуру, но фактически почти не учитывает глубину и давление при рудообразовании. Так, например, на Кавказе существуют редкометальные и мышьяковые месторождения, возникшие на небольшой глубине, но при высокой температуре; их нельзя отнести ни к одной из вышеперечисленных групп. Или, наоборот,

известны свинцово-цинковые месторождения, образовавшиеся в условиях низкой температуры, но довольно значительной глубины (долина Миссисипи в США). Поэтому в настоящее время предпочитают не пользоваться терминологией Линдгрена, а подразделяют месторождения на группы глубинности (малых, умеренных и значительных глубин), а внутри каждой группы выделяют относительно более высокотемпературные и низкотемпературные образования.

Вслед за академиком С. С. Смирновым, впервые выступившим с обоснованной критикой концепции Линдгрена, ряд советских геологов придерживается выделения шести групп месторождений: глубинных высоко-, средне- и низкотемпературных и близповерхностных, также высоко-, средне- и низкотемпературных. Полезно знать некоторые характерные сочетания минералов (так называемые парагенезисы), образующихся при высоких, средних и низких температурах.

Высокотемпературный парагенезис — магнетит, гематит, пирротин, касситерит, вольфрамит, молибденит, топаз, гранат и флогопит.

Среднетемпературный парагенезис — халькопирит, галенит, сфалерит, тетраэдрит, барит, кальцит и доломит.

Низкотемпературный парагенезис — антимонит, киноварь, аурипигмент, реальгар, аргентит, самородное серебро, теллуриды золота и серебра, халцедон и опал.

Какой-нибудь отдельно встреченный минерал еще мало говорит о температуре формирования всего месторождения, но совместное нахождение нескольких минералов из указанных парагенезисов — это уже довольно точный «минералогический термометр».

ГЛАВНЫЕ ЧЕРТЫ КЛАССИФИКАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Трудно бродить по темному лабиринту, но, пожалуй, еще хуже, когда впереди все время мелькает огонек, но никак не удается до него добраться. Ав-

торам давно хочется закончить теоретическую часть наших бесед и перейти к практической части — «как искать?», но каждый рассмотренный вопрос влечет за собой все новые и новые вопросы, не менее важные. Однако мы все же преодолели несколько барьеров теории рудообразования (конечно, лишь в самых общих чертах!) и теперь уже можно подвести определенные итоги, заключающиеся в общей схеме классификации рудных месторождений.

Читатель видел, какое большое количество разнообразных природных факторов обуславливает формирование и минеральный состав месторождений. Отсюда можно понять, насколько трудной задачей является генетическая классификация, учитывающая все главнейшие факторы рудообразования.

Достаточно сказать, что со времен Ломоносова до наших дней многими исследователями были предложены десятки схем классификации месторождений, но ни одна из них не оказалась общепринятой и окончательной. Разумеется, это не надо понимать так, будто каждая новая схема начисто отменяет все предыдущие и предлагает нечто совершенно иное. Нет, многие принципы генетической систематики полезных ископаемых уже твердо установились и по существу сохраняются во всех схемах, но есть и немало дискуссионных положений, трактуемых по-разному.

Мы приведем одну из новейших классификаций, опубликованную в 1970 году советским ученым профессором В. Н. Котляром. Она близка к несколько более ранней классификации академика В. И. Смирнова.

Все природное многообразие рудных месторождений подразделяется на классы и серии, выделяемые по основным процессам, обуславливающим накопление минерального вещества и образование руд. Серии, в свою очередь, делятся на генетические группы месторождений и рудные формации с учетом всех геологических факторов (магматических, тектонических, литологических и других), влияющих на позицию месторождений, особенности их состава, связь с вмещающими породами и т. д.

В главных чертах классификация В. Н. Котляра может быть представлена в следующем виде:

Класс I. Магматогенные месторождения

1. Серия магматических месторождений
2. Серия пегматитовых месторождений
3. Серия постмагматических месторождений:
 - а) плутогенные месторождения (связанные с глубинным магматизмом):
скарновые (контактно-метасоматические)
альбититовые (высокотемпературные пневматолито-гидротермальные)
гидротермальные плутогенные
телетермальные (не имеющие ясной связи с магматизмом);
 - б) вулканогенные месторождения:
глубинно-вулканические (карбонатитовые, скарноидные и др.)
гидротермальные субвулканические,
вулканические гейзеритовые низкотемпературные

Класс II. Экзогенные месторождения

1. Серия месторождений зоны гипергенеза:
остаточные коры выветривания
инфильтрационные
2. Серия осадочных месторождений:
механические (россыпи)
хемогенные и биогенные
вулканогенно-осадочные

Класс III. Метаморфогенные месторождения

1. Серия метаморфизованных (измененных процессами метаморфизма) месторождений
2. Серия метаморфических (образовавшихся в результате процессов метаморфизма) месторождений.

Некоторые сведения о подразделении генетических групп месторождений на рудные формации приводятся в следующем разделе.

Металлогения — сравнительно молодая ветвь учения о рудных месторождениях, рассматривающая закономерности формирования руд в процессе развития земной коры и условия размещения различных по составу и генезису месторождений в определенных тектонических структурах.

Можно сказать, что металлогения дает «постоянную прописку» месторождениям в огромных зданиях континентов, где этажами служат рассмотренные глубинные зоны рудообразования, а квартирами — благоприятные для «расселения» месторождений структурные зоны (см. ниже). Ну, а ключами к квартирам являются знания тех основ, на которых базируется металлогения.

Вам хорошо известно, что земной шар «стоит на трех китах» (кто не верит, пусть заглянет в труды древних географов). Подобно этому, теоретический фундамент металлогении также опирается на «трех китов», а точнее на три отрасли геологических наук:

геотектонику, в частности теорию геосинклиналей;

петрологию, в особенности учение о магматизме и метаморфизме, помогающее установить генетический источник эндогенного оруденения;

теорию рудообразования.

Подробно познакомиться с этими «китами» в популярной книжке так же невозможно, как невозможно поймать настоящего кита на удочку. Однако краткое знакомство уже состоялось в предыдущих разделах, что и позволяет продолжить рассказ.

Различают *теоретическую металлогению*, изучающую общие закономерности размещения рудных месторождений, принципы анализа и систематики этих явлений, и *региональную металлогению*, занимающуюся изучением рудоносности конкретных территорий в тесной взаимосвязи с историей геологического развития и магматизмом.

Важнейшим методом металлогенических исследований служит *формационный анализ*, особенно де-

тально разработанный ведущими советскими металлогенистами, имена которых мы уже называли. Чтобы понять сущность этого метода, необходимо прежде всего знать, что такое формация, не правда ли? Но, оказывается, объяснить это не просто. А ведь «возраст» данного термина весьма солидный, он был введен в геологическую литературу еще в XVIII веке, однако настолько неодинаково понимался разными авторами, что сравнительно недавно некоторые ученые предлагали совершенно изъять из употребления термин «формация» как слишком неопределенный и произвольно трактуемый. Тем не менее «формация» не только удержалась в геологической науке, но за последние годы заняла в ней господствующие позиции. Приутихли и споры о сохранении термина, так как взгляды исследователей в этом отношении весьма сблизились, хотя еще остаются дискуссионные положения.

Слово «формация» имеет латинский корень и буквально означает «образование». Общеизвестно применение его в общественных науках, например, феодальная или капиталистическая формация и т. д.

Под *геологической формацией* в наиболее общем случае целесообразно понимать природную ассоциацию однородных по происхождению и составу образований (осадочных или магматических пород, рудных месторождений), закономерно возникающих на однозначных стадиях циклического развития земной коры.

Мы уже знаем о тектонических циклах развития подвижных поясов Земли, главных этапах (геосинклинальном, орогенном) и стадиях (ранней, поздней) этих циклов. Сущность приведенного выше определения заключается в том, что, например, на раннегеосинклинальной стадии любого цикла в любом районе образуется практически одинаковая ассоциация пород. В сланцевых геосинклиналях это будут глинистые сланцы, песчаники, аргиллиты, объединяемые под названием *аснидной формации*. В вулканогенных геосинклиналях аналогичная по позиции ассоциация пород будет иной по составу: это продукты подводных извержений (порфириты) и их обломочный, туфовый материал. Такую ассоциа-

цию называют *туфо-порфиритовой* формацией. Значит, где бы геологу ни встретились породы аспидной или туфо-порфиритовой формаций, он вправе сделать вывод, что в этом районе некогда существовала геосинклиналь, и названные формации образовались непременно на ранней стадии ее развития. Когда именно это происходило — другой вопрос, решаемый иными методами. Очень важно хорошо понять, что в определенные формации *не входит* геологическое время ее возникновения, т. е. одинаковые формации образуются в разные эпохи, но в однозначные стадии.

В приведенном примере мы выбрали раннегеосинклинальную стадию. Естественно, что для других стадий характерны другие типы формаций (смотри таблицу 10).

Рудной формацией называется группа рудных месторождений, сходных по генезису и составу и образовавшихся в определенных геологических условиях, под которыми подразумеваются типы структурно-формационных зон и стадии их развития. Например, медноколчеданные месторождения известны во многих районах мира — в Испании, Японии, СССР (на Урале, Алтае, Кавказе и т. д.), причем возраст их колеблется в широких пределах, от палеозойского до палеогенового. Однако все эти месторождения принадлежат к одной медноколчеданной формации независимо от возраста и района. В то же время другие типы медных месторождений, скажем, жильные медно-полиметаллические или залежи медистых песчаников, относятся уже к другим рудным формациям, поскольку образовались в иной геологической обстановке.

Могут спросить, сколько же всего рудных формаций* известно на земном шаре? Ответить на этот вопрос трудно, поскольку разные исследователи неодинаково подходят к выделению типичных формаций. Некоторые считают необходимым даже сравнительно незначительное изменение минерального состава месторождений рассматривать как само-

* Конечно, подразумевается количество формационных типов, а не число объединяемых в них месторождений.

стоятельную формацию, тогда количество формационных типов достигает 300—400. Другие склонны к более обобщенному пониманию формационных типов, выделяя их по ведущему металлу и главному минеральному парагенезису. При таком подходе, который авторы считают более правильным, все многообразие рудных месторождений можно сгруппировать примерно в 75—100 типичных рудных формаций, а в отдельных регионах и того меньше. Например, даже в такой сложной рудоносной области, как Кавказ, в новейших работах по металлогении выделяется приблизительно 40 рудных формаций.

Важнейшим выводом теоретической металлогении является установление того факта, что рудные месторождения образуются не где придется и когда попало, а лишь в металлогенические эпохи на конкретных рудоносных площадях, обладающих определенной спецификой.

Металлогенические эпохи выделяются в рамках соответствующих тектоно-магматических циклов (смотри выше) и носят такие же названия — байкальская, каледонская, герцинская, киммерийская и альпийская. Но рудообразование происходит не непрерывно в течение всей эпохи, а стадийно, причем стадия, связанная с геосинклинальным прогибанием, длится значительно больше, чем раннеорогенная или позднеорогенная, когда рудообразование приурочивается к сравнительно коротким интервалам времени внедрения магматических тел. Но и эти «короткие» интервалы длятся миллионы лет! Интересно отметить, что само внедрение интрузий происходит в геологическом смысле быстро, в течение тысячелетий, но очень затягивается их остывание и постмагматическая деятельность — выделение гидротермальных растворов.

Взаимосвязь геологических и рудных эндогенных формаций со стадиями металлогенических эпох приведена в таблице II.

Металлогенические эпохи проявлялись в разных частях земного шара с неодинаковой интенсивностью. Кроме того, у каждой из них есть свои «излюбленные» рудные формации, что объясняется пре-

Таблица 11

Стадии металлогенических эпох и связанные с ними
важнейшие геологические и рудные формации

Этапы	Стадии	Геологические формации	Рудные формации
Геосин- кли- нальный	Ран- няя	Аспидная и туфо- порфирировая Интрузии перидоти- тов и габбро	Медно- и сернокол- чеданная Хромитовая, титано- магнетитовая, платино- идная
	Позд- няя	Интрузии умеренно кислых гранитоидов Габбро - диорит - сне- нитовые комплексы ин- трузий	Скарновая с желе- зом, медью, вольфра- мом Медно-полиметалли- ческая
Ороген- ный	Ран- няя	Гранитоидные интрузии (внедрившиеся в главную фазу складчатости)	Редкометалльно - пег- матитовая Медно-молибденовая Золото-сульфидная Урановая Оловянно-вольфрамо- вая и др.
	Позд- няя	Малые интрузии «пестрого» состава (гранит-порфиры, ли- париты, дациты и др.)	Мышьяковая Ртутно-сурьмяно- вольфрамовая Золото-серебряная и др.

обладающим развитием тех или иных стадий рудообразования. Поясним это некоторыми примерами.

Докембрий характеризуется исключительным развитием двух металлов — железа и золота, месторождения которых располагаются на щитах древнейших платформ. Таковы метаморфизованные железорудные месторождения Кривого Рога и Курской магнитной аномалии, Кольского полуострова, Бразилии, района Верхнего озера и другие, а также месторождения золота в СССР (Сибирь), Индии, Канаде и Африке.

Большую промышленную роль играют древние геосинклинальные гидротермальные месторождения

урана (Конго, Канада), никеля, кобальта и серебра (Канада) и ряд других.

Каледонская металлогеническая эпоха тоже довольно богата железом, но в отношении других металлов этого сказать нельзя, за исключением медно-никелевых руд.

Герцинская металлогеническая эпоха очень щедро проявилась на территории СССР и Западной Европы и гораздо скромнее в Америке. Для нее характерны многочисленные месторождения меди (СССР — Казахстан, Кавказ, Урал; Англия, Испания), свинца и цинка (СССР — Алтай, Салаир, Казахстан; Центральная Европа), хрома и платины (Урал), золота (СССР — Урал; Австралия), железа (Южный Урал) и другие. Они группируются в несколько типичных рудных формаций преимущественно геосинклинальных типов.

Киммерийская (мезозойская) металлогеническая эпоха связана только с подвижными поясами. Она характеризуется образованием месторождений золота (СССР — Сибирь; Аляска, Калифорния), свинца, цинка, и серебра (Тихоокеанский пояс), олова (СССР), барита (Закавказье), меди (Большой Кавказ) и т. д.

Альпийская (мезо-кайнозойская) металлогеническая эпоха также связана с подвижными поясами — геосинклиналями и областями активизации. Для нее характерно медно-молибденовое оруденение (СССР, Американские Кордильеры), медное (Чили, США), серебряное (Перу, Боливия), оловянное (Боливия, СССР), ртутное (Средняя Азия, Кавказ) и др. Среди экзогенных месторождений альпийской эпохи особенно важная роль принадлежит марганцу (Никополь, Чиатура).

Подробный анализ металлогенических эпох дает возможность в каждом рудном районе выделить интервалы геохронологической шкалы, наиболее насыщенные рудообразованием, а следовательно, и направить поиски туда, где развиты соответствующие этим интервалам геологические формации.

Теперь коснемся вопроса о пространственных закономерностях металлогеники. Давно была подмечена неравномерность распространения рудных место-

рождений на Земле. В горных районах, как, например, Карпаты, Балканы, Урал, Алтай, Кавказ и многие другие, месторождения очень часто обнажаются на склонах и легко доступны для разработки. Недаром в названных районах еще в древние времена производилась добыча руд. Наоборот, на больших равнинах, как Кубань, средняя полоса России, Западная Сибирь и другие, рудные месторождения совсем не встречаются или залегают на значительной глубине.

Теперь мы легко можем объяснить это важное явление, так как знаем взаимосвязь рудообразования и рельефа с историей геологического развития земной коры. Складчатые горы располагаются на местах замкнувшихся геосинклиналей, где распространены типичные рудные формации геосинклинального и орогенного этапов (смотри таблицу 11), из которых одни образовались вблизи земной поверхности, а другие, более глубинные, обнажены в результате интенсивного размыва гор.

На платформах, наоборот, рудные формации погребены под мощными толщами более молодых (чем месторождения) осадочных пород; да и сами рудные формации менее разнообразны и слабее развиты, чем в геосинклиналях (за исключением огромных площадей железистых кварцитов).

Таким образом, в планетарном масштабе наиболее крупными единицами с различной металлогенией следует считать устойчивые структуры (платформы, щиты, плиты) и подвижные пояса (геосинклинали и области активизации).

Примерами планетарных металлогенических поясов служат:

Тихоокеанский пояс, охватывающий западное и восточное побережья Тихого океана, в частности северо-восток азиатской части СССР и Японию. Его суммарное протяжение превышает 30 тысяч километров;

Средиземноморский пояс, протягивающийся на 16 тысяч километров от Испании через Балкапы, Малую Азию, Кавказ, Гималаи до Малайского архипелага, где он смыкается с Тихоокеанским поясом;

Урало-Азиатский пояс длиной около 3 тысяч километров охватывающий Урал, Северный Казахстан и Алтай.

Металлогенические пояса подразделяются на более мелкие единицы — металлогенические, или рудные, провинции, выделяемые по тектоническим признакам и характерным особенностям металлогении.

Согласно И. Г. Магакьяну (1969), на территории СССР выделяется несколько типов рудных провинций (рисунок 21).

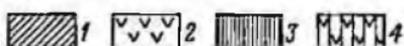
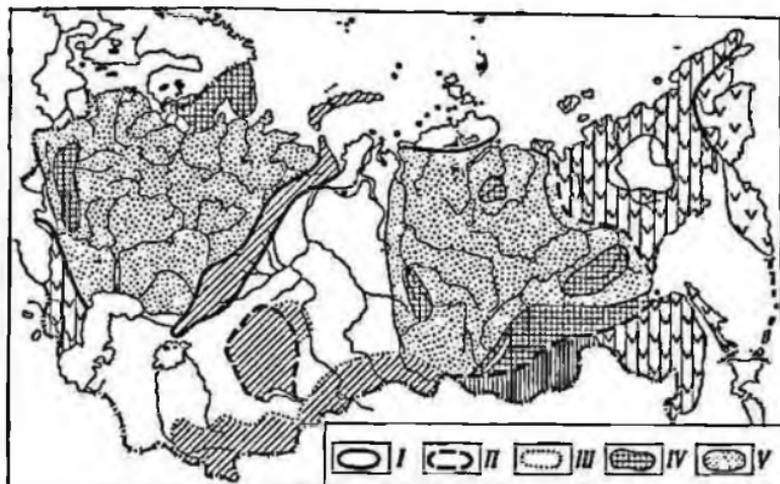


Рисунок 21. Главные рудные провинции СССР (по И. Г. Магакьяну)
Границы рудных провинций: I — кавказско-уральского типа; II — забайкальского типа; III — среднеазиатского типа; IV — докембрийских массивов; V — платформенных чехлов.

Возраст металлогении: 1 — палеозойский (герцинский и каледонский); 2 — альпийский; 3 — киммерийский; 4 — мезо-кайнозойский (киммерийский и альпийский)

Рудные провинции в пределах геосинклинальных областей.

1. Кавказский или уральский тип с интенсивным проявлением металлогении геосинклинального и орогенного этапов (Кавказ, Урал, Камчатка).

2. Забайкальский тип с интенсивным проявлением металлогении орогенного этапа при почти полном выпадении геосинклинального (Забайкалье, Дальний Восток, Северо-Восток, Центральный Казахстан).

3. Среднеазнатский тип с преобладающим проявлением раннеорогенной металлогении, но наличием и других стадий (Средняя Азия, Алтае-Саянская область, Северо-Восточный Казахстан).

Рудные провинции в пределах щитов и платформ.

4. Балтийский тип, включающий восточную часть Балтийского щита, Украинский щит, Алдан и Енисейский кряж.

5. Сибирский тип с рудными провинциями в пределах Сибирской и Русской платформ.

Рудные провинции подразделяются на *металлогенические зоны*, которые соответствуют благоприятным для образования месторождений тектоническим структурам с характерными для них комплексами геологических формаций. Такие природные сочетания элементов тектоники с горными породами называют структурно-формационными зонами. Следовательно, металлогенические зоны представляют собой рудоносные структурно-формационные зоны. Среди разных типов последних благоприятными в металлогеническом отношении являются:

1) эвгеосинклинальные прогибы, заполненные вулканогенно-осадочными формациями, вмещающими колчеданное оруденение;

2) узкие зоны глубинных разломов ранней стадии развития с ультраосновными интрузиями — так называемые офиолитовые пояса — с типичными месторождениями хромита и платины;

3) относительные геоантиклинальные поднятия с интрузиями габбро-диорит-сиенитовой магматической формации и приуроченными к ним месторождениями скарно-магнетитовой, медно-полиметаллической и других рудных формаций;

4) геоантиклинальные поднятия с раннеорогенными гранитоидными интрузиями, для которых особенно характерны редкометально-пегматитовая, олово-вольфрамовая и медно-молибденовая рудные формации;

5) жесткие «рамы» геосинклиналей, под которыми подразумеваются края платформы, где была заложена геосинклиналь, а также сохранившиеся внутри геосинклинальной области крупные выступы

древнего фундамента — так называемые срединные массивы. На эти жесткие устойчивые структуры обычно накладывается оруденение, характерное для смежных геосинклинальных прогибов. Кроме того, иногда в пределах срединных массивов сохраняется более раннее, чем геосинклиналь, платформенное оруденение, испытывающее в процессе геосинклинального цикла сильный метаморфизм;

б) позднеорогенные зоны глубинных разломов в молодых горных поднятиях, где концентрируются малые интрузии пестрого состава и связанные с ними месторождения ряда рудных формаций; главным образом ртутно-сурьмяно-мышьяковой и золото-рудной.

Из сказанного можно заключить, что оконтуривание типичных металлогенических зон имеет большое практическое значение для направления поисков определенных месторождений.

Металлогенические зоны в свою очередь подразделяются на еще более мелкие рудоносные площади — рудные районы и рудные поля.

Рудные районы в тектоническом смысле представляют собой определенные элементы структурно-формационных зон (частные поднятия, прогибы и т. д.), а в металлогеническом характеризуются преимущественным развитием месторождений одной или нескольких связанных в генетическом и возрастном отношении рудных формаций. Иногда выделяются рудные районы с различными и резко разновозрастными формациями, пространственная взаимосвязь которых имеет историко-геологические причины. Например, для рудных районов Большого Кавказа характерно положение позднеальпийских редкометалльно-мышьяковых и ртутных месторождений на юрское медно-пирротинное и колчеданно-полиметаллическое оруденение, что объясняется активацией области завершенной мезозойской складчатости.

Рудные районы занимают площади в сотни и первые тысячи квадратных километров, разделяемые относительно безрудными пространствами. Более мелкие площади развития сближенных месторождений иногда называют *рудными узлами*.

Рудные поля выделяются внутри рудных районов и, как правило, объединяют несколько сближенных месторождений одной рудной формации, подчиняющихся единым факторам структурного контроля, например, приуроченных к одному глубинному разлому или контактной зоне одного интрузива и т. д.

Наконец, самыми мелкими единицами металлогенического анализа являются отдельные месторождения и рудопроявления.

Итак, двигаясь от более крупных металлогенических подразделений к более мелким, можно точно найти «адрес» заданного типа месторождения, как почтальон находит квартиру требуемого лица. Но ведь случается, что письмо не доставляют «за ненахождением адресата». Значит, надо не только знать, где целесообразно искать то или иное оруденение, но и уметь его обнаружить. Этому мы посвящаем следующую нашу беседу.



КАК ИСКАТЬ ?

ПУТИ ПОИСКА И РАЗВЕДКИ ЗЕМНЫХ КЛАДОВ

Мы часто пользовались в этой книге полушутливой аналогией между рудными месторождениями и закопанными в землю кладами. Однако, когда речь пойдет о современной организации геологопоисковых работ, аналогии приходит конец. Любители старых приключенческих романов и рассказов хорошо помнят, с чего начинаются похождения кладоискателей. Вот в руки смелых людей попадает карта пиратского капитана Флинта, где крестиками отмечены зарытые на необитаемом острове сокровища («Остров сокровищ» Р. Л. Стивенсона)... На случайно нагретом клочке пергамента проступает надпись, указывающая, в каком месте надо искать сундук с деньгами («Золотой жук» Э. По)... Ловкий мошенник узнает слова старинного обряда аристократической семьи Мэсгрейвов, и только Шерлок Холмс догадывается, что в этих бессвязных словах зашифровано указание о спрятанной короне английских королей («Мэсгрей-

вский обряд» А. Конан-Дойля). Так или иначе, ключ получен — и любители быстрого обогащения на свой риск приступают к поискам.

Разумеется, в такой «организации труда» нет ничего общего с современной практикой научно обоснованных поисков полезных ископаемых. Геолого-поисковые работы являются лишь одним из звеньев сложной и многообразной геологической службы, возглавляемой в нашей стране Министерством геологии СССР.

Следует заметить, что понятия «поиски» и «разведка» в геологии совершенно различны, хотя неспециалисты иногда их считают синонимами.

Из предыдущих глав читатель знает о тесной взаимосвязи рудных месторождений со структурами земной коры и этапами тектоно-магматических циклов. Следовательно, изучение геологического строения местности обязательно должно предшествовать поискам, а для этого необходима геологическая съемка соответствующей территории.

Региональная (т. е. всеобщая, охватывающая все вопросы геологического строения) *геологическая съемка* есть тот краеугольный камень, на котором базируются любые другие виды геологических работ.

В результате съемок составляют геологические карты (подробнее о них говорится ниже), несущие информацию о всех отмечаемых в данном масштабе особенностях стратиграфии, тектоники, магматизма и рудоносности картируемой территории.

Первый этап поисков выполняется одновременно со съемкой, но он еще предварительный, имеющий целью выявление участков с благоприятными поисковыми критериями и фиксацию поисковых признаков (смотри ниже). Геолог-съемщик наносит на карту все обнаруженные точки минерализации и выходы рудных тел, но в его задачу не входит решение вопроса о масштабах оруденения, т. е. о том, что представляют собой выявленные тела — рудопроявления или месторождения (смотри раздел «Что искать?»).

Следующий этап работ — *специальные поиски*, которые проводятся соответствующими партиями на

основе имеющихся геологических карт. Нередко в процессе поисков карты пополняются новыми данными и уточняются.

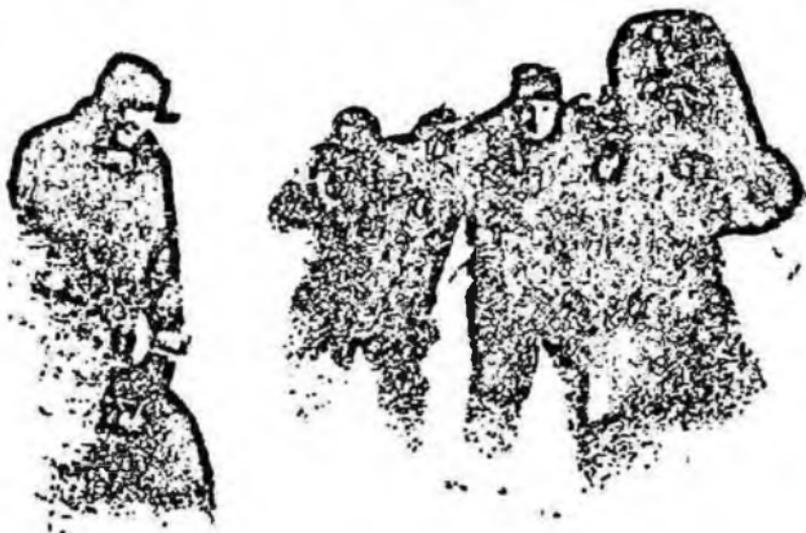
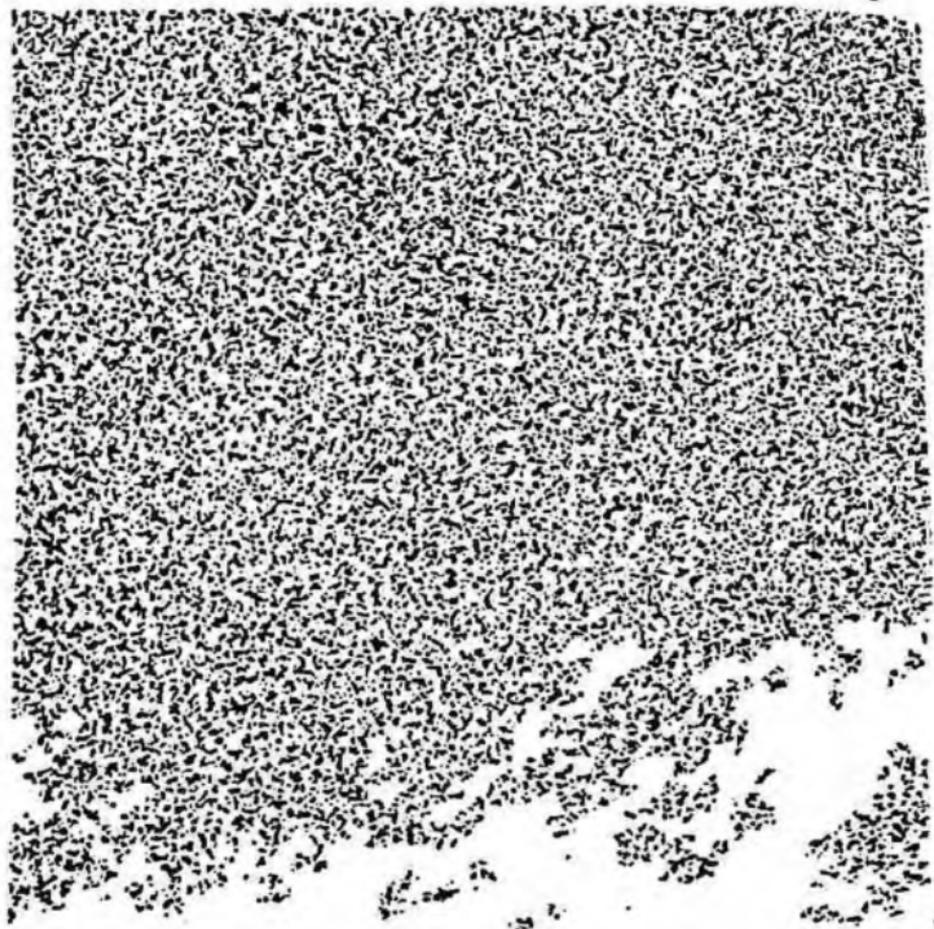
Авторам не раз приходилось слышать наивное мнение о том, что будто бы геолог берет молоток, ружье, палатку и отправляется в горы или в тайгу просто так, куда глаза глядят — «авось, что-нибудь да найду!». Считаю нужным еще раз подчеркнуть ошибочность подобных представлений. Поиски всегда проводят в определенном районе и по конкретному геологическому заданию, записанному в утвержденном проекте работ. Правда, случаются порой и неожиданные находки, но не на них делается ставка.

Как и съемка, поиски производят с различной детальностью, под которой понимается густота сети маршрутов и точек наблюдений. Можно ведь, например, пройти маршрутом только по долине какой-нибудь реки, а можно и заходить в ущелья всех ее притоков, да еще и облазить водоразделы между ними. Понятно, что при более густой сети наблюдений получается более подробная информация о геологическом строении изучаемой территории, уменьшается вероятность пропуска рудных тел. Но всякая медаль имеет и обратную сторону. Чем детальнее поиски, тем меньшую площадь можно покрыть за один полевой сезон, а значит и больше времени потребуется для изучения всего запланированного для этого района. Масштаб поисковых работ (чем он крупнее, тем поиски детальнее) выбирают в зависимости от ряда факторов: наличия данных о предыдущих съемочных и поисковых работах, сложности геологического строения местности, ожидаемых типов месторождений, условий проходимости и т. д.

Геологические съемки и поиски подразделяются по масштабам на следующие категории:

мелкомасштабные — 1 : 1 000 000, 1 : 500 000;
среднемасштабные — 1 : 200 000, 1 : 100 000;
крупномасштабные — 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000;
детальные — 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000.

Мелкомасштабные поиски обычно проводят вместе со съемкой. Они не направлены на определенные виды полезных ископаемых, а имеют целью только установление общего характера рудоносности изу-



чаемой территории и предварительное оконтуривание перспективных площадей, заслуживающих в дальнейшем более подробного исследования. Мелкомасштабными поисками покрывают большие площади (десятки тысяч квадратных километров) в труднодоступных и малонаселенных частях страны.

Среднемасштабные поиски также сопровождают геологическую съемку; их задача заключается в выяснении основных закономерностей распространения рудной минерализации, выявлении всех рудных полей и отдельных крупных месторождений.

Крупномасштабные поиски бывают не только комплексными со съемкой, но и специализированными или целевыми, т. е. направленными на определенные группы или виды минерального сырья. Уже отмечалось, что специальные крупномасштабные поиски проводят на основе готовой геологической карты, обычно отдельно от съемки. Конечно, для постановки таких поисков необходимы реальные обоснования, которые и дает предшествующая съемка. Они заключаются в установлении благоприятной геологической обстановки изучаемого района и *самого факта* наличия в его пределах интересующих геологов видов полезных ископаемых. Другим основанием для проведения специальных крупномасштабных поисков является экономическая конъюнктура — потребность народного хозяйства и обороны страны в соответствующем сырье. Прямая задача крупномасштабных поисков — обнаружение и нанесение на карту всех месторождений и рудопроявлений, распространенных на исследуемой территории, выяснение генетических типов месторождений и минерального состава руд, отбор проб для предварительной оценки качества сырья, выделение участков, на которых рудные тела перекрыты более поздними безрудными отложениями* и для их вскрытия требуются особые методы глубинных поисков — буровые, геофизические и геохимические.

Разумеется, здесь лишь в самых общих чертах намечен круг вопросов, которые приходится решать

* Такие месторождения называются «слепыми», «скрытыми» или «погребенными».

при крупномасштабных поисках. Единой программы этих работ нет, и не может быть, поскольку в каждом конкретном случае задачи поисков, их методика и ожидаемые результаты зависят от местных природных условий и многих других причин. Именно поэтому для успешного проведения поисков необходимо хорошо продуманное, четкое проектное задание.

Следующим шагом являются *детальные поиски*, которые проводят только на небольших площадях (единицы, редко десятки квадратных километров) в пределах уже выявленных рудных полей или отдельных месторождений. Назначение детальных поисков — уточнить характер распространения оруденения, расшифровать во всех подробностях геологическую структуру участка, выявить новые рудные тела, возможно пропущенные при первоначальных поисках, а в конечном счете способствовать наиболее рациональному заложению разведочных горных выработок. Данный вид поисков обычно проводят в комплексе со структурно-геологической съемкой того же масштаба.

В таблице 12 приведены принятые в геологических организациях нормативные требования к детальности работ.

Таблица 12

Среднее количество погонных километров маршрута на 1 квадратный километр площади съемки или поисков

Масштаб работ	Геологическое строение		
	простое	среднее	сложное
1:1 000 000	0,07	0,09	0,1
1:500 000	0,14	0,18	0,22
1:200 000	0,35	0,45	0,65
1:100 000	0,85	1,0	1,2
1:50 000	1,7	2,0	2,4

Как видно, чем сложнее геологическое строение местности, тем чаще приходится делать наблюдения, ближе друг к другу располагать маршруты, и, сле-

довательно, их средняя длина на 1 квадратный километр возрастает при прочих равных условиях. С другой стороны, при одной и той же сложности геологического строения района количество маршрутов на единицу площади меняется в зависимости от масштаба работ. Мы уже отмечали, что покрываемая поисками за одинаковый промежуток времени площадь обратно пропорциональна детальности работ; сейчас поясним это примером. Допустим, при средней сложности геологического строения местности геолог может ежедневно, независимо от масштаба, проходить по 15 километров*. Тогда за месяц (25 дней) работы он пройдет всего 375 километров, а опоскованная площадь согласно приведенным в таблице 12 нормам при этом составит (в квадратных километрах) в масштабе 1:1 000 000 — 4170; 1:200 000 — 835; 1:50 000 — 185. С учетом подобных соображений и планируются задания поисковым партиям.

Но вот поиски успешно завершены, выявлено новое перспективное месторождение. Теперь начинается принципиально иной этап работ — геологическая разведка. Если главная задача поисков заключалась именно в том, чтобы найти месторождение, то цель разведки — установить количество руды в недрах, ее качество и пригодность для использования. Впрочем, мы с вами уже имеем представление о горном деле и потому можем выразиться более научным языком: цель разведки — выяснение промышленного типа оруденения и подсчет запасов руд, отвечающих кондициям. Логически очевидно, что для решения данной задачи необходимо знать объем рудного тела, массу заключенной в нем рудосодержащей горной породы и среднее содержание полезных компонентов в руде. Соответственно в процессе разведочных работ различается оконтуривание месторождения и его опробование.

Мы уже вкратце рассматривали типичные формы рудных тел, которые почти всегда ограничи-

* Не думайте, что это мало. Ведь надо не просто пройти такое расстояние, а осматривать и зарисовывать обнажения, отбирать образцы горных пород и т. д.

ваются весьма сложными поверхностями. Точное определение объема таких тел практически невозможно, поэтому при разведке приходится производить «геометризацию недр» — т. е. условную замену реального рудного тела равновеликим телом, состоящим из сочетания блоков простой формы (призм, пирамид, параллелепипедов и др.). Трансформация реального тела в геометризованное условное тело может быть осуществлена с тем меньшей погрешностью, чем больше имеется пересечений месторождения подземными горными выработками и буровыми скважинами, ведь для оконтуривания границ рудного тела с безрудными вмещающими породами необходимо его «проткнуть».

Количество пересечений, расстояние между ними и между горными выработками зависят от формы, размеров и условий залегания рудного тела; в каждом конкретном случае они определяются расчетами, заложенными в проекте работ. Обычно пологозалегающие пластообразные рудные тела пересекают по нескольким параллельным вертикальным плоскостям, а крутопадающие тела вскрывают на нескольких горизонтах.

Неглубокие (до 30 метров) вертикальные горные выработки называются *шурфами*, глубокие — *шахтами*. При разведке редко применяются шахты глубже 100—150 метров, а при эксплуатации крупных месторождений строят шахты глубиной в сотни метров.

Из шахт обязательно проходят горизонтальные горные выработки. Если они идут по пустым породам с целью пересечения рудного тела вкрест простирания, то называются *квершлагами*, а если в толще самого рудного тела по его простиранию, то *штреками*. Горизонтальные шахты, закладываемые при крутом рельефе, носят название *штолен*.

На рисунке 22 в схематической форме показана разведка месторождения с помощью штолен, шахты и буровых скважин.

Для определения средней плотности руды и содержания полезных компонентов необходим отбор проб, подвергаемых различным лабораторным анализам. Естественно, что для отбора проб требуется непо-

средственное соприкосновение с рудным телом, осуществляемое горными выработками или скважинами; здесь их роль не менее важна, чем при оконтуривании месторождений. Существует много систем опробования, обеспечивающих достаточную представительность проб, являющихся как бы «делегатами» всего рудного тела. Ведь проба — это небольшой объем отбитой породы массой примерно 10—20 килограммов.

Даже суммарная масса всех отобранных на месторождении проб ничтожно мала по сравнению с

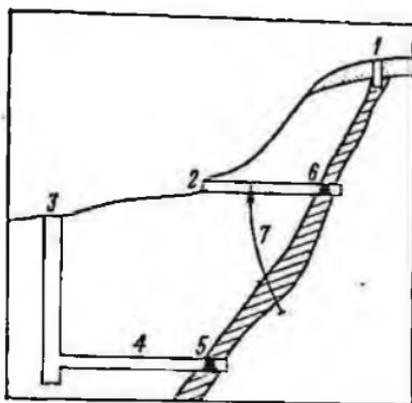


Рисунок 22. Схема расположения разведочных выработок: 1 — шурф; 2 — штольня; 3 — шахта; 4 — квершлаг; 5, 6 — штреки (перпендикулярны к плоскости рисунка); 7 — подземная буровая скважина

массой руды, сосредоточенной в недрах данного участка, но тем не менее только на основании проб приходится определять главные показатели для промышленной оценки месторождения. Легко понять, как важно избежать при этом грубых случайных ошибок. Невольно вспоминается старый анекдот: один англичанин впервые приехал в Париж и сразу же направился в привокзальный буфет. Его обслуживала рыжая хромая официантка, не выпустившая изо рта сигарету. Почтенный джентльмен, недолго думая, записал в своем дневнике: «Во Франции все женщины рыжие, хромые и много курят».

Опасность подобных поспешных выводов таится и при анализе результатов опробования месторождения, поскольку в отдельных пробах содержание металла может очень резко отличаться от среднего со-

держания во всем рудном теле. Существуют строгие математические методы обработки материалов опробования, на которых мы не будем останавливаться. Вообще следует заметить, что геологоразведочное дело очень сложно, и его детали выходят за рамки нашей книги. Мы обещали ознакомить читателя с «ключами к рудным богатствам», а разведка — это уже не ключи, а «пересчитывание денег в сундуке».

Итак, вкратце рассмотрены этапы большого, тернистого пути, ведущего к открытию и освоению месторождений.

Перечислим их последовательность:

1) геологическая съемка в комплексе с общими поисками;

2) специальные крупномасштабные поиски, выявление месторождений и рудопроявлений;

3) детальные поиски на площадях развития перспективных месторождений, выделение участков под предварительную разведку;

4) предварительная разведка и решение вопроса о целесообразности дорогостоящей детальной разведки;

5) детальная разведка и подсчет запасов кондиционных руд;

6) передача месторождения промышленности, его разработка и... опять разведка, но на этот раз эксплуатационная, которая сопровождает разработку и имеет целью уточнение направления эксплуатационных горных выработок, а также расширение рудников путем выявления дополнительных запасов полезных ископаемых в глубоких горизонтах и на флангах разрабатываемых месторождений.

«Но, позвольте, — может сказать читатель, — а где же в этом комплексе место металлогенических исследований, о важности которых так много говорилось в книге?» Их почетное место на всех стадиях поисковых работ, так как металлогенические исследования тоже подразделяются по масштабам и имеют различное назначение (смотри ниже). Однако с практической точки зрения они являются не самоцелью, а средством научного обоснования поисков и повышения их эффективности.

ПРИРОДНЫЕ ОРИЕНТИРЫ

Давайте мысленно перенесемся в детство и сыграем в известную всем игру «холодно или жарко». В комнате прячут мелкую вещь, кто-нибудь начинает ее искать, а ведущий подсказывает: «холодно, ... теплее, ... еще теплее, ... горячо!». Ну, значит тут и надо смотреть повнимательнее.

«Так, так! — иронически усмехается читатель. — Полная аналогия с поисками полезных ископаемых. Только кто же кричит «холодно» или «жарко?» В буквальном смысле, конечно, никто, а в переносном — эту роль берут на себя определенные природные факторы, о которых мы и собираемся сейчас рассказать.

Размеры рудных тел ничтожно малы по сравнению с площадями поисков, и обнаружить месторождение было бы труднее, чем иголку в стог сена, если бы природа и человеческий разум не предоставили в распоряжение геолога ориентиры, позволяющие последовательно отбраковывать участки, где «холодно» и приближаться к местам, где «жарко». В чем же заключаются эти ориентиры?

Поисковые критерии

Прежде всего необходимо установить принципиальную возможность обнаружения тех или иных типов месторождений в данной геологической обстановке, для чего требуется знание генезиса руд и закономерностей их распространения в земной коре. Этим вопросам мы уделили немало внимания в разделе «Где искать?». Теперь читатель сам может заключить, что практическое назначение металлогенического анализа состоит в выявлении факторов, определяющих условия нахождения месторождений, или, как принято говорить, *контролирующих* накопление полезных минеральных веществ в земной коре. Такие геологические факторы называются *поисковыми критериями*. Советский геолог В. И. Красников рекомендует различать универ-

сальные поисковые критерии, наблюдающиеся повсеместно (например, связь хромита с ультраосновными породами, а олова — с гранитами), и местные, имеющие значение только на определенной территории.

Универсальные поисковые критерии используются в начальной стадии поисковых работ для выбора перспективных площадей, а местные критерии имеют важное значение при крупномасштабных поисках, определяя их конкретное направление.

Как универсальные, так и местные критерии относятся к научным предпосылкам для проведения поисковых работ.

В отличие от этого *поисковыми признаками* называются геологические и иные факты, прямо или косвенно указывающие на существование оруденения в данной местности и, следовательно, на возможность открытия промышленных месторождений*.

Задержимся на затронутых вопросах несколько подробнее.

Магматический контроль оруденения имеет первостепенное значение при поисках эндогенных месторождений, обладающих генетической или парагенетической связью с магматизмом. Формы и причины этой связи различны. Первичной причиной следует считать геохимическое родство некоторых типов интрузивных пород с определенными металлами, которыми особенно богата магма в той или иной части земной коры. Такое родство называют «металлогенической специализацией» магматических очагов и порожденных ими пород; для установления металлогенической специализации требуются длительные и сложные исследования, так что данный фактор магматического контроля, вообще говоря, не легко применить на практике. Однако установлены некоторые региональные закономерности, проявляющиеся в пределах целых металлогенических поясов. Например, для внутренних частей

* Следует сказать, что различия между поисковыми критериями и поисковыми признаками не всегда достаточно резки, и потому некоторые исследователи считают эти понятия синонимами.

огромного Тихоокеанского пояса характерно медное и золото-серебряное оруденение, а для внешних — оловянное и вольфрамовое. Это объясняется тем, что граниты Забайкалья содержат олова и вольфрама в несколько раз больше кларка. В Средиземноморском поясе очень слабо представлено оловянное оруденение, но широко развито хромитовое, медное, молибденовое и ртутное. Подобными особенностями специализации обладают также металлогенические провинции и зоны.

Если детальное определение металлогенической специализации какого-либо интрузивного тела является трудной задачей, то в более общей форме взаимосвязь рудных месторождений с магматическими породами хорошо известна и служит очень важным и доступным поисковым критерием, поскольку определение петрографического состава пород в первом приближении производится прямо в полевых условиях.

Мы уже неоднократно приводили примеры приуроченности ряда месторождений к основным и кислым магматическим породам; посмотрите, как выглядят эти данные в обобщенном виде (таблица 13).

Но почему в таблице 13 приведены не все виды рудных месторождений, например, нет ртутных? В том-то и дело, что в нее включены только те месторождения, для которых магматический контроль четко проявлен. А ртутные и некоторые другие месторождения принадлежат к телетермальному типу; они не имеют явной связи с магматизмом, а подчиняются структурному и литологическому контролю.

Следующим важным фактором магматического контроля оруденения является закономерное размещение месторождений по отношению к интрузивным телам. Уже давно было замечено, что вокруг крупных гранитных интрузий (так называемых *батолитов*) наблюдаются грубоконцентрические пояса или зоны, в которых месторождения располагаются по признаку убывающей температуры: вблизи интрузива находится зона высокотемпературных оруденений, а чем дальше от него, тем температура рудообразования становится ниже. Классическим примером считается округ Уайт-Пайн в штате Невада

Связь эндогенных месторождений с магматическими горными породами

Группы пород	Петрографические разновидности	Типичные месторождения
Ультраосновные интрузивные	Дуниты, перидотиты, пироксениты. Кимберлиты	Хромитовые, платиновые, алмазы
Основные интрузивные	Габбро, габбро-нориты, диабазы	Титаномагнетитовые, ильменитовые, медно-никелевые
Гранитоидные средней кислотности, слагающие массивы и малые интрузии	Диориты, гранодиориты, монзониты, плагιοграниты	Скарново-магнетитовые, полиметаллические (медно-свинцово-цинковые), молибденит-шеелитовые, золото-арсенопиритовые, сульфидно-касситеритовые, сурьмяные
Граниты кислые и щелочные	Граниты, преимущественно калиевые. Пегматиты	Оловянные, вольфрамовые и молибденовые. Редкометалльные и редкоземельные пегматиты
Экструзивные, эффузивные и субвулканические	Эффузивы и субвулканические интрузивы среднего и кислого состава	Серноколчеданные, медноколчеданные, барит полиметаллические
Докембрийские глубокометаморфизованные	Железистые кварциты, джеспилиты	Железорудные

(США), где в непосредственной близости к гранодиоритовому массиву располагаются медные месторождения, на расстоянии 3 километров от него находится пояс свинцового оруденения, а еще дальше, в 5—6 километрах от массива, серебряный пояс. Подобных примеров известно много.

Советскими геологами был внесен ряд важных уточнений в схему температурной зональности оруденения, но в основных чертах эта закономерность существует и имеет поисковое значение.

В районах развития магматических пород и связанных с ними эндогенных месторождений большая роль принадлежит глубине размыва земной поверхности, существовавшей во время формирования месторождений, или, как говорят, глубине эрозийного среза. Вспомним о зонах глубинности. Предположим, что в изучаемом районе распространены месторождения абиссальной зоны, формировавшиеся на глубине около 5 километров. Ясно, что на современной поверхности они могли оказаться только в том случае, если глубина размыва вышележащих толщ была не менее 5 километров. Такой глубокий размыв обычно бывает в горных странах, где складчатость и длительные поднятия способствуют процессам эрозии.

Большое значение имеет глубина среза самих интрузивных тел. Наиболее продуктивной в металлогеническом смысле считается периферическая часть интрузива и зона его контакта с вмещающими породами. Если интрузив вскрыт на большую глубину, то почти все месторождения оказываются уничтоженными эрозией, а обнаженная «сердцевина» магматического тела мало продуктивна. Когда эрозийный срез затронул только верхушку интрузива, его выступающие части, то можно встретить целую гамму рудных месторождений, состав которых будет зависеть от металлогенической специализации магмы и температурной зональности. Наконец, если интрузив еще не вскрыт эрозией, то на земной поверхности должны быть обнажены только низкотемпературные удаленные от интрузива месторождения* (рисунок 23).

Стратиграфические поисковые критерии важны при поисках осадочных месторождений морского происхождения; для эндогенного оруденения их роль незначительна. Осадконакопление подчиняется ряду физико-химических условий. В некоторые эпохи воз-

* Приведенная схема верна только в самых общих чертах; рассматривать этот вопрос подробно здесь нет возможности.

никают особенно благоприятные сочетания таких условий, способствующие образованию залежей осадочных руд на больших площадях. Тогда в стратиграфической шкале удается выделить *рудоносные горизонты*, играющие роль поисковых критериев. Например, в южной части территории СССР в олигоцене существовали благоприятные условия для накопления марганцевых руд; к данному горизонту, сложенному песчано-кремнистыми и глинистыми от-

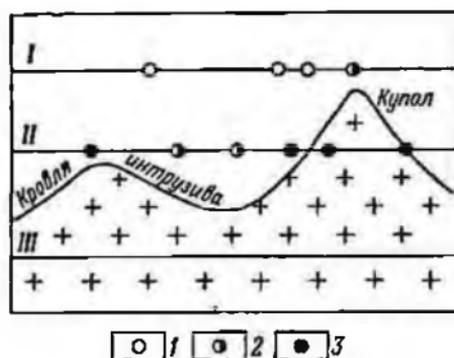


Рисунок 23. Схема расположения месторождений на разных глубинах эрозионного среза гранитного интрузива

Эрозионные срезы:
 I — не доходящий до интрузива, II — мелкий, III — глубокий. Месторождения: 1 — низкотемпературные, 2 — среднетемпературные, 3 — высокотемпературные

ложениями, приурочены марганцевые месторождения Чнатурское и Никопольское, а также ряд более мелких месторождений. Поэтому понятно, что при поисках новых марганцевых месторождений в районах Украины, Предкавказья, Кавказа в первую очередь изучают отложения олигоцене.

Известны планетарные эпохи преимущественного накопления железных руд, бокситов, фосфоритов и др. Конечно, при крупномасштабных поисках на небольших площадях важнее знать местные стратиграфические критерии, которые устанавливают путем тщательного анализа истории геологического развития и прямых признаков рудоносности. Скажем, выяснилось, что в некотором районе в определенной стадии его геологического развития происходил усиленный размыв древних метаморфических пород, богатых железом. Значит, в морских отложениях соответствующего возраста можно ожидать накопление осадочных железных руд. Если такой вывод подкрепляется геофизическими данными (магнитными аномалиями) и находками минералов железа, то есть

основание говорить о перспективном рудоносном горизонте и вести в нем поиски промышленных месторождений.

Литологические критерии заключаются в составе и свойствах горных пород, вмещающих оруденение. Чтобы гидротермальные растворы могли проникнуть в толщу горных пород, необходимы пути их продвижения — трещины, поры и т. д. Разные породы в этом отношении представляют собой неодинаковую физико-химическую среду. Высокой проницаемостью для растворов обладают хрупкие породы — известняки, кварциты, кислые эффузивы и туфы, подверженные растрескиванию; в песчаниках часто наблюдается повышенная пористость. Такие породы благоприятны для разгрузки гидротермальных растворов и образования эндогенных рудных месторождений. Наоборот, породы с низкой пористостью и высокой пластичностью — глинистые сланцы, филлиты и другие — сравнительно плохо проницаемы и потому при прочих равных условиях менее благоприятны для рудоотложения. Например, в районах некоторых ртутных месторождений Большого Кавказа наблюдается чередование пластов глинистых сланцев и песчаников; минерал ртути — киноварь, конечно, предпочитает более пористые песчаники и размещается в них в виде многочисленных красных точек или небольших гнезд, локализованных по трещинам.

Химический состав горных пород имеет важное значение для развития метасоматических процессов рудобразования, о которых мы рассказывали выше. С этой точки зрения обычно карбонатные породы более благоприятны, чем силикатные.

Существует еще ряд поисковых критериев, на которых мы не будем останавливаться. Их правильный учет всегда возможен при условии знания региональной металлогении изучаемого района.

Поисковые признаки

Помните, как пять смельчаков, героев романа Жюль Верна «Таинственный остров», начинали свое знакомство с необитаемым клочком земли, на который их забросила буря? Они составили глазомерную

карту острова и дали названия горам, мысам, озеру и т. д. Инженер Сайрус Смит, собирая обломки минералов, обратил внимание на красный цвет берегов ручья, что в дальнейшем привело к открытию залежей железной руды.

Эти действия, правильно охарактеризованные знаменитым писателем, весьма напоминают деятельность геологов, изучающих новый район. Карта является необходимой основой любых геологических работ (об этом мы подробно расскажем ниже), а находки минералов, окраска горных пород и другие *признаки* оруденения служат основанием для непосредственного направления *поисков* месторождений. Рекомендуется различать:

прямые поисковые признаки, к которым относятся рудные выходы, ореолы рассеяния рудного вещества и следы старых разработок с остатками рудных минералов;

косвенные поисковые признаки, заключающиеся в определенных изменениях рудоносных пород, геофизических аномалиях, ботанических признаках, геоморфологических особенностях местности, исторических данных.

Рудные выходы, т. е. естественные обнажения рудоносных жил, гнезд, пластов или находки рудных минералов в осыпях на горных склонах, являются самыми важными из прямых поисковых признаков.

Еще М. В. Ломоносов подметил, что если излом найденных в осыпи минералов свежий, углы острые, не оббитые, значит коренной рудный выход находится где-то недалеко, а если минеральные обломки хорошо окатаны и округлены, то они прошли далекий путь.

Конечно, для ориентирования поисковика по рудным выходам и находкам минералов необходимо прежде всего уметь правильно определять минералы в полевых условиях. Это достигается только практикой. Некоторые сведения о распознавании рудных минералов будут даны ниже в разделе о полевых работах.

Ореолы рассеяния рудного вещества представляют собой области повышенной концентрации металлов или их минеральных соединений вокруг рудных месторождений.

Первичные ореолы образуются в процессе формирования месторождений. Упрощенно этот процесс можно представить так: гидротермальные растворы, проникая по трещинам, не только отлагают свой полезный груз в открытых полостях, но и просачиваются в поры горных пород, пропитывая их большую массу. В результате метасоматических реакций в породе образуются минеральные соединения тех же металлов, которые несколько позднее концентрируются в рудных жилах или залежах. Содержание ве-

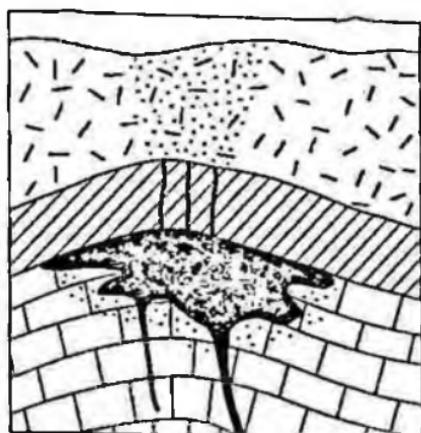
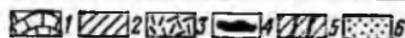


Рисунок 24. Схема первичного ореола слепого гидротермального месторождения (по В. И. Красникову):

1 — известняки, 2 — глинистые сланцы, не пронцаемые для гидротерм; 3 — песчанники; 4 — рудное тело; 5 — рудоносные трещины в сланцах; 6 — первичный ореол



душних полезных компонентов в первичном ореоле гораздо ниже, чем в самом рудном теле, но значительно больше, чем соответствующий кларк безрудных горных пород. А объемные и линейные размеры первичного ореола во много раз превышают размеры рудного тела, что и обуславливает важную роль ореолов при поисках, особенно слепых рудных тел (рисунок 24).

Капните на промокашку чернила — влага быстро пропитает бумагу, и площадь пятна намного превышает след первоначальной капли. Так и ореол еще издаലെка сигнализирует о рудном теле, с которым он связан.

Для обнаружения первичных ореолов рассеяния применяется специальная методика, состоящая в отборе небольших кусочков коренных пород по опреде-

ленной геометрической сетке, покрывающей весь исследуемый район. Густота отбора проб зависит от масштаба поисков и местных условий. Пробы подвергаются лабораторному спектрометрическому анализу на ряд химических элементов; повышенные по сравнению с нормальным геохимическим фоном содержания (так называемые *аномалии*) интересующих металлов указывают на наличие ореолов.

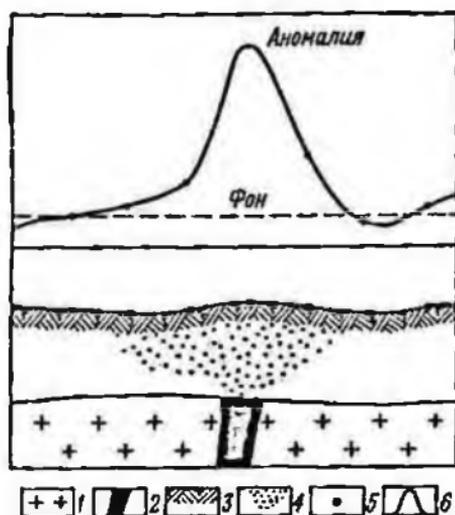


Рисунок 25. Вторичный литохимический ореол рассеяния гидротермального месторождения: 1 — коренные породы; 2 — рудное тело; 3 — современные рыхлые отложения; 4 — вторичный ореол; 5 — точки отбора почвенных проб; 6 — содержание металла в пробах

Последние оконтуривают на карте, а затем изучают с поверхности и на глубину при помощи горных выработок и скважин.

Вторичные ореолы в отличие от первичных образуются в процессе физико-химического выветривания и разрушения месторождений. Они бывают механическими, т. е. состоящими из мелких кусочков разрушенной рудной массы, и солевыми, образующимися в результате растворения рудных минералов грунтовыми водами и последующего переотложения в виде новых минералов (рисунок 25).

Внимательный читатель может заключить, что россыпи, о происхождении которых рассказывалось выше, по существу близки к механическим ореолам рассеяния. Разница состоит в том, что источником россыпей не всегда служат коренные месторождения.

Старейшим и важнейшим методом поисков по вторичным механическим ореолам является *шлиховое*

опробование. Шлих — это рыхлая фракция рыхлых отложений, обогащенная устойчивыми в воде минералами. Зерна минералов и шихов обычно имеют в поперечнике от десятых долей миллиметра до 1—2 миллиметров.

Шлиховое опробование производится в основном по долинам и ущельям рек, причем исследуются преимущественно современные аллювиальные отложения, но в подчиненном количестве прибегают также опробовать отложения древних речных террас и делювий горных склопов. Расстояние между точками отбора шлихов колеблется от 100—200 метров до километра и более; в зависимости от масштаба исследований среднее количество шлихов на 100 квадратных километров изученной площади составляет:

- в масштабе 1:200 000 — от 6 до 24 проб (смотря по конкретной задаче работ и местным условиям),
- в масштабе 1:100 000 — от 25 до 100;
- « 1:50 000 — от 100 до 500;
- « 1:10 000 — от 1200 до 2500;
- « 1:2000—5000.

Пробы рыхлых отложений отбирают лопатой в объеме около 0,01 кубометра и тут же промывают в реке или ручье на деревянном лотке или в металлическом ковше. Все легкие, земляные частицы при этом уносятся водой, а на дне лотка или ковша после длительной промывки остается темный шлих массой всего в несколько десятков граммов. Основную часть шлиха обычно составляют пирит и магнетит, а ценные минералы, ради которых проводится шлиховое опробование — это самородное золото, платина, алмаз, касситерит, шеелит, киноварь, халькопирит, галенит и др.

Высушенный шлих просматривают с помощью сильной лупы или под бинокулярным микроскопом; существуют и точные лабораторные методы изучения шлихов.

По итогам шлихового опробования составляют шлиховую карту (рисунок 26), где кружками отмечены точки отбора шлихов (или их групп), а заливкой или черной заливкой условных знаков — вид и относительное количество встреченных рудных мине-

ралов. Обычно каждому минералу отводится свой определенный сектор кружка: если он закрашен полностью, то значит в шлихе соответствующего минерала много; если наполовину — мало, а меньше половины — только единичные зерна. На рисунке 26 в схематизированном виде показано изображение таким методом обнаруженных в шлихах зерен золота, касситерита и шеелита.

Шлиховая карта может, как по ниточке, повести геолога от долины большой реки в ее приток, ручей,

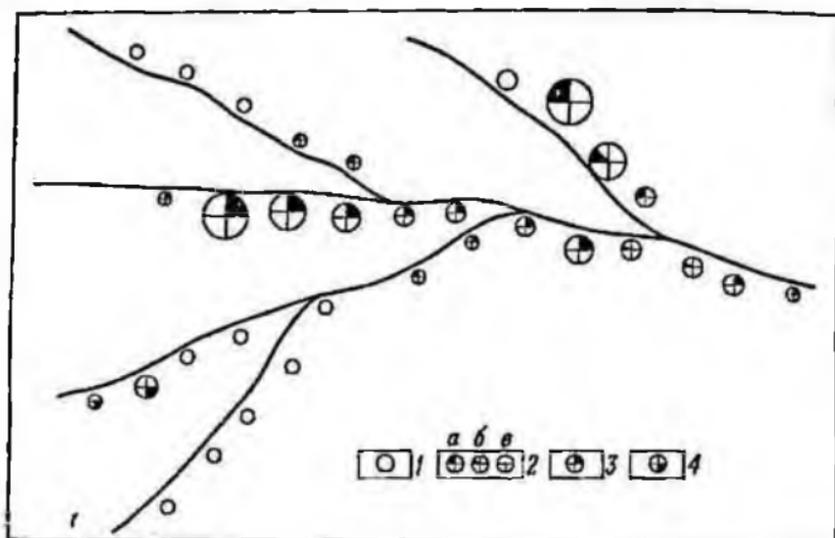


Рисунок 26. Схема кружковой шлиховой карты (по В. И. Смирнову, с упрощениями):

1 — точки отбора шлихов (их групп); 2 — золота (а — много, б — мало, в — единичные зерна); 3 — касситерит; 4 — шеелит

овраг, на горный склон и подвести к коренному рудному телу.

Биохимические ореолы рассеяния рудного вещества стали изучать сравнительно недавно. За последние 20—25 лет они приобрели существенное поисковое значение. Сущность метода базируется на том, что корни растений, произрастающих над рудными месторождениями, улавливают из почвенных вод химические элементы, характерные для данного месторождения, и обогащаются ими по сравнению с аналогичными растениями, живущими в безрудной зоне.

Сжигая растения и подвергая спектральным анализам их золу, можно обнаружить аномальные содержания искоемых элементов, что очень важно при поисках скрытых месторождений. Концентрация некоторых металлов в золе растений, по данным академика А. П. Виноградова, приведена в таблице 14.

Таблица 14

Содержание некоторых металлов в золе растений

Металл	Содержание в процентах		Степень концентрации
	в обычных растениях	в растениях над рудными месторождениями	
Кобальт	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	10
Никель	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$	50
Медь	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-1}$	} 100
Цинк	$1 \cdot 10^{-2}$	1,0	
Свинец	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	
Хром	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	200
Марганец	$1 \cdot 10^{-2}$	10	1 000
Уран	10^{-6}	$1 \cdot 10^{-3}$	10 000

К исследованию золы растений близок и прямой ботанический метод поисков, использующий растения — *индикаторы*, произрастающие на почвах, обогащенных определенным металлом. Хорошими примерами являются галмейная фиалка, повсеместно связанная с цинковыми рудами, качим, «любящий» медные руды и другие (смотри ниже).

Геоморфологические признаки оруденения весьма многообразны и зависят от крепости и устойчивости к выветриванию рудных тел, околорудно измененных пород и окружающих безрудных пород. Например, пегматитовые жилы часто выступают в рельефе в виде гребней высотой до нескольких метров. В Центральном Казахстане очень крепкие рудоносные кварциты образуют скалистые сопки, возвышающиеся на десятки метров над степными равнинами. Положительные формы рельефа (т. е. холмы, поднятия), сло-

женные рудоносными вулканогенными породами, характерны для некоторых районов Южной Грузии.

Отрицательные формы микрорельефа (ложбины, впадины и т. д.) обычны для легко выветривающихся рудных тел, залегающих среди более устойчивых пород. Таковы, например, залежи бокситов, связанные с карстом; легко выщелачиваемые сульфидные залежи и др. В каждом районе работ необходимо установить местные геоморфологические признаки оруденения, которые еще издавна помогают правильно ориентировать маршруты.

Исторические и археологические признаки оруденения, некогда бывшего известным в данном районе но затем забытого, могут оказаться полезными на стадии изучения материалов и предварительных поисков. Например, в Восточной Грузии в долине реки Куры при археологических раскопках были обнаружены многочисленные остатки железоплавильных и медеплавильных печей, относящиеся к раннефеодальной эпохе. Никаких месторождений в этой местности нет, поэтому возник вопрос — на каком сырье работали печи? Неужели руду привозили издавна? Это побудило геологов тщательно обследовать окрестные горы, и действительно, рудные залежи были найдены (правда, непромышленные по современным масштабам).

Большое значение имеют местные географические названия, указывающие на существование полезных ископаемых. Примеров можно привести много на любом языке. Таковы русские названия гора Магнитная, река Слюдянка, сопка Оловянная и т. д.; казахские и народов Средней Азии — Кансай (рудный овраг), Темиртау (железные горы), Алтын-Топкан (золотая находка), Кенкол (рудный приток), Кон-и-Гут (рудник гибели) и т. д.; азербайджанские — Демир-су (железная река), Мисхана (медный рудник) и т. д.; армянские — Севкар (марганцевые руды), Анкаван (Рудничный) и т. д.; грузинские — Маднеули (общее название рудного участка), Саркинети (местность с железной рудой), Натквиари (местность со свинцовой рудой) и многие другие.

Мы вкратце рассмотрели использование лишь некоторых прямых и косвенных поисковых признаков,

ни суть дела, надо полагать, читателю достаточно ясна. Заметим, что наиболее эффективными бывают поиски, базирующиеся на комплексном применении нескольких признаков, указывающих на одно и то же оруденение.

КАРТА — СПУТНИК И СОВЕТНИК ГЕОЛОГА

Знание поисковых критериев и признаков — необходимое условие поисков месторождений полезных ископаемых, но не менее важно и наглядное изображение этих факторов, облегчающее их практическое использование. Такой задаче отвечают геологическая и металлогеническая карты.

На картах современных искателей подземных кладов не отмечены крестиками сокровища капитана Флинта, но зато в них с помощью различных условных знаков зашифрована обширнейшая информация, легко читаемая специалистом и позволяющая выбирать наиболее рациональные маршруты, места заложения горных выработок, скважин и т. д.

Основой любых специальных карт служит *топографическая карта*, изображающая в том или ином масштабе рельеф определенной части земной поверхности. Рекомендуем заинтересованному читателю обратиться к книге одного из авторов*, где рассмотрены виды и назначение карт, их международная номенклатура (разграфка), способы ориентирования по карте и др.

Геологические карты, как мы уже знаем, составляют в результате геологосъемочных работ соответствующих масштабов. Мелкомасштабные и среднемасштабные геологические карты в виде отдельных листов международной разграфки составляют для всей территории Советского Союза, их называют государственными картами, имеющими силу официальных документов. Право составления государственных геологических карт предоставлено только организациям Министерства геологии СССР. Крупномас-

* А. Е. Меньчуков. В мире ориентиров. М., Изд-во «Недра», 1973.

штабные геологические карты по мере надобности составляют также и некоторые другие (научно-исследовательские, проектно-исследовательские, специализированные) организации, в этом случае их называют ведомственными картами.

Отметим, что первая, неполная и неточная геологическая карта Европейской России была опубликована в 1824 году английским ученым Странгвейсом. Гораздо более правильная карта Мурчисона появилась в 1845 году, а уже близкая к современным требованиям геологическая карта России была составлена членами Геологического Комитета в 1893 году.

Рассмотрим главные элементы содержания современных геологических карт.

1. Площади распространения осадочных, вулканогенных и метаморфических горных пород, расчлененных по возрасту их образования на стратиграфические подразделения — группы, системы, отделы, ярусы и еще более мелкие, имеющие обычно местное значение: горизонты, свиты и др. Стратиграфические подразделения закрашивают на геологических картах различными цветами в соответствии с единым международным стандартом. Так, например, общепринято отложения неогеновой системы закрашивать желтым цветом, палеогеновой — оранжево-желтым, меловой — зеленым, юрской — синим, триасовой — фиолетовым и т. д.

Кроме того, все стратиграфические подразделения индексируют буквами латинского алфавита (кое-что об этом мы знаем из таблицы 8), причем для групп и систем применяют прописные буквы, а для более мелких единиц шкалы — строчные буквы и цифры. Например, меловая система индексируется Cg; ее нижний отдел — Cg₁, верхний — Cg₂.

2. Интрузивные породы оконтуривают на картах по площадям их выходов с учетом технических возможностей. При любом масштабе карты площадь самых мелких контуров не должна быть меньше 2 квадратных миллиметров, а линейные размеры — не менее 1 миллиметра.

Магматические породы закрашивают на геологических картах густыми, яркими цветами, указывающими в первую очередь на химический состав пород.

Кислые породы (граниты и родственные им образования, объединяемые термином «гранитоиды») выделяют красным цветом, средние (диориты) — малиновым, основные (габбро, диабазы) — темно-зеленым, ультраосновные (перидотиты, дуниты) — темно-фиолетовым, щелочные (снейиты) — оранжевым.

Петрографический состав магматических пород указывают также индексацией с помощью букв греческого алфавита. Так, гранитам присвоен индекс γ , базальтам β , трахитам τ и т. д. Возраст магматических пород указывают обычным стратиграфическим индексом, помещаемым после петрографического индекса.

Например, в районе известны гранитоидные интрузии двух возрастов: перасчлененные палеозойские и среднеюрские. На карте они будут закрашены двумя оттенками красного цвета и соответственно индексированы.

3. Важным элементом нагрузки геологической карты являются обозначения характера залегания горных пород — их складчатой структуры и тектонических разрывов. Для этого специальными условными знаками отмечают направление простирания и углы падения складчатых толщ, а разрывы наносят линиями красного цвета и подразделяют на сбросы, взбросы, надвиги и др. Нередко показывают также данные глубокого бурения — глубину залегания кристаллического фундамента и других опорных горизонтов. В случае необходимости детального изображения структуры данной части земной коры составляют специальные тектонические карты.

Карты полезных ископаемых составляют на основе геологической карты того же масштаба. Они предназначены для наглядного изображения всех сведений об известных на данной территории месторождениях и проявлениях любых видов минерального сырья.

За немногими исключениями, истинные размеры рудных тел не могут быть показаны не только на мелкомасштабных, но даже и на крупномасштабных картах. Поэтому принято месторождения и проявления полезных ископаемых наносить на геологические карты в виде немасштабных условных знаков — кружков, квадратов, треугольников и т. д. Для инте-

ресующих нас металлических полезных ископаемых, согласно официальной инструкции, условные знаки имеют форму кружков диаметром от 4 до 1,8 миллиметра. Размер кружка пропорционален величине месторождения.

Выделяют промышленные месторождения (крупные, средние и мелкие), непромышленные месторождения и проявления.

На государственных геологических картах принято все виды полезных ископаемых показывать черными значками без цветной закрашки (рисунок 27).

Металлогенические карты по содержанию гораздо сложнее регистрационных карт полезных ископаемых, используемых в качестве обязательной основы для металлогенической картографии. Составление металлогенических карт — сложная научная работа, требующая большого исходного фактического материала и высокой квалификации исполнителей.

В этом важном и трудном деле исключительно велики заслуги советских геологов, разработавших основы методики построения металлогенических карт и впервые в мировой практике приступивших к металлогеническому картированию рудных областей страны — Казахстана, Урала, Приморья, Забайкалья, Алтая, Средней Азии, Кавказа и др. Здесь нельзя не вспомнить выдающегося ученого академика Д. И. Щербакова (1945), который не только внес большой личный вклад в создание первых металлогенических карт, но и оказывал огромную поддержку молодым в то время металлогенистам из многих союзных республик — И. Г. Магакьяну, Г. А. Твалчрелидзе и другим, работы которых в дальнейшем получили мировую известность.

Металлогеническая карта в наглядной форме изображает те закономерности размещения оруденений, о которых рассказывалось в нашей книге. По существу она является картой *рудоконтролирующих* факторов, а потому способствует выбору наиболее рационального направления поисковых работ.

Регистрационная карта — это результат геологической съемки и поисков общего плана, а металлогеническая карта — это оперативная карта, на основе которой планируется дальнейшее наступление на

Металлические ископаемые	Месторождения		
	крупные	средние	малые
1. Черные металлы			
Железо	 Fe	 Fe	 Fe
Марганец	 Mn	 Mn	 Mn
Хром	 Cr	 Cr	 Cr
2. Цветные металлы			
Медь	 Cu	 Cu	 Cu
Свинец	 Pb	 Pb	 Pb
Цинк	 Zn	 Zn	 Zn
3. Редкие металлы			
Молибден	 Mo	 Mo	 Mo
Вольфрам	 W	 W	 W
Ртуть	 Hg	 Hg	 Hg
4. Благородные металлы			
Золото	 Au	 Au	 Au
Серебро	 Ag	 Ag	 Ag
Платина	 Pt	 Pt	 Pt

Рисунок 27. Примеры условных обозначений промышленных рудных месторождений на карте полезных ископаемых

недра, а точнее — крупномасштабные специальные юнски.

Однако при всех достоинствах металлогенических карт в их конкретном назначении и методике составления до сих пор остается ряд спорных вопросов. Единой официальной инструкции по металлогенической картографии пока не существует, и эти карты еще не возведены в ранг государственных карт, хотя их составление в возрастающих объемах практикуется многими геологическими организациями. Для каждого крупного региона обычно разрабатываются тематическим путем и утверждаются методика составления серии металлогенических карт и их «легенда» (система условных обозначений), учитывающая все особенности геологического строения и металлогении данной территории.

В сложном содержании металлогенических карт можно выделить главные элементы.

1. *Структурно-формационная основа* составляется посредством переработки имеющихся геологической и тектонической карт, с учетом материалов геофизики и глубокого бурения, позволяющих расшифровать глубинную структуру земной коры. Особое внимание обращается на выделение важнейших рудоносных структур: геосинклиналей и геоантиклиналей, средних массивов, областей заверченной складчатости и тектоно-магматической активизации, глубинных разломов и т. д. Каждая структура характеризуется определенным комплексом геологических формаций (осадочных, магматических, метаморфических), образовавшихся в процессе ее развития, почему и называется структурно-формационной зоной. В известных типах структурно-формационных зон на разных стадиях металлогенических эпох закономерно образуются специфические рудные формации. Например, на ранней стадии существования эвгеосинклиналей возникают месторождения колчеданной формации, на средней, когда растут геоантиклинальные поднятия, — скарново-магнетитовой, медно-полиметаллической и др. (смотри выше).

Рудоносные структурно-формационные зоны или их части называются *металлогеническими зонами*. Выделение металлогенических зон, или *металлогени-*

ческое районирование, производится с разной детальностью в зависимости от масштаба карт: на мелко-масштабных оконтуриваются только зоны и рудные районы, на крупномасштабных — рудные узлы, рудные поля, отдельные месторождения и перспективные площади для поисков.

В целом основа металлогенической карты должна как можно детальнее отображать поисковые критерии рудных месторождений — тектонические, стратиграфические, магматические, а по возможности и литологические.

2. Рудная нагрузка состоит из условных знаков месторождений и проявлений, а также поисковых признаков: шлиховых и металлометрических ореолов, геофизических и геохимических аномалий и т. д.

Условные знаки рудных месторождений и проявлений на металлогенических картах, в отличие от регистрационных, делают разной формы и покрывают цветной закраской.

Форма условного знака изображает генетический тип оруденения, причем обычно принято магматические месторождения показывать треугольником, пегматитовые — ромбом, скарновые — квадратом, гидротермальные — кружком, осадочные — прямоугольником и т. д. Более детально генезис месторождений указывают посредством усложнения знаков: например, гидротермальные плутогенные месторождения изображают кружком с треугольным фестом снизу, а гидротермальные вулканогенные — кружком с таким же фестом сверху (рисунок 28).

Месторождения сложного гидротермально-осадочного происхождения (колчеданные) часто показывают оналом.

Размеры условных знаков, как и на регистрационных картах, соответствуют масштабу оруденения, но градации при этом менее дробные. Обычно принимают только два размера знаков: более крупный — для промышленных месторождений, более мелкий — для непромышленных месторождений и рудопроявлений.

Все объекты на карте нумеруют, и к ней прилагают подробный каталог месторождений и рудопроявлений, в котором можно найти все основные сведения

о величине месторождения, состоянии изученности, промышленном значении и т. д.

Закраска условных знаков рудных месторождений на металлогенических картах производится по признакам выделения ведущего металла (или металлов) в формационной принадлежности оруденения. Наиболее приняты следующие обозначения ведущих металлов: железо — малиновый цвет, медь — зеленый, свинец и цинк — синий, марганец — лиловый или си-

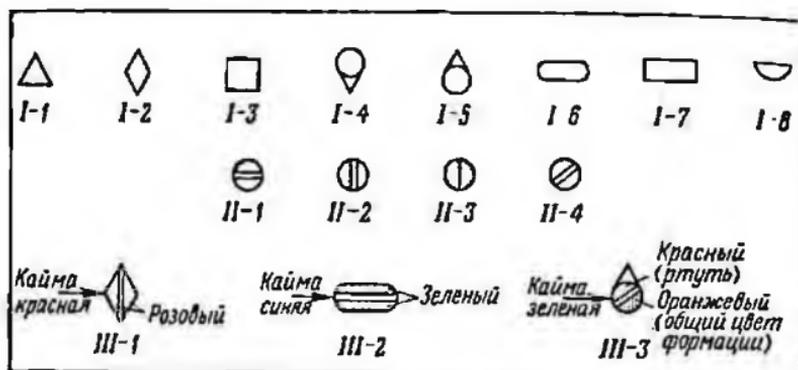


Рисунок 28. Примеры условных обозначений рудных месторождений на металлогенической карте

I — генетические типы месторождений (условный знак). Передаваемая информация: тип оруденения: I-1 — собственно-магматический; I-2 — пегматитовый; I-3 — скварный; I-4 — гидротермальный плутогенный; I-5 — гидротермальный вулканогенный; I-6 — колчеданный (смешанный вулканогенно-осадочный); I-7 — осадочный; I-8 — инфильтрационный;

II — отношение рудной минерализации к этапам и стадиям металлогенических эпох (условный знак).

Передаваемая информация (изображается просветами внутри значков независимо от их формы и закраски): II-1 — оруденение геосинклинального этапа; II-2 — оруденение ранней стадии орогенного этапа; II-3 — оруденение поздней стадии орогенного этапа; II-4 — оруденение этапа тектоно-магматической активизации консолидированных зон;

III — примеры изображения рудных формаций (условный знак).

Передаваемая информация: III-1 — месторождение формации редкометалльных пегматитов раннеорогенной стадии герцинской металлогенической эпохи; III-2 — месторождение медноколчеданной формации геосинклинального этапа киммерийской металлогенической эпохи; III-3 — месторождение сложной ртутно-сурьмяно-мышьяковой формации этапа активизации альпийской металлогенической эпохи

релевый, золото — желтый, олово — коричневый, ртуть — красный и т. д. Если принадлежность оруденения к конкретной рудной формации ясно устанавливается генетическим типом месторождения, то условные знаки закрашивают одним цветом ведущего металла. Например, месторождения железа магмати-

ческой, скарново-магнетитовой и гидротермальной гематитовой рудных формаций будут закрашены на металлогенической карте одинаковым малиновым цветом, но форма условных знаков при этом различна (соответственно треугольник, квадрат и кружок). В других случаях, наоборот, месторождения могут иметь одинаковый генезис, но принадлежать к различным рудным формациям; тогда условные знаки закрашивают разными оттенками одного цвета, соответствующего ведущему металлу. Например, свинцово-цинковые месторождения, относящиеся к медно-полиметаллической и барит-полиметаллической рудным формациям, будут показаны одинаковыми кружками, но закрашены в разные оттенки синего цвета — темно-синий и голубой. Возможны и другие варианты обозначения на карте рудных формаций, но идея сохраняется та же, о которой было сказано выше.

Другим существенным элементом рудной нагрузки металлогенических карт является указание относительного возраста оруденения, т. е. его принадлежности к той или иной металлогенической эпохе. Технически это легко достигается с помощью разноцветных контурных линий условных знаков месторождений (независимо от их внутренней закрашки!). Например, красная обводка условных знаков может означать герцинскую металлогеническую эпоху, синяя — киммерийскую, зеленая — альпийскую.

Еще важнее показать на карте позицию оруденения по отношению к этапам (геосинклинальному, орогенному) и стадиям металлогенических эпох. Мы знаем, что в каждую эпоху на однозначных этапах и стадиях развития всегда формируются определенные, типичные для данной стадии месторождения. Так, на Кавказе известны три геосинклинальных цикла — герцинский, киммерийский и альпийский, причем в разных частях названного региона эвгеосинклинальные пробы существовали в каменноугольное, среднеюрское и поздне меловое — палеогеновое время. Соответственно здесь наблюдаются три возрастные группы сходных по составу колчеданных месторождений. Все они принадлежат к одной рудной формации и одной (раннегеосинклинальной) стадии, но к разным металлогеническим эпохам,

Следовательно, условные знаки этих месторождений имеют на карте одинаковую форму и закрашены одним цветом, но обведены каймой разного цвета, как было сказано выше. Однако для ряда других рудных формаций принадлежность к определенной стадии развития не устанавливается с такой же очевидностью, как для колчеданной формации, и потому требует специального обозначения на карте. С этой целью применяют подчеркивание условных знаков месторождений с разных сторон или же белые узкие просветы внутри знаков, по-разному ориентированные (смотри рисунок 28).

3. *Прогноз месторождений* является результирующей частью нагрузки металлогенической карты, обеспечивающей ее практическую ценность. Подобно тому, как прогноз погоды может быть сделан только в итоге учета всех факторов, влияющих на перемещение воздушных масс, температуру и влажность воздуха, так и прогноз новых месторождений возможен на основе тщательного анализа всех закономерностей размещения известных месторождений и учета рудоконтролирующих факторов. Следовательно, прогноз неразрывно связан со знанием металлогеники исследуемого района, в силу чего металлогенические карты часто называют *прогнозно-металлогеническими*. Однако технически прогнозную часть карты обычно выполняют отдельно, на прозрачном материале в виде накладки к металлогенической карте. Это делается для того, чтобы не перегружать и без того очень сложную металлогеническую карту и облегчить читаемость собственно прогнозной карты, освободив ее от всего вспомогательного материала. В разработке методики составления прогнозных карт многое сделано советским ученым Е. Т. Шаталовым.

Сущность прогнозной карты-накладки заключается в подразделении всей территории, охваченной металлогенической картой данного масштаба, на ряд площадей с большей или меньшей степенью рудоносности. Обычно выделяют следующие основные категории площадей:

А — площади с известной рудоносностью (рудные поля);

Б — площади с потенциальной рудоносностью;

В — безрудные площади, по геологическому строению бесперспективные для поисков месторождений.

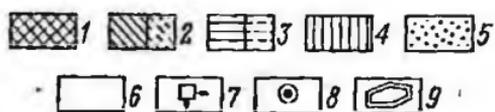
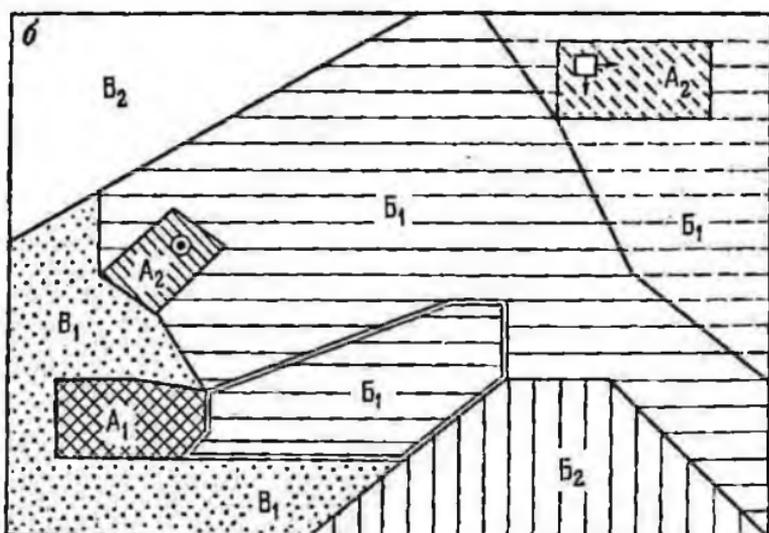
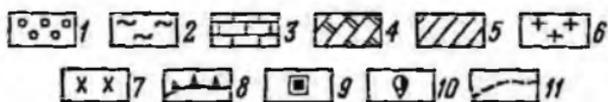
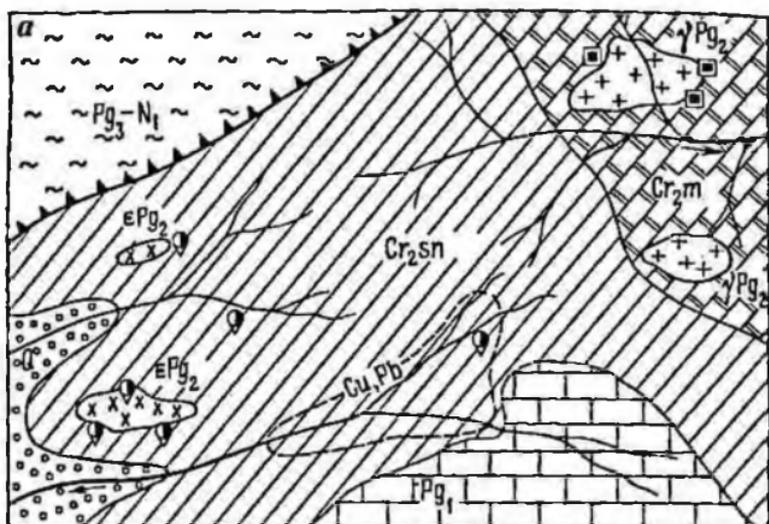
В свою очередь, площади категорий А и Б подразделяют на более дробные градации. Например, А₁ — хорошо изученные рудные поля, где нельзя ожидать открытия новых месторождений; А₂ — недостаточно детально изученные рудные поля или их части; Б₁ — площади с наличием благоприятных поисковых критериев и признаков, слабо изученные с поверхности; Б₂ — площади с вероятной рудоносностью, перекрытые безрудными отложениями и требующие глубинных поисков скрытых месторождений и т. д.

Контуры выделенных на прогнозной карте площадей покрывают штриховкой, направление которой обозначает категорию рудоносности, а цвет — развитую или ожидаемую на данной площади рудную формацию. Бесперспективные площади категории В штриховкой не покрывают; они подлежат отбраковке при планировании поисковых работ.

Кроме того, на прогнозную карту наносят отдельные непромышленные месторождения и рудопроявления, где рекомендуется проведение разведочных работ, в результате которых эти объекты могут приобрести промышленное значение. Что же касается прогноза прироста запасов на известных промышленных месторождениях, то для этого существуют специальные методы крупномасштабного прогнозирования, здесь не рассматриваемые.

На рисунке 29 в схематическом виде показан фрагмент среднемасштабной прогнозной карты некоторой условной территории, где развиты месторождения медно-полиметаллической и скарново-магнетитовой рудных формаций и предполагается выявление новых аналогичных месторождений, в том числе скрытых под безрудными отложениями.

Соответственно выделены площади категорий А₁, А₂, Б₁, Б₂ и В согласно приведенным выше градациям оценки. Первоочередными считаются поиски месторождений на одной из площадей категории Б₁ (поверхностные) как более дешевые, чем на площади Б₂, и позволяющие быстрее проверить правильность прогноза.



Остается добавить, что в последнее время получает все большее развитие *количественное прогнозирование*, заключающееся не только в оконтуривании перспективных площадей, но и в оценке прогнозных запасов полезных ископаемых, которые на основании специальных расчетов предположительно заключены в недрах земли на этих площадях. Таким образом, задача поисков и разведки состоит в подтверждении прогнозных запасов и переводе их в промышленные категории, т. е. в так называемые *балансовые запасы*.

Надеемся, что читатель не сетует на сравнительно подробную характеристику металлогенических и прогнозных карт. Их составление является крупным достижением современной геологической науки, пока еще мало освещавшимся в популярной литературе. А ведь эти карты отвечают сразу на все три поставленных в нашей книге вопроса: что искать?, где искать? и как искать?

ПЕРВЫЕ ШАГИ НА «ПОЛЕВЫХ» РАБОТАХ

Закончилось беглое знакомство с теоретическими основами металлогении и надо выезжать «в поле» (вероятно, вы знаете, что у геологов и долины, и горы, и леса называются «полем»). Наступила весна,

Рисунок 29. Схемы металлогенической (а) и прогнозной (б) карт района с медно-полиметаллическим и скарново-магнетитовым орудением

а — металлогеническая карта: 1 — современный аллювий; 2 — глины и песчанки (олигоцен — миоцен); 3 — известняки (палеоцен); 4 — известняки и мергели (верхний мел — маастрихт); 5 — вулканогенно-осадочная толща (верхний мел — сеноман); 6 — интрузии гранодиоритов (эоцен); 7 — интрузии сиенитов (эоцен); 8 — глубинный разлом (зубчики направлены в сторону опущенного блока); 9 — месторождения скарново-магнетитовой формации, связанные с гранодиоритами; 10 — гидротермально-плутоногенные месторождения медно-полиметаллической формации, связанные с сиенитами; 11 — перспективный шлиховой ореол минералов меди и свинца;

б — прогнозная карта: 1 — площади категории А₁ (хорошо изученные рудные поля медно-полиметаллических месторождений); 2 — площади категории А₂ (недостаточно оцененные рудные поля, имеющие перспективы прироста запасов); сплошные линии для медно-полиметаллической формации, пунктир — для скарново-магнетитовой; 3 — потенциально рудоносные площади категории В₁, заслуживающие проведения поисков (сплошные линии — на руды медно-полиметаллической формации, пунктир — на руды скарново-магнетитовой формации); 4 — потенциально рудоносные «погребенные» площади категории В₂, заслуживающие проведения поисков слепых месторождений медно-полиметаллической формации; 5 — безрудные площади категории В₁, признанные бесперспективными в результате поисков; 6 — безрудные площади категории В₂, бесперспективные по геологическому строению; 7 — месторождения, рекомендуемые для детального изучения на флангах; 8 — месторождения, рекомендуемые для детального изучения на глубину; 9 — площадь первоочередных поисковых работ крупного масштаба

хочется надеть походный рюкзак, взять геологический молоток, компас и поскорее отправиться на поиски рудных кладов.

Полвека назад виднейшим геологом академиком В. А. Обручевым была написана замечательная книга «Полевая геология», являющаяся подлинной энциклопедией всех навыков и действий геолога в полевой обстановке. Хотя в наши дни на вооружении поисковиков состоят самолеты и вертолеты, сложные методы и приборы, не применявшиеся при Обручеве, знакомство с его книгой необходимо всем, кто хочет всерьез заняться геологическими наблюдениями.

«На всем земном шаре уже исследованы обширные территории,— писал В. А. Обручев,— и геологические данные, хотя бы скудные, имеются почти на каждый клочок земли. И геолог, отправляющийся на полевую работу, непременно должен считаться с трудом своих предшественников, которые, с одной стороны, облегчают, а с другой—усложняют ее (полевой работы.— *Авторы*) задачу. ... Прделав подготовительную камеральную работу, геолог попадает в поле уже вооруженным итогами трудов своих предшественников и будет в состоянии проверить их наблюдения и выводы, заменяя или дополняя последние в случае надобности своими собственными выводами, на основании собранных новых фактов». Отсюда видна высокая коллективная труд геологов, когда расшифровка строения сложных участков земной коры или оценка месторождений достигается ценой усилий многих исследователей. Чтобы вклад каждого отдельного исследователя в общую копилку знаний был возможно более весомым, надо уметь зорко наблюдать геологические явления и правильно их осмысливать.

Любителю необходимо прежде всего научиться отличать изверженные породы от осадочных и знать характерные для тех и других типов пород поисковые признаки оруденения. В осадочных толщах должны привлекать внимание прослои или пласты, отличающиеся цветом, плотностью, блеском, характером излома и т. д. от других, явно безрудных пластов (сланцев, песчаников, известняков и пр.). В интрузивных породах наиболее интересны пегматитовые и кварце-

вые жилы. Конечно, во всех случаях следует уметь распознавать рудные минералы, иначе геолог уподобится врачу, который изучил по книгам все болезни, но не умеет поставить простой диагноз.

Вот некоторые главные ориентиры поисковика в мире минералов.

На присутствие *железа* указывают бурые пятна и полосы на горных породах, буроватые налеты на камнях, по которым протекают ручейки, характерный привкус воды и ее красноватый оттенок.

В глинах и песчаниках иногда слоями и гнездами залегает *бурый железняк* в виде сплошных или землистых масс темно-бурого цвета. Плотные почковидные скопления бурого железняка получили своеобразие название «бурая стеклянная голова». Поверхность у нее гладкая почти черного цвета, блеск лаковый. На расколе раковистый излом желто-бурого цвета. Твердость (таблица 15) у бурых железняков

Таблица 15

Простая шкала твердости минералов

Номер по шкале	Минерал	Примерный признак
1	Тальк	Жирный на ощупь и легко растирается между пальцами
2	Гипс	Прочерчивается ногтем до остающихся царапин
3	Кальцит	Твердость медной монеты или мрамора
4	Флюорит	Кровельное железо
5	Апатит	Оконное стекло
5,5	»	Стальная игла или стальной нож
6	Ортоклаз	Стальной нож
7	Кварц	Трехгранный напильник
8	Топаз	—
9	Корунд	—
10	Алмаз	—

колеблется от 1 (у землистых образований) до 5,5 (у плотных). Черта бурая.

Наиболее ценная железная руда *магнитный железняк*, или *магнетит*. Помимо сплошных или зернистых масс черного цвета он образует прекрасные кри-

таллы. Блеск металлический, не сильный. Твердость от 5,5 до 6,5. Важной отличительной особенностью магнетита являются его магнитные свойства. Он отклоняет магнитную стрелку, иногда притягивает железные опилки и мелкие гвоздики.

Красный железняк, или гематит, тоже ценная руда. Встречается в виде сплошных плотных масс железо-черного цвета, иногда с красноватым оттенком.

Характерные признаки горных пород, содержащих *медь*, ярко-зеленые и синие налеты и натеки, образующиеся на поверхности, где первичные медные минералы окисляются. Основная первичная медная руда — *медный колчедан*, или *халькопирит*. В состав его нередко в качестве ценной примеси входят золото и серебро. Цвет халькопирита латунно-желтый, с сильным металлическим блеском; часто наблюдаются синевато-радужные переливы, так называемая *побежалость*. Кристаллы мелкие, встречаются редко. Твердость 3,5—4.

Более светлым золотистым оттенком по сравнению с халькопиритом обладает *пирит*, иначе *железный* или *серный колчедан*. В основном пирит используется для получения серной кислоты. Однако присутствие меди, золота, никеля, кобальта и других примесей нередко превращает пирит в весьма ценную руду. Встречаются пириты в виде плотных масс, а также прекрасно образованных кристаллов, главным образом в форме куба. Сильный металлический блеск. Твердость 6—6,5. При ударе железом высекаются искры.

Медь, хотя и в незначительной концентрации, иногда встречается в песчаниках. Такие медистые песчаники при огромных площадях залегания представляют большой промышленный интерес.

Отмеченные свойства некоторых растений накапливать металлы и развиваться преимущественно над участками залегания руд особенно ярко проявляются именно в отношении цветных металлов. Поэтому «геоботанические» методы поисков, опирающиеся на упомянутые свойства, наиболее широко применяются при поисках меди, свинца и цинка. Например, сизый цветок эмолии калифорнийской как бы сообщает: «Смотрите, подо мной лежит медь». В другом месте он уже лимонно-желтый. Значит, здесь прячется цинк.

Скромные фиалки и анютины глазки совершенно непохожи на себя над некоторыми месторождениями. Если галмейная фиалка растет в районе месторождения цинка, то в золе цветка содержание этого металла достигает 17 процентов. Серебристая береза тоже любит цинк.

Ярко-зеленые пятна растения качим обычно приурочены к заброшенным отвалам медных руд. В одном из районов Алтая было установлено, что качим извлекает корнями медь и растет на тех местах, где под наносами залегают меденосные порфиры. Открытие этой закономерности оказало большую помощь геологам. По зарослям качима они почти безошибочно вскрывали рудные залежи.

Цинк и свинец — металлы, почти всегда залегающие вместе. *Свинцовый блеск*, или *галенит*, по химическому составу — *сернистый свинец*. Часто содержит различные примеси, особенно серебро (иногда до 5 процентов), цинк, сурьму. Встречается в кристаллических и зернистых плотных массах в кварцевых жилах, среди гранитов и других пород, вместе с медным колчеданом, пиритом и цинковой обманкой. Блеск у галенита сильный металлический. Твердость небольшая, около 2,5.

Цинковая обманка, или *сфалерит*, — важнейшая цинковая руда. «Сфалерит» в переводе с греческого — обманчивый. «Обманкой» этот минерал был назван рудокопами потому, что по внешнему виду совсем не похож на руду. Встречается он как в сплошных зернистых массах, так и в прекрасно образованных кристаллах, просвечивающих или прозрачных. Блеск алмазный или жирный, цвет бурый или черный, реже желтоватый, зеленоватый. Как исключение, встречаются даже совершенно бесцветные экземпляры. Твердость около 4. Некоторые разновидности светятся в темноте при раскалывании, царапании и трении.

Известны два вида *никелевых руд*: *сульфидные* и *силикатные*. Основной признак возможного оруденения — это «никелевые выцветы». При выходе на дневную поверхность породы подвергаются воздействию дождевых вод, окислению воздухом, разрушению органическими кислотами. В результате длительного окисления на дневной поверхности никелевые минера-

лы дают «никелевую зелень». Ярко-зеленый цвет ее налетов и корочек резко выделяется на сером фоне большинства горных пород и часто помогает быстро обнаруживать никеленосность последних, даже если никеля в них очень мало и первичных никелевых минералов не видно невооруженным глазом.

Если вместе с никелем в рудах имеется и медь, то выцветы на поверхности имеют травяно-зеленый оттенок и с ними встречаются минералы синего цвета.

На выжженных степях, среди ковыль-травы бывает видна пушистая головка грудницы мохнатой, которая как бы предупреждает: «Смотрите, какая я здесь уродливая, маленькая. Будьте внимательны! Это потому, что набрала из земли слишком много никеля, в 10 раз больше, чем обычно». В данном случае наблюдается пример угнетения растений от присутствия в них рудных элементов.

Важнейшая оловянная руда — *оловянный камень*, или *касситерит*, по химическому составу соединение олова с кислородом. Встречается касситерит в прекрасно образованных короткостолбчатых кристаллах бурого или черного цвета, значительно реже в красноватых или желтых. Блеск алмазный или жирный. Помимо кристаллов минерал образует зернистые и плотные массы. Оловянный камень — соединение очень стойкое, обладающее значительной плотностью (7) и равной ей твердостью, а потому при разрушении содержащих касситерит пород он собирается в россыпях. Характерна «зараженность» оловом целых районов, в связи с чем существует правило: нашли одно месторождение, следует вблизи искать и другие. Об оловоносности гранитоидов Забайкалья мы уже упоминали. Вообще благоприятны для поисков олова районы, где развиты граниты, обогащенные светлой слюдой.

Один из ценнейших редких металлов — *вольфрам* — встречается в природе главным образом в минералах вольфрамите и шеелите.

Вольфрамит образует черные и буровато-черные плотные массы, а также характерные короткостолбчатые кристаллы с металловидным блеском. Твердость 5,5. Вольфрамит приурочен к кварцевым жилам в областях развития гранитных пород.

Шеелит встречается в виде зернистых масс в жилах и вкраплениях в гранитах. Цвет белый, серый и желтый различных оттенков. Блеск жирный. Твердость 4,5. Шеелит накапливается иногда в россыпях в значительном количестве. Шеелитовый песок по внешнему виду мало отличается от обыкновенного полевошпатового песка, только твердость полевого шпата значительно выше (6). При облучении шеелита ультрафиолетовыми лучами наблюдается голубоватое свечение, особенно заметное в темноте.

Главная молибденовая руда — *молибденовый блеск*, или *молибденит*. По внешнему виду несколько напоминает свинец: цвет свинцово-серый, блеск металлический. Твердость 1—1,5. Мягок и жирен на ощупь, пишет подобно графиту. Встречается в виде листоватых вкраплений и включений в кварцевых жилах, гранитах и других породах.

Хорошими поисковыми признаками металлических полезных ископаемых служат следы древних горных работ (обвалившиеся ямы и щелеобразные углубления, рядом с которыми обычно находятся насыпи обломков руды и вмещающих пород, кучи шлака древних печей, на которых выплавлялись железо, медь, свинец, серебро и некоторые другие металлы).

При поисковых работах на *россыпные месторождения золота* и других металлов большое значение имеет рельеф местности, который, как показал Ю. А. Билибин, сам по себе является важным поисковым ориентиром.

Поисковое значение имеют изгибы русел рек и состав коренных пород, подстилающих речные осадки (или, как говорят, характер плотика). Более богатые россыпи обычно располагаются в тех частях речных долин, где русло реки не прямолинейное, а изогнутое, и там, где в главную реку впадают притоки.

Среди *радиоактивных металлов*, безусловно, наибольший интерес представляет *уран*. В рассеянном состоянии элемент уран широко распространен в земной коре; его кларк выше кларка серебра, золота и платины, однако промышленные месторождения встречаются довольно редко (хотя и не так редко, как думали раньше).

В виде примесей уран входит во многие минералы, присутствие его обнаруживается также в каменном угле, горючих сланцах, битумах, глинах, песчаниках и других породах. Наибольшего внимания разведчиков недр заслуживают следующие минералы.

Уранинит — важнейший источник урана и радия. Кристаллы небольшие, кубического облика, встречаются редко. Цвет буровато-черный со слабым фиолетовым оттенком. Блеск полуметаллический. Чаще встречаются почковидные, натечные образования — *настуран*, или *урановая смоляная руда*. Твердость от 5—6 до 3. Сильно радиоактивен. Продукты изменения уранинита в виде натечков и корок красновато-желтоватого цвета называются *гуммитом*.

Группа урановых слюдок:

Тюямунит — руда на уран, ванадий, радий. Кристаллы тонкопластинчатые. Встречается также в тонкочешуйчатых землистых массах, натечках и корках. Цвет ярко-желтый. Блеск сильный перламутровый. Спайность весьма совершенная. Твердость 1. Хрупок, сильно радиоактивен.

Отенит — известковая урановая слюдка. Кристаллы тонкочешуйчатые, иногда порошковатые налеты. Цвет зеленовато-желтый. Спайность весьма совершенная. Блеск перламутровый. Твердость 2—2,5. В ультрафиолетовых лучах светится желтовато-зеленым огоньком.

Методика поисков урановых (а также и ториевых) руд основана на использовании их важнейшего природного свойства — радиоактивного распада атомов, сопровождаемого тремя видами излучений (альфа-бета- и гамма-лучи) и выделением радиоактивных газов — эманаций радия и тория (радон и торон).

Радиометрические методы выявления месторождений радиоактивных металлов весьма сложны, требуют специальной аппаратуры и ... подробного рассказа, выходящего за рамки задач нашей книги.

СЛЕДУЮЩИЙ ШАГ — ПОИСК НЕВИДИМОГО

До сих пор речь шла о практическом применении тех поисковых признаков, которые видны невооружен-

ным глазом. Но в балансе полезных ископаемых непрерывно возрастает роль скрытых месторождений, не обнажающихся на современной земной поверхности, а прячущихся под более или менее мощным маскировочным чехлом молодых безрудных отложений. Для выявления таких месторождений в последнее время незаменимыми помощниками геологов стали геофизические и геохимические поисковые методы.

Геофизика — самостоятельная большая отрасль наук о Земле, и рассказывать о ней здесь не приходится. Что же касается геохимии, то исследование проб горных пород, почвы, золы растений проводится в лабораториях с помощью сложной аппаратуры, но отбор проб в полевых условиях не представляет каких-либо трудностей и вполне может производиться начинающим геологом.

Вы уже знаете, что геохимические методы основаны на поисках ореолов рассеяния рудных месторождений, занимающих во много раз большую площадь, чем сами рудные тела.

Соответственно характеру вещества, исследуемого в геологопоисковых целях, различают *литологохимический, гидрохимический, атмосферический (газовый) и биогеохимический методы.*

Геохимические поиски проводятся систематическим определением содержаний химических элементов в пределах исследуемого района путем отбора проб по определенной поисковой сетке для последующего анализа их состава. В пробах определяют содержание химических элементов искомого полезного ископаемого — основных ценных компонентов залежи или их спутников. Например, при геохимическом поиске месторождений анализ горных пород ведется с чувствительностью: для ртути 10^{-8} процента, золота — 10^{-7} процента, что соответственно в 10 миллионов раз в 3000 раз меньше промышленного содержания этих металлов.

Важнейшее значение имеет *литохимическая съемка*, которая основана на массовом опробовании горных пород и продуктов их выветривания. На участке месторождения *металлометрическими* методами в почве, в коре выветривания и в континентальных от-

ложениях обнаруживается повышенное (против фонового) количество рудных и сопутствующих им элементов. С помощью этого метода открыты многие месторождения цветных, редких металлов и золота, в том числе находящиеся в скрытом залегании и не доступные для выявления обычными геологическими методами.

Гидрохимическими методами устанавливается степень обогащения поверхностных и грунтовых вод рудными и сопутствующими элементами. Этот метод основан на исследовании состава природных поверхностных и подземных вод путем получения сухого остатка, соосаждения или выделения рудных элемен-



Рисунок 30. Литохимический и гидрохимический ореолы:

1 — коренные породы; 2 — коры выветривания; 3 — делювий; 4 — речные отложения

тов с последующим спектральным или химическим анализом. Гидрохимические методы наиболее глубокие из всех геохимических методов; они особенно пригодны для поисков слепых рудных тел (рисунок 30).

В результате геохимических поисков составляются карты и графики содержания элементов-индикаторов полезных ископаемых, по которым с учетом геологических и других данных расшифровывают выявленные геохимические аномалии. Среди них, как правило, только немногие отвечают промышленным месторождениям. Поэтому оценка геохимических аномалий требует тщательного анализа условий рассеяния и концентрации химических элементов на основе теоретических законов геохимии.

Несомненно, хорошо работать надо везде, но поставленный вопрос имеет другой смысл: какие природные условия наиболее благоприятны для труда геолога-поисковика? Например, в горах ходить трудно, а многие участки и вообще недоступны, но зато благодаря хорошей обнаженности легко вести наблюдения. В степи, наоборот, легко передвигаться, но нельзя осматривать коренные породы, а потому для поисков приходится применять геофизические, геохимические методы и бурение.

В этом разделе мы кратко познакомимся с некоторыми классификациями природных обстановок и условиями ведения поисковых работ.

Классификация районов

По степени проходимости. Степень проходимости характеризуется условиями рельефа, развитием растительности, наличием дорог и троп. Различают несколько категорий.

Хорошая проходимость. Степные и лесостепные районы. Долины равнинных рек. Дорожная сеть хорошо развита, передвижение автомобильного транспорта возможно повсюду.

Удовлетворительная проходимость. Всклощенные и горные районы с относительными превышениями до 500 метров. Залесенные равнинные районы. Дорожная сеть развита слабо, передвижение автомобильного транспорта возможно местами. Основной вид транспорта гужевой.

Плохая проходимость. Горные районы с относительными превышениями более 500 метров (без ледников и труднодоступных скалистых гребней). Труднопроходимые таежные, тундровые или заболоченные районы. Пустыни с полузакрепленными и сыпучими песками. Основной вид транспорта для передвижения по району выучный, с частичным использованием автомобильного и гужевого.

По сложности геологического строения. Условия геологического строения характеризуются тремя категориями сложности выполнения геологосъемных и поисковых работ.

I категория. Однообразные осадочные породы. Стратиграфия простая. Маркирующие горизонты выражены ясно. Залегание пластов горизонтальное или очень пологое. Формы рельефа несложные, хорошо прослеживаемые. Подземные воды однородного химического состава приурочены к пластам однородных пород. Резкие проявления физико-геологических процессов (оползней, разрывов и т. д.) отсутствуют.

II категория. А. Однообразные осадочные породы со слабо выраженными маркирующими горизонтами. Эффузивные и интрузивные породы ограниченного распространения. Взаимоотношения между осадочными и изверженными породами простые. Залегание пластов горизонтальное или в виде простых пологих складчатых структур. Формы рельефа эрозивно-аккумулятивные с многочисленными или с неясно выраженными террасами. Резкие проявления физико-геологических процессов отсутствуют.

Б. Районы I категории, но с широким развитием физико-геологических явлений.

III категория. А. Комплекс разнообразных пород сложного литологического состава. Метаморфические, эффузивные, интрузивные породы. Развиты складчатые и разрывные нарушения. Преобладают горные или предгорные формы рельефа. Различные типы подземных вод со сложными условиями залегания.

Б. Районы II категории со сложной трудно картируемой тектоникой или с широким развитием физико-геологических явлений.

Кроме этого, местность делится на три категории по обнаженности.

Районы с *хорошей* обнаженностью — обнажения встречаются часто как в пределах речных долин, так и на водораздельных пространствах.

Районы с *удовлетворительной* обнаженностью — обнажения ограничены и приурочены только к отдельным формам рельефа (склоны долин или водоразделы).

Районы с плохой обнаженностью — обнажения встречаются очень редко.

На основании анализа геолого-структурного положения рудоносных территорий и эрозионного вскрытия месторождений В. И. Красниковым выделены три основных типа региональных геологических структур, характеризующихся различными условиями ведения поисковых работ.

Первый тип — поднятые и в различной степени размытые древние щиты (Балтийский, Алданский, Анабарский и др.) и области разновозрастной складчатости (Урал, Казахстан, Средняя Азия, Кавказ, Забайкалье и др.). Их суммарная площадь составляет около 38 процентов территории СССР. Рациональные системы поисковых работ основываются на естественном эрозионном вскрытии рудных формаций.

Второй тип — открытые районы платформ (Русской, Сибирской, Туранской), занимающие в общей сложности 27 процентов территории СССР и обладающие двухъярусным строением. В верхнем, слабо дислоцированном ярусе платформ размещены в основном осадочные месторождения железа, марганца, алюминия, магния, меди, многих нерудных полезных ископаемых. Для их поисков применимы комбинированные системы работ, использующие как эрозионное вскрытие рудных формаций, так и глубинные методы их выявления.

Третий тип — это закрытые мощными четвертичными отложениями районы, занимающие 35 процентов территории СССР. В их пределах возможны только глубинные поиски с использованием бурения в сочетании с геофизическими и геохимическими методами.

В предложенной В. И. Красниковым схеме перечисленные типы подразделены на подтипы, и для каждого из них намечен рациональный комплекс поисковых методов.

ВМЕСТО КЛЮЧЕЙ — ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восточная поговорка гласит: «Для скачущего верхом на тигре самое страшное — это остановиться».

Так и для авторов научно-популярной книги самое страшное — это ее закончить. Из огромного материала приходится выбирать только самое главное, и когда поставлена последняя точка, начинают мучить сомнения: а действительно ли выбрано наиболее важное, не следовало ли сказать еще что-то, останется ли доволен читатель? Ну что ж, вынесение приговора за вами, а сейчас нам пора расстаться.

Мы пока не открыли рудных богатств, но и не без пользы побродили по лабиринту подземной сокровищницы. Узнали родословную рудных месторождений, посмотрели геологический хронометр и минералогический термометр, познакомился с основами металлогении, знаем, как составляются металлогенические и прогнозные карты, разбираемся и в поисковых признаках различных руд...

«Все это хорошо — говорит утомленный читатель, — но в начале книги были обещаны какие-то ключи. Где же они?».

Ах, да, ключи! Мы уверены, что вы не ожидали в буквальном смысле найти на последней странице такой средневековый крепостной ключ. Более того, вы, конечно, понимаете, что ключей, собственно говоря, нет.

Ларчик «просто» открывается — надо вооружиться серьезными геологическими знаниями и приступить к целеустремленной работе в поисковых экспедициях или партиях и отрядах. Но маленький секрет у авторов все-таки есть. Ведь слово «ключ» имеет два значения: это и предмет, которым открывают замки, а также и источник чистой воды, или в переносном смысле — источник знания. Так вот, говоря о ключах, мы тайне подразумевали именно последнее значение.

Прочитанная вами книга — лишь небольшой ключ, способный не столько утолить жажду, сколько побудить желающих к поискам более мощных источников. Таковыми на первых порах могут послужить книги, приведенные в списке литературы.

Главный вывод, к которому хотелось бы подвести читателя, заключается в непрерывно возрастающей трудности открытия новых месторождений. Потребление минерального сырья на Земле увеличивается не-

бывальными темпами. Ожидается, что в 2000 году объем добытых в мире полезных ископаемых будет в 14 раз больше, чем в 1950 году. При таких условиях почти все известные сейчас месторождения скоро будут выработаны, а где искать новые, если на планете почти не осталось необследованных уголков? Залезать глубже в недра? Изучать морское дно? Или повышать детальность поисков на ранее исследованных площадях? Проблема не безнадежная, но крайне сложная, и указать рациональные пути к ее решению могут только Наука и Труд.

Если наша книга поможет хотя бы некоторым читателям выбрать для себя этот увлекательный путь, то цель авторов будет достигнута.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билибин Ю. А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М., Госгеолтехиздат, 1955, с. 1—25.
2. Вольфсон Ф. И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. Изд. 2., М., Госгеолтехиздат, 1962, с. 9—196.
3. Вопросы изучения и методы поиска в скрытого оруденения. М., Госгеолтехиздат., 1963, с. 14—84, 315—447.
4. Горжевский Д. И., Козеренко В. Н. Связь эндогенного рудообразования с магматизмом и метаморфизмом. М., «Недра», 1965, с. 1—275.
4. Дзоцендзе Г. С. Роль вулканизма в образовании осадочных пород и руд. Изд. 2, М., «Недра», 1969, с. 256—322.
6. Котляр В. И. Основы теории рудообразования М., «Недра», 1970, с. 21—74.
7. Красняков В. И. Рациональные поиски рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959, с. 1—394.
8. Магакьян И. Г. Рудные месторождения. М., Госгеолтехиздат, 1955, с. 1—328. Изд. 2, Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1961, с. 1—548.
9. Магакьян И. Г. Типы рудных провинций и рудных формаций СССР. М., «Недра», 1969, с. 5—12.
10. Меньчуков А. Е. В мире ориентиров. Изд. 4. М., «Недра», 1973, 152 с.
11. Обручев В. А. Полевая геология. Изд. 4, М.—Л., Госгорное научно-техн. изд-во, 1932, с. 5—20.
12. Радкевич Е. А. Поиск подземных кладов.— «Культура и жизнь», 1966, № 7, с. 34—46.
13. Смирнов В. И. Очерки металлогении. М., Госгеолтехиздат, 1963, с. 1—120.
14. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. Изд. 2. М., «Недра», 1969, с. 1—685.
15. Татаринов П. М. Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1955, с. 1—278. Изд. 2, 1963, с. 370.
16. Твалчрелидзе Г. А. Рудные провинции мира (Средиземноморский пояс). М., «Недра», 1972, с. 3—41, 316—332.
17. Тектоника. Докл. сов. геол. на XXIV сессии Междунар. геол. конгр. Проблема 3. М., «Наука», 1972, с. 5—17, 125—131.
18. Хаин В. Е., Шейнманн Ю. М. Сто лет учения о геосинклиналях.— «Советская геология», 1960, № 11, с. 10—28.
19. Щербаков Д. И. Принципы и методика составления металлогенической карты.— «Советская геология», № 5, 1945, с. 52—64.
20. Щербаков Д. И. Видеть сквозь землю! — «Техника — молодежи», 1966, № 4, с. 1.

СОДЕРЖАНИЕ

Приглашение к поискам	5
---------------------------------	---

Что искать?	12
О рудах и рудных месторождениях	12
Когда ископаемые стали полезными	17
Группы и разновидности ископаемых	22
Много ли металла руде надо?	26
О минеральном составе руд	31
«Родина» руды	39

Где искать?	49
Геосферы земного шара	49
Летория нашей планеты	56
Происхождение движений и деформаций в Земле	61
О подвижных зонах земной коры	65
Платформы и их строение	73
Источники образования рудных богатств	75
«Глубина очагов» и «минералогический термометр», формирова- ния месторождений	88
Главные черты классификации месторождений	93
«Три кита» металлогении	96

Как искать?	107
Пути поиска и разведки земных кладов	107
Природные ориентиры	117
Поисковые критерии	117
Поисковые признаки	123
Карта — спутник и советник геолога	131
Первые шаги на «полевых» работах	143
Следующий шаг — поиск невидимого	150
Где геологу работать хорошо?	153
Классификация районов	153
Вместо ключей — заключение	155

Список рекомендуемой литературы	158
-------------------------------------------	-----

ВАСИЛИП ВАСИЛЬЕВИЧ ПАНЦУЛАЯ
АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ МЕМЬЧУКОВ

КЛЮЧИ К РУДНЫМ БОГАТСТВАМ

Редактор издательства В. А. Крыжановский
Художественный редактор В. В. Евдокимов
Художник В. И. Терещенко
Техн. редакторы Л. В. Дунаева, Л. Г. Лаврентьева
Корректор К. И. Савенкова

Сдано в набор 30/II 1975 г. Подписано в печать 23/IV 1975 г.
Т-08022. Формат 81×108¹/₃₂. Бумага № 1. Печ. л. 5.
Усл. п. л. 8,4. Уч.-изд. л. 8,02. Тираж 26 000.
Заказ № 91/4775-4. Цена 26 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12
Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

НЕДРА