

Кравцов А. И., Бакалдина А. П. Геология. М., Недра, 1979. 342 с.

В учебнике излагаются основы общей геологии, кристаллографии, минералогии и петрографии, исторической и структурной геологии, а также общие представления о геологическом строении СССР. Освещаются вопросы происхождения, геологии и закономерностей распространения месторождений полезных ископаемых. Приведены краткие сведения об основах геологического картирования, о методике поисков и разведки, опробования и подсчета запасов. Рассмотрены задачи шахтной геологии при разработке угольных месторождений.

Учебник предназначен для учащихся средних учебных заведений и соответствует программам курсов «Маркшейдерское дело» и «Подземная разработка угольных месторождений».

Табл. 23, ил. 99, список лит.— 15 назв.

Рецензенты: Терентьев Е. В.— гл. геолог Союзуглекологии Минуглепрома СССР, Горлов А. И.— преподаватель Лисичанского горного техникума

Настоящий учебник подготовлен в соответствии с новой учебной программой по курсу «Геология», являющейся одним из основных специальных предметов для учащихся специальности «Маркшейдерское дело». В процессе изучения этого предмета учащиеся должны приобрести основы знаний о геологических процессах, о вещественном составе, строении земной коры и размещении в ней месторождений полезных ископаемых. Особое место в учебнике отведено общим вопросам геологии месторождений и особенно горно-геологических условий их разработки, что необходимо для успешного изучения предмета «Горная геометрия», где рассматриваются способы геометризации формы залегания, структуры и качества полезного ископаемого. Успешное изучение горной геометрии и приобретение навыков по геометризации месторождений полезных ископаемых возможно только при условии прочного усвоения основ геологии, которые важны для практической деятельности маркшейдера, особенно в области изучения и прогноза горно-геологических условий разработки месторождения.

При изложении предмета авторами особое внимание удлено освещению вопросов диалектических закономерностей развития природы, представления о материальности мира, объективности законов природы и возможности их познания, взаимосвязи явлений. Показано место и значение геологии в развитии материально-технической базы СССР, роль отечественных геологов в развитии геологических знаний и задачи геологии, вытекающие из решений и постановлений Коммунистической партии и Советского правительства о дальнейшем развитии народного хозяйства СССР.

Учебник «Геология» включает три части.

Первая, общегеологическая часть состоит из трех глав, написанных доцентом А. П. Бакалдиной (§§ 12, 13 составлены профессором В. М. Цейслером). Первая глава посвящена характеристике строения Земли, ее положению в мировом пространстве и происхождению, изучению современных процессов внутренней и внешней геодинамики. Вторая — вопросам кристаллографии, минералогии и петрографии. Третья — посвящена анализу форм залегания горных пород, определению их возраста, тектоническому районированию СССР.

Вторая и третья специальные геологические части написаны профессором А. И. Кравцовым. В них изложены общие вопросы учения о полезных ископаемых и геологии их месторождений, однако особое место отведено твердым горючим ископаемым (уголь, горючие сланцы), так как выпускники гото-

вятся для предприятий угольной промышленности. Рассмотрены основы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Большое внимание уделено методике и технике эксплуатационной разведки в процессе разработки месторождений полезных ископаемых. Последний раздел учебника написан проф. В. М. Цейслером и посвящен вопросам охраны окружающей среды.

В учебнике рассмотрены очень важные вопросы шахтной геологии, гидрогеологии и инженерной геологии в объеме, необходимом для прогнозирования горно-геологических условий разработки угольных месторождений.

Техник-маркшейдер должен хорошо знать шахтную геологическую службу, на которую возложено всестороннее геологическое изучение месторождений для технически правильной подготовки и эксплуатации шахт и карьеров. На основе систематических наблюдений в горных выработках, с учетом имеющихся материалов детальной разведки, шахтные геологи уточняют, детализируют, а в ряде случаев существенно изменяют представления о характере угленосности и геологическом строении месторождений, строении угольных пластов, качестве угля, газоносности, инженерной геологии и гидрогеологии и других горно-геологических условиях отработки шахтного поля.

При написании настоящего учебника использованы материалы личных исследований авторов и материал, изложенный в различных литературных источниках.

Характеризуя современные геологические процессы, авторы опирались на учебные пособия Г. П. Горшкова, А. Ф. Якушевой [6] и коллектива авторов под редакцией Г. Д. Ажгирея [1]. При описании минералов были использованы учебные пособия Н. А. Смольянинова [14] и А. В. Миловского [10]. При составлении разделов структурной геологии использован учебник А. Е. Михайлова [12].

При описании геологии месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых широко использованы учебные пособия П. М. Татаринова и др. [14], С. А. Вахромеева и др. [4], А. И. Кравцова и А. А. Трофимова [9].

Некоторые разделы из последних пособий, а также иллюстрации к ним были включены в учебник с небольшими изменениями. В тех случаях, когда нельзя было установить автора рисунка, таковые помещались без ссылки на автора. Список использованной литературы приведен в конце книги.

Авторы с большой признательностью примут критические замечания и пожелания, направленные на улучшение учебника.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Глава I ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

§ 1. ПОЛОЖЕНИЕ ЗЕМЛИ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

1.1. СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ВСЕЛЕННОЙ

Вселенная образована скоплением огромного числа разновеликих раскаленных звезд, подобных Солнцу, планет, астероидов, метеоритов, комет, скоплений космической пыли и разреженных газов, образующих газо-пылевые туманности, а также потоков разреженного газа — плазмы.

Все космические тела Вселенной группируются в многочисленные системы, связанные друг с другом силами взаимного притяжения. Одной из таких систем является Солнечная.

Солнечная система. В состав Солнечной системы входят: Солнце, обращающиеся вокруг него девять планет со спутниками, астероиды, кометы, метеориты, пыль и разреженный газ. Кроме того, в Солнечной системе вокруг Солнца, Земли и Луны врачаются различные искусственные небесные тела (спутники планет, межпланетные станции), созданные за последние годы человеком. Диаметр Солнечной системы — приблизительно 12 млрд. км.

Солнце — ближайшая к Земле звезда, источник света, тепла и жизни в Солнечной системе. Масса Солнечной системы сосредоточена практически в Солнце — 99,86 %. Масса Солнца в 333 000 раз больше массы Земли. Солнце имеет наибольшую силу притяжения и управляет движением всех членов Солнечной системы.

Солнце — это раскаленная водородно-гелиевая газовая среда с небольшим содержанием всех остальных химических элементов. Температура на его поверхности составляет 6000°C , в недрах — $15\,000\,000^{\circ}\text{C}$. Источником энергии Солнца служат постоянно протекающие ядерные реакции. Солнце излучает огромное количество энергии, однако до планет доходит лишь часть ее. Так, Земля получает менее одной двухмиллиардной доли солнечной энергии.

Вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, близким к окружностям, вращаются девять планет. В порядке удаления от Солнца расположены орбиты Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Плутона.

Планеты Солнечной системы не обладают способностью самосвещения из-за недостаточно высокой температуры. Они подразделяются (табл. 1) на внутренние, или планеты типа Земля (Меркурий, Венера, Земля, Марс), внешние, или планеты гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), и малые (астEROиды). Плутон относится по размерам и массе к планетам земной группы.

Таблица 1

Основные характеристики планет

Планеты	Масса (Земля — 1)	Радиус (Земля — 1)	Средняя плотность, г/см ³
Внутренние планеты			
Меркурий	0,0543	0,383	5,62
Венера	0,8136	0,9551	5,15
Земля	1,000	1,000	5,517
Марс	0,1069	0,528	4,00
Малые планеты			
Астероиды (хондрито- вые)	0,00013	0,058	3,5
Внешние планеты			
Юпитер	318,35	10,97	1,35
Сатурн	95,3	9,03	0,71
Уран	14,54	3,72	1,56
Нептун	17,2	3,38	2,47
Плутон	0,033(?)	0,54 (?)	(?)

Планеты Меркурий, Венера, Земля и Марс отличаются от планет гигантов меньшими размерами, меньшей массой, большой плотностью (состоят из твердого материала), более медленным вращением.

Планеты гиганты характеризуются значительной массой, низкой плотностью, что позволяет предполагать о их газообразном состоянии.

Вокруг большинства планет, за исключением Меркурия, Венеры и Плутона, врачаются естественные спутники, имеющие значительно меньшие размеры, чем их планеты. У Земли один естественный спутник — Луна, у Марса — два, у Юпитера — двенадцать, у Сатурна — девять и так называемые кольца Сатурна, у Урана — пять, у Нептуна — два.

Все планеты врачаются вокруг Солнца и одновременно вокруг своих осей. Спутники врачаются вокруг собственных осей, вокруг планет и вместе с планетами — вокруг Солнца.

Астероиды, или малые планеты, имеющие небольшие размеры и неправильную форму, обращаются между орбитами Марса и Юпитера, образуя пояс астероидов. К настоящему времени насчитывается более 1700 астероидов. Суммарная масса их оценивается всего лишь в 0,1 массы Земли. Самый крупный астероид Церера имеет диаметр 770 км, большинство же — всего несколько километров.

Метеориты — тела космического происхождения, проникающие из межпланетного пространства в нижние слои атмосферы. Различают три вида метеоритов: каменные, железные и железо-каменные. В свою очередь каменные метеориты подразделяются на хондриты и ахондриты. Наиболее часто на Землю выпадают каменные метеориты — хондриты, состоящие из зернышек размером 1 мм и менее, называемых хондрами. Ахондритовые метеориты не имеют хондр и подобны земным изверженным породам. Метеориты состоят из химических элементов, которые известны на Земле.

Возникновение астероидов и метеоритов объясняют тем, что вещество по какой-то причине не могло собраться в одно большое тело — планету, либо это осколки распавшейся планеты.

Кометы (хвостатые звезды) движутся вокруг Солнца по сильно вытянутым орбитам, поэтому наблюдать их можно лишь периодически. Кометы состоят из ядра, комы и хвоста. Ядро состоит из протоплазменного вещества, замерзших газов (углекислота, аммиак, метан), загрязненных космической пылью. Масса ядра не превышает 1/10 000 массы Земли. При приближении такого ядра к Солнцу газы испаряются и создают разлетающуюся кому — газовую оболочку. Ядро и кома образуют головку кометы. С приближением к Солнцу у кометы возникает хвост, который состоит из газов и формируется под действием солнечного ветра. Длина хвоста кометы иногда соответствует расстоянию от Земли до Солнца.

Вселенная. Солнце с его планетами входит в систему звезд — Галактику (Галактикой называют участки наиболее плотного расположения звезд в пределах Вселенной).

В состав нашей Галактики входят все звездные скопления Млечного пути, а также близлежащие созвездия. Кроме того, холодные несветящиеся тела, скопления разреженных газов и космической пыли, образующих туманности. Последние встречаются и за пределами галактик, в связи с чем получили название внегалактических туманностей.

Галактика имеет форму линзы с диаметром в 80 000 световых* лет и толщиной в 10 000 световых лет. Внутри линзы

* Единицей измерения расстояний между звездами служит световой год, т. е. расстояние, которое свет проходит за один год, и парсек (сокращено пс), равный 3,26 световых года.

скопления звезд образуют спиральные ветви, поэтому наша Галактика относится к спиралевидной.

Звезды представляют собой тела, состоящие из раскаленных газов. Количество их в Галактике — около 100 млрд. Звезды удалены друг от друга на расстояние 7—10 световых лет. Размеры звезд, плотность слагающих их веществ и скорости собственных движений различны. Солнце — сравнительно небольшая звезда, его масса в 2,3 раза меньше массы средней звезды. Полагают, что около некоторых звезд также существуют планеты.

Солнечная система вместе с другими звездами вращается вокруг оси Галактики, которая проходит через центральную часть Млечного пути.

Во Вселенной число подобных галактик оценивается цифрой 10^{12} . Ближайшие к нам скопления галактик находятся в созвездии Девы на расстоянии около 10 млн пк. Галактики объединяются в гигантскую систему галактик, называемую Метагалактикой, границы которой пока что не известны.

В 1960 г. были открыты самые яркие источники света во Вселенной — квазизвездные (звездоподобные) источники, или квазары. Один из них по светимости в 100 раз больше, чем наша Галактика. По данным академика В. Л. Гинзбурга, квазары — это огромные неустойчивые сверхзвезды, окруженные оболочкой из разреженного газа. Почти шарообразное ядро квазара представляет собой скопление газа с массой, достигающей сотен миллионов масс Солнца. Расстояние до ряда квазаров около 8 млрд. световых лет, что позволяет полагать о необъятности Вселенной.

На основании теории относительности Эйнштейна советский физик А. А. Фридман обосновал возможную модель Вселенной, способной менять свой объем. Наличие красного смещения спектральных линий в спектрах галактик позволяет предполагать, что в настоящее время они удаляются друг от друга. Трудно сказать, в какой мере Вселенная обладает свойствами, приписываемыми ей той или иной космологической моделью. Однако полагают, что стадия расширения Вселенной длится много миллиардов лет, и сейчас Метагалактика расширяется замедленно.

1.2. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

В настоящее время познание Вселенной осуществляется комплексом методов.

Изучение метеоритов позволяет судить о веществе космических тел, а также сделать некоторые выводы о составе и строении внутренних частей Земли, так как происхождение Земли

и других планет Солнечной системы едино. По данным ядерной хронологии, возраст метеоритов примерно 4,5—4,6 млрд. лет, что близко к возрасту Земли.

С помощью телескопов и радиотелескопов в комплексе с различными специальными приборами определяют температуру, рельеф поверхности космических тел, их радиоизлучение, спектры светил. Характер спектра позволяет судить о движении космических тел, об их химическом составе и о типах реакций, протекающих в них.

Искусственные спутники, космические станции и корабли. Первый в мире искусственный спутник Земли был запущен в нашей стране 4 октября 1957 г. Он положил начало систематическому изучению космического пространства. С помощью последующих спутников, космических станций и кораблей, оснащенных специальными автоматическими приборами, на Землю постоянно передается ценная информация из космоса.

Достижения космонавтики в изучении планет Солнечной системы позволили расширить наши познания о ряде планет: Луне, Венере, Марсе.

В Советском Союзе впервые в мировой практике был успешно осуществлен полет автоматического космического аппарата «Луна 16» на другое небесное тело и возвращение его на Землю. На Луне долгое время работал автоматический аппарат «Луноход 1». Автоматические станции «Луна 20» и «Луна 24» отобрали пробы лунных пород и доставили их на Землю. Луна — ближайшее к нам небесное тело, и предполагают, что на Луне возможно обнаружить следы процессов, сходных с процессами, которые протекали на ранних этапах формирования Земли.

С помощью автоматических станций «Венера 4», «Венера 9», «Венера 10», «Венера 11» и «Венера 12» получена ценная научная информация об атмосфере Венеры, плотности ее грунта и т. д. «Венера 9» и «Венера 10» передали на Землю изображения ландшафта в местах их посадки.

Впервые в истории осуществлена мягкая посадка космического аппарата на поверхность Марса. Искусственные спутники «Марс 2» и «Марс 3» за время полета по орбитам передали на Землю научные сведения о физических особенностях планеты и окружающего ее космического пространства.

Одновременно с автоматическими станциями в космическое пространство уходили советские пилотируемые корабли классов «Восток», «Восход», «Союз» и американские корабли классов «Меркурий», «Джемини», «Аполлон», экипажи которых провели ряд научных и технических экспериментов в космосе.

По результатам космических исследований в настоящее время составлены достаточно подробные топографические карты поверхности Луны и Марса.

1.3. ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ О ПРОИСХОЖДЕНИИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Крупным шагом в развитии материалистического понимания природы явилось создание космогонической гипотезы немецким философом Э. Кантом (1724—1804). Позднее она получила математическое обоснование в работах французского астронома Н. Лапласа (1749—1827).

В соответствии с воззрениями Канта и Лапласа, Солнечная система образовалась из раскаленной газовой туманности, вращающейся вокруг своей оси. Вследствие постепенного охлаждения туманность стала сжиматься и утолщаться, что привело к увеличению скорости вращения и отделению от нее газовых колец, которые со временем превращались в планеты. Внутренний сгусток туманности преобразовался в Солнце.

Дальнейшее развитие астрономии показало, что гипотеза Канта—Лапласа бессильна объяснить некоторые особенности движения Солнца и планет. На смену ей в конце XIX и начале XX веков появилось много других гипотез. Мультон и Чемберлен, а затем Джинс и Джеффрис предложили в разных вариантах гипотезы столкновения или близкого возмущающего прохождения около Солнца другого космического тела — звезды (катастрофические гипотезы). Обладая большой массой, эта звезда вызвала на Солнце приливную волну в виде удлиненного потока газа, который оторвался от Солнца. После удаления звезды материя частично рассеялась, а из некоторых ее сгустков образовались планеты и их спутники. Оставаясь в сфере притяжения Солнца, они начали вращаться вокруг него. Гипотезы столкновения нельзя считать удовлетворительными, так как они основаны на неправильных взглядах об исключительности Солнечной системы, которая должна рассматриваться как редчайшее, чуть ли не единственное явление во Вселенной. Между тем, последние наблюдения указывают на то, что системами спутников — темных тел обладают очень многие звезды.

В современной космогонии общепринято представление о возникновении планет из холодных частиц газо-пылевого околосолнечного облака. Эта гипотеза была выдвинута в конце 40-х годов академиком О. Ю. Шмидтом. В последующие годы над разработкой этой гипотезы работали многие советские ученые.

Академик О. Ю. Шмидт считал, что в процессе прохождения Солнца сквозь туманность часть холодного метеоритного вещества, находившаяся на значительном удалении от Солнца, вследствие его мощного притяжения стала вращаться вокруг него по взаимопересекающимся орбитам. Это приводило к изобежному столкновению частиц друг с другом. Более крупные частицы притягивали к себе частицы с меньшей массой. Так

увеличивались размеры и масса частиц. Когда притяжение каких-либо тел становилось преобладающим, образовались планеты. При формировании планет некоторые частицы, сталкиваясь, настолько теряли скорость, что выпадали из общего роя и начинали обращаться вокруг планеты. В результате возникли спутники планет. Последующее разогревание планет академик О. Ю. Шмидт объяснял выделением тепла в недрах за счет распада радиоактивных веществ.

Академик В. Г. Фесенков высказал несколько иную точку зрения о происхождении Солнечной системы. Он считал, что Солнце и планеты образовались из одного и того же межзвездного холодного газо-пылевого сгущения. При вращении туманности из ее центральной части возникло Солнце (новая звезда), внутри которого начали действовать ядерные реакции. С возрастанием скорости вращения Солнца и вследствие излучения им энергии Солнце теряло массу рассеянного вещества, которое поступало в межзвездное пространство и продолжало вращаться вокруг Солнца. Постепенное сгущение и уплотнение этого газо-пылевого вещества обусловило формирование планет и их спутников.

Возраст Земли как планеты определяется приблизительно в 5 млрд. лет. Возраст Солнца по скорости уменьшения количества водорода также оценивается в 5 млрд. лет.

§ 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФОРМЕ, РАЗМЕРАХ, СОСТАВЕ И СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛИ

Форма и размеры Земли. К выводу о шарообразной форме Земли впервые пришел древнегреческий ученый Пифагор в 530 г. до нашей эры, а научно доказал это Аристотель в IV веке до нашей эры.

На рубеже XVII—XVIII веков французские ученые установили, что часы в приэкваториальной части Южной Америки идут медленнее, чем в Париже, на 2,5 минуты в сутки. Ньютона объяснил это явление тем, что Земля, вследствие вращения вокруг своей оси, под влиянием центробежных сил приняла форму эллипсоида вращения (сфероида), скатого у полюса. Измерения длины дуг в 1°, проведенные в различных широтах (в Скандинавии и на экваторе в Перу), подтвердили высказывание Ньютона. Однако дальнейшее изучение показало, что форма поверхности Земли существенно отличается от формы поверхности идеального эллипсоида вращения.

В настоящее время принято, что геометрическая фигура Земли ограничена уровнем Мирового океана, мысленно продолженным под материками. Такая фигура называется геоидом. Вместе с тем амплитуды неровностей на поверхности Земли

достигают 20 км. Например, вершина Гималаев г. 'Джомолунгма имеет высоту 8848 м над уровнем моря, а глубина Марианской впадины в Тихом океане равна 11 034 м. По сравнению с размерами всей Земли эти неровности очень незначительны, однако они обусловили различное распределение силы тяжести на ее поверхности. Соотношение между поверхностями геоида, эллипсоида вращения (сфероида) и действительной поверхностью Земли показано на рис. 1.

Экваториальный радиус (большая, или экваториальная, полуось) Земли составляет 6378,245 км, полярный радиус (малая, или полярная, полуось) 6356,863 км. Отношение разности между большой и малой полуосами к большой полуоси называется полярным сжатием, или сплющенностью Земли. Оно равно 1 : 298,3.

Площадь поверхности Земли составляет около 510 млн. км², объем 1083 млрд. км³. Длина земного меридиана равна 40008,6 км, длина экватора 40075,7 км.

Масса и плотность Земли. Изучение массы и плотности Земли представляет большой интерес для науки, так как знание этих величин позволяет определить массу Солнца, других планет Солнечной системы, Галактики и т. д.

По данным наиболее точных измерений, масса Земли составляет $6,98 \cdot 10^{27}$ г, средняя плотность 5,517 г/см³. Плотность пород, слагающих нашу планету, различна. Породы, залегающие на поверхности Земли и на глубинах, достигнутых бурением, имеют плотность не более 3,0—3,3 г/см³. На больших глубинах плотность пород, по-видимому, будет достигать 10—12 г/см³.

Сила тяжести Земли. Земля обладает свойством притяжения. Сила, с которой Земля притягивает к себе предметы, называется силой тяжести. Действие силы тяжести происходит по вертикальной линии к центру нашей планеты. Вследствие сплющенности Земли у полюсов и утолщении на экваторе сила тяжести у экватора меньше, чем на полюсах. Поэтому она несколько изменяется для каждой широты и ее можно теоретически вычислить. Эта величина называется нормальной силой тяжести. Однако действительная величина силы тяжести не всегда совпадает с нормальной, так как она зависит и от массы неравномерно распределенного вещества в земной коре. Эти отклонения получили название аномалий силы

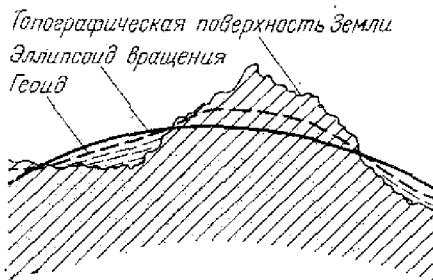


Рис. 1. Соотношение между фактическими поверхностями литосфера, геоида и эллипсоида

тяжести, которые могут быть отрицательными и положительными.

Выявление положительных (отрицательных) аномалий указывает на наличие в недрах более (менее) плотных пород, образующих отдельные линзы, прослой, участки, скопления и т. д. среди других отложений. Выявление положительных и отрицательных аномалий с помощью гравиразведки (отрасль разведочной геофизики) позволяет обнаружить в недрах ряд полезных ископаемых (различные руды, соли, скопления воды, нефть, газ и т. д.).

Температура Земли. Земля получает тепло из двух источников: от Солнца и из собственных недр. На поверхности Земли основным источником тепла является Солнце, так как внутренняя теплота ввиду плохой теплопроводности горных пород доходит до поверхности в незначительном количестве, составляя 0,5% солнечной теплоты.

Ввиду неравномерности прогрева дневной поверхности в различных широтах ее температурный режим подвержен значительным колебаниям — вековым, годовым, сезонным, суточным. Например, в среднеазиатских пустынях почва летом нагревается до +70° С и более, а зимой промерзает до —30° С. Однако с глубиной влияние солнечного тепла постепенно уменьшается и затем совершенно исчезает. Та зона Земли, в которой не склоняются колебания поверхностных температур, называется зоной (поясом) постоянной температуры. Температура этого пояса равняется приблизительно средней годовой температуре данной местности. Если она ниже 0° С, то возникает «вечная мерзлота». Глубина залегания пояса постоянных температур на экваторе 1—2 м, в пределах Москвы 20 м и вблизи Архангельска — около 10 м. Ниже этого пояса происходит увеличение температуры с глубиной за счет внутренней теплоты Земли.

Глубину в метрах, на протяжении которой температура в недрах увеличивается на один градус, принято называть геотермической ступенью.

Прирост температуры в градусах при углублении на каждые 100 м называется геотермическим градиентом.

Величина геометрической ступени в разных районах Земли изменяется от 1,5 до 170 м, составляя в среднем 30—33 м. В районе Пятигорска она равна 1,5 м, Ленинграда 19,6 м, Москвы 38,4 м, в Карелии более 100 м, в районе Поволжья 50 м и т. п.

Если допустить, что среднее значение геотермической ступени сохраняется на всем расстоянии от пояса постоянной температуры до центра Земли, то температура ядра Земли должна составить 100 000—200 000° С. Однако сравнительно тонкая земная кора не могла бы сохраниться под воздействием таких температур. Полагают, что в земной коре увеличение

температуры согласно средней геотермической ступени происходит только до глубины 15—20 км, ниже геотермическая ступень резко возрастаёт. Специалисты считают, что температура в центре Земли не превышает 4000° С.

Источниками внутреннего тепла Земли являются: энергия распада радиоактивных элементов, энергия, освобождающаяся при химических реакциях и тектонических движениях, энергия перехода вещества из одного состояния в другое и т. п.

Магнетизм Земли. Земля — это гигантский магнит, вокруг которого существует магнитное поле — магнитосфера. Магнитные и географические полюса Земли не совпадают (рис. 2).

Линии, соединяющие магнитные полюса, называются магнитными меридианами. В любой точке земной поверхности магнитная стрелка компаса устанавливается по магнитному меридиану (магнитной силовой линии). Угол, образующийся между магнитным и географическим меридианами, называют магнитным склонением. Этот угол будет наибольшим на географических полюсах и наименьшим на экваторе. Различают западное склонение, если северный конец магнитной стрелки отклоняется к западу от географического меридиана, и восточное,

если он отклоняется к востоку. Линии, соединяющие на карте точки с одинаковыми магнитными склонениями, называются изогонами.

Магнитная стрелка, если ее закрепить на горизонтальной оси, занимает горизонтальное положение только на экваторе. По мере приближения к магнитным полюсам она наклоняется и на полюсах стремится занять вертикальное положение. Угол, образованный магнитной стрелкой компаса с горизонтальной плоскостью, называется углом наклонения. Линии, соединяющие точки с равным наклонением, называются изоклиниами.

Силовое магнитное поле Земли определяется его напряженностью. Величина напряженности увеличивается к магнитным полюсам. Линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями напряженности, называются изодиплами.

Действительное распределение элементов земного магне-

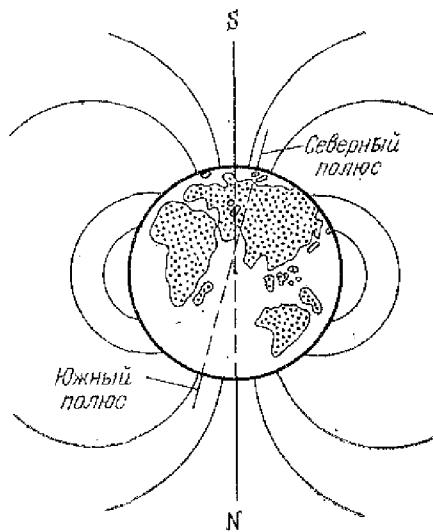


Рис. 2. Магнитное поле Земли (схема)

тизма (склонения, наклонения и др.) нередко отличается от среднего расчетного значения для данной местности. Такие отклонения — магнитные аномалии обусловлены вещественной неоднородностью Земли, изменением содержания в горных породах ферромагнитных минералов. Примером может служить Курская магнитная аномалия, связанная с уникальным месторождением железных руд.

Величины склонений, наклонений и магнитной напряженности не постоянны и испытывают вековые, годовые и суточные колебания. Наряду с медленными изменениями (вариациями) элементов земного магнетизма, наблюдаются внезапные — «магнитные бури». Замечено, что магнитные бури предшествуют землетрясениям и возникают в периоды повышенной солнечной активности.

2.2. СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Наша планета состоит из концентрических оболочек — геосфер различной плотности. Геофизическими (сейсмическими) исследованиями в недрах Земли установлены поверхности раз-

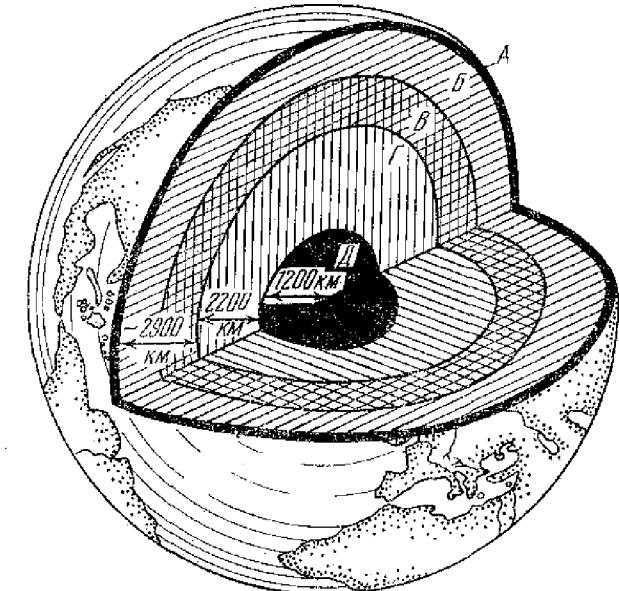


Рис. 3. Строение Земли.
А — земная кора; Б — верхняя мантия; В — нижняя мантия; Г — внешнее ядро; Д — внутреннее ядро

дела, позволяющие выделить внутренние геосфераы Земли — земную кору, мантию (промежуточную оболочку) и ядро (рис. 3). Внешними оболочками Земли являются атмосфера, гидросфера, биосфера. Каждая оболочка характеризуется определенным химическим составом и физическим состоянием вещества.

2.2.1. Внутренние геосфера

Земная кора это твердая оболочка Земли с непостоянной мощностью и строением. Ее толщина на континентах от 20 до 70 км, в океанах — от 5 до 15 км, составляя в среднем 32 км.

Различия в скоростях распространения сейсмических волн в земной коре позволяет выделить в ее составе три слоя.

Верхний осадочный слой со скоростями распространения продольных сейсмических волн от 2,0 до 5,0 км/с состоит в основном из относительно неплотных осадков. Его максимальная мощность на континентах и в переходных зонах от континентов к океанам составляет 10—15 км, реже 15—25 км. В центральных частях океанов — меньше 1 км, в среднем 0,3—0,4 км.

Второй слой известен под названием «гранитного», так как скорость распространения продольных упругих волн в нем, равная 5,5—6,0 км/с, отвечает экспериментально полученным скоростям в гранитах. Породы этого слоя местами выходят на поверхность и изучение их показывает, что они сложены не только гранитами, но и гнейсами и другими метаморфическими породами с плотностью 2,7—2,8. Мощность этого слоя на континентах изменяется от 10 до 30—40 км. В сторону океанов «гранитный» слой выклинивается.

Нижний слой земной коры называют «базальтовым», так как скорость прохождения в нем продольных волн (6,5 км/с) соответствует величинам, полученным в полевых и лабораторных условиях для пород основного состава — базальтов. Геофизический базальтовый слой выходит на поверхность на ограниченных участках и состав его до конца не изучен. Плотность пород слоя 3,0—3,2. Мощность базальтового слоя на континентах изменяется от 10—15 до 25—30 км, под дном океанов — от 5 до 15 км.

Таким образом, мощность и состав земной коры на континентах и в океанах не одинаковы, в океанах отсутствует «гранитный» слой, в связи с чем различают два типа земной коры — континентальный и океанический.

Мантия отделяется от земной коры поверхностью сейсмического раздела Мохоровичича (сокращенно граница Мохо), которая характеризуется скачкообразным увеличением скорости прохождения сейсмических волн до 8 км/с. Согласно сейсмическим данным, мантия неоднородна по своему составу и подразделяется (см. рис. 3) на верхнюю мантию (до глубины 900 км) и на нижнюю (до глубины 2900 км). В верхней мантии на глубинах 50—60 км под океанами и 100—120 км под континентами до глубин 400 и 250 км (соответственно) установлена зона астеносфера («слабый слой»), в которой вещество обладает повышенной вязкостью или находится в расплавленном состоянии. Поэтому астеносфера рас-

сматривается как место зарождения магматических процессов, землетрясений.

В последние годы все слои, лежащие выше астеносферы (земная кора и верхи верхней мантии до глубин 60—120 км) объединяются в единую оболочку Земли, называемую литосферой.

Плотность пород верхней мантии, за исключением астеносферы, составляет 3,4, а нижней мантии 5,5—6,0.

Многие ученые полагают, что породы, слагающие мантию, по составу соответствуют ультраосновным и поэтому ее нередко называют перидотитовой оболочкой Земли.

Ядро занимает внутреннюю часть планеты. Граница между мантией и ядром отмечается резким уменьшением скорости сейсмических волн. Ядро также разделяют на две части (см. рис. 3) — внешнюю и внутреннюю. Граница между ними на глубине 5100 км фиксируется некоторым увеличением скорости прохождения сейсмических волн. В связи с этим считают, что внешнее ядро находится в жидким состоянии, а внутреннее в твердом. Плотность вещества в центре Земли достигает 12,5, давление почти 4 млн. атм *. Большинство специалистов склонны считать, что ядро состоит в основном из железа, находящегося в особом металлизированном состоянии (электронные оболочки вещества частично разрушены).

Химический состав Земли. Первую сводку о составе земной коры дал американский ученый Ф. Кларк в 1898 г. Советские академики В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман и А. П. Виноградов внесли огромный вклад в изучение состава земной коры. Согласно последним данным, земная кора состоит в основном из восьми элементов, на долю которых приходится 99,03% (табл. 2).

Таблица 2
Химический состав земной коры по А. П. Виноградову

Элементы	O	Si	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg	Все прочие
Вес, %	47,0	29,5	8,05	4,65	2,96	2,50	2,50	1,87	0,97

О химическом составе мантии и ядра судят по химическому составу метеоритов и плотности пород, установленной геофизическими методами.

2.2.2. Внешние оболочки

Атмосфера газообразным покровом обтекает земную поверхность. Ее верхняя граница находится на высоте 3000 км. Атмосфера разделяется (снизу вверх) на тропосферу, стратосферу и ионосферу.

* 1 атм $\approx 1 \cdot 10^5$ Па.

Мощность тропосфера у экватора достигает 17 км, у полюсов 8—10 км, составляя в среднем 12 км. В тропосфере заключено до 80% массы всей атмосферы. Газовый состав (воздух) тропосфера следующий: азота 78,08%, кислорода 20,95%, аргона 0,93%, углекислого газа 0,03%. На долю других газов (водорода, неона, криптона, ксенона, гелия и др.) приходится 0,01%. В тропосфере содержится почти весь водяной пар и образуется основная масса облаков. Давление воздуха в нижних слоях тропосфера (на уровне моря) составляет 760 мм рт. ст.*, или 1 атм. На высоте 10 км давление снижается до 200 мм рт. ст. Температура воздуха Земли зависит от широты местности, различных климатических условий и на каждые 100 м высоты понижается на 0,6° С. Так, на высоте 10 км температура воздуха ниже минус 50° С. В результате неравномерного распределения тепла и давления в тропосфере происходит горизонтальная и вертикальная циркуляция воздушных масс.

Выше тропосферы, до 80—90 км от поверхности Земли, располагается стратосфера. На ее долю приходится менее 10% от всей массы атмосферы. Водяные пары в стратосфере почти отсутствуют. Температура в нижних слоях близка к температуре верхних слоев тропосферы. В средней части стратосферы за счет присутствия озона, который поглощает ультрафиолетовые солнечные лучи, температура повышается и на высоте 60 км достигает +75° С. В верхних слоях температура вновь понижается до 80—90° С ниже нуля.

В верхнем слое атмосферы — ионосфере воздушные массы находятся в состоянии крайнего разрежения, так как присутствуют атомном, а не в молекулярном состоянии. Под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца вещество ионизируется (атомы теряют свои электроны). Температура ионосферы достигает нескольких сотен и тысяч градусов выше нуля (на высоте 200 км — 600—700° С, на высоте 1100 км — 4000° С). Это связано с интенсивным поглощением азотом и кислородом ультрафиолетовых лучей. Однако в силу особого физического состояния ионосферы тела в ней не нагреваются.

Гидросфера. Вода океанов и морей не образует сплошной оболочки вокруг Земли, а занимает на ее поверхности понижения и впадины. Тихий, Атлантический, Индийский, Ледовитый океаны и связанные с ними внутриконтинентальные моря образуют единую систему океана. Без учета вод озер, болот, рек площадь Мирового океана занимает около 70,8% всей земной поверхности.

Структурно-геоморфологическими элементами океанов являются: шельф, континентальный склон, ложе океана, включающее океанические котлованы, разобщенные срединно-океа-

ническими хребтами и валами, глубоководные желоба, островные дуги и котловины окраинных морей (рис. 4).

Шельф — это окраинные части континентов, погруженные до глубины первых сотен метров.

Ложе океана находится на глубинах от 2,5 до 6 км и через континентальный склон переходит в шельф.

Срединно-океанические хребты — это очень крупные горные системы, осложняющие строение ложа океана и разобщающие отдельные океанические котловины. Они вы-

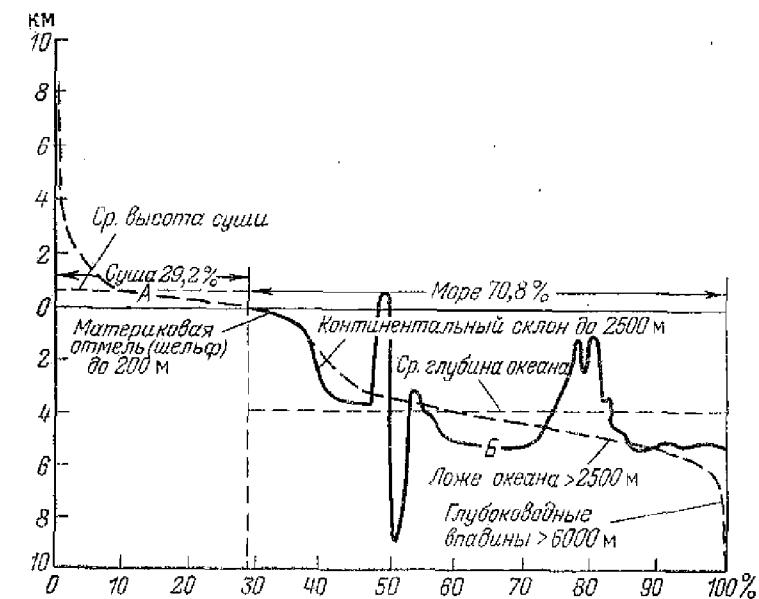


Рис. 4. Гипсографическая кривая (A) и обобщенный профиль дна океана (Б)

деляются в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах, образуя единую систему протяженностью до 60 000 км и шириной до 1000 км. Высота хребтов от 1 до 3 км.

Островные дуги — это системы островов или подводных возвышенностей, расположенных во внешней части океанов. Они отделяют котловины окраинных морей (Берингово море, Японское море и др.) от центральной части океанов. Со стороны океана вдоль островных дуг протягиваются узкие глубоководные желоба.

Средняя соленость воды в Мировом океане составляет 35‰* и носит название нормальной солености. Соленость поверхностных слоев воды океана изменяется от 33—

* 1 мм рт. ст. ≈ 133,3 Па.

* 1‰ (один промилле) равен 0,1%.

34% в экваториальной и приполярных зонах до 37—38% — в субтропиках. Моря, имеющие соленость ниже, чем в Мировом океане, называют олесенными (Черное море 18%), выше — осоленными (Красное море — 41%). Пресные водоемы характеризуются соленостью менее 10%. Солевой состав воды Мирового океана: хлоридов 88,7%, сульфатов 10,8%, карбонатов 0,3%, прочих солей 0,2%. Газовый состав — кислород, углекислый газ, аммиак, сероводород. Температура в поверхностном слое воды колеблется от +45 до —3°C, на больших глубинах не превышает +3°C. Давление в гидросфере возрастает с глубиной — на каждые 10 м на 1 атм.

Органическая жизнь в морях связана со всей толщой воды. Организмы, ведущие прикрепленный или подвижный донный образ жизни, называются бентонными, или бентосом. Организмы, обладающие способностью активного передвижения в воде, называются нектоном, а организмы, пассивно передвигаемые в воде волнами и течениями, называются планктоном.

Воды Мирового океана находятся в постоянном движении. Их циркуляция происходит в результате волнения масс воды ветром и под влиянием постоянных и временных течений и отливов. Волнения, вызываемые ветром, а также в связи с перемещением вод неодинаковой солености, ощущаются до глубины 200 м; высота волн достигает 10—15 м. Морские (океанические) течения возникают под воздействием постоянно дующих ветров — пассатов и муссонов (теплое течение Гольфстрим и холодное — Лабрадор).

Периодические колебания уровня моря под влиянием лунного и солнечного притяжения получили название приливов и отливов. По мере вращения Земли вокруг своей оси в течение суток в одном и том же участке гидросферы возникает два прилива и два отлива.

Биосфера. К биосфере относят область, населенную живыми организмами. Подавляющая часть живой биомассы обитает в мелководных и поверхностных зонах морей и океанов, обладая исключительной приспособленностью к жизни.

Верхняя граница биосферы соответствует нижним слоям тропосферы, так как споры низких растений существуют при низких давлениях и температурах (до 100—190°C ниже нуля). Глубина возможного проникновения живых организмов в земную кору оценивается в 1500—2000 м, так как известны низшие растения, способные существовать в горячих источниках при температуре выше 100°C. Животные, обитающие в океанах, выдерживают давление многих сотен атмосфер. Клетки живых организмов содержат более 60 химических элементов. Биосфера играет большую роль в геологических процессах.

§ 3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Под геологическими процессами понимают природные явления, вызывающие изменения в строении и составе литосферы. В зависимости от движущих сил они разделяются на внутренние (эндогенные) и внешние (экзогенные).

Источником энергии эндогенных процессов в значительной мере является внутренняя теплота Земли. Эндогенные процессы проявляются в магматизме (внедрение в недра Земли и излияние на поверхность расплавленного вещества — магмы, из которой образуются магматические породы), в тектонических движениях (землетрясения, медленные колебательные вертикальные движения, складчатые и разрывные деформации слоев горных пород, создающие высокие горные хребты и глубокие океанические впадины) и во вторичном преобразовании вещества горных пород в условиях повышенных температур и давлений.

Экзогенные процессы протекают на поверхности земной коры, а также в атмосфере, гидросфере и биосфере под влиянием солнечной энергии, ветра, текучих и подземных вод, деятельности ледников и т. д. Экзогенные процессы приводят к изменению и разрушению горных пород, переносу продуктов разрушения и переотложению их в виде рыхлых осадков в пониженных участках рельефа. Вследствие этого происходит выравнивание рельефа. С течением времени рыхлые осадки преобразуются в осадочные горные породы. Последние, погружаясь в области высоких температур, превращаются в метаморфические горные породы. В отдельных случаях они могут быть переплавлены. В результате начинается новый цикл.

Экзогенные и эндогенные процессы протекают непрерывно, взаимно обусловливают друг друга и создают все многообразие строения и состава земной коры.

3.1. ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

3.1.1. Общие сведения о магматизме

Твердое состояние вещества на больших глубинах (80—130 км) при температурах 1350—1500°C обусловлено высокими давлениями. При нарушении термодинамического равновесия в верхней мантии и в земной коре (например, в зоне глубинных разломов) возникает очаг, в котором образуется магматический расплав.

Мagma — это огненно-жидкий сложный обычно силикатный расплав, возникающий в недрах Земли. Главной составной частью магмы является окись кремнезема (SiO_2), содержание которой изменяется от 40 до 75%. Кроме кремнезема, в состав магмы входят окислы алюминия, железа, магния, кальция,

натрия и других элементов. Некоторые из них способны переходить в газообразное состояние.

Магматический расплав, излившийся на поверхность и потерявший значительную часть летучих компонентов, называется лавой.

По химическому составу магма (лава) подразделяется на четыре типа: кислую ($\text{SiO}_2 > 65\%$), среднюю (SiO_2 от 65 до 52%), основную (SiO_2 от 52 до 45%) и ультраосновную ($\text{SiO}_2 < 45\%$). Магмы основного и ультраосновного состава называют базальтическими. Они жидкые, легкоплавкие, подвижные, обедненные газом. Лавы среднего и кислого состава называют риолитовыми. Они вязкие, обогащены газом.

Совокупность явлений, связанных с возникновением магмы, изменением ее состава и перемещением из недр Земли к ее поверхности, называется *магматизмом*. В случае внедрения магмы в земную кору образуются интрузивные (глубинные) горные породы. Магма, излившаяся на поверхность земной коры, образует эфузивные (излившиеся) горные породы.

Эфузивный (поверхностный) магматизм

Проявлением поверхностного магматизма является вулканизм. В настоящее время на земном шаре насчитывается более 800 действующих вулканов и несколько тысяч потухших.

В зависимости от характера каналов, по которым магматический расплав поднимается к поверхности Земли, выделяют два основных типа вулканов: трещинный и центральный.

В вулканах *трещинного типа* лавы изливаются из трещин (крупных разломов), рассекающих земную кору. Обычно это базальтовые лавы, образующие покровы после затвердевания (Исландия).

Вулканы *центрального типа* имеют форму усеченного конуса, образованного продуктами извержения. Высота их от нескольких тысяч метров (вулкан Аконкагуа в Южной Америке — 7035 м) до первых сотен (потухший вулкан Мушкетова в Забайкалье — 100 м). В центре вулкана (рис. 5) расположено жерло (5), непосредственно соединяющееся с вулканическим очагом (1). Верхняя, воронкообразно расширяющаяся часть жерла называется кратером (6). Обвалившийся кратер называется кальдерой, а его стенки в виде плоского вала называются соммой (3). При последующем извержении лавы (2) на дне кальдеры образуется конус (4).

В зависимости от характера извержения центральный тип вулканов подразделяется, в свою очередь, на несколько типов.

Гавайский тип. Извержение вулканов гавайского типа характеризуется спокойным излиянием базальтовой, очень подвижной, бедной газами магмы. Иногда у таких вулканов воз-

никают лавовые фонтаны высотой до нескольких десятков метров. Конус вулкана низкий, с очень пологими склонами. Кратер крутостенный с лавовыми озерами, которые могут существовать многие десятки лет. Диаметр кратера иногда достигает 5 км. При растекании лава образует покровы. Вулканы гавайского типа нередко называют щитовидными, так как по форме конуса они напоминают щит. Вулканы этого типа встречаются на многих островах Тихого океана.

Тип Стромболи. Характеризуется излиянием лавы среднего и кислого состава. Так как вязкая, богатая газами лава

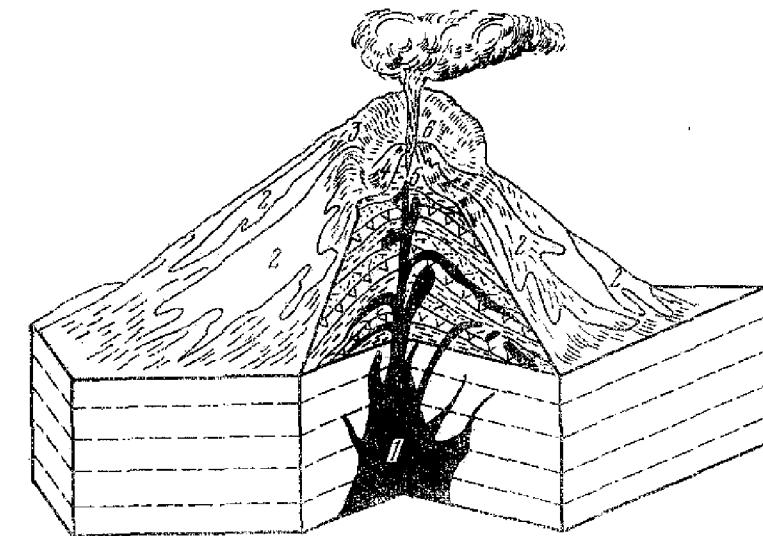


Рис. 5. Строение вулканического аппарата, по М. М. Жукову, В. И. Славину, Н. Н. Дунаевой

закупоривает жерло вулкана, препятствуя выходу газа, извержению предшествуют подземные толчки. Затем начинаются сильные взрывы и из кратера вулкана вместе с газом выбрасывается большое количество твердых продуктов извержения (пепел, лапиллы и др.) и изливается лава, застывая в виде потоков. Этот тип называют еще везувианским. К нему относятся вулканы Стромболи, Этна, Везувий, многие вулканы Камчатки (Ключевские, Авачинские и др.).

Пелейский тип. Извержения этого типа имеют особенно катастрофический характер. Напор газов не в состоянии прорвать застывшую в жерле вязкую лаву. Извержение происходит в результате гигантского взрыва с образованием раскаленных облаков газа и пара, насыщенных песчаным материалом. Температура такого облака вулкана Мон-Пеле (1902 г.,

остров Мартиника, Малые Антильские острова) достигла 450° С и в течение нескольких минут сожгла дома г. Сен-Тер, уничтожив около 30 тыс. человек. Затем из кратера был выдавлен лавовый купол — обелиск. К пелейскому типу относится также и вулкан Кракатау (Западный архипелаг).

Маары. Это особый тип вулканов, образование которых связано с единственным взрывом газа огромной силы. Маары имеют форму неширокой воронки, окруженной валом из продуктов извержения. К этому типу относят газо-взрывные трубы, заполненные кимберлитовой породой и иногда содержащие алмазы (Африка, вблизи г. Кимберли; СССР — Якутия и др.).

Продукты вулканических извержений представлены газообразным, твердым и жидким веществом.

Газообразные продукты. Во время извержений в их составе преобладают пары воды, углекислота, а иногда водород, азот и хлористый водород. Кроме того, в газах установлено присутствие фтора, метана, аммиака, аргона. По мере угасания активности вулкана температура понижается и состав газов изменяется (см. поствулканические процессы).

Твердые продукты вулканических извержений в зависимости от величины обломков подразделяются на пепел, песок, лапиллы, бомбы. Вулканический пепел состоит из мельчайших частиц (менее 1 мм) застывшей лавы; песок — из частиц остывшей лавы размером от 1 до 5 мм. Лапиллы — оставшиеся в воздухе кусочки лавы величиной 1,5—3,0 см. Вулканические бомбы — куски выброшенной и застывшей в воздухе лавы различной формы (каплевидной, веретенообразной и др.). Величина их от 5—10 см до нескольких метров. Этот рыхлый пирокластический материал (вулканические бомбы, лапиллы, вулканический песок и пепел) рассеиваются вокруг вулканических центров.

Жидкие продукты извержений представлены лавой, которая, растекаясь по поверхности, образует лавовые покровы, потоки или же нагромождается беспорядочными глыбами. При остыании вязкой лавы образуется легкая пористая порода — пемза.

Поствулканические процессы приурочены к завершающей фазе деятельности вулканов. Они проявляются длительное время в виде выделений по открытym трещинам и каналам газообразных смесей (фумаролы, сольфатары, мофеты), горячих термальных источников (термы), горячих вод (гейзеры) и извержений небольших грязевых вулканов (сальзы).

Газовые выделения с температурой около 500° С — фумаролы — выносят хлористый натрий, хлористый калий и др. Выделения с температурой 100—180° С — сольфатары — содержат значительное количество сернистых соединений. Газообразные смеси с температурой до 100° С — мофеты — выделяют углекислый газ.

Иногда горячие газы при охлаждении образуют на стенах трещин и каналов налеты и корки солей и самородных элементов (галит, сера и др.). Эти образования называются сублиматами, или возгонами. В ряде случаев они достигают промышленных концентраций.

Горячие термальные источники (термы) имеют температуру выше среднегодовой для данной местности и содержат минеральные вещества, выносимые с больших глубин (минеральные воды на Кавказе).

Гейзеры — периодически извергающиеся горячие источники с температурой воды до 100° С. В разрезе гейзер имеет форму канала (рис. 6), соединенного в недрах с подземным резервуаром, заполненным водой. Вода в резервуаре нагревается до 100° С и выше. Давление столба жидкости в канале приводит к перегреву в резервуаре и вызывает образование пара. Как только сила упругости пара превзойдет давление вышележащего столба воды, происходит сильный выброс в воздух (высотой до 30—50 м) воды и пара. Вода, несколько охлаждаясь, частично возвращается в канал; это вызывает понижение температуры, давления и прекращение извержения пара. Затем через некоторое время вновь происходит нагрев воды и процесс повторяется. Интервал между отдельными извержениями колеблется от 10 мин до 5 ч.

Сальзы (грязевые вулканы) образуются за счет энергии газа и паров вод, поднимающихся к поверхности из недр и встречающих на своем пути рыхлые или слабо скементированные продукты, которые они выталкивают на поверхность в виде грязи.

В настоящее время полагают, что вулканы возникают там, где по глубинным разломам происходят активные подвижки в земной коре. Поэтому действующие вулканы сосредоточены в зонах повышенной тектонической активности. Принято различать три пояса:

Тихоокеанский — приурочен к берегам Тихого океана вдоль Южной и Северной Америки, Алеутских островов, Камчатки, Курильских и Японских островов, Филиппин, Новой Гвинеи и Новой Зеландии;

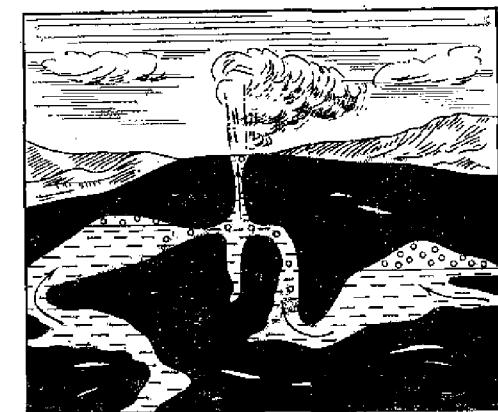


Рис. 6. Гейзер в разрезе, по Я. М. Левитесу

Вода показана штрихами, газы — кружочками

Средиземноморско-Индонезийский — протягивается из бассейна Средиземного моря через Турцию, Андаманские о-ва, о. Суматру, о. Ява к Новой Гвинеи, где он сочленяется с Тихоокеанским поясом. Наиболее активные участки — в районе Малайского архипелага;

Атлантический — проходит через Исландию, острова Азорские, Канарские, Зеленого Мыса, Вознесения, Св. Елены, Тристан-да-Кунья.

В последние годы геолого-геофизическими исследованиями в океанах обнаружены многочисленные подводные вулканы. Они представлены одиночными горами с довольно крутыми склонами. Вокруг них отмечаются рвы, депрессии, которые, по-видимому, представляют собой кальдеры. У некоторых больших подводных вулканов имеются настолько обширные и высокие конусы, что они выступают над уровнем моря, образуя острова.

В деятельности вулканов наблюдаются периоды извержений и относительного покоя. Последние могут быть короткими или измеряться тысячелетиями (сопка Ключевская, Этна, Безымянный). Помимо действующих известно большое количество потухших вулканов, деятельность которых в историческое время прекратилось (вулканы Армении и др.).

Интрузивный (глубинный) магматизм

Происхождение магмы. Среди геологов нет единого мнения о происхождении магмы. Большинство исследователей СССР придерживаются мнения о существовании трех исходных первичных магм: перidotитовой (ультраосновной), базальтовой (основной), гранитной (кислой).

Перidotитовые магмы пользуются ограниченным распространением. Они представляют собой продукты расплавления вещества мантии. Базальтовые магмы имеют наибольшее распространение в природе и формируются в астеносфере в результате частичного плавления вещества верхней мантии. Происхождение гранитных магм одни исследователи связывают с переплавлением осадочного и осадочно-метаморфического слоя земной коры, другие с выносом многих компонентов кислой магмы с больших глубин. Было также высказано мнение о существовании одной базальтовой магмы, из которой под влиянием дифференциации возникают другие магмы.

Дифференциация магмы. Все многообразие интрузивных пород, возникающих из первичной магмы, является результатом ее расщепления (дифференциации). Дифференциация — очень сложный многогранный физико-химический процесс, происходящий в магме как в расплавленном состоянии (магматическая дифференциация), так и во время кристаллизации магмы (крystalлизационная дифференциация). Магматическая

дифференциация связана с расслоением магмы по удельному весу на несмешивающиеся жидкости (ликвация); кристаллизационная — происходит при остывании магмы. Вначале кристаллизуются более высокотемпературные минералы, содержащие магний, железо (оливин, пироксены и др.), а затем — более низкотемпературные минералы, обогащенные кремнеземом (кварц, полевые шпаты и др.).

Общие представления о процессах кристаллизации расплава. Кристаллизация исходного магматического расплава происходит последовательно, в несколько этапов, в условиях высоких температур и больших давлений. В магме при высоких давлениях летучие вещества (пары воды, углекислота, сернистые, хлористые, фтористые и др. соединения) находятся в растворенном состоянии и придают ей вязкость и подвижность. При понижении температуры расплава в магме возникают центры кристаллизации отдельных минералов, и в первую очередь наиболее тугоплавких, не содержащих летучих веществ.

После этого в верхних или краевых частях интрузий накапливается остаточный расплав, обогащенный летучими компонентами. Их присутствие снижает вязкость остаточного расплава. В этих условиях при значительном давлении и температуре ниже 700° С образуются породы — пегматиты. Они имеют состав, близкий к родоначальным магматическим породам, и отличаются от них лишь крупными размерами минеральных зерен. После кристаллизации значительной массы расплава при понижении его температуры до 500—300° С могут одновременно существовать газ и жидкость. За счет увеличения давления магмы (при кристаллизации) на вмещающие породы, при наличии трещин в последних, в них устремляются летучие вещества. Кристаллизуясь и выполняя трещины и пустоты, они образуют минералы; этот процесс называется пневматолитическим. Если по трещинам внедряются горячие растворы, то такой процесс называется гидротермальным.

Роль магматизма в образовании полезных ископаемых. Образование рудных инерудных полезных ископаемых в значительной мере связано с процессами магматизма. Магматический расплав содержит большинство химических элементов, промышленные концентрации которых возникают в определенных геологических условиях. С ультраосновными породами связаны месторождения алмазов, талька, асбеста, платины, хрома и т. д. С магмами основного состава — месторождения меди, никеля, кобальта, железа и т. д. Кислый магматизм обуславливает формирование месторождений драгоценных камней, руд серебра, цинка, золота, олова, вольфрама и других металлов. Большинство из них образуют промышленные скопления при пневматолито-гидротермальных процессах. Они встречаются в виде жил вместе с кварцем, флюоритом, кальцитом.

3.1.2. Тектонические движения

Землетрясения

Классификация землетрясений. Землетрясением называется колебание земной поверхности, вызванное в основном естественными причинами, среди которых главное значение принадлежит тектоническим процессам. Кроме тектонических, выделяют землетрясения вулканические и обвальные.

Тектонические землетрясения обусловлены образованием в земной коре разломов и движением по ним крупных глыб земной коры. Такие землетрясения наиболее сильные и широко распространены (95%). Вулканические землетрясения возникают в результате толчков, вызванных взрывами газов в процессе извержения вулканов. Иногда эти землетрясения могут достигать огромной силы (вулкан Кракатау). Обвальные землетрясения связаны с обвалами горных пород на поверхности, провалами подземных пустот, например карстовых. Сила этих землетрясений и области их распространения невелики.

Характеристика землетрясений. Ежегодно на Земле фиксируется до 10 000 землетрясений. Большинство из них людьми не ощущаются, однако некоторые носят катастрофический характер. Землетрясения продолжаются обычно несколько секунд и выражаются в подземных толчках (ударах) большей или меньшей силы или в волнообразных колебаниях земной поверхности.

Место в земной коре или в верхней мантии, где возник подземный толчок и откуда расходятся упругие колебания (сейсмические волны), называются фокусом землетрясения, или гипоцентром (иногда называют очагом). Глубина гипоцентра в большинстве случаев составляет 50—60 км (не более 100 км), но достигает и 700 км. Проекция гипоцентра на поверхность Земли называется эпицентром.

В очаге землетрясения зарождаются два типа упругих сейсмических волн: продольные со скоростью распространения от 7 до 14 км/с и поперечные — от 4 до 10 км/с. На границе твердой среды (литосферы) и жидкой или газообразной среды (гидросфера или атмосфера) сейсмические волны порождают поверхностные волны с большей длиной и меньшей скоростью распространения (4 км/с), которые наиболее разрушительны, особенно в эпицентре. Во все стороны от эпицентра сила подземных толчков уменьшается. Линия, соединяющая на карте пункты с одинаковой силой толчка, называется изосейстой.

Сила землетрясений, или интенсивность, оценивается по 12-балльной шкале. Наибольшие разрушения несут землетрясения в 8 баллов и более. При землетрясении выделяется огромное количество энергии. С целью учета выделяемой энергии принята относительная энергетическая характе-

ристика землетрясений — магнитуда — и разработана шкала магнитуд. Чем больше магнитуда, тем выше балльность землетрясений.

Регистрация и прогноз землетрясений. Регистрация землетрясений проводится на сейсмических станциях с помощью приборов высокой точности — сейсмографов. Они способны отметить колебания грунта с амплитудой в несколько ангстрем ($1\text{A} = 10^{-10}$ м). Основной частью сейсмографа является маятник. При землетрясениях основание сейсмографа отклоняется вместе с почвой, маятник же продолжает колебаться в прежней плоскости, вычерчивая ломаную кривую (сейсмограмму) на ленте. По этой кривой судят об интенсивности и продолжительности землетрясения.

В настоящее время учёные-сейсмологи заняты изучением очень важной проблемы — предсказания землетрясений. Место и интенсивность землетрясений можно установить на основании карт сейсмического районирования с учетом материалов прошлых землетрясений и тектонического строения. Предсказать время землетрясений очень трудно. С этой целью проводятся систематические наблюдения за сейсмографами, за изменением электромагнитного поля Земли, за распространением искусственно возбужденных сейсмических волн, за возникновением звуковых волн в земной коре и за рядом других явлений, которые наблюдаются перед землетрясением.

С целью предотвращения разрушительного действия землетрясений в СССР утверждены стандарты для строительства зданий в сейсмических районах, которые обеспечивают сохранность зданий и сооружений даже при сильных землетрясениях.

Географическое размещение землетрясений. Землетрясения распространены по земному шару неравномерно. Области, где происходят землетрясения, называются сейсмическими. Области, где нет землетрясений, называют асейсмическими. В настоящее время выделяют две основные сейсмические области. Они, как и вулканические зоны, приурочены к зонам новейших тектонических движений. Одна зона окаймляет побережья Тихого океана — Тихоокеанская. Другая — Средиземноморская — протягивается от Атлантического океана вдоль Средиземного моря через Крымский полуостров, Кавказ, Среднюю Азию, Памир, Гималаи до Малайского архипелага.

Моретрясения и цунами. Моретрясения происходят в тех случаях, когда гипоцентры расположены под океаническим дном. В результате внезапных толчков довольно значительной силы и перемещений отдельных участков морского дна образуются огромные волны — цунами (высотой до 25—35 м). Они обладают большой скоростью распространения (500 км/час) и причиняют катастрофические разрушения на побережьях. Чаще всего цунами возникают на Тихом океане при подводном вулканизме.

Типы тектонических движений

Проявление внутренних (эндогенных) сил Земли приводит к вулканизму, интрузивному магматизму, а также к перемещению отдельных частей земной коры и нарушению первичного залегания слоев горных пород. Движения, приводящие к перестройке коры, называют тектоническими. Существуют многочисленные классификации тектонических движений по различным признакам (по их конечным результатам, по степени глубинности очага, по их направленности, по размерам площади проявления, по скорости, по связи с магматизмом и т. д.).

Наиболее широким признанием пользуются классификации, основанные на противопоставлении двух типов движений по их конечным результатам. Первый тип — медленные тектонические движения, охватывающие огромные территории и приводящие к последовательным перемещениям поверхности суши по отношению к уровню Мирового океана (эпейрогенические движения). Эти движения приводят к периодическому затоплению участков суши. Второй тип — относительно быстрые движения, распространенные на небольших площадях, с образованием складок и разрывов (складчатые и разрывные нарушения). Нередко они приводят к формированию складчатых горных систем.

Оба типа движений характеризуются разной степенью глубинности очага. Движения первого типа наиболее глубинные, они возникают в верхнейmantии. Движения второго типа в основном коровые.

В зависимости от направленности различают движения, в которых преобладает горизонтальная (горизонтальные, тангенциальные движения) и вертикальная (вертикальные, радиальные движения) составляющие. Вертикальные движения, приводящие к поднятию поверхности суши относительно уровня Мирового океана, называются восходящими, или положительными, а движения, приводящие к опусканию поверхности суши, — исходящими, или отрицательными.

Горизонтальные тектонические движения приводят к нарушению первичного залегания слоев горных пород. Слои относительно пластичных пород изгибаются, сжимаются в складки; слои из относительно хрупких пород растрескиваются, раскалываются. В связи с тем что процессы деформации приводят к выделению энергии, движения сопровождаются землетрясениями. Если расколы в земной коре проникают на большие глубины, по ним поднимается мagma.

Медленные колебательные движения приводят к трансгрессиям и регрессиям.

При относительном повышении уровня Мирового океана воды морей постепенно затапливают суши, происходит наступ-

ление моря на суши, т. е. трансгрессия. При относительном понижении уровня Мирового океана происходит отступление моря, т. е. регрессия. В настоящее время отдельные крупные области испытывают восходящие движения. Например, Скандинавский полуостров поднимается со скоростью 10 мм в год. Другие районы испытывают нисходящие движения, например, южное побережье Северного моря (Дания, Голландия, Бельгия) опускаются до 1 мм в год.

При трансгрессии и регрессии образуется определенная последовательность в залегании слоев. При трансгрессивном залегании разрез начинается грубообломочными породами — конгломератами, крупнозернистыми песчаниками, накапливавшимися в прибрежной части бассейна. Выше они сменяются относительно мелководными песчаниками, известняками. Еще выше по разрезу — глубоководными отложениями, представленными мергелями и кремнистыми сланцами. При регрессии наблюдается обратная последовательность в слоях горных пород (рис. 7). Обычно в разрезе осадочных серий многократно повторяющиеся трансгрессивные и регрессивные комплексы накоплений составляют осадочные циклы (ритмы).

3.1.3. Общие сведения о метаморфизме

Внутренняя динамика Земли приводит к различным тектоническим движениям, в результате которых осадочные горные породы могут погружаться в глубокие части земной коры. Под воздействием высоких давлений и температур, а иногда и при поступлении из недр газов и водных растворов, несущих в своем составе различные химические соединения, происходят существенные изменения первоначального минерального состава горных пород и их перекристаллизация. Совокупность всех процессов, приводящих к изменению горных пород в недрах, называется метаморфизмом.

Основными факторами метаморфизма являются: давление, температура и химически активные вещества (различные растворы и газы). В зависимости от характера воздействия этих факторов различают следующие типы метаморфизма: региональный, контактовый и динамометаморфизм.

Региональный метаморфизм проявляется на огромных площадях в результате совместного воздействия высоких температур и большого давления. Он приводит к глубоким преобразо-

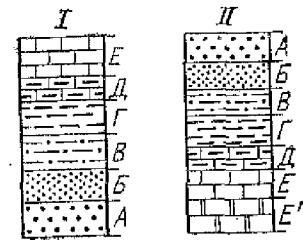


Рис. 7. Схема последовательности осадконакопления при трансгрессии (I) и регрессии (II) бассейна.

А — галечники и грубые прибрежные и континентальные пески; Б — мелководные пески; В — мелководные глинистые пески; Г — глины; Д — глинистые известняки; Е — известняки; Е' — известняки глубоководные

ваниям минерального состава и структуры исходных горных пород, которые приобретают сланцеватость, полосчатость.

Контактовый метаморфизм имеет ограниченное распространение. Различают контактово-термальный метаморфизм пород, когда их изменение происходит преимущественно под действием тепла в зоне контакта с интрузивами, и контактово-метасоматический, при котором изменение пород связано с действием высоких температур и химически активных веществ — газов и растворов. Степень проявления метаморфических изменений пород зависит от их первоначального состава, глубинности процесса, размеров и минерального состава интрузивного тела, воздействующего на вмещающие породы.

Динамометаморфизм (катахластический метаморфизм) возникает в различных тектонических процессах в условиях увеличенного давления и повышенных температур. Породы приобретают сланцеватость, подвергаются механическому дроблению, перетиранию. Распространен локально.

3.2. ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Экзогенными процессами называются геологические процессы, обусловленные воздействием на земную кору солнечной энергии, атмосферы, гидросферы и биосферы. К экзогенным процессам относят выветривание, денудацию и аккумуляцию.

Выветривание — процесс разрушения горных пород под воздействием солнечной энергии, воздуха, воды и жизнедеятельности организмов. Выветривание приводит к механическому разрушению горных пород, их разрыхлению и изменению химических свойств.

Денудация (латинское *денудо* — обнажаю) — совокупность процессов сноса и удаления продуктов разрушения коренных пород, образующихся в результате выветривания. Денудация осуществляется ветром, водными потоками, морскими волнами и т. д.

Аккумуляция — накопление на поверхности суши или на дне водного бассейна или реки минеральных осадков либо органических остатков. Процесс противоположный денудации и зависящий от нее.

Выветривание подготавливает материал для последующей денудации и аккумуляции, главными агентами которых являются воздушные течения (ветер), подземные и поверхностные речные воды, воды морей, озер, болот, ледники и сила тяжести.

3.2.1. Выветривание горных пород

Сущность процессов выветривания. Горные породы на земной поверхности испытывают колебания температур, химическое воздействие воды, газов — кислорода и углекислоты (на-

ходящихся в атмосфере и растворенных в воде), биохимическое воздействие живых организмов и продуктов их разложения. Совокупность этих процессов приводит к разрушению (выветриванию) горных пород. Зону, в которой протекают процессы выветривания, называют зоной выветривания. Ее нижняя граница находится на глубине в несколько десятков метров, а иногда достигает 500 м.

Типы выветривания. В зависимости от факторов, действующих на горные породы, выделяют следующие типы выветривания: физическое, химическое и органическое. Все они тесно связаны друг с другом, действуют совместно, одновременно, и только в зависимости от природных условий один тип выветривания может преобладать над другим.

Физическое, или механическое, выветривание происходит в результате разрушения горных пород под воздействием колебаний температуры. Оно проявляется сильнее всего в областях с резким различием температур дня и ночи. В результате объем минеральных зерен увеличивается нагреваясь днем, и уменьшается, охлаждаясь ночью. В зависимости от физических свойств одни минералы расширяются больше, другие меньше. Это вызывает ослабление сил сцепления между отдельными минеральными зернами. Возникающие трещины способствуют растрескиванию и разламыванию пород на отдельные обломки и глыбы. Разрушению горных пород способствуют также заключенная в их порах вода, корни растений, роющие животные и т. д. Особенно велика роль воды. При замерзании ее объем увеличивается и она раздвигает частицы породы, вызывая появление трещин и постепенное разрыхление пород (морозное выветривание).

Химическое выветривание — изменение первичного химического состава горных пород под влиянием кислорода воздуха, углекислоты, воды и особенно газов и солей, растворенных в ней. Наиболее интенсивно оно проявляется в условиях влажного и теплого климата. Основными химическими реакциями, протекающими при выветривании, являются окисление, гидратация, растворение и гидролиз.

В природных условиях очень активно протекают процессы окисления (присоединение кислорода) и гидратации (присоединение воды). В результате окисления могут образовываться новые минералы. Так, пирит (FeS_2) и сидерит (FeCO_3) переходят в гематит (Fe_2O_3), а если к ним присоединится вода, то образуется лимонит, или бурый железняк ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

Растворение и гидролиз протекают при совместном воздействии воды, углекислоты и органических кислот. Растворение особенно интенсивно проявляется в карбонатных породах и приводит к специфическим формам рельефа — образуются воронки, котловины, пещеры. Этот процесс называется карстом. Гидролиз сопровождается гидратацией и заключается в раз-

ложении минералов группы силикатов и алюмосиликатов с частичным выносом образующихся продуктов. Он приводит к образованию каолинита и других минеральных соединений.

Органическое выветривание — это процесс разрушения горных пород под действием организмов и растений. Различают механическое и химическое разрушение пород организмами. Роющие животные, черви, корни растений разрыхляют горные породы. В то же время корни растений и животные организмы выделяют органические кислоты, которые способствуют химическому разложению горных пород.

Кора выветривания и стадийность процессов выветривания. В результате совокупности процессов разрушения горных пород образуются подвижные продукты выветривания, которые уносятся под влиянием силы тяжести, смыва и т. д., и продукты, которые остаются на месте разрушения материнских горных пород. Эти остаточные продукты выветривания называются элювием.

Часть зоны выветривания, в которой породы и минералы сильно изменены, называются корой выветривания. Наиболее благоприятными условиями для образования мощной коры выветривания являются более или менее выравненный рельеф, влажный, жаркий климат и большое количество органических веществ.

В условиях высоких температур, большой влажности тропических и субтропических зон формируется наиболее мощная кора выветривания (до 100 м и более).

В разрезе коры выветривания по преобладающему минеральному составу выделяют отдельные горизонты или зоны. Самый верхний горизонт коры выветривания характеризуется наибольшей степенью разложения. За счет присутствия свободных окислов алюминия и гидроокислов железа элювий этого горизонта в сухом состоянии напоминает обожженный кирпич (красного цвета). Коры выветривания такого типа называются латеритными (по латыни later — кирпич). Вниз по разрезу латериты постепенно сменяются каолинитовым пятнистым горизонтом (пятнистость за счет присутствия локальных скоплений гидроокислов железа). Еще глубже располагается гидрослюдисто-монтмориллонит-бейделлитовый горизонт, в котором встречаются обломки выветрелых первичных горных пород. Это начальный этап химического выветривания силикатов. В основании коры выветривания залегают раздробленные коренные породы, переходящие вниз в невыветрелые горные породы. Нижняя граница коры выветривания неровная, карманообразная.

В зонах умеренного пояса мощность коры выветривания меньше. Латеритный горизонт, характерный для влажного жаркого климата, здесь отсутствует. В районах сухих саванн,

по мере приближения к пустыням, мощность коры выветривания также резко сокращается и в ее верхней части образуются минералы гидрослюдисто-монтмориллонит-бейделлитового горизонта.

Коры выветривания и особенно древние, погребенные под более молодыми осадочными породами, имеют большое практическое значение. С ними часто связаны крупные промышленные скопления некоторых рудных минералов, например никельсодержащих.

Почвообразование. Самый верхний слой современной коры выветривания вместе с продуктами жизнедеятельности растений и животных называется почвой, или почвенным слоем. Важнейшим фактором почвообразования является растительность, которая пронизывает почву корневой системой, извлекая из нее питательные вещества и воздействуя на нее выделяющими органическими кислотами. Огромные массы органического вещества отмерших растений создают горизонт, в котором образуется перегной, или гумус. Отсюда гумус дождевыми водами переносится ниже. Кроме органических веществ в почве имеется и минеральная часть, образовавшаяся при выветривании материнской породы. Мощность почвенного слоя колеблется от двух-трех десятков сантиметров (в тундре и пустыне) до 1—1,5 м (тропики, субтропики).

В вертикальном разрезе почвы выделяют два горизонта. Верхний — горизонт вымывания, обогащенный гумусом. Здесь происходит наиболее интенсивное выветривание минералов почвы и вынос продуктов разложения в нижнюю часть почвы. Нижний — горизонт вмывания содержит меньше гумуса, процессы выветривания в нем замедлены и здесь накапливаются вымытые сверху вещества.

В зависимости от растительно-климатических зон различают следующие типы почв: подзолистые (в условиях влажного умеренного и холодного климата), степные (в условиях недостаточного увлажнения), болотные (при высоком стоянии грунтовых вод), солончаковые (в условиях сильного испарения), латеритные (в условиях влажного теплого климата).

Роль выветривания в образовании осадочных горных пород. Выветривание является основным поставщиком обломочного материала и растворенных веществ, участвующих в образовании осадочных горных пород. Огромна роль выветривания и в формировании месторождений полезных ископаемых. В результате физического выветривания из коренных горных пород высвобождаются многие стойкие минералы, образующие нередко богатые россыпные месторождения полезных ископаемых (золото, платина, кассiterит, алмазы и др.). Иногда химическому выветриванию подвергаются первичные месторождения полезных ископаемых, например медно-сульфидные руды. Возникающие при этом остаточные образования носят название шляп

(железных, марганцевых и т. д.). С корами выветривания также связаны многие месторождения полезных ископаемых: руды железа, марганца, алюминия, никеля и т. д.

3.2.2. Денудация и аккумуляция

Геологическая деятельность ветра

Ветер является одним из важнейших экзогенных геологических факторов участвующих в разрушении горных пород, переносе и переотложении продуктов разрушения. Деятельность ветра называется золовой деятельностью, а рыхлый материал, отложенный ветром, называется золовым*.

Разрушительная деятельность ветра заключается в разvezvании (дефляции) и обтачивании (коррозии) горных пород. Ветер, проникая в трещины и расщелины разрушающихся горных массивов, выдувает из них песчинки и более крупные продукты физического выветривания. В зависимости от собственной скорости движения, величины и удельного веса песчинок он переносит обломки на разные расстояния. При движении и ударах о встречающиеся горные породы песчинки обтачивают, царапают, шлифуют их, ускоряя разрушение. В зависимости от плотности горные породы разрушаются с разной скоростью и приобретают самые причудливые формы: ниши, карманы, столбы.

Ветер производит огромную работу по переносу рыхлого материала, особенно в пустынях и на песчаных побережьях. Основным золовым процессом является перевевание песков, создающее большое разнообразие форм золового рельефа. В зависимости от режима ветров,двигающихся над поверхностью перевеваемых песков, в пустынях образуются: либо ячеистый рельеф (в виде закономерно расположенных чашеобразных понижений), либо песчаные холмы, или барханы, а на морских побережьях, покрытых редкой растительностью — дюны. Барханы и дюны образуются в результате навевания ветром песка у какого-либо препятствия. В плане барханы имеют форму полумесяца, «рога» которого направлены по направлению ветра (рис. 8). Наветренный склон пологий, подветренный — крутой. Высота барханов достигает 20—30 м и более. Сливаясь, барханы образуют цепи длиной иногда до нескольких десятков километров. Дюны имеют такую же форму. Высота их иногда достигает 100 м и более. Соединяясь друг с другом, они могут образовывать вдоль берега дюнны валы. Дюны и барханы передвигаются и перестраиваются в зависимости от силы и направления сезонных ветров.

* В древнегреческой мифологии Эол — бог ветра.

Эоловая аккумуляция песков может привести к образованию покровов навевания перед горными хребтами, на их подножии или на склонах гор. В мощных покровах навевания пески хорошо отсортированы, в связи с чем они конденсируют влагу, создавая запасы пресной воды. В Туркмении из одного навеянного массива получают пресную воду для г. Небит-Дага. Подобные источники пресной воды имеются и в пустынях Африки.

В ряде случаев перемещение песков приводит к уничтожению поселков, изменению русел рек, разрушению поселений и т. д. С целью борьбы с движущимися песками проводят искусственные насаждения.

Огромные убытки сельскому хозяйству приносит ветровой снос рыхлых продуктов (дефляция или раззвевание).

Сильные весенние ветры поднимают с полей, еще не покрытых всходами, огромные тучи пыли. Известны случаи, когда пыльные бури за 3—4 года сносили весь гумусовый покров на глубину 20—30 см. В СССР в засушливых степях ведется систематическая борьба с песчаными бурями.

Лёсс и его происхождение. Взвешенные в воздухе частицы пыли выносятся ветром за пределы пустынь и оседают в областях с меньшей скоростью движения ветра и повышенной влажностью воздуха. Наличие травянистой растительности предохраняет слой пыли от повторного раззвевания. При смачивании росой и дождями золовая пыль прилипает к поверхности почвы, постепенно образуя лёссовые отложения, или лёссы.

По внешнему виду лёссы — это связанный рыхлый неслоистая порода серовато-желтого (палевого) или бурого цвета, легко растирающаяся в тонкий порошок. Характерной особенностью лёсса является наличие в нем вертикальной трещиноватости, которая обуславливает образование вертикальных обрывов и столбчатой отдельности.

Лёссовые отложения достигают значительных мощностей. Например, в Предкавказье 90 м, в Средней Азии 115 м.

Геологическая деятельность поверхностных вод

Под воздействием солнечной энергии на Земле происходит непрерывный круговорот воды. Вода испаряется с поверхности суши, морей, океанов и поднимается в виде пара к нижним

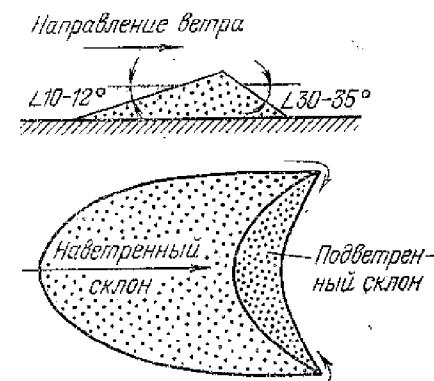


Рис. 8. Схема строения бархана

слоем атмосферы, где, конденсируясь, образует облака; затем в виде дождя и снега вновь попадает на поверхность Земли. Одна ее часть питает поверхностные водотоки: ручьи, реки и поступает в моря и океаны. Другая — проникает по трещинам и порам в горных породах в глубь Земли и пополняет запасы подземных вод. Последние в свою очередь являются источником питания рек, озер, морей.

Геологическая работа поверхностных вод определяется количеством движущейся воды и скоростью ее движения, которая зависит от уклона местности. В деятельности текущих вод различают разрушение водой горных пород (эрозия), перенос продуктов разрушения (денудация) и их накопление (аккумуляция).

В результате механического смыва твердых и химически растворимых продуктов разрушения горных пород происходит понижение поверхности континентов. В течение миллионов лет текущие воды могут уничтожить самые высокие горные хребты и вынести в моря и океаны огромное количество продуктов их разрушения. Так, р. Волга ежегодно выносит в Каспийское море около 46,5 млн. т химически растворенных веществ и 40—50 млн. т взвешенного материала. А все реки земного шара выносят с суши за год в моря и океаны в растворенном и механически взвешенном состоянии более 17,5 млрд. т веществ. Разрушительная работа текущих вод проявляется в виде плоскостного смыва и линейного размыва с образованием долин, оврагов и рек.

Плоскостной смыв и образование оврагов. Дождевые и талые воды в виде многочисленных мелких струй и безрусовых потоков омывают склоны и смывают рыхлый материал, подготовленный процессами выветривания. Часть рыхлого материала, захваченного плоскостным смывом, переотлагается и накапливается в нижней части склона и в его основании, образуя делювиальные отложения, или делювий. Эти отложения, окаймляющие подножье склона, образуют делювиальные шлейфы. Наибольшая толщина делювиального шлейфа у основания склона. Вверх по склону и в сторону равнины мощность делювиальных отложений уменьшается. Плоскостной смыв постепенно выравнивает и выполаживает склоны.

При плоскостном смыве на склонах, лишенных растительности и сложенных рыхлыми отложениями, стекающими струйками воды образуются желобки, бороздки, рывины, канавки, которые постепенно углубляются и соединяются в одно русло. В результате плоскостной смыв сменяется *русловым размывом* (эрозия). Рывины разрастаются и превращаются в овраги, которые своей нижней частью открываются в ручьи (реки). Нижняя часть оврага (ручьи, реки) называется устьем, верхняя — верховьем, вершиной или истоком.

Очень часто при пересечении бороздок, рывин или проходом другого направления постепенно формируются боковые овражки (отвершки) и в этом случае овраг в плане приобретает древовидную форму.

Рост оврагов происходит в их верховьях (овраг растет вспять). По мере их роста верховья постепенно продвигаются на водоразделы, происходит углубление и расширение оврага. В случае достижения уровня подземных вод на дне оврагов могут возникать постоянные водотоки — ручьи. Они выносят в устье оврага рыхлый материал, который оседает в виде веера при выходе из оврага, так как скорость движения воды здесь падает. Так образуются конусы выноса. Углубление оврага прекращается как только уровень его дна приблизится к уровню долины реки, куда он впадает, так как в этом случае водный поток теряет свою разрушительную силу. Уменьшение глубинной эрозии приводит к сглаживанию склонов оврага, которые приобретают устойчивый естественный откос и постепенно зарастают. Дно затягивается осадками и овраг превращается в балку.

Борьба с ростом оврагов, наносящих ущерб народному хозяйству, ведется путем закрепления склонов древесной растительностью, установлением цементных лотков в головной части оврагов, создания искусственных запруд на дне и др.

Временные горные потоки. Во время сильных ливней или обильного снеготаяния на склонах гор возникают бурно несущиеся вниз горные потоки. При быстром движении вода временных потоков захватывает песок, щебень, гальку, крупные глыбы горных пород, которые в свою очередь усиливают разрушительную работу воды. Весь этот материал называется проливием. Он выносится в предгорье и откладывается на предгорной равнине, образуя конусы выноса. В конусе выноса наблюдается сортировка материала по крупности: от крупнообломочного материала, слабо окатанной гальки в верхней части до тонкого пылеватого материала в периферической части конуса. От быстрого таяния льда и снега в горах или от сильных ливней в горных долинах возникают быстро несущиеся вниз бурные грязекаменные потоки — сели, или мурры. Они облашают огромной разрушительной силой и содержат до 70—80% обломочного материала, причем отдельные глыбы достигают в диаметре 1 м и более. С целью защиты населенных пунктов от селевых потоков специально изучают условия их формирования и разрабатывают мероприятия по борьбе с ними (построение плотин и др.).

Постоянные водные потоки. Реки — это крупные постоянно действующие водные потоки. Питание рек осуществляется атмосферными осадками, подземными водами и водами при таянии ледников. В условиях жаркого сухого климата некоторые речки летом пересыхают.

Водный поток размывает поверхность, по которой течет, и постепенно вырабатывает долину. У долины различают склоны и днище. К днищу приурочено русло реки, занятое водотоком. На склонах долин часто наблюдаются террасы — горизонтальные площадки, отделенные друг от друга уступами. Самая низкая площадка, заливаемая водой в половодье, называется пойменной террасой (поймой).

Развитие речной долины — это сложный и длительный процесс эрозионной и аккумулятивной деятельности проточных вод. Углубление дна реки обязано так называемой донной, или глубинной, эрозии, подмыв одного из берегов и расширение долины — боковой эрозии.

В начальную стадию развития реки (стадия молодости) преобладает глубинная эрозия. Водный поток, врезаясь в горные породы, стремится выработать профиль дна применительно к уровню озера или моря, куда впадает река. Этот уровень воды является самым низким уровнем, до которого может происходить врез реки, поэтому он называется базисом эрозии. Базис эрозии — это понятие относительное. Так, например, для ручья базисом эрозии является уровень речки, куда он впадает, для реки — уровень озера, моря.

Боковая эрозия в начальную стадию развития реки играет незначительную роль. В связи с этим долины имеют V-образный профиль и русло занимает все ложе долины. Течение реки более или менее прямолинейное. Скорость углубления русла определяется крепостью размываемых пород. В местах распространения крепких пород донная эрозия ослабевает, образуются пороги, перекаты, уступы. Крупные поперечные уступы с отвесными стенками (высотой до десятков и сотен метров) называют водопадами. Падая с высоты, вода создает водоворот, подмывает основание уступа, образуя углубление в несколько метров — эрозионный котел. В конце концов происходит обрушение уступа и постепенное отступление водопада вверх по течению реки.

Роль донной эрозии особенно велика в горных районах. Здесь реки нередко вырабатывают глубокие долины с отвесными склонами высотой до десятков и сотен метров, которые называют каньонами, или ущельями.

Донная эрозия водных потоков на крутых участках невыработанного профиля идет интенсивнее, чем на пологих; в результате водный поток неравномерно врезается в свое ложе.

На следующей стадии (стадия зрелости) река имеет выравненное ложе, причем продольный профиль русла от устья до истоков имеет вид параболической кривой. Руслом реки в этом случае стремится приобрести так называемый продольный профиль равновесия (рис. 9). Продольный профиль равновесия — это предел, до которого может идти врезание долины при данных геологических условиях. Когда река вырабатывает

свой продольный профиль равновесия, донная эрозия проявляется только в ее верхнем течении. В среднем течении происходит перенос рыхлого материала, в нижнем течении наблюдается боковая эрозия и накопление осадков (аллювия).

В результате деятельности боковой эрозии долина реки в зрелую стадию развития расширяется и заполняется вынесенным из верховьев осадками. Прижимаясь к одному из берегов, река вызывает его усиленный подмыв, образуя вначале изгиб, а затем излучину или меандру. На противоположном берегу происходит накопление аллювия и формирование отмели. Вогнутый подмываемый берег становится крутым, а выпуклый — пологим. Отражаясь от вогнутого берега, водяные струи накатываются на противоположный берег и, подмывая его, образуют новую меандру. Поочередно подмывая свои берега, река увеличивает размер меандра и расширяет свою долину. Узкие перемычки между меандрами в периоды половодий могут быть размыты и река спрямляет русло, меандры образуют серповидные старичные озера (рис. 10).

Ширина русла реки в стадию ее зрелости во много раз меньше ширины ложа. Русловые воды покрывают сухую часть ложа только в половодье, формируя пойменные аллювиальные отложения.

В последнюю, заключительную стадию развития реки (стадия старости) продольный про-

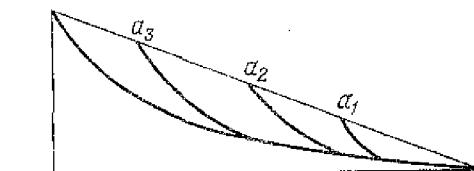


Рис. 9. Выработка профиля равновесия реки, по А. П. Павлову.
a₁, a₂, a₃ — последовательные стадии развития профиля реки

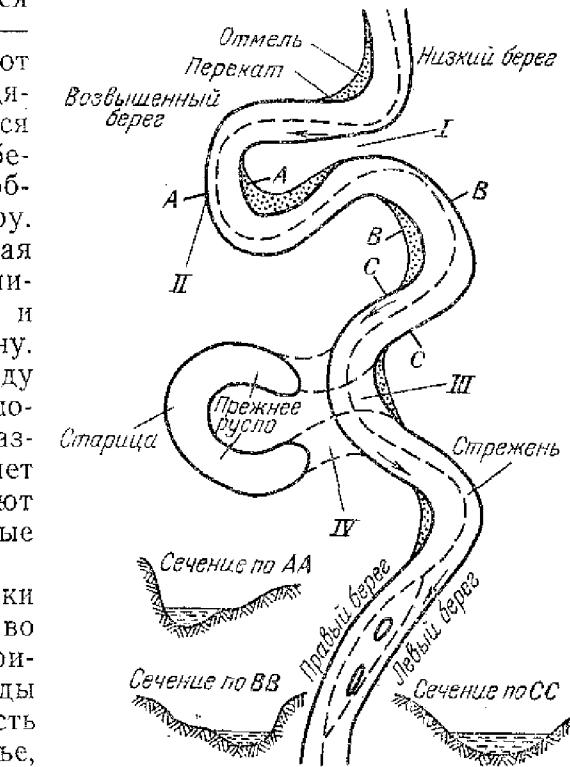


Рис. 10. Расположение на реке меандров, стариц, плесов, по В. Д. Галактионову.
I — сближенные части крыльев излучины, подверженные прорыву; II — наиболее глубокое место, обычно находится ниже максимальной кривизны; III — место прорыва; IV — занесенная отложениями часть прежнего русла

филь ложа реки достигает предельного профиля равновесия и скорость течения уменьшается. Долина становится широкой с многочисленными меандрами и старицами, склоны — пологими, дно плоским, прикрытым слоем аллювиальных отложений. Местами русло зарастает болотной растительностью.

При понижении уровня морского бассейна, куда впадает река, или поднятии участка земной коры, по которому она протекает, происходит относительное понижение базиса эрозии реки. В этих случаях река начинает врезаться в свое русло и размывает собственный аллювий — наступает омоложение долины реки. Частично аллювий сохраняется от размыва на склонах долины, на площадках (остатках бывшего ее днища) — на террасах. Омоложение долины реки происходит многократно

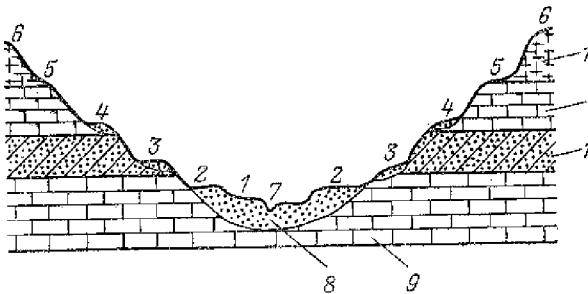


Рис. 11. Речные террасы и слагающие их породы.
1, 2 — аккумулятивные террасы (1 — пойменная терраса); 3, 4 — цокольные террасы; 5 — эрозионная терраса; 6 — коренной берег; 7 — русло; 8 — аллювиальные пески; 9 — известняк; 10 — песчаник; 11 — мергель

и обычно в долине выделяется по несколько террас (р. Волга имеет 7 террас), соответствующих определенному положению днища долины. Чем выше терраса по склону, тем она древнее. В поперечном профиле каждая терраса имеет вид ступени в рельефе (рис. 11). В зависимости от соотношения мощности сохранившихся на террасах аллювиальных отложений и высоты уступа террасы над урезом воды выделяют следующие типы речных террас: аккумулятивная — уступ полностью сложен аллювиальными отложениями, коренные породы находятся ниже уровня реки; цокольная — мощность аллювиального покрова составляет около половины высоты террасового уступа, остальная его часть образована коренными породами (цоколь); эрозионная — аллювиальный покров маломощен и почти весь уступ промыт рекой в породах цоколя.

В зависимости от скорости и силы водного потока аллювиальные отложения, представленные валунами, гравием, галькой, песком, илом, накапливаются в русле реки, на пойме и в устьевой части реки. Более грубый материал отлагается в верхней части долины реки, более тонкий — в нижней. Преобладающее количество осадков выносится в устьевую часть реки (озера, моря). Резкое снижение скорости течения воды при впадении реки в море приводит к выпадению выносимого рекой материала, который оседает вблизи устья, образуя огромные конусы выноса треугольной формы в плане, называемые дельтами. Площадь дельты р. Лены составляет 45 000 км², р. Волги

18 000 км². Мощность отложений достигает десятков и сотен метров. При повышении уровня моря происходит затопление приустьевой части речной долины и образуются узкие глубокие эстуарии (лиманы, губы), известные у рек Обь, Енисей и др.

Роль поверхностных вод в изменении рельефа земной поверхности. Временные и постоянно текущие поверхностные воды изменяют земную поверхность и особенно области суши, которые длительное время не подвергались воздействию интенсивных тектонических движений. Если эрозия происходит длительное время, то земная поверхность понижается, выравнивается. Горы превращаются в невысокие холмы, овраги прекращают рост и превращаются в пологие балки. Речные бассейны образуют разветвленную сеть долин, но скорость течения воды в реках становится очень медленной, так как реки и притоки достигают своего профиля равновесия. Денудационные поверхности, возникающие как конечный продукт деятельности эрозионных процессов, называют пленелем, или почти равниной. Кроме денудационных равнин реки образуют довольно обширные по площади аккумулятивные равнины.

Роль поверхностных вод в образовании осадочных пород и месторождений полезных ископаемых. Выносимые в огромном количестве реками обломки горных пород и растворенные химические вещества являются источником образования морских осадков, играющих большую роль в строении осадочного слоя земной коры. В прибрежной полосе морей (океанов) наибольшее распространение имеют грубообломочные осадки: валуны, гравий, песок. На глубинах до 200 м (область шельфа) формируются глинистые, органогенно-карбонатные и хемогенные отложения. В более глубоководных частях накапливаются глубоководные илы.

В аллювиальных отложениях часто концентрируются вымываемые из коренных пород различные полезные ископаемые, образующие россыпные месторождения (золото, платина, алмазы, рубины, ильменит, рутил, касситерит и др.). С хемогенными морскими и озерными осадочными породами связано образование фосфоритов, железных, марганцевых и алюминиевых руд.

Геологическая деятельность подземных вод

Подземными водами называют все воды, заполняющие поры, трещины и пустоты в рыхлых и плотных горных породах. По происхождению подземные воды подразделяют на вадозные, возникающие в результате просачивания с земной поверхности атмосферных осадков и конденсации паров атмосферного воздуха в порах и трещинах горных пород в местах их выхода на поверхность; ювенильные — за счет паров воды, выделившихся из подземных очагов расплавленной магмы, и седи-

ментогенные (воздорожденные) — образовавшиеся при отжимании воды из осадка в процессе его превращения в уплотненную породу. Главная роль в формировании подземных вод принадлежит водозным водам.

В горных породах вода (кроме льда) может присутствовать в трех физических состояниях: в форме водяного пара, собственно жидкой и поверхностно-связанной воды.

Пары воды всегда содержатся в воздухе, заполняющем не занятые водой поры или трещины горных пород. В зависимости от конкретных условий пары воды то конденсируются в жидкую воду, то вновь образуются при ее испарении. Иногда в пустынях конденсация водяных паров из воздуха приводит к формированию приповерхностных подземных вод, в вулканических областях — к образованию подземных резервуаров перегретого воздуха.

Собственно жидкая вода заполняет сравнительно большие поры, пустоты и трещины в горных породах и играет основную роль в формировании подземных вод. При своем движении она подчиняется силе тяжести, поэтому ее еще называют свободная, или гравитационная вода. Поверхностно-связанная, или сорбированная вода удерживается на поверхности горных пород силами молекулярного притяжения.

Водопроницаемость, т. е. способность горной породы пропускать воду по порам и трещинам, имеет большое значение в формировании подземных вод. Все горные породы подразделяются на водопроницаемые, или водоносные (рыхлые, пористые, трещиноватые), и водоупорные (массивные скальные породы, глины). Водопроницаемость определяется не суммарным объемом пор в породе, а их формой и размерами, которые должны обеспечить свободное передвижение воды. Например, пористость глин 50—60%, однако они не водопроницаемы, так как поры их чрезвычайно тонки и вода не может перемещаться в них под влиянием силы тяжести. Галечники, пески крупнозернистые с пористостью 20% обладают наибольшей водопроницаемостью. Для оценки последней, кроме характера пористости, имеет значение и напор, при котором фильтруется вода. Поэтому для сравнительной характеристики водопроницаемости горных пород введено понятие коэффициент водопроницаемости, или коэффициент фильтрации (измеряется в метрах в сутки), показывающий скорость фильтрации воды через данную породу при определенном напоре. Коэффициент фильтрации глин составляет 0,001 м/сут, песков мелкозернистых 1—5 м/сут, среднезернистых 5—15 м/сут, крупнозернистых 15—50 м/сут, галечников 100—200 м/сут.

Влагоемкость — это способность горных пород поглощать и удерживать в себе то или иное количество воды. Большинство глин имеют очень большую влагоемкость (1 m^3 поглощает до 525 л) и ничтожную водоотдачу. При намокании водо-

упорные свойства глин усиливаются. Максимальной водоотдачей обладают крупнообломочные осадки, сильно пористые и сильно трещиноватые породы.

Типы подземных вод. Воды атмосферных осадков, попадая в горные породы, движутся сверху вниз, постепенно заполняя поры в водопроницаемых породах. Накапливаясь над водоупорными породами, они образуют постоянные скопления, изолированные друг от друга и называемые водоносными горизонтами.

По условиям залегания различают следующие типы подземных вод (рис. 12): почвенные, верховодка, грунтовые, межпластовые, трещинные, карстовые.

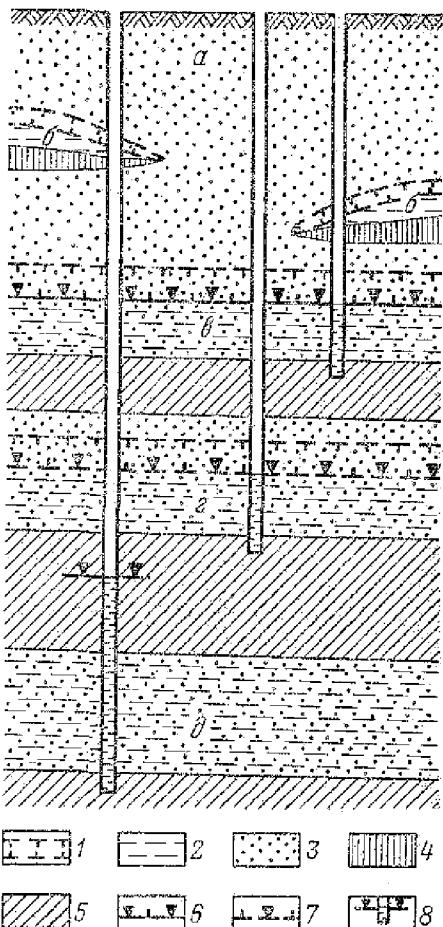
Почвенные воды — приурочены к почвенному слою на поверхности Земли. Вода заполняет волосяные или капиллярные поры, трещинки и удерживается от просачивания на глубину силами поверхностного натяжения.

Верховодка — периодически существующие (во время обильных осадков или таяния снегов) подземные воды, залегающие вблизи поверхности в виде линз над относительно водоупорными прошляями.

Грунтовые воды — воды первого от поверхности постоянного водоносного горизонта, залегающего на первом водонепроницаемом слое, называемом водоупорным ложем. Сверху грунтовые воды не перекрыты сплошь водоупорными породами и питаются непосредственно атмосферными осадками. Их верхним ограничением служит собственная поверхность, называемая зеркалом грунтовых вод.

Рис. 12. Условия залегания подземных вод, по А. Н. Гудаеву.

а — почвенные воды; б — верховодка; в — грунтовые воды; г, д — межпластовые воды; 1 — капиллярная вода; 2 — породы, насыщенные водой; 3 — водопроницаемые породы; 4 — полупроницаемые породы; 5 — водоупорные породы; 6 — зеркало грунтовых вод; 7 — свободное зеркало межпластового водоносного горизонта; 8 — пьезометрический уровень



Межпластовые (пластовые) воды залегают ниже горизонта грунтовых вод, между водоупорными пластами. Различают безнапорные и напорные (артезианские) пластовые воды. Область распространения одного или нескольких напорных горизонтов называется артезианским бассейном (рис. 13). В зависимости от напора вод любая точка артезианского бассейна характеризуется гидростатическим давлением и пьезометрическим уровнем. Пьезометрическим уровнем (см. рис. 12) называется уровень воды, который устанавливается в скважине после вскрытия водоносного горизонта. Гидро-

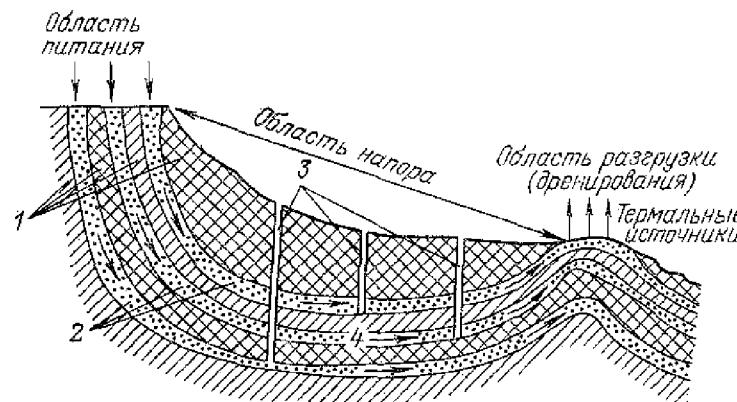


Рис. 13. Схема строения артезианского бассейна, по Г. М. Сухареву.
1 — водонепроницаемые породы; 2 — водопроницаемые пласти с напорной водой; 3 — фонтанирующие скважины; 4 — направление стока подземных вод

статическим давлением называется давление столба жидкости между пьезометрическим уровнем и кровлей водоносного горизонта.

Трещинные воды, циркулируя по сложной сети трещин в массивах магматических и метаморфических пород, как правило, не образуют обособленных водоносных горизонтов. В зонах тектонического дробления они могут проникать на большую глубину.

Карстовые воды приурочены к карстовым пустотам, трещинам закарстованных известняковых массивов. Их часто называют трещинно-карстовыми водами.

Минеральный состав подземных вод. Подземные воды, циркулируя по трещинам и порам горных пород, обогащаются различными минеральными соединениями. В зависимости от количества растворенных солей в 1 л воды они разделяются на: 1) пресные — растворено до 1 г солей; 2) слабо минерализованные (солоноватые) — от 1 до 3 г; 3) среднеминерализованные (соленые) — от 3 до 10 г; 4) сильно минерализованные (повышенной солености) — от 10 до 50 г; 5) рассолы — более 50 г.

В зависимости от содержания карбонатов воды разделяются на мягкие (с малым содержанием карбонатов) и жесткие (с повышенным их содержанием).

Воды, используемые в лечебных целях, благодаря повышенному содержанию в них каких-либо химических компонентов, газов, или повышенной радиоактивности, называются минеральными. Степень их минерализации весьма различна, иногда даже составляет 0,5 г/л.

Минеральные воды разделяются также на холодные — температура до 20° С; теплые — от 20 до 37° С; собственно термальные — от 37 до 42° С; горячие — температура более 42° С.

Естественный выход подземных вод на поверхность называется источником (ключ, родник). Они могут быть восходящими (выходят наружу с напором) и нисходящими. Источники с высокой температурой воды называются горячими, или термальными. Температура воды в них достигает 100° С.

Геологические процессы, связанные с подземными водами. Подземные воды производят сложную геологическую работу, приводящую к образованию карста, суффозионным и оползневым явлениям.

Карстообразование — это совокупность процессов растворения и выщелачивания горных пород в результате деятельности поверхностных и подземных вод. Из горных пород легче всего поддаются растворению каменная соль, гипс и карбонатные породы (известняки, доломиты и др.). В природе наиболее широко распространен карбонатный карст. Образование его начинается с микроскопических трещин в известняках или других карбонатах, по которым просачиваются дождевые и талые воды; они постепенно расширяя трещины могут образовывать бороздки, рывины с крутыми, почти вертикальными стенками, называемыми каррами. Поверхности, покрытые каррами, называются карровыми полями. Проникая по трещинам на глубину, поверхностные воды совместно с подземными формируют различные пустоты (карстовые полости), поноры, воронки, пещеры. На дне пещер иногда наблюдаются водотоки и небольшие озера.

Циркулирующие по трещинам и пустотам воды насыщаются солями. Просачиваясь по трещинам на сводах пещер, они в виде капель падают на дно, оставляя часть растворенных в них солей в виде минеральных сосулек на потолке и дне. Натечные образования, нарастающие с потолка пещеры, называются сталактитами, а нарастающие со дна — сталагмитами. Иногда они сливаются, образуя единую колонну. Карст широко развит на Кавказе, в Крыму, на Урале.

Суффозия (подкачивание) — механический вынос мелких и тонких частиц из рыхлых горных пород подземными водами, вызывающий оседание вышележащей толщи. В результате на поверхности образуются небольшие воронки, западины

полукруглой формы (блюдца). Наиболее широко супфозия развита в лёссах.

Оползни — смещение значительных масс горных пород по склонам долин оврагов, рек, вдоль берегов озер и морей под влиянием силы тяжести.

Причины возникновения оползней чаще всего связаны с переувлажнением глинистых пород (водоупор) склона под воздействием поверхностных и подземных вод. В результате водоупорный слой становится скользким, и водопроницаемые породы сползают по нему вниз. Другими причинами возникновения оползней являются: интенсивный подмыв берега рекой или морем. В результате происходит увеличение крутизны склона и его супфозия.

Оползни имеют широкое распространение вдоль побережья Черного моря, в долинах крупных рек: Волги, Днепра, Дона и др.

Оползневые явления наносят значительный ущерб народному хозяйству. Борьба с ними ведется путем сооружения подпорных стен вдоль оползневых участков, сооружения дренажных колодцев, осушения пород, закрепление оползневых склонов древесной растительностью и т. д.

Роль подземных трещинных вод в образовании месторождений полезных ископаемых. Подземные воды, поступающие в трещины горных пород с больших глубин, очень часто несут с собой в растворенном состоянии соли различных металлов. С уменьшением глубины и температуры вод происходит осаждение солей и возникновение гидротермальных месторождений серебра, золота, свинца, меди, цинка и др.

В местах выходов термальных вод на поверхность происходит выпадение из воды растворенных солей и образуется известковистый туф — трапертин, используемый как строительный материал. На месте выходов минеральных вод, содержащих в своем составе лечебные вещества, построены многочисленные санатории.

Геологическая деятельность льда

Геологическая деятельность льда во многом определяется формой его существования в природе. Следует различать сезонные льды, образующиеся в водоемах и в почве, и многолетние льды, слагающие крупные ледники горного и материкового типа. Широко развиты льды в областях распространения многолетней мерзлоты.

Условия образования и типы ледников. В высокогорных областях снежинки под влиянием солнечных лучей слипаются, оплавляются и принимают форму зерен, которые при уплотнении превращаются в фирновый лед. Непрозрачная белая масса фирнового льда состоит из зерен размером от 5 до 10 мм.

По мере утолщения ледяного покрова над нагрузкой фирновый лед преобразуется в прозрачный голубой глетчерный лед, который обладает высокими пластичными свойствами и способен течь. Скопления льда, образовавшегося при уплотнении и перекристаллизации многолетних накоплений снега, называется ледниками, или глетчарами. Нижней границей формирования ледников является снеговая линия — это условная линия, выше которой снег не успевает растаять в летний период. В полярных областях снеговая линия располагается на уровне моря. В средних и низких широтах снеговая линия находится в пределах 2700—6000 м над уровнем моря.

Современные ледники занимают 11% общей площади суши Земли, а объем заключенного в них льда составляет около 30 млн. км³. Ледники подразделяются на горные и материковые.

Горные ледники формируются в горных районах и подразделяются на альпийский (его часто называют горным) и скандинавский — (плоскогорный) типы. Альпийский тип ледников образуется в пределах молодых гор с зубчатыми вершинами (Альпы, Кавказ, Памир, Гималаи и др.). Движение их от вершин к подножью гор происходит по дну горных долин в виде языков длиной до нескольких десятков километров. Область питания этих ледников состоит из нескольких фирновых полей (бассейнов), из которых глетчерный лед медленно оттекает. Скандинавский тип (плоскогорный) образуется на плоских вершинах гор (Алтай, Северный Тянь-Шань, Скандинавские горы). Это маломощные шапки фирна и льда, обычно малоподвижные, или обширные ледники нагорий Норвегии (площадью до сотен квадратных километров). Они дают начало коротким долинным ледниковым языкам, расходящимся в разные стороны.

Материковые, или покровные, ледники широко развиты в высоких широтах. Они покрывают огромные площади суши, скрывая под собой неровности ее рельефа (Гренландия, Антарктида). Форма материковых ледников — высокие (3300 м в Гренландии и 4500 м в Антарктиде) ледяные плато с ровной плоско-выпуклой поверхностью. Лед растекается во все стороны сплошной стеной. Достигнув морского побережья, ледники сползают в море, краевые части его обламываются и образуют многочисленные плавучие блоки льда — айсберги.

При движении ледники разрушают ложе из коренных горных пород и сносят обломочный материал. Разрушительную деятельность ледников называют выпахиванием, или экзарацией. Выпахивание происходит избирательно и проявляется во много раз интенсивнее там, где в лед вмерзли обломки горных пород, усиливающие его разрушительную деятельность, или там, где ложе ледника сложено некрепкими трещиноватыми породами. В рыхлых породах ледник выпахивает огромные желоба и замкнутые котловины. Выступам скальных пород ледник при-

дает сглаженную форму, округляя, отшлифовывая сторону, обращенную навстречу движению льда. Такие одиночные скалы называются «бараньими лбами».

Ледниковые долины — троги образуются в результате расширения ледником ранее существовавших речных долин. Поперечный профиль ледниковой долины трапециевидный.

Перенос обломочного материала ледниками и талыми водами. Морены и их типы. При движении ледник переносит огромное количество обломочного материала, который захватывается им при выпахивании, а также попадает на поверхность ледника при смыте и обвалах с окружающих склонов. Этот рыхлый несортированный материал называется мореною. Выделяются различные типы морен. Особый интерес представляет так называемая конечная морена, которая формируется в лобовой части ледника.

В процессе таяния ледников образуется большое количество талых вод. Вытекая из-под ледника, они выносят много обломочного материала, который формирует водно-ледниковые флювиогляциальные отложения. Обычно это грубо-зернистые, плохо отсортированные пески с примесью гальки и валунов. В отдельных котловинах, выпаханных ледником, могут образоваться озера (Карелия, северо-западная часть Европейской равнины) с характерными осадками — «ленточными» глинами, состоящими из многократного чередования тонких слоев песка с хорошо отмученной глиной.

Водно-ледниковые отложения образуют своеобразные формы рельефа. Иногда это обширные полого-волнистые равнины — зандровые поля, сложенные песками, гравием, галькой. Они возникают в местах выхода водного потока из-под ледника. В других случаях — это узкие, извилистые в плане валы — озы из гравийно-галечного материала, вытянутые по направлению движения ледника, а также отдельные, хаотически разбросанные холмы — камы.

Древние оледенения. Моренные и флювиогляциальные отложения являются признаками прошлых оледенений. Древние морены со временем преобразовываются в конгломератовидные породы — тиллиты; галечники и ленточные глины — в конгломераты и сланцы с тонкой слоистостью. При этом все они сохраняют характерные текстурные особенности ледниковых отложений (шлифовка, штриховка и др.).

Следы древних оледенений обнаружены в породах докембрия, ордовика, верхнего палеозоя и четвертичного периода. Наиболее изучено оледенение четвертичного периода. Временами в северной части СССР ледник значительно сокращался и отступал к центрам оледенений (Скандинавские горы, Новая Земля, Альпы, Таймырский полуостров и др.), но периодически происходило интенсивное образование льда и ледники вновь распространялись по земной поверхности.

Периоды времени, в которые площадь ледников увеличивалась, называются ледниками веками, а периоды сокращения ледников — межледниками веками, или межледниками.

В европейской части СССР в четвертичном периоде выделяют от 3 до 7 оледенений. Установлено, что большая часть Восточно-Русской равнины (до широты Киева и Днепропетровска) временами была покрыта льдами. В Азии в четвертичный период оледенению подвергались Северный Урал, Северный Тянь-Шань, Памир, Алтай, Саяны, Якутия, Верхоянский и другие хребты Сибири.

О причинах оледенений и их периодичности нет единого мнения. Одни ученые пытаются объяснить возникновение оледенений космическими причинами, связывая изменение солнечной радиации с изменением элементов земной орбиты, с появлением туманности и т. д. Другие — связывают возникновение оледенений с факторами, обусловленными развитием самой Земли: изменением содержания углекислого газа в земной атмосфере, изменением прозрачности атмосферы при вулканических извержениях, преобразованием поверхности Земли в ходе горообразования, что приводит к изменению направления движения теплых и холодных течений, и т. д.

Многолетняя (вечная) мерзлота. В холодные зимы подземные воды, содержащиеся в горных породах, превращаются в лед — образуются мерзлые горные породы, которые в летнее время могут полностью оттаять. Такое временное промерзание почв называется сезонной мерзлотой. Глубина ее проникновения изменяется от 1 до 4 м (в зависимости от климатических условий). В районах, где среднегодовая температура близка к 0°С или ниже, мерзлые породы оттаивают в летнее время только на небольшую глубину (0,2—1,5 м). В результате возникает значительный по мощности горизонт многолетней мерзлоты. Временно оттаивающий ее самый верхний слой называется деятельным слоем.

Многолетняя мерзлота развита повсеместно к востоку от р. Енисей, в северных частях Западно-Сибирской низменности и Урала, на крайнем севере европейской части СССР, в горных районах и занимает половину территории нашей страны — 49,7 %. Глубина распространения многолетней мерзлоты колеблется от первого десятка метров до 500—600 м.

При изменении температурного режима недр (потепление климата, распахивание земли, рубка леса и др.) в результате вытаивания подземного льда образуются отрицательные формы рельефа (блюдца протаивания, провалы, воронки и др.). Оттаявший увлажненный слой почвы обычно сползает вниз по склону по поверхности неоттаявших пород. Это явление называют солифлюкционной. Солифлюкционные процессы существенно затрудняют строительство в районах вечной мерзлоты.

Геологическая деятельность моря

Разрушительная деятельность моря связана с движением морской воды и называется абразией. Наибольшей разрушительной силой обладают волны, в меньшей степени приливы и отливы, а также постоянные морские течения. Скорость разрушения определяется не только ударной силой волны, но и строением берега, крепостью и характером залегания горных пород.

Наиболее сильно разрушительная деятельность морских волн проявляется у скалистых берегов. Длительный процесс разрушения волнами (прибой), особенно содержащимся в воде обломками горных пород, приводит к образованию у подножья берега волноприбойной ниши или желоба. Постепенное увеличение последних приводит к обрушению нависшей части обрыва, затем вновь вырабатывается волноприбойная ниша и со временем ее карниз также обрушается, т. е. процесс повторяется. В результате прибрежные скалы отступают внутрь материка и на их месте образуется более или менее ровная, наклоненная к морю площадка, называемая абразионной террасой (рис. 14). Между подводной террасой и береговым обрывом возникает узкая полоса, покрытая гравием, галькой и более крупными обломками горных пород, называемая пляжем.

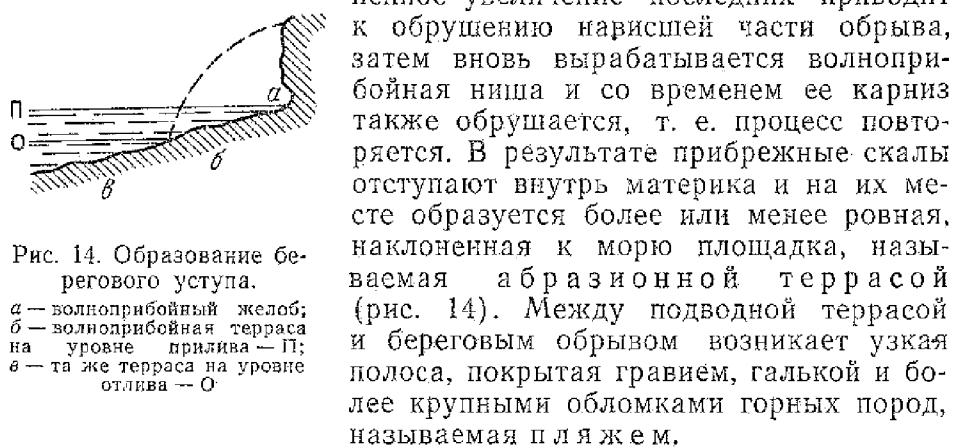


Рис. 14. Образование берегового уступа.

a — волноприбойный желоб;
b — волноприбойная терраса на уровне прилива — P;
c — та же терраса на уровне отлива — O

Быстрый рост абразионной террасы происходит при опускании материка и наступающего на него моря (трансгрессия моря). В этих условиях абразионная терраса достигает огромных размеров и поверхность ее покрывается морскими осадками. Часть обломочного материала уносится за пределы абразионной террасы и откладывается в виде постепенно растущей подводной осыпи, т. е. происходит образование подводной аккумулятивной террасы.

При отступлении моря (рессии) его разрушительная деятельность ослабевает и становится минимальной. В этом случае, а также в условиях пологого берега ударная сила волны значительно ослаблена. Энергия волн расходуется на преодоление трения, на перемещение и переработку обломочного материала и т. д. В этих условиях волны не способны проводитьирующую разрушительную работу, и вместо абразии происходит аккумуляция, т. е. приносимый волнами обломочный материал откладывается у уреза воды, образуя пляж.

Приливно-отливные движения воды морей и океанов имеют меньшее значение в разрушении берегов, чем прибой. Они в большей степени производят размыв дна, особенно в узких

заливах, проливах, устьях рек, где приливно-отливные движения достигают максимальной силы и скорости. Например, высота приливной волны в Пенжинской губе (Охотское море) достигает 11 м. Во время отлива вода из устьевой части реки устремляется с большой скоростью в море, унося принесенный рекой материал. В результате в устье реки образуется воронкообразное расширение, называемое эстуарием.

Морские течения, возникающие под воздействием постоянно дующих ветров — пассатов и муссонов, также производят разрушительную работу. В зоне шельфа они переносят обломочный материал, а на больших глубинах образуют придонные течения, которые переотлагаются донные осадки.

Образование прибрежных аккумуляционных форм. Волновые движения в морях приводят к перемещению обломочного материала. В пределах пляжа у границы прибоя из грубообломочного материала образуются береговые валы. Высота их достигает иногда 3—5 м. Вдоль пологих побережий в мелководной части моря при действии волн, направленных перпендикулярно к берегу, образуются подводные песчаные валы. Если они выходят из-под уровня моря, их называют барами. Иногда протяженность баров достигает нескольких десятков и сотен километров, и они отчленяют большие участки прибрежной части моря, которые называются лагунами. Если береговая линия изрезана, то волны подходят к берегу под некоторым углом и вблизи выступов или мысов намываются узкие песчаные косы. Достигая противоположного берега или сливаюсь с его песчаной косой, они превращаются в замыкающуюся аккумулятивную форму — пересыпь. Они также отчленяют от моря его прибрежную часть, образуя лагуны или затопленные водами моря расширенные устья рек, превращая их в заливы, которые называются лиманами. Косы протяженностью в десятки и сотни километров называются стрелками (Арабатская стрелка в Азовском море длиной 220 км).

Морские осадки различных зон морей и океанов. По происхождению и вещественному составу среди морских осадков выделяют: 1) терригенные — образовавшиеся за счет разрушения горных пород суши и вынесенные в морские водоемы; они состоят из обломочного и глинистого материала; 2) хемогенные — осаждающиеся из морской воды химическим путем; 3) органогенные, или биогенные, — образовавшиеся из остатков различных животных организмов и растений; среди них различают карбонатные и кремнистые; 4) вулканогенные — образовавшиеся из продуктов извержения подводных и надводных вулканов.

Для различных зон морского дна характерен присущий ему гидродинамический режим, определяющий состав осадков.

Зона шельфа. В этой зоне отлагаются терригенные, хемогенные и органогенные осадки. Терригенные осадки обра-

зуются за счет обломков пород, сносимых с континентов. В распределении обломков наблюдается определенная закономерность. В полосе прибоя сосредоточен грубообломочный материал. В части щельфа, прилежащей к суше, накапливаются пески различной зернистости, которые в более глубоких частях щельфа переходят в илы. Ширина этих зон зависит от количества обломочного материала, выносимого реками в море, угла наклона щельфа. В изолированных от моря и, следовательно, защищенных от волн заливах и лагунах тонкие илы могут накапливаться у самого берега. Хемогенные осадки выпадают из растворов в виде карбоната кальция, гидроокислов и окислов железа, марганца, алюминия. Нередко осадки выпадают в виде солитов — мелких шаровидных тел размером от макового зерна до горошины. Иногда в пограничной полосе щельфа и континентального склона встречаются фосфориты. В осолоненных водоемах происходит накопление поваренной и калийной солей, гипса и др. Органогенные осадки образуются из отмерших животных и растительности, населяющих зону щельфа и извлекающих из морской воды кальцит, реже кремнезем для построения твердых частей своего организма. На дне водоема происходит накопление скелетов организмов, образующих толщи известняков-ракушечников, коралловых известняков. Последние иногда слагают крупные биогермные постройки — рифы. Коралловые рифы образуются в тропических зонах Мирового океана на глубинах 10—40 м, где температура воды около 20°С и нет привноса терригенного материала. Остов рифа образован колониальными кораллами. На рифе поселяются различные животные и водоросли, остатки которых также принимают участие в формировании рифов. Погребенные рифы являются поисковым признаком на нефтегазоносность, так как благодаря высокой пористости биогермных известняков они являются хорошими коллекторами для нефти и газа.

Зона континентального склона характеризуется слабой подвижностью морской воды, что практически исключает возможность механического перемещения осадочного материала, за исключением участков с постоянными морскими течениями. Терригенный материал в виде глинистых частиц, реже песчаных, поступает из зоны щельфа и приводит к образованиям синих, красных и зеленых илов. Иногда встречается вулканический ил за счет вулканической пыли, осевшей на поверхности воды. Органогенные осадки в зоне континентального склона формируются за счет накопления карбонатных или кремнистых скелетов погибших планктонных организмов. Они входят в качестве примеси в терригенные или формируют чистые органогенные илы.

Зона ложа Мирового океана. В этой зоне отмечаются органогенные илы (известковистые, кремнистые) и красная глубоководная глина. Она залегает на глубинах ниже

4000—4500 м и образована нерастворимыми остатками организмов, эоловой пылью, глинистыми частицами, приносимыми реками и айсбергами, и продуктами вулканических извержений.

Геологическая деятельность озер и болот

Природные скопления воды в углублениях рельефа суши принято называть озерами. Озера характеризуются различной формой в плане; размеры их в поперечнике изменяются от сотен метров до сотен километров (Аральское море), глубина колеблется от 1 м (оз. Эльтон) до 1,5 км (оз. Байкал).

Происхождение впадин, занятых озерами различно: ледниковое, тектоническое, карстовое, вулканическое, а также связанные с подпруживанием речных долин в горах. Образование озер способствуют влажный климат, малое испарение, пересеченный рельеф, обилие впадин, высокий уровень грунтовых вод.

По характеру стока озера бывают: 1) бессточные — замкнутые водоемы на суше; 2) с переменным режимом — то имеющие сток, то на время лишающиеся его в зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков; 3) проточные (речные), находящиеся на пути течения рек и имеющие постоянный сток; 4) слепые, имеющие подземный сток (карстовые озера). По условиям питания различают озера атмосферного и подземного питания, а по химическому составу — пресные с минерализацией менее 0,1%, солоноватые — от 0,1 до 3,5% и соленые — более 3,5%.

В крупных озерах площадью в десятки и сотни тысяч квадратных километров (Каспийское, Аральское, Байкал и др.) разрушающая деятельность аналогична морской. В мелких озерах над всеми другими процессами преобладают процессы осадконакопления.

Озерные осадки по генетическим признакам и составу разделяются на три типа.

Терригенные — обломочный материал — пески, илы привносятся в основном текучими водами с суши и в меньшей степени образуются за счет абразии.

Хемогенные — образуются путем химического осаждения. Состав их зависит от минерализации озерной воды. Если вода обогащена органическими кислотами и солями железа, то на дне озер отлагаются железные руды, окиси марганца, бокситы; в соленых озерах (в зонах сухого и жаркого климата) — поваренная соль, мирабилит, гипс и др.

Органогенные, или биогенные — образуются за счет скопления на дне водоема различных животных и растительных организмов. В мелких, небольших озерах, особенно равнинных областей, в большом количестве отлагается сапропель — гнилостной ил, богатый органическим веществом. В слу-

чае захоронения сапропеля, его уплотнения и дальнейшего преобразования образуются сапропелевые угли.

Болота — участки суши, характеризующиеся избыточным увлажнением, развитием болотной растительности и образованием торфа. Болота образуются при постепенном зарастании озерных водоемов (рис. 15) как внутри континента, так и на приморских низинах. По условиям залегания болотных массивов и по рельефу выделяют болота верховые (на водоразделах рек) и низинные (в речных долинах, в озерных котловинах).

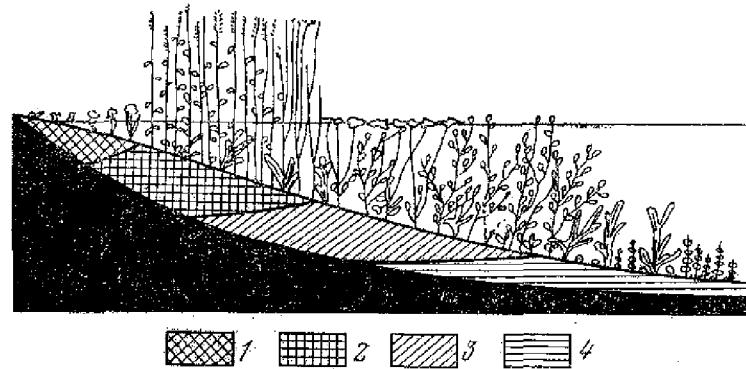


Рис. 15. Схема зарастания озера донной растительностью.

1 — осковый торф; 2 — тростниковый и камышовый торф; 3 — сапропелевый торф; 4 — сапропелит

В приморских низинах тропических и субтропических зон в условиях постоянной обводненности произрастает древесная растительность с воздушными корнями — мангры. Скопление отмерших остатков этих растений приводит к формированию торфяников.

Типичными болотными отложениями являются хемогенные и органогенные осадки.

Хемогенные представлены болотной известью (болотный мергель) и болотными (дерновыми) железными рудами, не имеющими промышленного значения.

Органогенные. Наибольшее значение из них имеет торф. Он образуется из различных остатков болотной растительности — мхов, трав, кустарников и деревьев. При погружении и захоронении торфяника, т. е. покрытии его толщами других пород, торф преобразуется в бурый уголь. Дальнейшее превращение бурого угля в камений уголь и антрацит происходит при воздействии давления вышележащих толщ и увеличения температур в недрах Земли. Процесс преобразования торфа в угли и антрацит длится многие миллионы лет.

Глава II

ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ

§ 4. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КРИСТАЛЛОГРАФИИ

В результате различных физико-химических процессов, протекающих в недрах Земли и на ее поверхности, образуются природные химические соединения — минералы. Они встречаются в природе в двух состояниях: кристаллическом и аморфном.

В аморфных веществах отсутствует строгая закономерность в расположении молекул, атомов и ионов. В связи с этим они изотропны, не могут самоограняться и не обладают симметрией (например, стекло, пластмасса, клей, смола и другие вещества). Аморфные вещества не устойчивы и со временем кристаллизуются.

Кристалл — это природное тело, естественная многогранная форма которого обусловлена особенностями внутреннего строения. Наука, изучающая условия образования, особенности строения и состава, свойства кристаллов и кристаллических веществ, называется кристаллографией.

Кристаллы широко распространены в природе. Они слагают разнообразные горные породы. Многие вещества, окружающие нас (поваренная соль, сахар, различные химикалии, металлы и др.), также имеют кристаллическое строение.

Молекулы (атомы, ионы) в кристаллах размещаются не хаотично, а в определенном строгом порядке — параллельными рядами, причем расстояния между ними в рядах одинаковы. Эта закономерность в строении кристаллов выражается геометрически в виде пространственной решетки, которая является как бы скелетом вещества (рис. 16).

Пространственную решетку можно представить в виде бесконечно большого количества одинаковых по форме и размеру параллелепипедов, передвинутых один относительно другого и сложенных так, что они выполняют пространство без промежутков. Вершины параллелепипедов, в которых находятся атомы, ионы или молекулы, называются узлами пространственной решетки, а прямые линии, проведенные через них, — рядами решетки.

Упорядоченное внутреннее строение кристаллических веществ обуславливает их основные свойства: анизотропность, способность самоограняться и тип симметрии.

Анизотропность (т. е. неравносвойственность) обусловлена одинаковыми расстояниями между атомами, ионами или молекулами в параллельных направлениях и неодинаковыми — в непараллельных. В результате одно и то же физическое свойство кристаллического вещества изменяется по зна-

чению показателей в разных направлениях. Характерным примером являются слюды: мусковит и биотит. Кристаллические пластиинки этих минералов легко расщепляются по плоскостям, параллельным пластинчатости. В поперечных направлениях расщепить пластинку слюды значительно труднее.

Изотропные тела обладают одинаковыми свойствами во всех направлениях.

Способность самоограняться. Поверхности кристаллов ограничиваются плоскостями, которые называются гранями. Места соединения граней называются ребрами, точки пересечения которых называются вершинами (рис. 17). Во мн-

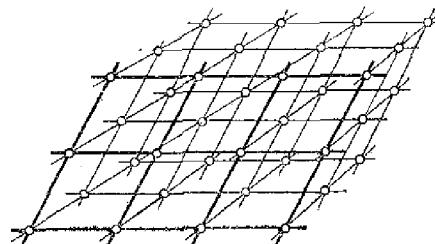


Рис. 16. Пространственная решетка

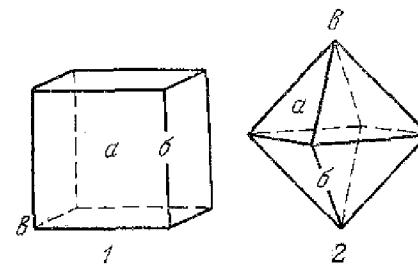


Рис. 17. Кристаллы поваренной соли (1) и магнетита (2).

а — грани; б — ребра; в — вершина

гих случаях кристаллы веществ не имеют ясно выраженной формы, но при свободном росте они принимают вид правильных многогранников.

Симметрия — закономерная повторяемость в пространстве одинаковых частей тела или фигуры (углов, граней, ребер), а также зеркальное равенство их частей (одни части кристалла как бы являются зеркальным отражением других). Это свойство обусловлено закономерностью внутреннего строения кристаллов. Симметрия кристаллов выявляется при помощи воображаемых образов, называемых элементами симметрии: плоскостей, прямых линий, точек. Все кристаллы являются телами симметричными.

Закон постоянства углов. В любом кристаллическом многограннике угол между двумя пересекающимися гранями называется граненым углом. В зависимости от поступления питательного раствора размер, величина, число и форма граней в кристалле одного и того же вещества могут меняться за счет неодинаковой скорости роста разных граней. Так, в процессе роста одни грани получают преимущественное развитие, а другие могут совсем исчезнуть. Исчезают грани, обладающие большей скоростью роста. Таким образом облик растущего кристалла может совершенно измениться, но граневые углы оста-

ются неизменными. В этом заключается один из основных законов кристаллообразования — закон постоянства граневых углов, который формулируется следующим образом: *углы между соответствующими гранями во всех кристаллах одного и того же вещества при одинаковых условиях давления и температуры постоянны.*

Измерение граневых углов кристаллов различных минералов имеет большое значение при их диагностике. Приборы, с помощью которых устанавливается величина граневых углов, называются гониометрами. Самый простой гониометр, употребляемый для приблизительных измерений граневых углов, называется прикладным гониометром (рис. 18). Для точных измерений углов и для мелких кристаллов применяют отражательные гониометры.

Симметрия кристаллов. При вращении большинства кристаллов вокруг какой-либо оси наблюдается закономерная повторяемость одинаковых углов, граней, ребер, а также зеркальное равенство частей фигуры (одни части кристаллов как бы зеркально отражают другие). Это свойство обусловлено закономерностью внутреннего строения кристаллов.

Принято различать следующие элементы симметрии: плоскости (*P*), оси (*L*), центр симметрии (*C*).

Плоскость симметрии (*P*) — мысленно проведенная плоскость, которая делит кристалл на две равные части, причем одна из них как бы зеркально отражает другую. Цифра перед буквой «*P*» показывает число плоскостей симметрии кристаллического многогранника. В кристалле может быть от одной до девяти плоскостей симметрии, но многие кристаллы вообще не имеют ни одной плоскости симметрии.

Ось симметрии (*L*) — прямая линия, при вращении вокруг которой на 360° кристалл несколько раз повторяет свое начальное положение в пространстве. Число повторений начального положения кристалла при вращении вокруг оси симметрии называется ее порядком. Порядок оси можно узнать, разделив 360° на величину угла, на который надо повернуть фигуру, чтобы повторилось ее начальное положение в пространстве. Например, углы поворота фигуры: 180° , 120° , 90° , 60° . Этим углам соответствуют оси симметрии:

$$\frac{360}{180} = 2 \text{ — ось второго порядка } (L_2);$$

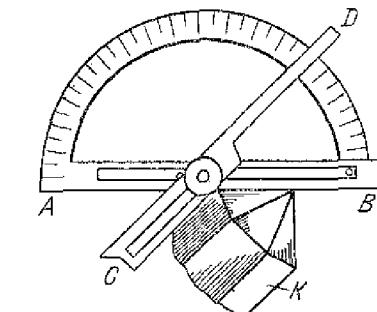


Рис. 18. Прикладной гониометр Карапанко.

АВ — транспортир; СД — линейка; К — кристалл

$$\frac{360}{120} = 3 \text{ — ось третьего порядка } (L_3);$$

$$\frac{360}{90} = 4 \text{ — » четвертого порядка } (L_4);$$

$$\frac{360}{60} = 6 \text{ — » шестого } \rightarrow (L_6).$$

В одном и том же кристалле может быть несколько осей симметрии одного порядка или разных порядков.

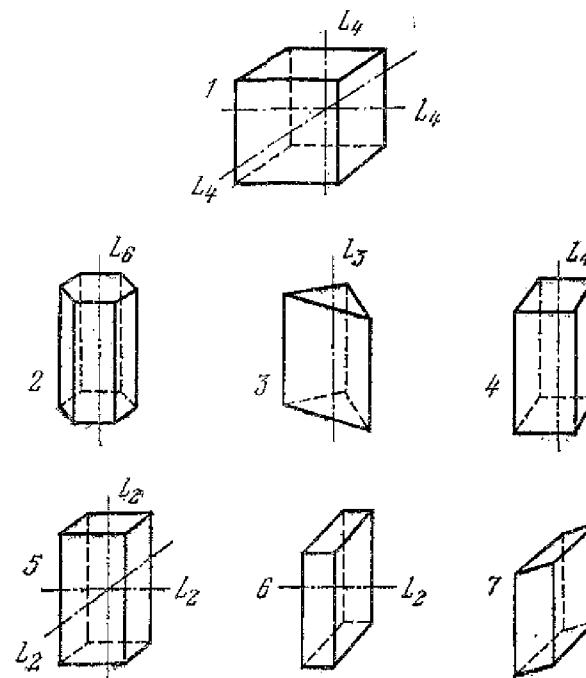


Рис. 19. Кристаллические сингонии.
1 — кубическая — высшая сингония (более одной оси высшего порядка); 2—4 — средние сингонии — только одна ось высшего порядка (2 — гексагональная, 3 — тригональная, 4 — тетрагональная); 5—7 — низшие сингонии — ни одной оси высшего порядка (5 — ромбическая, 6 — моноклинная, 7 — триклиническая)

Центр симметрии (*C*) — это точка внутри кристалла, от которой на одинаковых расстояниях в диаметрально-противоположных направлениях располагаются одинаковые части фигуры. Внешним выражением наличия центра симметрии в кристалле является присутствие параллельных граней и ребер. Некоторые кристаллы не имеют центра симметрии.

Плоскость, ось и центр симметрии находятся в кристаллах во взаимной связи и сочетания их весьма ограничены. Возможны только 32 комбинации элементов симметрии. Каждая комбинация соответствует определенным кристаллографическим классам или видам симметрии. Кристаллографические классы (виды симметрии) объединяются в семь групп — сингоний («сингония» по гречески — сходноугольность): триклиническая, моноклиническая, ромбическая, тригональная, гексагональная, тетрагональная (квадратная), кубическая.

Триклиническая, моноклиническая и ромбическая сингонии называются низшими, так как они не имеют осей симметрии выше второго порядка (*L*₂). Тригональная, гексагональная и тетрагональная сингонии называются средними; наряду с осями симметрии второго порядка они имеют одну ось симметрии высшего порядка, соответственно *L*₃, *L*₆, *L*₄. Кубическая сингония характеризуется несколькими осями симметрии высшего порядка (*L*₃, *L*₄) и является высшей сингонией (рис. 19).

Соотношение элементов симметрии, характеризующих кристаллы определенной сингонии, выражается формулой. Формулы, отражающие наиболее полное развитие элементов симметрии в кристаллах каждой сингонии, приведены в табл. 3.

Таблица 3
Характеристика кристаллографических сингоний

Категория сингонии	Сингония	Характерные элементы сингонии
Низшая	Триклиническая Моноклиническая Ромбическая	<i>C</i> <i>L</i> ₃ <i>PC</i> <i>3L</i> ₂ <i>3PC</i>
Средняя	Тригональная Гексагональная Тетрагональная	<i>L</i> ₃ <i>3L</i> ₂ <i>3PC</i> <i>L</i> ₆ <i>6L</i> ₂ <i>7PC</i> <i>L</i> ₄ <i>4L</i> ₂ <i>5PC</i>
Высшая	Кубическая	<i>4L</i> ₃ <i>3L</i> ₄ <i>6L</i> ₂ <i>9PC</i>

Внешняя форма кристаллов. Под формой кристаллов понимают совокупность всех его граней. Различают простые формы и комбинации. Если все грани кристаллов неразрывно связаны между собой элементами симметрии, получается простая форма (табл. 4, рис. 20—22).

Довольно часто в одном кристалле могут присутствовать одна, две или несколько простых форм. Закономерное сочетание нескольких простых форм на кристалле называется комбинацией (рис. 23). Сколько видов граней различается на равномерно развитом кристалле, столько простых форм составляют комбинацию.

Внешняя форма кристаллов является важным диагностическим свойством, так как каждому минералу присущи те или иные внешние ограничения. Однако в природных условиях в зависимости от среды, в которой растет кристалл, большинство из них кажутся несимметричными. Для того чтобы обнаружить симметрию кристалла, необходимо замерить его гранные углы.

Простейшие формы кристаллов

Категория сингонии	Формы кристаллов
Низшая	Моноэдр, диэдр, ромбическая призма, ромбический тетраэдр, ромбическая пирамида, ромбическая дипирамида
Средняя	Призмы: гексагональные, тетрагональные, тригональные; пирамиды и бипирамиды; гексагональные, тетрагональные, тригональные; ромбоэдр и др.
Высшая	Куб, октаэдр, тетраэдр, ромбо-додекаэдр, пентагон-додекаэдр и др.

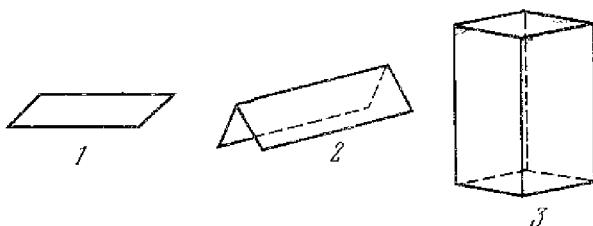


Рис. 20. Простейшие формы низших сингоний.
1 — моноэдр; 2 — диэдр; 3 — ромбическая призма;
4 — ромбический тетраэдр; 5 — ромбическая пирамида;
6 — ромбическая дипирамида

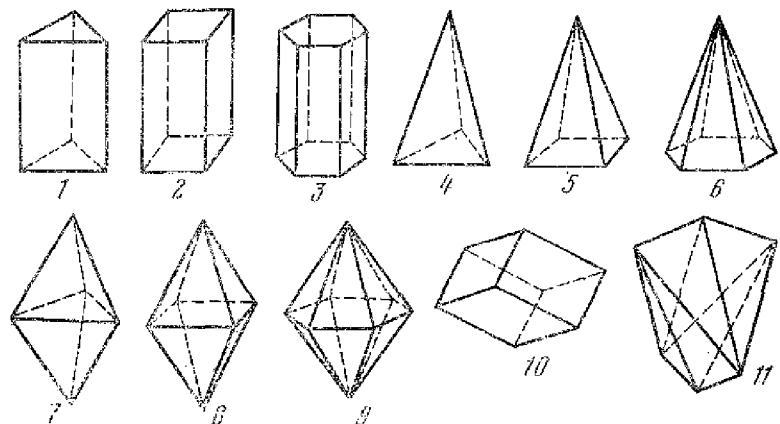


Рис. 21. Простейшие формы средних сингоний.

1—3 — призмы (1 — тригональная, 2 — тетрагональная, 3 — гексагональная); 4—6 — пирамиды (4 — тригональная, 5 — тетрагональная, 6 — гексагональная); 7—9 — дипирамиды (7 — тригональная, 8 — тетрагональная, 9 — гексагональная); 10 — ромбоэдр; 11 — скalenоэдр

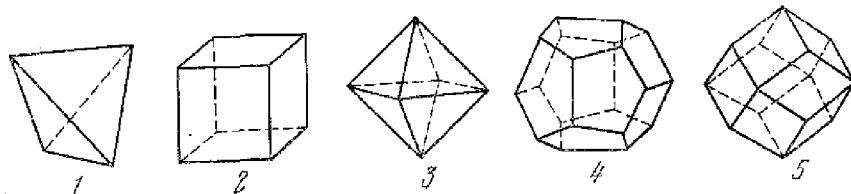


Рис. 22. Простейшие формы высшей сингонии.

1 — тетраэдр; 2 — куб; 3 — октаэдр; 4 — ромбо-додекаэдр; 5 — пентагон-додекаэдр



Рис. 23. Образование комбинации простых форм у кристалла циркона.
а — тетрагональная призма; р — тетрагональная дипирамида

Большая часть минералов, распространенных в земной коре, обладает кристаллическим строением. Базируясь на основах кристаллографии, минералогия изучает внешнюю форму минеральных индивидов (кристаллов), их зарождение, рост и закономерности срастаний.

§ 5. ОСНОВЫ МИНЕРАЛОГИИ

5.1. ОБРАЗОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ В ПРИРОДЕ И ИХ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

5.1.1. Понятие о минералах

Минералы — это однородные по составу и строению природные вещества (химические соединения или самородные элементы), образовавшиеся в результате физико-химических процессов, протекающих внутри земной коры или на ее поверхности.

Большая часть минералов в природе находится в твердом состоянии; известны также жидкые минералы (ртуть, вода и др.) и газообразные (сероводород, метан и др.). Химический состав минералов отражается химической формулой.

Все горные породы, слагающие земную кору, состоят из минералов. Известно около 2000 минералов, из них только 450 видов широко распространены; остальные встречаются редко. Раз-

меры минеральных индивидов различны — от огромных масс в несколько тонн (кварц и др.) до мельчайших зернышек, видимых только в микроскоп. Большинство минералов имеет кристаллическое строение, но они могут быть и аморфные. Изучением минералов занимается специальная наука — минералогия, которая изучает формы выделения минералов, их физические и химические свойства, внутреннюю структуру, происхождение и закономерности распространения в природе.

Минералы имеют важное значение в народном хозяйстве. Они используются для получения различных металлов: железа (магнетит, гематит), свинца (галенит), цинка (сфалерит) и др.; для изготовления сельскохозяйственных удобрений (апатит, фосфорит, сильвинит и др.), строительных материалов (кальцит, каолин, кварц и др.) и т. д. Многие минералы являются валютным фондом (золото, серебро, алмазы, различные драгоценные камни).

5.1.2. Процессы образования минералов в природе

Минералы образуются из газообразных, жидких и твердых веществ. Кристаллизация — переход из жидкого состояния в кристаллическое — может происходить из расплава или из раствора. Кристаллизационная способность у различных веществ неодинакова. Она определяется числом центров кристаллизации, образующихся за единицу времени в единице объема, и скоростью роста кристалла. При большей скорости образования центров кристаллизации возникает много мелких кристаллов, при малом количестве центров возникают крупные кристаллы.

Иногда встречаются так называемые зональные кристаллы. Зональное строение их обусловлено перерывами в кристаллизации или какими-либо примесями, которые попали в раствор в момент кристаллизации.

Процессы минералообразования подразделяются на эндогенные и экзогенные.

Образование минералов эндогенного происхождения связано с разнообразными процессами магматической и постмагматической деятельности.

Магматический процесс — минералы возникают при кристаллизации магматического расплава на больших и средних глубинах. Так возникли все минералы, слагающие изверженные породы: оливин, пироксены, роговая обманка, полевые шпаты и т. д., а также некоторые соединения хрома, никеля, меди, железа и др. Кроме того, ряд минералов (серы, квасцы) образуется как продукт возгонки (сублимации) при вулканическом процессе.

Пегматитовый процесс — минералы образуются из остаточного магматического расплава, обогащенного газами.

Пегматиты — жильные тела с крупными кристаллами. Главными минералами являются полевые шпаты, кварц, слюды, турмалин, берилл, кассiterит, минералы редких земель и др.

Пневматолитический процесс, или пневматолиз — образование минералов из газов, выделяющихся из магмы. Различают вулканический и глубинный пневматолиз. Среди минералов вулканического происхождения наиболее часто встречается самородная сера (Камчатка, Курильские острова). В условиях глубинного пневматолиза возникают слюды, топаз, турмалин, аквамарин, флюорит, рутил и другие минералы, а также формируются месторождения железа, вольфрама, меди, цинка.

Гидротермальный процесс. Горячие водные растворы, отделяющиеся от магмы, выносят из магматического очага, а также из боковых пород, по которым они движутся, целый ряд соединений металлов. С этим процессом связано формирование жил с вольфрамитом, кассiterитом, молибденитом, сульфидами меди, золота, свинца и цинка, серебра, сурьмы, ртути и др.

Минералы экзогенного происхождения образуются вблизи и на поверхности Земли при участии воды, кислорода воздуха, углекислоты и жизнедеятельности организмов. Под их влиянием первичные минералы, образовавшиеся из магмы и ее летучих продуктов, подвергаются механическим, химическим и физико-химическим преобразованиям и в результате образуются новые минералы, устойчивые для условий земной поверхности.

Выветривание. Продукты механического разрушения и химического разложения горных пород формируют коры выветривания, образованные многочисленными минералами вторичного происхождения. При выветривании образуются боксит, каолинит, месторождения которых нередко достигают крупных размеров.

В результате окисления гидротермальных рудных жил с большим содержанием сернистых минералов (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит и др.) возникают новые минералы в виде окислов, гидратов окислов и солей — бурый железняк, малахит, куприт и др.

Осадочный процесс. В ходе этого процесса происходит переотложение продуктов физического и химического выветривания минералов и горных пород и образование новых минералов. Последние могут выпадать из пересыщенных растворов (галит, карналит, сильвинит, кальцит и др.), являться продуктами жизнедеятельности животных и растений (селитры, самородная сера, кальцит и др.) и формироваться при преобразовании осадка (пирит, глауконит и др.).

Метаморфогенные процессы связаны со сложными физико-химическими изменениями состава и структуры пород и минералов, попадающих в глубокие зоны земной коры. В условиях

высоких температур и давлений в ходе общего медленного прогрева на больших площадях происходит перекристаллизация пород, возникают новые минералы. Метаморфогенные изменения происходят и в результате контактowego воздействия магматических расплавов на вмещающие породы. Особенно разнообразный комплекс минералов возникает при воздействии магмы на известняки. В результате возникает порода — скарн, которая содержит кристаллы гранатов, пироксенов, флогопита и т. д.

Космогенные минералы являются составными частями каменных и железных метеоритов и пород Луны. Каменные метеориты по минеральному составу близки к земным изверженным основным и ультраосновным породам. Железные метеориты не похожи на горные породы и состоят из самородного никелистого железа, в котором содержится в среднем около 10% никеля.

По данным Е. К. Лазаренко, в составе метеоритов установлено 64 минерала, большинство из них встречается в земных горных породах. Минералы метеоритов и лунных пород имеют несколько иные химические и физические признаки и морфологию (внешний вид) кристаллов, чем минералы изверженных пород Земли.

Парагенетические ассоциации минералов. Это группы минералов, характеризующихся совместным нахождением в природе в результате единого процесса минералообразования. Знание парагенетических ассоциаций минералов помогает ориентироваться в их происхождении, позволяет обосновать вероятное наличие минералов, не обнаруженных на месторождении, но характерных для данного парагенезиса. Понятие о парагенезисах широко используется при поисках полезных ископаемых. Например, коренное золото обычно встречается в жилах, заполненных молочно-белым кварцем.

Особый случай представляет совместное нахождение первичных минералов с образовавшимися за их счет вторичными; например, халькопирита и других сульфидов меди с продуктами их выветривания в виде малахита, куприта и т. д.

Искусственные минералы. В настоящее время известно много способов получения искусственных минералов из растворов и расплавов. Важное значение имеет получение искусственных технических и драгоценных камней и твердых сплавов: пьезокварца, карборунда, рубина, алмаза, сапфира и др.

Формы выделения минералов. Формы выделения минералов зависят от их химического состава и условий образования. Свободно и медленно растущие минералы приобретают форму правильных кристаллов и их можно узнавать по внешнему виду. Какие-либо помехи в кристаллизации приводят иногда к самой необычной для данного минерала форме кристаллов. Последние могут быть деформированы или образовывать закономерные срастания кристаллов. Например, минерал гипс образует двойники «ласточкин хвост» (рис. 24).

Минералы редко встречаются поодиночке, чаще они образуют скопления минеральных зерен, называемые минеральными агрегатами. К наиболее характерным агрегатам относятся друзы, секреции, конкреции, оолиты, дендриты, натечные, зернистые и землистые формы.

Друзы — незакономерные сростки кристаллов, нарастающие на общем основании в виде щетки (рис. 25).

Секреции — отложения минерального вещества в полостях горных пород от периферии к центру. Обычно они имеют овальную форму (рис. 26, а). Среди секреций различают миндалевидные — секреции небольших размеров (до 10 мм в поперечнике) и жеоды — крупные, частично выполненные пустоты.

Оолиты — более или менее правильные шарообразные агрегаты размером от просяного до бобового зерна. В разрезе они имеют концентрическое скорлуповатое строение: отдельные слои нарастают вокруг какого-либо центра (песчинки, осколка, раковины и т. п.). Чаще всего оолиты бывают сцеплены друг с другом в горную породу (рис. 26, б).

Конкреции — имеют более или менее округлую форму и являются результатом отложения минерального вещества вокруг какого-либо центра кристаллизации. Строение конкреций часто бывает радиально-лучистым, концентрическим, скорлуповатым (рис. 27).

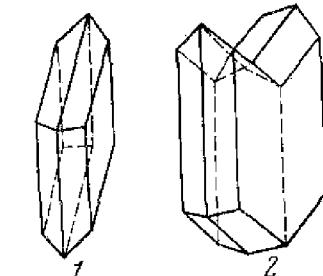


Рис. 24. Единичный кристалл гипса (1) и двойник срастания «ласточкин хвост» (2)

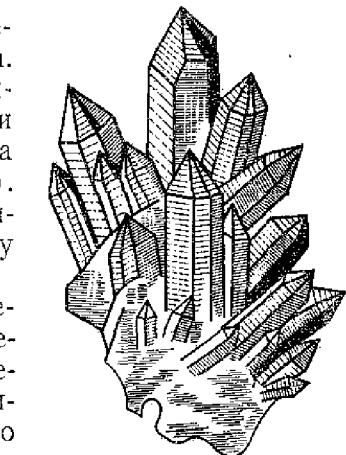


Рис. 25. Друзы кварца

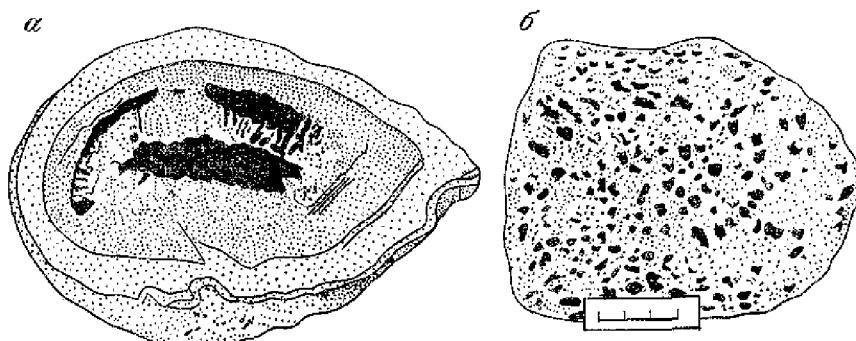


Рис. 26. Формы выделения минералов:
а — секреция; б — оолиты

Дендриты — имеют ветвящееся древовидное строение и похожи на отпечатки растений (папоротников). Образуются при быстром росте кристаллов в тонких волосяных трещинах.

Натечные — образуются в пустотах путем выпадения из медленно испаряющихся растворов. Они имеют различную форму: почковидную, гроздевидную с гладкой блестящей поверхностью (характерны для малахита и хальцедона), а также неправильно цилиндрическую форму — сталактиты и сталагмиты.

Зернистые агрегаты — скопления неправильно сросшихся зерен одного или нескольких минералов. Они образуются при одновременной кристаллизации большого количества минералов из расплава или перекристаллизации.

Кристаллы, растущие каждый из своего центра кристаллизации, сталкиваются друг с другом, и контакты между растущими соседними кристаллами ограничивают их дальнейший рост. Так образуется зернистое строение большинства изверженных горных пород.

Землистые агрегаты — напоминают куски рыхлой почвы, составные части которой слабо связаны между собой. Они обычно пачкают руки, легко распадаются на мелкие комочки, состоящие из мельчайших зернышек. Землистые агрегаты характерны для порошковатых рыхлых минералов и для осадочных горных пород (бокситов, глин и др.).

Каждому минеральному веществу свойственна определенная форма кристалла. На этом в значительной степени основана диагностика минералов. Однако бывают случаи, когда один минерал химически замещает другой, сохраняя его внешнюю форму. Например, в процессе окисления лимонит замещает пирит, сохраняя свойственную пириту кубическую форму выделения. В таком случае говорят о псевдоморфозе лимонита по пириту. Таким образом, под псевдоморфозами понимают минеральные образования, форма которых не соответствует структуре данного минерала, т. е. является для него чужой.

5.1.3. Физические свойства минералов

Физические свойства минералов тесно связаны с их структурой и химическим составом. Каждый минерал обладает определенными физическими свойствами, отличающими его от других минералов. Основные физические свойства: цвет в образце, цвет в тонком порошке (цвет черты), побежалость, блеск, твердость, спайность, излом, плотность, магнитность — позволяют диагностировать большинство минералов, не прибегая к их химическому анализу. Физические свойства передко определяют области применения минералов в народном хозяйстве. Графит,

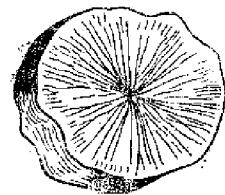


Рис. 27. Конкреция фосфорита

например, используется в производстве карандашей, потому что обладает низкой твердостью, весьма совершенной спайностью, темно-серым цветом.

Цвет. Минералы могут иметь самые различные цвета и оттенки. Одни минералы всегда одного и того же цвета, по которому их можно безошибочно определить. Например, красная киноварь, золотистый пирит, зеленый малахит, синий лазурит и т. п. Другие минералы, такие, как кварц, турмалин, берилл, флюорит и др., могут быть различно окрашены. Цвет минералов определяется особенностями их строения и состава. Характерную окраску минералам придают химические элементы — хромофоры: Cr, Fe, Mn, Ti, Co, Cu, U, Mo. Даже незначительные их примеси изменяют окраску минерала.

Цвет черты. Минералы, твердость которых невелика, оставляют черту на неглазурованной фарфоровой пластинке. Цвет минерала в порошке может отличаться от цвета самого минерала. Например, золотистый пирит дает черную черту, и т. п.

Побежалость — пестрая или радужная пленка на поверхности некоторых минералов, образующаяся в результате химических реакций. Она напоминает окраску тонких пленок нефти, керосина, масла на поверхности воды.

Блеск обусловлен способностью поверхности минералов отражать свет. Минералы подразделяются на две группы: с металлическим и неметаллическим блеском. Среди последних различают: металловидный блеск, алмазный, стеклянный, жирный, перламутровый, шелковистый, восковой.

Твердость. Под твердостью понимают сопротивление минерала механическому воздействию более прочного тела. Существует несколько методов определения твердости. В минералогической практике принята относительная твердость по шкале Мооса, эталонами которой являются следующие минералы, расположенные в порядке увеличения их твердости.

- | | |
|------------|-----------------|
| 1. Тальк | 6. Полевой шпат |
| 2. Гипс | 7. Кварц |
| 3. Кальцит | 8. Топаз |
| 4. Флюорит | 9. Корунд |
| 5. Апатит | 10. Алмаз |

Для определения твердости какого-либо минерала его сравнивают с парой смежных эталонных минералов. Например, если минерал царапается топазом, а он сам царапает кварц, то его твердость равна 7,5.

Эталоны шкалы Мооса могут заменить следующие предметы: лезвие стального ножа — твердость около 5,5, натильник — около 7, простое стекло — 5, медная монета — 3, минералы, имеющие твердость менее 2, легко чертятся ногтем.

Спайность — способность минералов раскалываться по определенным направлениям — плоскостям спайности. Явление спайности объясняется особенностями внутреннего строения кристал-

лов. Спайность разделяется по степени ее совершенства на несколько групп:

весьма совершенная — минерал очень легко разделяется по плоскостям спайности (слюда, гипс);

совершенная — кристалл в любом месте колется по определенным направлениям, образуя ровные поверхности (кальцит, галенит);

средняя — при расколе образуются как ровные спайные поверхности, так и неровные поверхности излома (полевые шпаты);

несовершенная — ровные спайные поверхности редки, при разломе большей частью образуется неправильный излом (берилл, апатит);

весьма несовершенная — практически нет спайности, при расколе кристаллы имеют неровные поверхности излома (кварц, кассiterит).

Излом — вид поверхности раскола. Различают следующие виды излома:

раковистый, — похожий на внутреннюю поверхность раковины (стекло, опал, халцедон);

неровный, — характеризующийся неровной поверхностью без блестящих спайных участков (апатит);

занозистый — напоминает излом древесины поперек волокнистости (асбест, волокнистый гипс);

крючковатый — поверхность излома покрыта мелкими крючками (самородная медь, самородное серебро);

землистый — поверхность рыхлая, шероховатая (лимонит).

Плотность. Плотности минералов колеблются от величин, примерно равных единице, до 23,0 (платинистый иридиум). Погдавляющая масса минералов имеет плотность от 2,5 до 3,5. По плотности минералы условно подразделяют на три группы: легкие (плотность до 3,0), средние (плотность от 3,0 до 4) и тяжелые (плотность более 4).

Магнитность — свойство минералов отклонять магнитную стрелку или самим притягиваться магнитом. Этим свойством обладают немногие минералы. Наиболее сильными магнитными свойствами обладает магнетит, или магнитный железняк.

При исследовании каждого минерала необходимо фиксировать все вышеперечисленные физические свойства, так как только их комплекс позволит правильно диагностировать минерал.

5.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

Почти все химические элементы таблицы Менделеева входят в состав минералов, который обозначается формулой и устанавливается химическим анализом. Различают эмпирические формулы, показывающие только химический состав, и структур-

ные — отображающие особенности внутреннего строения минералов.

Химический состав минералов может быть постоянным и переменным. Переменным составом обладают минералы, в которых одни группы элементов могут изоморфно замещаться другими, образуя изоморфные смеси. В этих случаях в формулах обозначения взаимно замещающихся элементов разделяют запятой и берут в скобки, преобладающий элемент ставят впереди. Например, оливин — $(Mg, Fe, Mn)_2 [SiO_4]$.

При изоморфизме элементы заменяют друг друга в химических соединениях родственного состава. В этом случае в кристаллической решетке частицы (атомы, ионы), т. е. структурные единицы одного вещества, могут замещаться в разных количествах атомами, ионами других веществ без значительного изменения структуры решетки. Такие замещения возможны только в тех случаях, когда кристаллы вещества имеют сходный состав, геометрически близкое строение. Например, минералы магнезит $MgCO_3$ и сидерит $FeCO_3$ образуют непрерывный ряд смесей: $m \cdot MgCO_3 - n \cdot FeCO_3$. Более сложную изоморфную смесь представляют полевые шпаты.

При одном химическом составе вещество способно выделяться в структурно различных видах, кристаллизоваться в различных видах симметрии. Например, углерод в виде кристаллов кубической сингонии образует алмаз, в виде кристаллов гексагональной сингонии — графит. Сернистое железо (FeS_2) образует две модификации: марказит — ромбической сингонии и пирит — кубической. Подобное явление называется полиморфизмом.

Минералы можно классифицировать по различным признакам: по происхождению, по кристаллографическим особенностям, по химическому составу и т. д. Наиболее распространена классификация минералов, в основу которой положен их химический состав. Все известные минералы разделены на ряд классов: самородные элементы, сернистые соединения, галоиды, окислы, карбонаты, сульфаты, вольфраматы, силикаты, органические соединения.

Минералы, слагающие основную массу горных пород, называются *породообразующими*.

Самородные элементы

К этому классу относятся химические элементы, находящиеся в природе в свободном состоянии. Они не являются породообразующими, однако имеют большое практическое значение.

Металлы. Золото Au. В кристаллах встречается редко, чаще образует мелкую вкрапленность в виде зерен и чешуек в кварце, иногда встречается в виде дендритов и натечных форм.

Сингония кубическая. Цвет золотисто-желтый; цвет черты желтый, блеск металлический, непрозрачный, излом неровный, крючковатый; спайность несовершенная, твердость 2,5—3, плотность чистого золота 19,3.

Происхождение преимущественно гидротермальное, накапливается также в россыпях. Используется в приборостроении, медицине, в ювелирном деле, для валютного обмена.

Серебро Ag. Встречается в виде дендритов, тонких пластинок, разнообразных волосовидных и проволочных форм. Сингония кубическая. Цвет и черта серебряно-белые, на поверхности иногда с черным налетом. Блеск металлический. Излом крючковатый. Твердость 2,5. Плотность 10,5.

Происхождение — гидротермальное. Применяется в ювелирном деле, для чеканки монет, в различных сплавах.

Платина Pt. В чистом виде не встречается. Наиболее распространенным в природе является поликсен (Pt, Fe) с содержанием железа 9—11 %. Обычно встречается в неправильных зернах, самородках. Сингония кубическая. Цвет и черта светлые, стально-серые. Блеск металлический. Излом неровный, крючковатый, твердость 4—5. Плотность 15—19.

Образование связано с ультраосновной магмой. Применяется в химической промышленности, электротехнике, медицине, в ювелирном деле.

Неметаллы. Сера S. Встречается в виде друз, землистых масс и натечных форм. Сингония ромбическая. Цвет желтый, бурый и черный от включений битумов. Черта светло-желтая. Блеск на гранях стеклянный, в изломе жирный, смолистый. Излом неровный до раковистого. Очень хрупкая, спайность несовершенная, твердость 1,5—2. Плотность 2,07.

Образуется путем возгонки паров при вулканических извержениях, при разложении в поверхностных условиях сульфидов, сульфатов и биогенным путем (благодаря жизнедеятельности серных бактерий). Основные месторождения — в Средней Азии, Поволжье, Прикаспатье. Применяется в химической промышленности и сельском хозяйстве.

Алмаз C. Встречается в коренном залегании в виде кристаллов, чаще скапливается в россыпях. Сингония кубическая. Бесцветный или голубой, синий, желтый, бурый, черный. Блеск сильный, алмазный, прозрачный, спайность средняя в четырех направлениях. Твердость 10. Плотность 3,5.

Образование связано с вулканическими аппаратами с ультраосновной магмой. Применяется как абразивный материал, как драгоценный камень.

Графит C. Встречается в виде кристаллов, чешуек и в аморфном состоянии среди магматических и метаморфических пород. Сингония гексагональная. Цвет темный, стально-серый до черного. Черта черная. Блеск металловидный. Проплавливает в тонких листочках. Излом неровный. Спайность

весыма совершенная в одном направлении. Твердость 1. Плотность 2—2,3. На ощупь жирный, пачкает руки, оставляет след на бумаге.

Происхождение преимущественно метаморфическое. Основные месторождения — на Алтае, в Красноярском крае, на Украйне и др. Применяется в металлургической, электротехнической промышленностях, для производства красок и т. д.

Сернистые соединения (сульфиды)

Сульфиды также не относятся к породообразующим минералам и многие из них являются рудами металлов.

Галенит (свинцовый блеск) PbS. Образует зернистые скопления, реже отдельные кристаллы и их сростки. Сингония кубическая. Цвет свинцово-серый, черта серовато-черная, блестящая. Блеск металлический. Спайность совершенная по кубу. Твердость 2,5. Плотность 7,5.

Образуется гидротермальным путем. Основные месторождения — на Северном Кавказе, в Средней Азии, в Приморском крае и др. Является свинцовой рудой.

Сфалерит (цинковая обманка) ZnS. Встречается в виде зернистых скоплений и кристаллических сростков. Сингония кубическая. Цвет преимущественно коричневый, бурый до черного и желтый до бесцветного (редко). Черта желтая или бурая до темно-коричневой. Блеск алмазный. Спайность совершенная по ромбододекаэдру. Твердость 3,5. Плотность 3,9—4,1.

Происхождение гидротермальное. Основные месторождения — на Северном Кавказе, Алтае, в Забайкалье. Является цинковой рудой.

Халькопирит (медный колчедан) CuFeS₂. В виде кристаллов встречается редко, чаще образует сплошные зернистые массы, иногда — натечные формы. Сингония тетрагональная. Цвет латунино-желтый. Черта черная или зеленовато-черная. Блеск металлический. Излом неровный. Твердость 3,5—4. Плотность 4,2. Иногда характерна пестрая побежалость.

Происхождение магматическое, скарновое, гидротермальное, редко осадочное. Основные месторождения — в Норильском районе, на Урале, в Узбекистане и др. Является медной рудой.

Пирит (серный или железный колчедан) FeS₂. Один из наиболее распространенных минералов класса сульфидов. Встречается в виде друз, вкрашенников, зернистых плотных агрегатов. На гранях кубических кристаллов заметна тонкая параллельная штриховка. Сингония кубическая. Цвет соломенно-желтый, черта черная или зеленовато-черная. Блеск металлический. Излом неровный или раковистый, у агрегатов зернистый. Спайности нет. Твердость 6—6,5. Плотность около 5.

Происхождение магматическое, гидротермальное, осадочное.

В зоне окисления пирит неустойчив и почти всегда переходит в бурые окислы железа (лимонит). Основные месторождения — на Урале и в Закавказье. Часто встречается в ископаемых углях. Используется для получения серной кислоты.

Марказит FeS_2 . Встречается реже пирита. Обычно в виде желваков, конкреций почковидных, гребенчатых и кольцевидных агрегатов. Сингония ромбическая. Физические свойства те же, что и у пирита.

Происхождение гипергенное — в углистых глинах и угольных пластах, реже гидротермальное. Самостоятельных месторождений не образует, встречается в Подмосковном угольном бассейне и др. Используется как сырье для получения серной кислоты.

Арсенопирит (мышьяковистый колчедан) FeAsS . Встречается в виде кристаллов и плотных зернистых агрегатов. Сингония моноклинальная. Цвет оловянно-белый. Черта серовато-черная. Блеск металлический. Спайность несовершенная. Хрупок. Твердость 6. Плотность 6. При выбивании искр молотком издает чесночный запах.

Происхождение гидротермальное, возможно скарновое. Месторождения — на Урале, на Кавказе, в Средней Азии, Восточной Сибири и др. Основная мышьяковая руда.

Борнит (пестрая медная руда) Cu_5FeS_4 . Встречается в виде сплошных зернистых масс и вкраплеников. Кристаллы редки. Сингония кубическая. Цвет темный медно-красный с пестрой побежалостью. Черта серовато-черная. Блеск металлический. Спайности нет. Твердость 3. Плотность 5,0—5,2.

Происхождение гидротермальное и гипергенное — в зоне цементации медных месторождений. Месторождения — на Урале, в Казахстане. Важная руда на медь.

Киноварь HgS . Встречается в основном в виде зернистых вкраплеников, а также сплошных зернистых масс. Сингония тригональная. Цвет яркий темно-красный. Черта красная. В тонких обломках прозрачна. Блеск алмазный, иногда со слабой свинцово-серой побежалостью. Твердость 2—2,5. Плотность 8.

Происхождение гидротермальное. Месторождения — в Донбассе, Забайкалье, на Алтае, на Чукотке и др. Важнейшая ртутная руда, а также природная краска.

Молибденит (молибденовый блеск) MoS_2 . Встречается в виде тонких кристаллов, листоватых, чешуйчатых и звездчатых агрегатов. Сингония гексагональная. Цвет свинцово-серый, черта на бумаге голубовато-серая. Блеск металлический. Спайность весьма совершенная. Твердость 1. Жирный на ощупь, пачкает руки. Плотность 4,7.

Происхождение гидротермальное, скарновое. Месторождения — на Северном Кавказе, в Забайкалье, Красноярском крае и др. Важнейшая молибденовая руда.

Галоиды

К галоидным минералам относятся фтористые, хлористые и очень редкие бромистые и иодистые соединения, представляющие собой соли галоидоводородных кислот. Наибольшее распространение имеют соединения хлора и фтора.

Галит (каменная соль) NaCl , сильвин KCl . Встречаются в виде кубических кристаллов, сплошных плотных зернистых масс, реже корочек, налетов, выцветов. Галит — наиболее распространенный минерал. Сингония галита и сильвина кубическая. Цвет их белый, серый, иногда за счет примесей может быть окрашен в желтоватый или розово-красный, голубоватый цвета. Блеск стеклянный. Спайность совершенная по кубу. Твердость 2, плотность 2,1—2,2. Оба минерала легко растворимы в воде. Различие: по вкусу — галит соленый, сильвин — горько-соленый.

Происхождение. Химические осадки морей, озер, выцветы почв и в небольшом количестве возгоны вулканов. Месторождения — на Урале (Соликамское), Украине и др. Применение: галит — пищевой продукт и основное сырье химической промышленности; сильвин — важнейший источник калия.

Карналлит $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Встречается в сплошных зернистых массах. Сингония ромбическая. Цвет белый, розовый, красный, в зависимости от включений Fe_2O_3 . Твердость 1—2. Плотность 1,6. Вкус горький. Легко растворяется в воде и расплывается на влажном воздухе.

Происхождение — типичный химический осадок. Месторождения — на Урале, в Белоруссии, Закарпатье. Важнейшая руда на калий и магний.

Флюорит (плавиковый шпат) CaF_2 . Встречается в виде кристаллов, зернистых скоплений, концентрически-зональных агрегатов. Сингония кубическая. Цвет фиолетовый, зеленый, иногда бесцветен. Блеск стеклянный, в чистых разностях прозрачный. Спайность совершенная по октаэдру. Твердость 4. Плотность 3,1—3,2.

Происхождение гидротермальное, реже pneumatolитическое. Месторождения — в Забайкалье, Казахстане, Средней Азии и др. Применяется в металлургической и химической промышленности, в оптике и др.

Оксиды

К этому классу относятся минералы, представляющие собой соединения различных элементов с кислородом и гидроксильной группой (OH). Некоторые из них относятся к породообразующим, другие — к рудам.

Кварц SiO_2 . Основной породообразующий минерал земной коры. Встречается в виде зернистых агрегатов и в кристаллах, иногда образующих крупные друзы. Кристаллы удлинен-

ные, призматического вида. Границы часто покрыты тонкой попечной штриховкой. Сингония тригональная. Цвет белый, серый и других оттенков (окрашенные разности). Блеск стеклянный. Просвечивает. Излом раковистый. Спайности нет. Твердость 7. Плотность 2,65.

По цвету различают следующие разновидности кварца: горный хрусталь — водяно-прозрачный с хорошо образованными кристаллами, дымчатый кварц — дымчатого, буроватого цвета, аметист — фиолетового цвета, морион — черного, и др.

Скрытокристаллические разности кремнезема объединяются под названием халцедона. Они образуют натечные формы, желваки, корочки, заполняют пустоты и т. д. Цвет различный, наиболее распространены халцедон серого и голубовато-серого цвета. Блеск восковой, матовый. По тонкому краю просвечивает. Излом раковистый. Твердость 7. Полосатая разность халцедона называется агатом. Халцедон, загрязненный примесями песка и глины, называется кремнем.

Происхождение магматическое, пневматолитическое, гидротермальное, метасоматическое, поверхностное вторичное. Месторождения многочисленны на Урале, Кавказе, Алтае, Колыме, в Сибири и др. (Применяется в оптике и радиотехнике, в стекольной, химической и строительной промышленности).

Корунд Al_2O_3 . Встречается в виде кристаллов бочонковидной формы, иногда в виде мелкозернистой сплошной массы. Сингония тригональная. Цвет синий, красный, серый. Блеск стеклянный. Излом неровный. Спайности нет. Твердость 9. Плотность 4. Прозрачные разновидности синего цвета называются сапфиром, кроваво-красного — рубином.

Происхождение магматическое, пегматитовое, kontaktово-метаморфическое. Месторождения — в Северо-Восточном Казахстане, Якутии, на Урале и др. Применяется как абразивный материал; сапфир и рубин — драгоценные камни.

Гематит Fe_2O_3 . Встречается в виде плотных мелкокристаллических чешуйчатых или листоватых скоплений, желваков. Сингония тригональная. Цвет черный до буровато-красного. Цвет черты вишневый. Блеск металлический. Твердость 5—6. Плотность 5,2. Разновидности: железный блеск — тонкочешуйчатые образования черного цвета и различные яснокристаллические агрегаты; красный железняк — натечные образования, окристые массы и оолиты.

Происхождение kontaktово-метасоматическое, гидротермальное, осадочное, метаморфическое. Месторождения — Курская магнитная аномалия, в Грузии и др. Важнейшая железная руда.

Магнетит (магнитный железняк) $\text{Fe} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$. Встречается в виде кристаллов, сплошных и зернистых агрегатов. Сингония кубическая. Цвет железно-черный. Черта черная. Блеск метал-

лический. Твердость 6,0—6,5. Плотность 5,0—5,2. Легко узнается по магнитным свойствам.

Происхождение магматическое, скарновое, гидротермальное, метаморфическое. Основные месторождения на Урале, в Кривом Роге, Курская магнитная аномалия. Важнейшая руда на железо.

Лимонит (бурый железняк) $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Встречается в виде натечных и плотных землистых масс, конкреций, оолитов. Цвет от охристо-желтого у рыхлых разностей до черного у плотных. Черта желтовато-бурая. Твердость 5,5. Плотность 3,6—4,0.

Происхождение поверхностное — в результате выветривания железосодержащих минералов, сульфидов, силикатов и др., биогенное. Месторождения на Керченском полуострове, на Урале и др. Важная железная руда.

Кассiterит (оловянный камень) SnO_2 . Встречается в виде кристаллов и вкрашенных зерен неправильной формы. Характерны двойники. Сингония тетрагональная. Цвет бурый до почти черного. Блеск алмазный, в изломе смоляной, слегка жирный, иногда металлический. Твердость 6—7. Плотность 6,8—7,0.

Происхождение пневматолитовое, гидротермальное. Месторождения — в Магаданской области, в Забайкалье и др. Важная руда на олово.

Хромит (хромистый железняк) FeCrO_4 . Встречается в виде зернистых агрегатов. Сингония кубическая. Цвет черный. Черта светло-бурая, иногда зеленоватая. Блеск металлический. Твердость 5,5. Плотность 4,5.

Происхождение магматическое. Месторождения на Урале. Основная хромовая руда.

Ильменит (титанистый железняк) FeTiO_3 . Встречается в виде кристаллов и неправильных вкрашенников. Сингония тригональная. Цвет железо-черный. Черта черная или буровато-черная. Блеск металлический. Излом раковистый. Спайности нет. Твердость 5—6. Плотность 5.

Происхождение магматическое и пневматолитическое. Иногда встречается в россыпях. Важная титановая руда.

Карбонаты

Карбонаты — соли угольной кислоты. Большинство из них являются породообразующими минералами. Все карбонаты вступают в реакцию (всплывают) с соляной и азотной кислотами с выделением углекислого газа.

Кальцит (известковый шпат) CaCO_3 . Один из наиболее распространенных минералов в земной коре. Встречается в виде зернистых и землистых агрегатов, в виде натечных форм (стalактиты, stalагмиты) и кристаллов. Сингония тригональная.

Цвет белый, наблюдаются также светлые оттенки разных цветов. Иногда прозрачен. Спайность совершенная по ромбоэдру. Твердость 3. Плотность 2,7. Бурно реагирует даже с разбавленной соляной и азотной кислотами. Прозрачные бесцветные разности кальцита называются исландским шпатом.

Происхождение гипергенное, гидротермальное, метаморфическое. Месторождения — в Якутии, Крыму, Киргизии и др. Применяется в оптике (исландский шпат), в строительном деле (мраморы), металлургической промышленности и др.

Доломит $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$. Встречается в виде пористых и землистых масс. Цвет белый, светло-бурый. Твердость 3—5. Плотность 2,9. С соляной кислотой реагирует слабо.

Происхождение в основном осадочное. Месторождения широко распространены в массивах палеозойских пород Урала, Донбасса, Подмосковья, Поволжья, Средней Азии, Сибири. Используется как строительный материал и в металлургии (флюс).

Сидерит (железный шпат) FeCO_3 . Встречается в виде землистых, зернистых и плотных агрегатов, а также в виде шаровидных конкреций. Сингония тригональная. Цвет буровато-желтый, бурый. Блеск стеклянный, матовый. Твердость 3,5—4,5. Плотность 4. В HCl разлагается сравнительно легко, капля HCl при этом желтеет.

Происхождение гидротермальное, осадочное, метаморфическое. Основные месторождения — на Южном Урале, на Керченском полуострове. Важная руда на железо.

Малахит $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$. Встречается в натечных формах, почковидных образованиях, землистых массах и налетах. Сингония моноклинная. Цвет зеленый, черта бледно-зеленая. Блеск стеклянный, шелковистый. Твердость 3,5. Плотность 4. Легко разлагается в HCl .

Происхождение — в зоне окисления медных месторождений. Месторождения на Урале. Применение — ценный поделочный камень, сырье для производства зеленой краски.

Азурит $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$. Встречается в виде кристаллов, мелкокристаллических корочек, друз, землистых налетов. Сингония моноклинная. Цвет синий, в землистых массах голубой. Черта голубая. Блеск стеклянный. Твердость 3,5—4. Плотность 3,8. В кислотах растворяется с шипением.

Происхождение подобно малахиту, но встречается реже. Является поисковым признаком на медь. Применяется для производства синей краски.

Сульфаты

Сульфаты — соли серной кислоты. Минералы этой группы имеют осадочное происхождение — это химические морские и озерные осадки.

Ангибит $\text{Ca}[\text{SO}_4]$. Встречается в виде сплошных и мелко-зернистых агрегатов. Сингония ромбическая. Цвет серый или голубоватый, реже фиолетовый. Блеск стеклянный, иногда слабо перламутровый, прозрачен. Спайность совершенная, по пинакоиду. Твердость 3,5. Плотность 3,0. При увлажнении в условиях нормального давления легко переходит в гипс.

Образование ангибита связано с выпадением осадка из морских растворов. Месторождения расположены на Украине, на Северной Двине и др. Является сырьем для изготовления альбастра.

Гипс $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Встречается в виде кристаллов (характерны двойники — «ласточкин хвост»), плотных зернистых, листоватых, волокнистых (селинит) агрегатов. Сингония моноклинная. Цвет белый, розовый, серый до бесцветного. Блеск стеклянный до перламутрового. Прозрачный или просвечивает. Спайность весьма совершенная. Твердость 1,5—2,0. Плотность 2,3.

Месторождения — в Приуралье, Иркутской области, на Северном Кавказе и др. Используется в строительном деле, химической промышленности, сельском хозяйстве и т. д.

Барит $\text{Ba}[\text{SO}_4]$. Встречается в виде кристаллов, зернистых плотных листоватых агрегатов. Сингония ромбическая. Цвет белый, голубоватый, розовый, бурый, красный, иногда бесцветен. Блеск стеклянный, иногда перламутровый. Спайность совершенная. Твердость 3—3,5. Плотность 4,5.

Происхождение гидротермальное и гипергенное. Месторождения — в Грузии, Туркмении, на Урале, Алтае и др. Применяется для производства бариевых солей и препаратов, в красочной, бумажной и резиновой промышленности и др.

Вольфраматы

Вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})[\text{WO}_4]$. Встречается в виде кристаллов. Сингония моноклинная. Цвет черный и темно-бурый до красновато-коричневого у марганцевых разностей. Черта красновато-бурая, почти черная. Блеск металловидный. Спайность совершенная. Твердость 5,5. Плотность 7,5.

Происхождение гидротермальное, возможно pnevmatolитическое. Месторождения — в Бурятской АССР, Читинской области, в Казахстане. Важная руда на вольфрам.

Силикаты

Силикаты являются важнейшими породообразующими минералами. Они имеют сложный химический состав и строение. Установлено, что в структуре каждого силиката кремний находится в центрах тетраэдров, вершины которых заняты кислородом.

Оливин ($Mg, Fe_2[SiO_4]$). Наиболее распространенный порообразующий минерал. Встречается в виде кристаллов и зерен, включенных в породу, и в виде зернистых масс. Сингония ромбическая. Цвет от светло-желтого, желто-зеленого до темно-зеленого в зависимости от состава. Блеск стеклянный. Спайность средняя. Твердость 6,5—7. Плотность 3,2—3,5. Равновидности: хризолит — прозрачный оливин желтовато-зеленого цвета.

Оливин является средним членом изоморфного ряда минералов, форстерит (бесцветный) $Mg_2[SiO_4]$ — фаялит (черный) $Fe_2[SiO_4]$.

Происхождение магматическое. Основные месторождения на Урале, на Кавказе, в Сибири. Применяется как огнеупорное сырье. Хризолит — драгоценный камень.

Гранаты представляют собой изоморфный ряд с общей формулой $R_3^{2+} \cdot R_2^{3+}[SiO_4]_3$, где $R^{+2}=Ca, Mg, Mn, Fe$; $R^{+3}=Al, Fe, Cr$. Встречаются в хорошо выраженных кристаллах и зернистой массе. Сингония кубическая. Цвет различный. Блеск стеклянный до алмазного, иногда жирный. Спайности нет. Твердость 7—8. Плотность от 3,4 до 4,3. Главными минеральными видами являются:

грессуляр $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$ — светло-зеленый или зелено-вато-бурый;

пирол $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$ — темно-красный;

спессартин $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$ — розовый, красный, желто-вато-бурый;

альмандин $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$ — красный, коричневый; фиолетовый — самый распространенный;

уваровит $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$ — изумрудно-зеленый; встречается редко.

Происхождение гранатов метаморфическое, скарновое. Месторождения на Урале, в Карелии, Восточной Сибири. Применяются как абразивный материал. Альмандин, пирол — полудрагоценные камни.

Топаз $Al_2(F, OH)_2[SiO_4]$. Встречается в виде одиночных кристаллов, иногда огромных размеров, друз, зернистых масс. Сингония ромбическая. Цвет светло-желтый, дымчатый, зеленоватый, голубой, розовый, бесцветный. Блеск стеклянный, сильный. Спайность совершенная. Твердость 8. Плотность 3,5.

Происхождение — встречается в пегматитовых жилах и грейзенах. Месторождения — на Урале, Волыни, в Восточной Сибири. Используется в ювелирном деле.

Дистен (кианит) $Al_2[SiO_4]O$. Встречается в виде кристаллов. Сингония триклиническая. Цвет синий, голубой, иногда белый. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 4 по длине кристалла и 6,5 в перпендикулярном направлении. Плотность 3,56—3,67.

Происхождение метаморфическое. Месторождения — в Ка-

риелии, на Урале, в Восточной Сибири. Применяется как высокоглиноземистое сырье при производстве огнеупорных изделий.

Авгит (Ca, Na) (Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al) [$(Si, Al)_2O_6$]. Иногда содержит Mn, Ti, Cr . Встречается в виде кристаллов и сплошных зернистых агрегатов. Сингония моноклинная. Цвет темно-зеленый до черного. Цвет черты светлый. Спайность несовершенная. Излом раковистый. Твердость 6,5. Плотность 3,3—3,6.

Происхождение магматическое, характерный породообразующий минерал.

Эгирин $NaFe^{3+}[Si_2O_6]$. Встречается в виде столбчатых, игольчатых кристаллов и листоватых агрегатов. Сингония моноклинная. Цвет зеленовато-черный, темно-зеленый. Черта светло-зеленая. Блеск стеклянный. Спайность средняя. Твердость 6—6,5. Плотность 3,43—3,60.

Происхождение магматическое. Месторождения — на Урале, в Хибинах.

Сподумен $LiAl[Si_2O_6]$. Встречается в виде крупных кристаллов (до нескольких метров). Сингония моноклинная. Цвет светло-зеленый до изумрудно-зеленого, желтый, красновато-фиолетовый, бесцветный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 6—7. Плотность 3,2.

Происхождение пегматитовое. Важная литиевая руда.

Актинолит $Ca_2(Mg, Fe)_5(OH)_2[Si_4O_{11}]_2$ — породообразующий минерал. Встречается в виде удлиненных, иногда игольчатых кристаллов и лучистых агрегатов. Сингония моноклинная. Цвет зеленый, разных оттенков. Хрупкий. Излом занозистый. Твердость 5,5—6. Плотность 3. Равновидности: актинолит-асбест — тонковолокнистые мягкие агрегаты, нефрит — плотные скрытокристаллические массы.

Происхождение скарновое и метаморфическое. Месторождения — в Восточных Саянах. Применение — нефрит является красивым поделочным камнем.

Роговая обманка. Химический состав сложный.

Происхождение магматическое, гидротермальное, метаморфическое. Месторождения в Восточной Сибири, Карелии. Применяется в электропромышленности, радиотехнике, приборостроении и т. д.

Биотит $K(Fe, Mg)_3[AlSi_3O_10](OH, F)_2$. Важнейший, наиболее распространенный породообразующий минерал. Цвет черный.

Происхождение магматическое, пегматитовое, метаморфическое.

Лепидолит $KLi_2Al_2(F, OH)_2[AlSi_3O_10]$ — литиевая слюда. Цвет светло-фиолетовый до красно-фиолетового.

Происхождение пегматитовое. Важная руда на литий.

Хлорит. К хлоритам относится большое количество слюдо-подобных минералов сложного состава (алюмосиликаты магния,

железа и алюминия). Сингония моноклинная. Встречается в виде листоватых, чешуйчатых агрегатов, сплошных масс, скрытокристаллических агрегатов и оолитов (шамозит). Цвет зеленый различных оттенков. Листочки гибкие, в отличие от слюд не упругие. Спайность весьма совершенная. Твердость 2—3. Плотность 2,6—2,9.

Диагностика минералов группы хлоритов трудная. Только шамозит можно отличить по оолитовой структуре и зелено-вато-черной черте.

Происхождение. Хлориты — преимущественно вторичные минералы, возникающие при низкотемпературном гидротермальном процессе. Шамозит образуется осадочным путем.

Глауконит — водный алюмосиликат. Встречается в осадочных породах в виде зерен, чешуек. Сингония моноклинная. Цвет зеленый, разных оттенков. Блеск матовый, у плотных разностей стеклянный. Твердость 2—3. Плотность 2,2—2,9.

Происхождение осадочное. Месторождения в европейской части СССР. Применение. Калиевое удобрение и для производства зеленой краски.

Серпентин (змеевик) $Mg_6[Si_4O_{10}] (OH)_8$. Встречается в виде скрытокристаллических масс. Сингония моноклинная. Цвет желтовато-зеленый до темно-зеленого. Блеск стеклянный, жирный, восковой. Твердость 2,5—4. Плотность 2,5—2,65.

Происхождение гидротермальное. Месторождения на Урале, на Северном Кавказе, в Армении и других местах. Применяется в строительном деле. Красивые разновидности серпентина (благородный серпентин) идут на мелкие поделки.

Каолинит $Al_4[Si_4O_{10}] (OH)_8$. Встречается в виде скрыто-кристаллических, порошковатых и землистых масс. Сингония моноклинная. Цвет белый. Жирный на ощупь. В сухом состоянии липнет к языку, во влажном образует пластическую массу.

Происхождение — образуется при выветривании полевых шпатов, слюд и других алюмосиликатов. Месторождения — на Украине, на Кавказе, в Восточной Сибири.

Применяется в строительном деле (каолиновые глины), керамической и бумажной промышленности.

Полевые шпаты — главные породообразующие минералы, составляющие 50% всей массы земной коры. По химическому составу они разделяются на натрово-кальциевые (плагиоклазы) и калиевые (ортоклаз, микроклин).

Плагиоклазы представляют собой изоморфный ряд с двумя крайними членами: альбитом $Na(AlSi_3O_8)$ и аортитом $Ca(Al_2Si_2O_8)$.

Сингония триклиническая. В зависимости от процентного содержания в плагиоклазах аортитовой молекулы их подразделяют по номерам от 0 до 100. Например, плагиоклаз № 35 представляет собой изоморфную смесь, содержащую 35% аортита и 65% альбита. В связи с тем что содержание SiO_2 в плагиокла-

зах уменьшается от альбита к аортиту, их подразделяют на три группы: кислые № 0—30, средние № 31—60, основные № 61—100.

Альбит встречается в виде зерен, вкрашенных в породу, и таблитчатых кристаллов. Сингония триклиническая. Цвет белый, серый, иногда с различными оттенками. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 6—6,5. Плотность 2,62—2,65.

Происхождение магматическое и гидротермальное. Применяется как керамическое сырье.

Лабрадор встречается в виде сплошных крупнозернистых масс, кристаллы редки. Цвет серый, темно-серый с характерным синим отливом.

Происхождение магматическое. Основные месторождения на Украине. Применяется как ценный облицовочный камень.

Аортит встречается в виде кристаллов. Цвет белый, серый, красноватый, иногда бесцветный. Твердость 6—6,5. Плотность 2,74—2,76.

Происхождение магматическое. Основные месторождения на Урале.

Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$. Встречается в виде кристаллов и сплошных кристаллических масс. Сингония моноклинная. Цвет светло-серый, светло-розовый до мяско-красного. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 6—6,5. Плотность 2,5—2,6.

Происхождение магматическое.

Микроклин $K[AlSi_3O_8]$. Встречается в виде кристаллов гигантских размеров. Цвет серый, розовый, желтый, красный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 6—6,5. Плотность 2,54—2,57. Разновидность микроклина — амазонский камень (амазонит) — зеленого цвета.

Происхождение магматическое, крупные кристаллы встречаются в легматитовых жилах. Месторождения в Карелии, на Урале, в Казахстане. Применяются калиевые полевые шпаты как сырье для керамической и стекольной промышленности; амазонит — для поделок.

Органические соединения

К этой группе относятся минералы, которые являются солями различных органических кислот, битумами и смолами. Они имеют широкое распространение в природе, но изучены слабо (меллит; парафин, переходящий в озокерит; янтарь и др.).

§ 6. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ПЕТРОГРАФИИ

6.1. ПОНЯТИЕ О ГОРНЫХ ПОРОДАХ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

В разрезе земной коры минералы встречаются в виде рыхлых или плотных скоплений зерен — минеральных агрегатов. Закономерные минеральные агрегаты определенного состава и

строения, образовавшиеся в результате геологических процессов, называются горными породами. Наука, изучающая минералогический и химический состав горных пород, их строение, условия залегания, а также изменение их в течение времени, называется петрографией. Петрография тесно связана с минералогией.

Минералы, из которых в основном состоит горная порода, называются породообразующими. Физические и химические свойства горной породы в значительной мере определяются свойствами породообразующих минералов. Минералы, которые содержатся в породе в небольших количествах, являются второстепенными. Их присутствие не влияет на характеристику основных свойств породы. Минералы, которые встречаются в горных породах в ничтожных количествах, называются акцессорными. Выделение их имеет важное значение, так как присутствие тех или иных акцессорных минералов может служить критерием для суждения об условиях образования пород, об источниках сноса. Некоторые акцессорные минералы используются для определения возраста пород.

Для каждой группы горных пород характерны свои породообразующие минералы. Минералы, являющиеся породообразующими одной группы пород, в другой группе могут быть второстепенными, и наоборот.

Горные породы обладают определенным строением, которое выражается понятиями: структура, текстура, отдельность.

Структура — особенности строения горной породы, обусловленные размером, формой и характером срастания минералов, слагающих ее, а также степенью кристалличности.

Текстура (сложение) относительное расположение минеральных агрегатов в горной породе.

Отдельность — характерная форма блоков (глыб, кусков), возникающих при естественном (выветривание) или искусственном раскалывании горных пород по определенным плоскостям под влиянием как внешних, так и внутренних напряжений.

По происхождению все горные породы подразделяются на три группы: магматические, осадочные и метаморфические.

Магматические породы образуются в результате застывания и кристаллизации магмы. Осадочные — образуются в результате накопления и дальнейшего преобразования продуктов разрушения любых пород, а также при химическом осаждении на поверхности суши или на дне моря с участием или без участия организмов.

Метаморфические — формируются из магматических или осадочных горных пород под воздействием высокой температуры и давления, нередко с привносом вещества.

В разрезе земной коры до глубины 16 км магматические породы составляют 60%, метаморфические 32% и осадочные 8% от ее объема. В то же время выходы осадочных пород занимают

75% площади земной поверхности, а магматических и метаморфических — только 25%.

Горные породы изучаются специальными петрографическими методами, среди которых различают полевые и лабораторные.

Полевые петрографические наблюдения заключаются в изучении условий и характера залегания горных пород (форма выделения, размеры, отдельность, трещиноватость и т. д.) и их взаимоотношения (контакты) с другими породами, изучения вещественного состава пород, их структуры и текстуры. В результате приблизительно устанавливается название горной породы.

Лабораторные методы заключаются в изучении химического состава горных пород с помощью химического и спектрального анализов. Широко используется микроскопическое и электронно-спектрическое изучение; разделение в тяжелых жидкостях минералов, слагающих горную породу, с последующим исследованием фракций различной плотности; гранулометрический (механический) анализ, позволяющий разделить осадочную породу по величине слагающих ее зерен на различные фракции, которые затем подвергаются всестороннему изучению. Важными лабораторными методами являются рентгеноструктурный, термический и другие виды анализов.

6.2. МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

6.2.1. Общие сведения о магматических породах и формах их залегания

В зависимости от глубины остывания магмы все магматические породы подразделяются на интрузивные, или глубинные, и эфузивные, или излившиеся.

Интрузивные породы. Процесс внедрения магмы в земную кору носит название интрузивного магматизма. При медленном остывании магмы, когда она вся успевает раскристаллизоваться, образуются поликристаллические зернистые интрузивные породы. Интрузивные породы подразделяются на две группы: абиссальные, образовавшиеся на больших глубинах, и гипабиссальные (полуглубинные), застывшие на небольшой глубине от земной поверхности. Застывшие на различных глубинах, интрузивные горные породы образуют разнообразные по форме и размерам интрузивные массивы, тела (рис. 28): батолиты, штоки, лакколиты, лopolиты, факолиты, дайки, интрузивные залежи (силлы).

Батолиты — огромные гранитоидные массивы (площадью более 200 км²) неправильной формы, залегающие среди осадочных толщ в складчатых областях. Соотношение их с вмещающими породами несогласное. Батолиты образуются на значительной глубине и обнажаются на дневной поверхности в ре-

зультате общего поднятия земной коры и денудации. Их нижняя граница обычно не зафиксирована.

Штоки — относительно небольшие (площадью менее 200 км²) интрузивные крутопадающие тела, имеющие в поперечном сечении окружную или эллипсоидальную форму. Полагают, что на глубине штоки связаны с батолитами.

Лакколиты — тела грибообразной (караваеобразной) формы с подводящим снизу каналом. Встречаются в верхних слоях земной коры. Своеобразная форма верхней части лакколита обусловлена выгибанием вышележащих слоев под напором магмы. Подошва и кровля лакколита залегают согласно с вме-

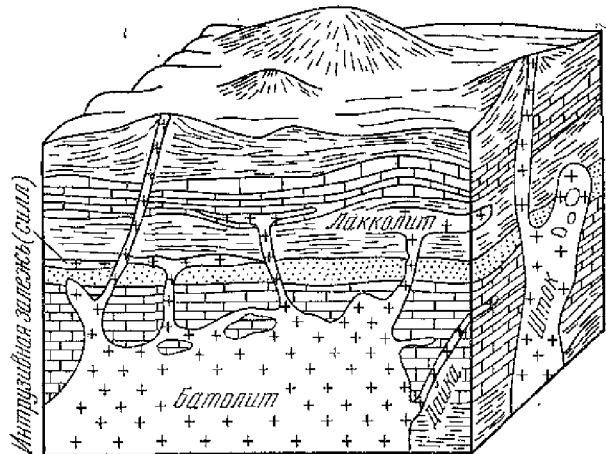


Рис. 28. Блок-диаграмма с изображением форм залегания магматических пород

щающими породами. В поперечнике лакколит может достигать сотни и тысячи метров. При размыве покрывающих осадочных толщ лакколит может обнажиться на дневной поверхности (г. Аю-Даг в Крыму, г. Бештау вблизи г. Минеральные воды и др.).

Лополиты — в отличие от лакколита имеют вогнутую чащебразную форму. Образованы основными, ультраосновными и щелочными породами.

Факолиты — сравнительно небольшие интрузивные тела, ультраосновного состава, напоминающие по форме изогнутую чечевицу. Приурочены к сводам антиклинальных и синклинальных складок и залегают согласно с пластами вмещающих пород.

Дайки — это секущие жилы с вертикальным или крутым падением. Образуются при выполнении магмой полостей трещин в горных породах. Мощность даек изменяется от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Дайки сложены различными по составу породами.

Интрузивные залежи (силлы, пластовые интрузии) образуются в результате проникновения легкоподвижной магмы

между пластами осадочных горных пород. Сложенены различными по составу породами от гранитов до габбро.

Определение возраста интрузии. При определении возраста интрузивных тел учитывают взаимоотношение их с породами, которые они прорывают, и породами, перекрывающими их, а также геологическую историю данного района. Отложения, прорванные интрузивными телами, всегда древнее интрузии, а перекрывающие — моложе. Полученный возрастной интервал иногда бывает очень широким. Для более точного определения возраста интрузий привлекают данные об истории геологического развития данного района, устанавливают связи между интрузивным и эфузивным магматизмом.

Эфузивные породы образуются при излиянии и затвердевании лавы на поверхности Земли и имеют довольно широкое распространение в земной коре. В условиях атмосферного давления и низкой температуры остывание лавы и выделение из нее газообразных веществ происходит сравнительно быстро. В результате часть магматического расплава застывает в виде аморфной массы и возникают неполнокристаллические породы. Эфузивные породы, не подвергшиеся последующим изменениям, называют кайнотипными, а претерпевшие различные изменения — палеотипными.

Формы залегания эфузивных пород определяются типом излияния магмы, ее вязкостью и физико-географическими условиями, в которых происходит извержение вулкана. Они представляют собой покровы, потоки, купола, конусы, некки.

Покровы образуются в результате трещинного вулканизма, когда изливаются подвижные лавы основного состава. Мощность покровов может достигать многих десятков и даже сотен метров (Восточная Сибирь, Армянское нагорье и др.).

Потоки возникают при изливании лав кислого и основного состава из вулканов центрального типа.

Купола, или конусы также образуются при извержении вулканов центрального типа — вязкая, мало подвижная кислая лава при выходе на дневную поверхность не растекается.

Некки, или жерловины — это вертикальные столбообразные каналы с застывшей вблизи поверхности лавой. По жерловинам двигалась лава от магматического очага к кратеру. Некки образуются при разрушении вулканов.

Определение возраста эфузивных пород. Для определения возраста этих пород изучают растительные и животные остатки, встречающиеся как в обломках осадочных пород, обнаруживаемых в эфузивах, так и в самих эфузивных породах. Изучается также взаимоотношение эфузивных толщ с подстилающими и покрывающими их осадками, содержащими ископаемые организмы.

Структуры магматических горных пород отражают условия их образования, так как скорость и порядок кристаллизации

минералов из магмы определяется температурой, давлением, составом и вязкостью магмы, а также наличием летучих компонентов. В связи с этим при изучении структуры магматических пород обращают внимание на степень кристалличности и величину зерен минералов, слагающих породу. По степени кристалличности различают следующие структуры: полнокристаллическую (образующуюся при медленном остывании магмы при наличии летучих компонентов на большой глубине), неполнокристаллическую (возникающую на небольших глубинах, реже в поверхностных условиях) и стекловатую (за счет быстрого охлаждения лавы на поверхности Земли).

По величине зерен, или зернистости различают структуры явино-кристаллические, или фанеритовые (зерна различимы невооруженным глазом), и скрыто-кристаллические, или афанитовые (зерна видны только под микроскопом).

По относительной величине минеральных зерен выделяют равномернозернистые и неравномернозернистые структуры. В равномернозернистых структурах зерна имеют примерно одинаковый размер. Принято различать гигантозернистые породы (с размером зерен более 10 мм), крупнозернистые (5—10 мм), среднезернистые (1—5 мм), мелкозернистые (0,5—1 мм), микрозернистые (менее 0,5 мм). Среди неравномернозернистых структур различают порфировидные (основная масса кристаллов имеет незначительные размеры, а среди них хорошо образованные крупные кристаллы) и порфировые (среди скрыто-кристаллической массы различаются крупные кристаллы).

Абиссальные (глубинные) породы обычно имеют полнокристаллическую равномернозернистую структуру, гипабиссальные породы и жильные образования — полнокристаллическую неравномернозернистую (порфировидную). Эффузивные породы обладают стекловатой структурой.

В магматических горных породах выделяют несколько типов текстур. Массивная — характеризуется равномерным распределением минеральных зерен во всей массе горной породы (указывает на одинаковые глубинные условия кристаллизации). Флюидальная (текстура со следами течения) — кристаллы ориентированы в направлении течения лавы (свойственна многим эффузивным породам). Пористая — горные породы пронизаны видимыми на глаз порами за счет выделения газов при кристаллизации эффузивных пород. Миндалекаменная — в породе отчетливо видны овальные пустоты, заполненные кальцитом, халцедоном, цеолитом и другими минералами.

Важным диагностическим признаком магматических горных пород является отдельность, которая обусловлена возникновением трещин при охлаждении и застывании магматических масс. При медленном остывании крупных магматических тел на больших глубинах формируются глыбовая (плитообразная),

параллелипедальная и матрацевидная отдельности. При остывании эффузивных пород образовавшиеся вертикальные системы трещин приводят к формированию столбчатой отдельности (многогранные столбы с пяти- или шестиугольным сечением базальтов и андезитов). При свободном излиянии лав возникает шаровая отдельность.

6.2.2. Химический состав магматических горных пород

Химический состав пород принято выражать весовыми процентами содержания главных породообразующих окислов SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O и H_2O . Суммарный объем окислов составляет более 98% всех магматических пород. Основными компонентами магматических пород являются кремнезем, SiO_2 , и глинозем, Al_2O_3 .

Все магматические породы разделяются по содержанию кремнекислоты (SiO_2) на следующие группы:

ультраосновные	— менее 45%,
основные	— от 45 до 52%,
средние	— от 52 до 65%,
кислые	— от 65 до 75%.

В отдельную группу выделяются щелочные породы, содержащие до 20% щелочей и около 40—55% SiO_2 (табл. 5).

Степень кислотности магматических пород определяется содержанием в них кварца и оливина. В ультраосновных породах преобладает оливин, в кислых кварц. Количество кварца в средних породах незначительно, а в основных он уже практически отсутствует и заметно возрастает содержание оливина. Внешним показателем степени кислотности магматических пород служит их окраска и относительная плотность.

Ультраосновные породы состоят из оливина, пироксена (авгита) и роговой обманки, богатых окислами железа и магния. Черная и темно-зеленая окраска этих минералов обуславливает темный и черный с зеленоватым оттенком цвет ультраосновных пород. Ультраосновные породы — преимущественно глубинные. Они представлены дунитами, перидотитами и пироксенитами. Излившиеся аналоги их встречаются редко.

Дуниты состоят в основном из оливина. Цвет желтовато-зеленый, при разрушении оливина дуниты становятся темно-зелеными, почти черными. Зернистые. Часто содержат магнетит, хромит, иногда платину.

Перидотиты состоят из оливина и авгита. Цвет темно-зеленый и зелено-черный. Структура полнокристаллическая среднезернистая. В породах нередко содержатся хромит, магнетит, ильменит.

Пироксениты — породы, в которых пироксен (авгит) резко преобладает над оливином. Цвет черный. Структура полнокристаллическая от средне- до крупнозернистой.

Таблица 5

Классификация главнейших типов магматических горных пород

Группа	Интузивные (трубинные)	Эфузивные (излившиеся)			Главные породообразующие минералы	Основные физические свойства	
		слабо измененные (кайнотипные)	сильно измененные (палеотипные)	—		Приеблагадатовая окраска	Плотность, г/см ³
Ультраосновные	Дунит Перидотит Пироксенит	ГабброЛабрадориты	Базальт —	Диабаз, базальтовый порфирит	Оlivин, пероксены, реже роговая обманка	Черные или темно-зеленые	3,1—3,3
Основные	Диорит Лабрадориты	Анделезит —	Анделезит-порфирит	Средние плагиоклазы, роговая обманка, реже биотит, пироксены	Основные плагиоклазы, пероксены, реже оливин, роговая обманка и биотит	Черные	2,9—3,0
Средние 6) с плагиоклазами	Диорит Сиенит	Анделезит Траплит	Анделезит-порфирит Ортофир	Калиевый полевой шпат, роговая обманка, кислый плагиоклаз, реже биотит	Средние плагиоклазы, роговая обманка, реже биотит, пироксены	Пестрые или темно-серые	2,7—2,8
	Гранит Нефелиновый сиенит	Липарит —	Кварцевый порфир —	Кварц, калиевый полевой шпат, кислый плагиоклаз, биотит, редко мусковит, роговая обманка	Калиевый полевой шпат, нефелин, щелочные пироксены и амфиболы	Светлые, розовые, пестрые	2,6—2,7
Кислые	Гранит Щелочные	Липарит —	Кварцевый порфир —	—	—	Светло-окрашенные	2,7—2,8

Ультраосновные породы широко распространены на Урале, в меньшей степени в Восточном Саяне, Туве, на Северном Кавказе, в Закавказье и других местах.

Основные породы. Главными пордообразующими минералами являются пироксены (авгит) и основные плагиоклазы (от лабрадора до аортита). В меньшем количестве присутствуют оливин, роговая обманка, биотит. Окраска пород темная. У интрузивных пород на темном фоне выделяются серые зерна плагиоклазов. Основные представители глубинных пород: габбро, лабрадориты, излившиеся базальты и диабазы.

Габбро — средне- и крупнозернистая полнокристаллическая порода, состоящая из авгита, роговой обманки и плагиоклаза. Цвет темно-серый, темно-зеленый до черного. С габбро связаны титаномагнетитовые руды, иногда содержащие ванадий, а также сульфидные руды никеля и меди. Основные месторождения — на Урале, в окрестностях Норильска, на Кольском п-ове.

Лабрадориты — породы, состоящие целиком из одного основного плагиоклаза — лабрадора. Цвет темно-серый с характерными отливами синего цвета. Структура зернистая. Лабрадориты хорошо полируются и используются как красивый и прочный облицовочный материал для зданий и памятников. В Москве лабрадоритом облицованы Мавзолей В. И. Ленина, многие здания и станции метрополитена. Основные месторождения лабрадоритов на Урале, в Киевской и Житомирской областях.

Базальты — очень плотные черные или темно-серые породы, являющиеся излившимися аналогами габбро. Минеральный состав базальтов подобен составу габбро: авгит, основной плагиоклаз, роговая обманка. Структура скрытокристаллическая, мелкозернистая. Иногда в основной массе содержатся порфировые выделения авгита, оливина, плагиоклазов.

Базальты наиболее широко распространены среди всех излившихся пород. Они известны в Армении, на Камчатке, на Алтае. Базальтовые серии в виде покровов мощностью больше километра, площадью в сотни тысяч квадратных километров широко распространены в Восточной Сибири, где они называются траппами. К ним приурочены месторождения магнетита.

Базальты, содержащие кислый плагиоклаз (альбит) и образовавшиеся при подводных излияниях, о чем свидетельствует наличие у них шаровой, подушечной отдельности, называются спилитами. Полагают, что в спилитах кислый плагиоклаз кристаллизовался не из расплава, а возник путем альбитизации основного плагиоклаза при последующих изменениях пород.

Диабазы — по составу отвечают базальтам, измененным вторичными процессами. Цвет зеленовато-серый, темно-серый. Плотные тонкозернистые с порфировой структурой, иногда с миндалекаменной структурой. В основной массе диабаза встре-

чаются хорошо различимые удлиненные кристаллы серого пла-гиоклаза или темного авгита.

Диабазы распространены на Урале, в Карелии, на Кавказе, Украине и других местах.

Средние породы. Пордообразующими минералами являются средние плагиоклазы (до 70%), роговая обманка, реже авгит, биотит и кварц. Такое соотношение минералов определяет светлую окраску пород. Глубинные породы представлены диоритами и сиенитами, излившиеся — андезитами, андезитовыми порфиритами, трахитами.

Диориты — серые, зеленовато-серые интрузивные породы. Состоит из среднего плагиоклаза, роговой обманки, иногда авгита, слюды, редко — кварца. Структура — полнокристаллическая, зернистая, текстура — массивная. Плагиоклазы встречаются в виде зерен таблитчатой формы серого или светло-зеленоватого цвета. Роговая обманка — в виде удлиненных кристаллов темно-зеленого или черного цвета.

Положение диоритов между основными и кислыми породами и изменение в этом ряду основности плагиоклазов обусловило наличие переходных интрузивных пород — габбро-диоритов, гранодиоритов. С диоритами связаны месторождения меди и полиметаллов. Встречаются диориты на Урале, Алтае, в Закавказье и других местах.

Андезиты — излившиеся аналоги диоритов. Цвет темно-серый, черный. Структура часто порфировая, текстура пористая. На ощупь шероховатые. Тонкие зерна и вкрапленники представлены средним плагиоклазом, реже роговой обманкой, авгитом, биотитом. С андезитами часто связаны месторождения золота и полиметаллов. Андезиты широко распространены на Камчатке, в Приморье, Восточной Сибири, на Алтае, Урале, в Карпатах и на Кавказе. Андезиты слагают конусы потухших вулканов Казбека и Эльбруса (Кавказ).

Андезитовые порфириты. Палеотипные аналогии андезитов. Цвет серый, темно-зеленый. Структура порфировая с вкрапленниками среднего плагиоклаза, роговой обманки или авгита.

Сиениты — средние щелочные породы, богатые калиевыми полевыми шпатами. В них присутствует также роговая обманка (реже авгит), биотит, кварц не характерен. Окраска сиенитов светлая, розоватая. Структура полнокристаллическая среднезернистая. Текстура массивная, однородная. С сиенитами связано магнетитовое оруденение, а также месторождения меди, вольфрама, золота. Сиениты известны на Урале, на Украине, в Казахстане, Средней Азии, в Восточной Сибири.

Трахиты — излившиеся, неизмененные аналоги сиенитов. Окраска светло-серая, желтовато-серая, буроватая. Структура порфировая с вкрапленниками полевого шпата, текстура мелкопористая. Порода шероховатая на изломе. Цветных минералов

(роговая обманка, биотит) немного. Трахиты известны на Северном Кавказе, в Армении, в Казахстане.

Ортофиры отличаются от трахитов большей степенью измененности (палеотипный аналог). Минеральный и химический состав их одинаковый. Ортофиры широко распространены на восточном склоне Урала, в Казахстане, на Алтае. Ортофиры и трахиты применяются как строительный и огнеупорный материал.

Кислые породы. Основными пордообразующими минералами кислых пород являются кварц, калиевые полевые шпаты, кислые плагиоклазы, биотит (реже мусковит), роговая обманка. Содержание полевых шпатов до 60—70% определяет их светлую окраску — от светло-серой до мясо-красной. Среди кислых пород наиболее распространены интрузивные породы — граниты и гранодиориты и реже их эфузивные аналоги — липариты и кварцевые порфиры. Вулканические разновидности кислых пород представлены обсидианами, пемзой и т. д.

Гранит состоит из полевых шпатов, кварца, биотита, реже мусковита, роговой обманки, авгита. Цвет серый, красный, розовый, желтоватый. Структура зернистая, полнокристаллическая, текстура массивная. Существует несколько минералогических классификаций гранитов. В зависимости от типа темноцветных минералов граниты подразделяются на биотитовые, роговообманковые и т. д. Граниты, в которых количество темноцветных минералов незначительно (до 3%), называются лейкократовыми. Граниты, почти совсем лишенные темноцветных минералов и состоящие из щелочного полевого шпата и кварца, называются аляскитами. С увеличением основности плагиоклазов и уменьшением содержания кварца граниты переходят в гранодиориты.

В гранитах часто встречаются тела пегматитов и гидротермальные кварцевые жилы, содержащие промышленные скопления слюд, олова, вольфрама, золота, драгоценных камней, оптического и керамического сырья и др. Граниты широко распространены в Карелии, на Кавказе, Украине, Урале, в Средней Азии, Казахстане, Сибири.

Липариты — не измененный излившийся аналог гранитов. Минералогический состав их подобен граниту. Окраска светлая, розоватая, желтоватая. Структура обычно порфировая. Порфировые вкрапленники — полевой шпат, кварц, слюда — хорошо различимы простым глазом. Текстура липаритов пористая, чаще флюидальная. Липариты встречаются на Кавказе и в Крыму, на Камчатке, Дальнем Востоке и других местах.

Кварцевые порфиры — сильно измененные излившиеся аналоги гранитов. Отличаются от липаритов более темной окраской — бурой, красно-бурой, серо-зеленой. Структура порфировая. Встречаются в Казахстане, на Алтае, в Забайкалье. Кварцевые порфиры и липариты применяются в строительном деле.

Обсидиан — вулканическое стекло, соответствующее по составу липаритам. Окраска от светлой до черной, преобладает черная. Блеск стеклянный, излом раковистый. Встречается в Армении и других местах.

Пемза — стекловатая тонкопористая горная порода. Образуется при излиянии вязкой кислой лавы, насыщенной газами. Цвет серый, желтоватый, буроватый. Относительная плотность меньше единицы. Встречается в Армении, на Камчатке. Применяется как абразивный и полировальный материал.

Щелочные породы — характеризуются повышенным содержанием калия и натрия за счет присутствия в их составе значительного количества щелочного полевого шпата. Основным представителем щелочных пород является нефелиновый сиенит.

Нефелиновые сиениты — средне- и крупнозернистые горные породы, состоящие из щелочного полевого шпата (65—70%), нефелина (20%) и небольшого количества (10—15%) цветных минералов: биотита и амфибала или щелочного пироксена. Окраска светлая. В зависимости от минералогического и химического состава различают несколько разновидностей нефелиновых сиенитов.

Щелочные породы и в том числе нефелиновые сиениты имеют небольшое распространение (0,4% от всех магматических пород), но практическое значение их велико. С ними связаны месторождения апатита, редкоземельных минералов, циркона, титановые руды.

Нефелиновые сиениты известны на Кольском полуострове, Урале, Украине, в Средней Азии, на Дальнем Востоке и в других местах.

Жильные породы. Гипабиссальные интрузивные породы во внешнем виду и условиям образования занимают промежуточное положение среди изверженных и эфузивных пород.

От глубинных пород они отличаются по наличию порфировидной структуры, так как застывают на небольшой глубине. От излившихся пород они отличаются формой залегания — встречаются в виде жил, даек.

Некоторые исследователи выделяют особую группу жильных пород. К ней относят: среди кислых пород — гранит-аплиты (аплиты) и гранит-порфиры; среди средних — диорит-аплиты и диорит-порфиры; среди основных — габбро-аплиты и габбро-порфиры, лампрофиры.

Аплиты — мелкозернистые породы, состоящие почти исключительно из светлоокрашенных минералов. Обычно аплиты связаны с гранитами. Гранит-аплиты почти полностью состоят из кварца, калиевого полевого шпата и кислого плагиоклаза, иногда содержат небольшое количество мусковита.

Встречаются на Урале, Украине, в Карелии. Аплиты могут быть связаны с массивами средних (диорит-аплиты) и основных (габбро-аплиты) пород и отличаются по составу плагиоклазов.

Лампрофиры не менее чем на 30% сложены цветными минералами, которые образуют порфировые выделения. Основная масса мелкозернистая. Цвет темно-зеленый, почти черный.

В группу жильных пород включают и пегматиты, которые образуются из остаточного силикатного магматического расплава разного состава. Они выполняют трещины в интрузивных породах и породах их кровли, залегая в виде жил.

Пегматиты — крупнокристаллические породы. Главные пордообразующие минералы гранитных пегматитов: полевые шпаты, кварц, слюды (биотит, мусковит), часто встречается турмалин. С пегматитовыми жилами связаны месторождения слюд, драгоценных камней, часто пегматиты содержат промышленные концентрации редких и рассеянных элементов.

Встречаются в Восточной Сибири, в Карелии и в других местах.

6.3. ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

6.3.1. Общие сведения

Минеральные образования, возникшие вблизи поверхности Земли из продуктов химического и физического разрушения магматических и метаморфических пород в результате химического осаждения и жизнедеятельности организмов, называются осадочной горной породой. Осадочные породы покрывают около $\frac{3}{4}$ поверхности планеты всей суши. Процесс образования осадочных пород принято подразделять на пять стадий.

Первая стадия — гипергенез. На этом этапе в результате экзогенных процессов формируются исходные продукты для образования осадочных пород. Физическое и химическое выветривание магматических, осадочных и метаморфических пород как на поверхности Земли, так и на дне океанов и морей приводит к физическому разрушению и химическому разложению горных пород. В результате образуются обломки горных пород размером от крупных глыб (в диаметре до нескольких метров) до тонких частиц менее 0,005 мм. В ряде случаев процесс выветривания приводит к полному распаду сложных минеральных соединений, иногда переводя их в растворы.

Вторая стадия — седиментогенез. Одновременно с выветриванием и после него происходит перенос и переотложение образовавшихся продуктов, за исключением элювия, который остается на месте разрушения, и осадочных пород, формирующихся непосредственно в коре выветривания.

Основная масса продуктов выветривания переносится текущими водами, ветром, льдом, организмами. Особенно велика роль водных потоков, которые переносят продукты разрушения горных пород как в виде твердых частиц, так и в растворенном состоянии.

В процессе переноса обломочного материала происходит его механическая дифференциация, т. е. разделение по крупности, удельному весу и по составу частиц. Последовательное осаждение вещества из водных растворов в зависимости от свойств веществ (степени растворимости) и конкретных физико-химических условий (концентрация вещества, температура раствора, давление и т. д.) приводит к химической дифференциации осадков. Осадочная (механическая и химическая) дифференциация определяется физико-географическими условиями и тектоническим режимом данной области. В зависимости от них относительная роль механической и химической дифференциации будет различной.

В случае одновременного осаждения обломочного материала, хемогенного и биогенного, происходит смещение осадочного материала.

Третья стадия — диагенез. На данном этапе происходит преобразование осадка и превращение его в осадочную горную породу. Высокая влажность осадка, обилие бактерий, особенно в самом верхнем слое, наличие иловых растворов высокой минерализации, характер среды (окислительная, восстановительная) и наличие органического вещества в осадке определяют течение сложнейших химических реакций, перераспределение веществ, растворение малоустойчивых соединений и образование новых минералов (пирит, марказит, опал, барит, целестин, кальцит, доломит и др.). Перераспределение отдельных веществ внутри изменяющегося осадка в процессе диагенеза может приводить к промышленным скоплениям отдельных полезных ископаемых (самородная сера, сидеритовые руды и т. д.). В целом в процессе длительных и сложных преобразований осадок вначале обезвоживается, затем перекристаллизовывается и цементируется. В настоящее время еще нет единой точки зрения о продолжительности стадии диагенеза и о мощности зоны диагенетических изменений.

Четвертая стадия — катагенез. На этой стадии происходит дальнейшее уплотнение осадочных пород, изменение их минералогического состава и структуры под влиянием увеличивающейся с глубиной температуры и давления.

Пятая стадия — метагенез. Это стадия глубоких преобразований осадочных пород в земной коре. Некоторые исследователи эту стадию рассматривают как начальную ступень метаморфизма.

Образование осадочных пород может происходить на суше и в морском бассейне, поэтому различают континентальные и морские осадочные породы. Минеральный состав осадочных пород определяется составом материнской породы, за счет разрушения которой образуются осадочные отложения, и физико-химическими особенностями среды, в которой накапливаются осадки. В связи с этим в составе осадочных пород различают

минералы, унаследованные от материнской породы (чаще всего кварц, полевые шпаты, слюды и др.), и минералы, образовавшиеся путем химического и биохимического осаждения (халцедон, опал, каолинит, гидроокислы железа, кальцит, доломит, сидерит, сильвин, галит, гипс, ангидрит и др.). Минеральный состав осадочных пород позволяет судить об условиях образования осадков и характере их последующих изменений. Осадочные породы часто содержат растительные и скелетные остатки организмов в виде окаменелостей (отпечатки растений, части скелетов, раковины). Содержание органических остатков в осадочных породах биогенного происхождения может составлять 50—70% от всего состава породы. Некоторые осадочные породы целиком сложены преобразованными органическими остатками (угли, диатомиты, органогенные известняки). Остатки организмов помогают установить геологический возраст содержащих их отложений.

В разрезе земной коры осадочные горные породы залегают в виде пластов, линз различной протяженности и мощности (см. § 9).

Ввиду многообразия процессов формирования осадочных горных пород для них отсутствует единая классификация структур. Принято рассматривать отдельно структуры обломочных, глинистых, хемогенных и биогенных пород. В осадочных породах выделяют следующие типы текстур. Слоистая обусловлена чередованием прослоев, отличающихся составом или размером минеральных зерен; однородная — характеризуется хаотичным, беспорядочным расположением минеральных зерен. К текстурным особенностям осадочных пород относят также пористость.

6.3.2. Классификация осадочных пород

Осадочные породы классифицируют по условиям образования на обломочные, глинистые, хемогенные и органогенные. Особую группу образуют вулканогенно-осадочные породы.

Обломочные породы

Обломочные (кластические) осадочные породы образуются в результате разрушения прежде существовавших пород, переноса обломков пород к бассейну осадконакопления и дифференциаций в процессе осаждения. В обломочных породах по форме и размеру обломков выделяют следующие типы структур. Крупнообломочная структура (псефитовая) с размером зерен 100—1 мм, среднеобломочная (псаммитовая) — 1—0,05 мм, мелкообломочная (алевритовая) — 0,05—0,005 м, мелкозернистая (пелитовая) — менее 0,005 мм.

В основу подразделения обломочных пород положены их структурные особенности, т. е. величина и форма обломков,

Таблица 6

Классификация обломочных пород

Структура пород	Размеры зерен, обломков, мм	Название пород			
		Рыхлые	Угловатые обломки	Округлые обломки	Сцепментированное
Крупнообломочная (псефиты)	>100 100—10 10—1	Глыбы, камни Щебень Древса	Валуны Галечник Гравий	Брекчия крупная Брекчия мелкая	Конгломерат валунный Конгломерат гравелист
Среднеобломочная (псаммиты)	1—0,05	Алеврит (лесс)	Суглинок		Платум
Мелкообломочная (алевриты)	0,05—0,005	Алевролит	Супесь		Алевролит
Сменная	Разные				

степень их окатанности и наличие или отсутствие цемента (табл. 6). Цементом называют минеральные вещества, заполняющие в осадочных породах промежутки между зернами и обломками породы и связывающие их между собой. Состав цементов разнообразный: кремнистый, карбонатный, железистый, глинистый. Различают несколько типов цемента (рис. 29).

Крупнообломочные (грубообломочные) породы (псефиты). Среди них различают:

Глыбы — скопления угловатых неокатанных обломков с размером более 100 мм. Их образование связано с механическим выветриванием горных пород.

Валуны — окатанные обломки горных пород тех же размеров. Они образуются при окатывании глыб водой в горных реках, морским прибоем, движущимися ледниками.

Щебень — рыхлая горная порода с неокатанными остроугольными обломками размером от 10 до 1000 мм. Образуется при механическом разрушении горных пород. Обычно скапливается у подножия склонов.

Древса — рыхлый продукт физического выветривания. Состоит из неокатанных обломков

исходной породы и слагающих ее минералов размером от 1 до 10 мм.

Галечник и гравий. Рыхлые породы, состоящие из округлых обломков размером от 1 до 100 мм. Образуются в результате окатывания и истирания глыб, валунов и щебня водами рек, морей, озер, ледников, т. е. могут иметь речное, морское, озерное и ледниковое происхождение.

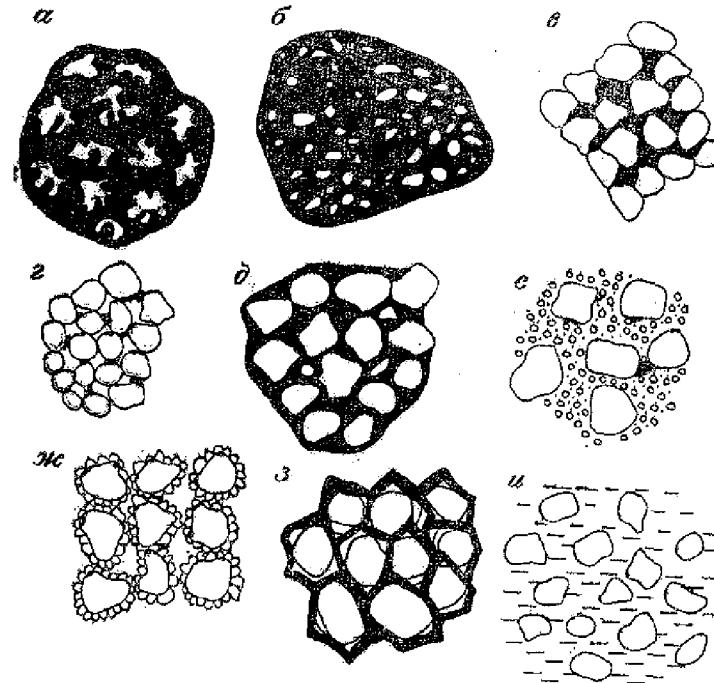


Рис. 29. Типы цемента, по М. С. Швецову.
 а — базальный и разъединяющий (коррозионный); б — базальный и сгустковый (периодомерный); в — цемент пор; г — соприкосновения (контактовый); д — цемент пор и выполнения; е — беспорядочно зернистый, кристаллический; ж — обрастания (кустификационный); з — нарастания (регенерации); и — прорастания

Брекчии — крупнообломочные осадочные породы, состоящие из неокатанных обломков (глыб, щебня и древесы) различных пород, скрепленных цементом. Брекчии образуются при обвалах, оползнях, в зонах тектонических разрывов, при вулканических извержениях.

Конгломерат — осадочная горная порода, состоящая из скрепленного галечника и гравия. Имеют речное, морское, озерное, ледниковое происхождение.

Крупнообломочные породы залегают в виде слоев, линз, пластов различной мощности в отложениях самого разнообразного возраста. Применяются как строительный материал. Некоторые конгломераты и брекчии являются красивым облицовочным камнем. Иногда с конгломератами связаны ценные полезные ископаемые (медь, золото, уран).

Среднеобломочные породы (псаммиты) состоят из обломков с размером зерен от 1 до 0,05 мм и подразделяются на крупнозернистые (1,0—0,5 мм), среднезернистые (0,5—0,25 мм) и мелкозернистые (0,25—0,05 мм).

Среднеобломочные породы подразделяются на рыхлые породы — пески и сцементированные — песчаники.

Пески и песчаники подразделяют по минеральному составу на мономинеральные, состоящие из одного минерала (чаще кварцевые, глауконитовые и др.); олигомиктовые, состоящие из двух минералов (кварц+полевой шпат, кварц+глауконит) и полимиктовые, состоящие из нескольких минералов.

Среди полимиктовых песков и песчаников различают: аркозовые, сложенные полевыми шпатами, кварцем, слюдой; граувакковые, состоящие из обломков основных эфузивных пород; туфогенные, обогащенные пирокластическим материалом (продукты извержения вулканов). Песчаники могут быть с карбонатным, кремнистым, глинистым и пр. цементом.

Происхождение песчаников может быть морским и континентальным. Среди последних различают аллювиальные, озерные, ледниковые, эоловые и т. д.

В песках встречаются промышленные скопления золота, алмазов, платины и других ценных минералов (россыпи). Пески и песчаники широко используются как строительный материал; некоторые песчаники — как красивый облицовочный камень. Кварцевые пески используются в стекольной, керамической промышленности, для изготовления оgneупорных кирпичей и т. д.

Мелкообломочные породы (алевриты) представляют собой тонкозернистые пылеватые породы с размером частиц от 0,05 до 0,005 мм. Несцементированные рыхлые разности называются алевритами, сцементированные — алевролитами.

По минеральному составу алевритовые породы разделяются на мономинеральные, олигомиктовые и полиминеральные. Аркозы и граувакки встречаются редко. По внешнему виду алевритовые породы напоминают песчаные, хотя их зернистость заметна только через лупу. Происхождение алевритов морское, озерное, эоловое.

Среди алевритов характерной породой является лёсс. Лёсс — рыхлая неслоистая известковистая порода. Цвет лёсса светло-желтый, палевый. Минеральный состав: кварца ~50%, глинистых минералов ~20%, кальцита ~20—30%. Похожи на лёсс лёссовидные суглинки, но они содержат больше песчаного материала и обладают слоистостью.

Алевролиты — плотные породы. Цвет их серый, темно-серый, буроватый, зеленовато-серый, пестрый. Тонкослоисты. При ударе раскалываются на плитки. В воде не размокают. Алевролиты имеют широкое распространение в разрезе угленосных толщ.

Лёсс и лёссовидные породы используются для изготовления кирпича. Крепкие алевролиты применяются в строительстве.

Породы смешанного состава — супеси и суглинки, характеризуются непостоянным содержанием песчаного, алевритового и глинистого материала.

Супеси — рыхлые породы, сложенные в значительной мере алеврито-песчанным материалом с содержанием глинистых частиц до 10%.

Суглинки — рыхлые породы, состоящие в основном из алеврито-песчаного материала с примесью глинистых частиц 10—30%.

Супеси и суглинки — полиминеральные разнозернистые горные породы, широко распространенные среди четвертичных отложений. Делювиальные супеси и суглинки иногда содержат крупные обломки горных пород.

Паттумы — плотные песчано-алеврито-глинистые породы с примерно равным содержанием компонентов.

Глинистые породы

Глинистые породы (пелиты) сложены частицами размером менее 0,005 мм. Рыхлые разности их относят к глинам, сцементированные — к аргиллитам.

Глинистые породы в настоящее время выделяют в самостоятельную группу. Они широко распространены в природе, составляя более 50% всех осадочных пород. По происхождению занимают промежуточное положение между обломочными и хемогенными породами. Иногда их неправильно относят к обломочным породам.

Образование глинистых минералов обычно связывают с химическим разложением магматических и других пород. В зависимости от условий формирования глинистые породы подразделяют на первичные, или остаточные, и вторичные, или переотложенные.

Первичные, или остаточные, глины образуются на месте химического выветривания горных пород. Для этих глин характерно отсутствие ясной слоистости и наличие неразложившихся, более устойчивых к выветриванию минералов (кварца и др.).

Вторичные, или переотложенные, глины образуются в результате осаждения из воды тонковзмученного глинистого материала, который был вынесен текущими водами с места разложения материнских пород. Для этих глин характерна четкая тончайшая слоистость и меньшая однородность глинистого состава.

Те и другие глины, как правило, содержат некоторое количество (до 50%) обломочного материала — алеврита, песка любого состава. Минеральный состав глин обычно смешанный, чистых мономинеральных глин очень мало.

В мелкодисперсной фракции глин ($<0,001$ мм) присутствуют глинистые минералы — каолинит, монтмориллонит, гидрослюды и др. В грубой фракции ($>0,001$ мм) — кварц, полевые шпаты, реже слюды.

Каолиновые глины (каолин) сложены в основном минералом каолинитом. Первичные каолины белого цвета, жирные на ощупь, мало пластичны, содержат зерна кварца. При перемыве первичных каолинов образуются вторичные, в которых количество песчаного материала уменьшается. Цвет вторичных каолинов — белый, серовато-белый, серый, они также жирные на ощупь. Если при переносе каолина происходило его смешение с минералами, вынесенными из других источников, формируются смешанные разности глин, например каолин-гидрослюдистые и др.

Каолины имеют широкое применение в промышленности для изготовления фарфора, фаянса, бумаги, мыла, карандашей, резины, а также для получения оgneупорных кирпичей (температура плавления глин выше 1700°C). Месторождения первичных каолинов находятся на Украине, в Средней Азии, на Урале, в Западной Сибири, на Дальнем Востоке и в других местах.

Монтмориллонитовые глины образуются при химическом разложении вулканических пеплов, лав. Они содержат некоторое количество каолинита и других глинистых минералов. Глины, состоящие преимущественно из монтмориллонита (бентонитовые глины), раньше назывались сукновальными, так как применялись для обезжиривания шерсти. Они широко используются для очистки нефтяных продуктов, различных масел, для отбеливания тканей и т. д. Месторождения монтмориллонитовых глин известны в Грузии, в Крыму, Средней Азии, в Поволжье и других местах.

Аргиллиты — сцементированные и уплотненные глинистые породы, слоистой или неслоистой текстуры. Цвет серый, темно-серый, зеленовато-серый, бурый, пестрый. В воде не размокают. По минералогическому составу они часто соответствуют гидрослюдистым и полиминеральным глинам. Кроме глинистых частиц в аргиллитах всегда присутствуют: кварц, слюда, полевые шпаты, карбонаты и т. д. Многие аргиллиты содержат значительное количество органического вещества. Цементирующими веществом аргиллитов часто служит кремнезем.

Хемогенные и органогенные породы

Хемогенные породы образуются при выпадении солей из насыщенных водных растворов или в результате химических реакций, происходящих в земной коре и на ее поверхности.

Органогенные, или биогенные, породы образуются целиком или частично из остатков животных и растительных организмов. Весьма часто хемогенный и биогенный процессы протекают в природе одновременно и тогда образуются биохимиче-

ские породы (многие железистые породы, некоторые фосфориты). К наиболее распространенным породам этой группы относят: железистые, марганцевые породы, бокситы, фосфориты, кремнистые, карбонатные породы и различные соли.

По размеру зерен для хемогенных и биогенных пород выделяют кристаллические и скрытокристаллические структуры. По форме зерен в хемогенных породах различают оолитовую и сферолитовую, а в биогенных — биоморфную (порода сложена целыми раковинами) и органогенно-детритовую (порода состоит из обломков раковин) структуры.

Железистые породы представлены железными рудами — бурым железняком (окисные образования), сидеритом (карбонатные образования) и пр., которые часто достигают промышленных концентраций.

Гидроокисные и окисные железистые породы окрашены в бурые, красно-бурые, вишнево-красные тона, закисные (сидеритовые) — в темно-серые до черного. Структура железистых руд нередко оолитовая (бобовые руды), землистая, иногда они встречаются в виде конкреций и натечных образований. Сидериты образуют сплошные мелкозернистые массы, желваки, конкреции. Железистые породы залегают в виде пластов, пропластков, линз, гнезд и в виде образований неправильной формы (кора выветривания).

Образование железистых осадочных пород происходит при разложении магматических и метаморфических пород, богатых железистыми минералами. В результате выветривания железо переходит в гидроокисные соединения и выносится водами в виде механической взвеси и коллоидов. Иногда перенос осуществляется в виде сульфатов, бикарбонатов. Осаджение железа происходит в прибрежно-морских и озерно-болотных условиях (бобовые руды) путем хемогенного осаждения, а иногда с участием бактерий. Окисные железистые породы образуются также на континенте в зоне окисления сульфидных месторождений (железная шляпа).

Месторождения осадочных железных руд известны на Керченском полуострове, в Тульской области и других местах. Крупные месторождения сидеритовых руд известны на Урале.

Марганцевые породы содержат в своем составе марганца не более 10% и по минеральному составу могут быть окисными и карбонатными.

Окисные марганцевые породы черного цвета с землистым, реже оолитовым (бобовым) сложением. Карбонатные марганцевые породы окрашены в светлые тона — серовато-белые с розоватым оттенком, розовые; мелко- и микрозернистые, часто тонкослоистые.

Образование марганцевых осадочных пород происходит в результате разрушения кристаллических пород и выноса

марганца водами в основном в виде гидроокиси. Его осаждение происходит в мелководных морских, прибрежно-морских и озерно-болотных условиях хемогенным путем при активном участии бактерий.

Марганцевые осадочные руды имеют меньшее распространение, чем железные. Месторождения марганцевых руд известны на Украине (Никопольское), Грузии (Чиатурское).

Бокситы — осадочные горные породы, являющиеся рудой на алюминий при содержании глинозема (Al_2O_3) не менее 28%. Породообразующими минералами бокситов являются гиббит, бёmit, диаспор, гётит, гидрогётит, лимонит, каолинит.

Бокситы — тонкодисперсные мягкие или плотные породы белого, серого, желтого до темно-красного цвета (в зависимости от содержания железа). Преобладают бокситы красного и темно-красного цвета. Структура чаще оолитовая (бобовая), конгломератовая. Текстура массивная, реже слоистая. Иногда встречаются бокситы похожие на глинистые породы.

Существует несколько гипотез образования бокситов: 1) при формировании латеритной коры выветривания (латериты — элювиальные, остаточные образования, богатые глиноземом, возникающие при разрушении магматических пород в странах с жарким климатом); 2) при размыве и переотложении кор латеритного выветривания в морских и озерных водоемах; 3) при подводной вулканической деятельности за счет выноса глинозема в морские воды; 4) при концентрации глинозема растениями и др.

Месторождения бокситов имеются на Восточном склоне Среднего Урала (Красная шапочка), в Казахстане, на северо-западе Подмосковного бороугольного бассейна и в других местах.

Фосфориты — осадочные горные породы, сложенные более чем на 50% аморфными или микрокристаллическими фосфатами кальция. Обычно к фосфатным породам относят породы, содержащие не менее 10% P_2O_5 .

По внешнему виду фосфориты очень разнообразны. Цвет чистых разновидностей белый, но в природе фосфориты обычно черные и серые. Структура массивная, желваковая, зернистая, конгломератовая. Текстура слоистая, натечная. Фосфориты часто образуют пласты, внешне похожие на известняки, песчаники или образуют залежи зерен, желваков, конкреций.

Существует несколько гипотез образования фосфоритов. «Биологическая» теория — освобождение P_2O_5 из отмерших и разложившихся организмов, массовая гибель которых связана с изменением внешних условий. «Химическая» теория — осаждение P_2O_5 из морской воды в верхней и средней части шельфа (гипотеза Казакова). В глубоких частях морских бассейнов воды обогащены P_2O_5 , имеют низкую температуру и содержат большое количество растворенного CO_2 . При подъеме этих вод

в результате течений, направленных к побережью, температура их повышается, уменьшается содержание CO_2 . Это приводит к осаждению в начале карбонатов, затем фосфатов (рис. 30).

Фосфориты используются в основном как агрономические руды и частично для получения фосфора и различных фосфорнокислых солей. Наиболее крупные месторождения фосфоритов известны в Южном Казахстане, в Московской, Курской, Брянской областях и в других местах.

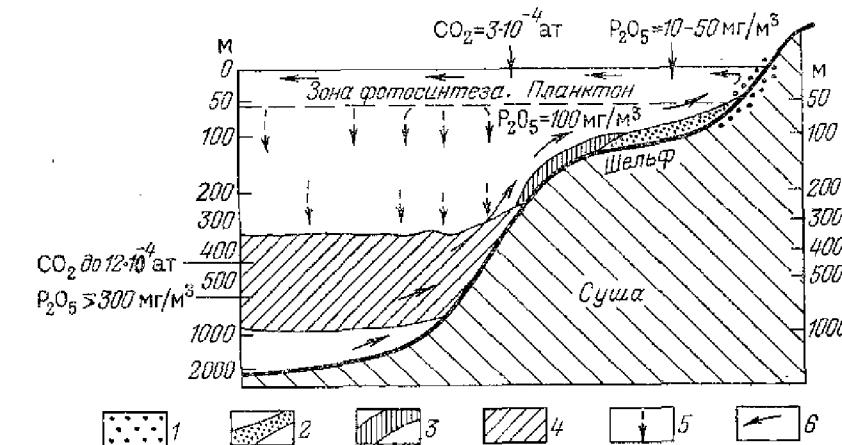


Рис. 30. Схема фосфоритообразования, по А. В. Казакову.
1 — береговые талечники и пески; 2 — накопление фосфоритов; 3 — известковистые осадки;
4 — зона максимума содержания CO_2 и P_2O_5 в растворе; 5 — падение мертвого планктона;
6 — направление течений

Кремнистые породы, почти целиком или частично сложены кремнеземом хемогенного или хемо-биогенного происхождения и скелетами кремниевых организмов. К кремнистым породам относят радиолярии (на 50% состоящие из скелетов радиолярий), диатомиты (состоящие из остатков диатомовых водорослей), трепел (состоит из мелких 0,01—0,001 мм опаловых или кремнистых зернышек), опоки (более твердые, крепкие разности трепелов), яшмы (сложенные халцедоном с примесью красящих веществ), кремни (опалово-халцедонового состава с примесью органического вещества и некоторых глинистых минералов) и гейзериты, или кремнистые туфы (состоят из опала).

Трепел — рыхлая или слабо сцементированная, очень легкая, тонкопористая опаловая осадочная порода. В небольшом количестве содержит остатки диатомовых водорослей, глинистое вещество, зерна глауконита, кварца, полевых шпатов. Цвет белый, серовато-белый до бурого и темно-серого.

Происхождение трепелов не совсем ясно. Полагают, что биохемогенное, т. е. за счет накопления скелетов организмов, которые впоследствии растворились и были переотложены в виде комочеков опала.

Трепел является хорошим адсорбентом и используется для фильтров, как тепло- и звукоизолятор, как полирующий материал, а также при производстве цемента. Основные месторождения трепелов разрабатываются на Украине, в Белоруссии, в Смоленской и Калужской областях.

Карбонатные породы — известняки, доломиты, мергели широко распространены среди осадочных пород. Залегают они в виде пластов, линз, конкреций.

Известняки состоят главным образом из зерен кальцита или кальцитизированных скелетных остатков организмов. Они могут содержать примесь алевритового или глинистого материала, гидроокислов железа и др. Окраска известняков меняется от светлых тонов до темных. Все известняки бурно реагируют (вспыхивают) с соляной кислотой. По происхождению различают известняки хемогенные, органогенные (биогенные), обломочные.

Хемогенные известняки образуются при химической садке кальцита в морских и озерных условиях. Они могут возникать также в пещерах при испарении минерализованной воды, просачивающейся по трещинам, образуя натечные образования — сталактиты и сталагмиты. Хемогенные известняки тонкозернистые, пелитоморфные, оолитовые, плотные, крепкие, в большинстве случаев имеют раковистый излом. К хемогенным карбонатным породам относят также известковый туф (травертин), образующийся на месте выхода горячих и холодных минеральных источников. Макроскопически травертин светло-бурый, иногда белого цвета, пористый (ячеистый). Образует натечные формы и часто содержит раковины наземных организмов. Используется как строительный материал и как декоративный камень.

Органогенные (биогенные) известняки сложены скелетными остатками животных и растительных организмов, скрепленных кальцитовым цементом. В зависимости от преобладания тех или иных организмов различают фузулиновые известняки, нуммулитовые, мшанковые и другие. Если известняк состоит из целых ибитых раковин, он называется ракушечником.

К органогенным известнякам относят также пишущий мел. Это белая порода, состоящая на 70—80% из микроскопических остатков одноклеточных известковых водорослей (кокколитофоры) и их фрагментов, а также раковин фораминифер. Мел используется для производства портланд-цемента. Основные месторождения мела находятся на Украине, в Поволжье, на юге европейской части СССР и других местах.

Обломочные известняки сложены обломками карбонатных пород, образовавшихся в результате взламывания и переотложения обломков известняка, разрушений волнами рифовых построек, известняковых скал и т. д. В зависимости от размера обломков они соответствуют конгломератам, гравелитам, песчаникам и т. д. Чистые белые известняковые пески слагают пляжи вдоль коралловых островов. Обломочные известняки могут быть пористыми и плотными. Обломочные известняки широко используются в качестве строительных материалов и в металлургии в качестве флюса. Месторождения известняков известны на Урале, в Сибири, Средней Азии, европейской части СССР, в Крыму, на Кавказе.

Доломиты по внешнему виду похожи на известняки. Состоят в основном из минерала доломита ($\text{Ca}, \text{Mg}(\text{CO}_3)_2$). По внешнему виду желтовато-белого цвета, иногда с буроватым оттенком, плотные, скрытокристаллические. В вопросах происхождения доломитов нет единства взглядов. Полагают, что доломит образуется за счет частичного замещения в известняке кальцита магнием (вторичные доломиты), а также путем химического выпадения из раствора при большом содержании в воде магния (первичные доломиты). В отличие от известняка порошок доломита слабо вскипает при действии на него десятипроцентного раствора соляной кислоты. Доломиты применяются в строительном деле, металлургии (в качестве флюса, оgneупоров). Доломиты распространены в Сибири, на восточном и западном склонах Урала, в Донбассе и других местах.

Мергели. К мергелям относят микрозернистые разности известняка с высоким, близким к 50%, содержанием глины. В зависимости от преобладания глинистых минералов и карбоната кальция намечается ряд: глинистые известняки — мергели — известковистые глины. Цвет мергелей серый, пестрый. Они вскипают с соляной кислотой, оставляя после реакции темное пятно. Образуются в морских и озерных условиях. Мергели являются хорошим сырьем для цементной промышленности. Они распространены в европейской части СССР, в Поволжье, Приуралье, в Крыму и других местах.

Соли, или соляные породы — типичные хемогенные осадочные породы, состоящие из минералов класса сульфатов и хлоридов. Главные минералы соляных пород: ангидрид, гипс, галит, сильвин, карналлит. В виде примеси в них присутствуют глинистые, алевритовые и песчаные частицы.

Среди соляных пород различают сульфатные, сложенные гипсом и ангидритом, и хлоридные: каменная соль (в основном галит), карналлитовая порода (карналлит 50—80%, галит 20—50%), сильвиновая порода (галит 25—60%, сильвин 15—40%) и др. Структура соляных пород в основном кристаллическая, натечная, текстура массивная, слоистая и др. Соли залегают в виде крупных пластовых залежей, прослоев, линз,

иногда слагают ядра соляных куполов. Мощность крупных соляных залежей может достигать 500 м, распространение по площади — десятки и сотни квадратных километров.

Образование солей происходит в прибрежно-морских, лагунных, озерных (бессточных) условиях, в условиях аридного климата, когда испарение в несколько раз превышает количество выпадающих осадков. Соли являются важным химическим сырьем, каменная соль — необходимый пищевой продукт. Основные месторождения расположены на Украине, на Северном Урале, в Сибири и других местах.

Ископаемые угли являются органогенной горной породой и относятся к твердым горючим ископаемым. Исходным материалом для них послужили высшие и низшие (в основном водоросли) растения, а также простейшие организмы, богатые жирами. В зависимости от исходного материала различают угли гумусовые, или гумиты, образовавшиеся из остатков растительных тканей высших растений; лиptобиолиты — из стойких к разложению фрагментов высших растений: смола, оболочки спор, коровые ткани, кутикула растений; сапропелиты, образовавшиеся из остатков водорослей и простейших организмов. Составной частью углей являются также минеральные примеси, количественное содержание которых оценивается зольным остатком (A°). Если содержание зоны в углях больше чем 40—45%, то это не уголь, а углистая порода.

В формировании углей принято различать торфяную стадию, или гумификацию, и углефикацию. На первой стадии в различных геохимических обстановках происходит разложение растительного материала и образование торфяной залежи. На второй — после погружения торфяника и перекрытия его осадочными породами, под воздействием давления вышележащих толщ и повышенных температур недр происходит преобразование торфа в бурый уголь, бурого в каменный и каменного в антрацит.

Угли залегают в виде пластов различной мощности, прослоев, линз. Используются как энергетическое топливо и сырье для химической промышленности. Основные бассейны — Донецкий, Печорский, Кузнецкий, Карагандинский и др.

Горючие сланцы — это глинистые, известковистые, песчанистые породы, содержащие органическое вещество. В зависимости от его происхождения выделяют следующие природные типы горючих сланцев: битуминозные (пропитанные нефтяными битумами), гумусовые (органическое вещество — за счет разложения высших растений), сапропелевые (органическое вещество — за счет разложения низших растений и простейших организмов).

Основное промышленное значение имеют сапропелевые сланцы, меньше — гумусовые и смешанные.

Горючие сланцы залегают среди осадочных пород в виде линз, пластов мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров и прослеживаются на десятки километров. Горючие сланцы используются как топливо, а также для производства жидких и газообразных веществ, из которых получают нефтепродукты и другие органические соединения. Основные месторождения — в Эстонии, Ленинградской области, на Украине, в Поволжье.

Нефть — это природная горючая маслянистая жидкость, состоящая из смеси углеводородов, кислородных азотистых и сернистых соединений. Основную часть нефти (до 96—98%) составляют углеводороды (соединения водорода и углерода). Цвет нефти от бесцветной, желтовато- и темно-коричневой до черной. Плотность нефти изменяется в зависимости от ее состава от 0,7 до 1,0. Нефть и ее продукты — диэлектрики.

Нефть — высококалорийное энергетическое топливо (теплота сгорания 10—12 тыс. ккал) и ценнейшее химическое сырье. СССР располагает месторождениями нефти в европейской части, в Западной Сибири, на Кавказе, в Туркмении и других местах.

Асфальт — продукт преобразования (окисления) нефти. Цвет черно-бурый или черный, плотность около 1. Используется в строительстве (водо-, электроизоляционный материал) для получения высококачественных лаков, красок и т. д.

Озокерит — также продукт изменения нефти вблизи поверхности Земли. По внешнему виду напоминает пчелиный воск, жирный на ощупь, пахнет керосином. Плотность 0,90—0,94. Используется в электротехнической промышленности, для антикоррозийных покрытий металлов, в текстильной и бумажной промышленности (вощение тканей, бумаги) и др.

Асфальт и озокерит приурочены к районам нефтяных месторождений.

Вулканогенно-осадочные породы

Эти породы занимают промежуточное положение между магматическими и осадочными горными породами. Рыхлые продукты вулканических извержений (пепел, песок, лапиллы, бомбы) обычно скапливаются в бассейнах и на суше в областях активного вулканизма. Постепенно уплотняясь и цементируясь, они превращаются в вулканогенно-обломочные или пирокластические породы. Иногда рыхлые продукты подхватывались текущей лавой, сплавлялись, сваривались, а также смешивались с обломками лавовых корок (образовавшихся в результате их взламывания в верхних, боковых и фронтальных частях потоков) и после остывания превращались в обломочные породы с лавовым цементом — лавобрекчию. В других случаях продукты извержений могли в разной степени смешиваться

с материалом осадочного происхождения и приводили к образованию вулканогенно-осадочных пород.

По содержанию вулканического материала среди вулканогенно-осадочных пород выделяют: туфы — содержащие вулканического материала более 90%, туффиты — от 50 до 90%. Если примеси вулканогенного материала в осадочных породах менее 50%, то в зависимости от размера обломочного материала различают: туфобрекчию, туфоконгломераты, туфопесчаники и т. д.

Среди туфов по составу лавы выделяют: туфы базальтовые, андезитовые, липаритовые и т. д. В зависимости от преобладающего размера обломков в туфах (туффитах) выделяют: туф (туффит) конгломератовый (псефитовый), псаммитовый, алевритовый, пепловый.

6.4. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Метаморфические горные породы имеют широкое распространение в земной коре, особенно в пределах континентальных блоков. Они повсеместно подстилают слои осадочных пород, слагая так называемый геофизический гранитный слой. Это наиболее древние горные породы.

Минеральный состав метаморфических пород зависит от состава исходных пород, условий метаморфизма и может полностью или частично измениться.

Главными пордообразующими минералами метаморфических пород являются: кварц, полевые шпаты, слюды, пироксены, роговая обманка, гранаты; для слабо метаморфизованных пород: тальк, хлориты, актинолит, эпидот, карбонаты. Метаморфические породы могут состоять из одного минерала: кальцита (мрамор), кварца (кварцит) или из многих сложных силикатов.

Текстура. Основными текстурами метаморфических пород являются: сланцеватая, когда совершенно однородная порода распадается на тонкие пластинки и плитки; полосчатая — унаследованная текстура осадочных пород, проявляющаяся в чередовании различных по составу пород; пятнистая — наличие в породе участков — пятен, отличающихся составом, цветом, устойчивостью к выветриванию; плойчатая — наличие в породе мелких складочек; массивная.

Структуры. Большинство метаморфических пород имеют поликристаллическую (кристаллобластовую) структуру, возникающую в результате их перекристаллизации в твердом состоянии (без переплавления). Встречается также реликтовая (остаточная) структура с элементами структур исходных пород и катаклазическая, возникающая при текtonическом дроблении.

6.4.1. Классификация метаморфических пород

В последние годы классификация метаморфических пород проводится по парагенезису минералов, образовавшихся в определенных термобарических условиях. Для регионального метаморфизма выделяют так называемые метаморфические фации: 1) зеленых сланцев, 2) эпидот-амфиболитовая, 3) амфиболитовая, 4) гранулитовая. Каждая фация отличается по наличию в ней определенных минералов или их ассоциаций, присущих только данной фации. Фация зеленых сланцев соответствует низкотемпературной области регионального метаморфизма; гранулитовая — образуется при наиболее высоких давлениях и температурах.

Породы фации зеленых сланцев представлены глинистыми сланцами, филлитами, тальковыми сланцами, роговообманковыми и т. д.

Глинистые сланцы — сланцеватые метаморфизованные породы, образовавшиеся на начальной стадии метаморфизма глинистых пород. Глинистые минералы в них частично перешли в серицит, биотит, хлориты. Цвет серый, серо-зеленый, бурый до черного. В воде не размокают.

Филлиты образуются при дальнейшем метаморфизме глинистых сланцев и в отличие от них не содержат глинистых минералов. Это поликристаллические тонкосланцеватые породы, состоящие из кварца, серицита, хлорита, биотита и полевого шпата. Преобладают кварц и серицит. Цвет зеленовато-серый, черный, шелковистый блеск по плоскостям сланцеватости. Филлиты — переходная порода к слюдистым сланцам.

Филлиты и глинистые сланцы встречаются на Кавказе, в Карпатах, в Средней Азии и в других местах.

Породы эпидот-амфиболитовой фации — представлены кристаллическими сланцами, образовавшимися из глинистых сланцев и филлитов. Это кристаллические, отчетливо сланцеватые, нередко плойчатые по текстуре породы. Одним из представителей кристаллических сланцев являются слюдяные сланцы, состоящие из слюды и кварца. Кристаллические сланцы имеют широкое распространение, слагая древние породы в Восточной Сибири, в Карелии, на Кольском полуострове, Украине и в других местах.

Мраморы — зернистая метаморфическая порода, состоящая из кальцита. Образуется при перекристаллизации известняков, доломитов. Чистые разновидности мрамора белые. Примеси придают ему серый, голубоватый, розовый оттенки. Мрамор — прекрасный облицовочный материал. Имеет широкое распространение на Украине, в Средней Азии, в Грузии, в Армении, в Карелии, в Сибири (Алтай, Саяны).

Кварциты — плотные, мелкозернистые, реже сланцеватые породы белого, серого, буровато-красного и темно-серого

цветов. Образуются при метаморфизме кварцевых песков и песчаников. Кварциты, обогащенные гематитом и магнетитом, называются железистыми кварцитами. При содержании железа более 45% используются как руда на железо (Курская магнитная аномалия, Кривой Рог).

Амфиболиты — грубосланцевая плотная порода, состоящая преимущественно из роговой обманки и плагиоклаза. Образуется из средних и основных магматических пород.

Породы амфиболитовой фации характеризуются высокой степенью метаморфических преобразований. Структура крупнокристаллическая.

Гнейсы — глубокометаморфизованные породы, состоящие в основном из кварца, полевых шпатов, биотита, иногда роговой обманки и авгита. Наиболее распространены биотитовые и роговообманковые гнейсы. По составу гнейсы близки к гранитам, но образуются в результате метаморфизма магматических (ортогнейсы) и осадочных (парагнейсы) пород.

Среди процессов глубинной переработки большое значение имеют поднимающиеся газовые и жидкые растворы, вызывающие перекристаллизацию и образование горных пород типа гранита (процесс гранитизации). Между гнейсами и гранитами существуют взаимные переходы. Породы, в которых в той или иной степени выражена полосчатая текстура, называются гранито-гнейсами и гнейсо-гранитами.

Гнейсы широко распространены среди древних метаморфических пород на Восточно-Европейской равнине, на Украине, на Урале, в Карелии, в Средней Азии, в Восточной Сибири и других местах.

Породы гранулитовой фации формируются при максимальных давлениях и представлены гранулитами (мелкозернистые светлые породы, состоящие из кварца и полевого шпата) и эклогитами (очень плотные породы, состоящие из пироксена и граната). Эклогиты образуются в безводных условиях на большой глубине за счет пород типа габбро (?). По мнению некоторых исследователей, они образуются в верхних частях мантии и попадают в земную кору в результате тектонических процессов. Встречаются редко.

Глава III

ОСНОВЫ ИСТОРИЧЕСКОЙ И СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОТЕКТОНИКИ И ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ ТЕРРИТОРИИ СССР

§ 7. ОСНОВЫ ИСТОРИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Историческая геология изучает историю и закономерности развития Земли с момента образования земной коры. Основными задачами исторической геологии являются: выяснение последовательности образования различных горных пород, определение их относительного геологического возраста и расчленение по возрасту; реконструирование физико-географических обстановок в различные периоды жизни Земли; изучение истории возникновения и развития тектонических структур.

В своих построениях историческая геология опирается на выводы стратиграфии, петрографии, палеонтологии, палеогеографии и палеотектоники.

Под геологическим относительным возрастом горных пород понимается время какого-либо события в истории Земли по отношению ко времени другого геологического события. Он определяется с помощью стратиграфического, палеонтологического и петрографического методов.

Стратиграфический метод основан на изучении последовательности залегания и взаимоотношения слоев и толщ осадочных пород, а также эфузивных и интрузивных. В серии ненарушенных осадочных горных пород, залегающих пластообразно с небольшим уклоном, каждый вышележащий пласт должен ниже. Отклонение от этой последовательности может быть вызвано тектоникой (перевернутый разрез, сдвоенный и т. д.), а также наличием в осадочной толще магматических горных пород.

Палеонтологический метод заключается в изучении окаменелых остатков вымерших животных (ископаемая фауна) и растений (ископаемая флора). Органический мир на Земле появился в самые ранние этапы ее геологической истории и с тех пор непрерывно направленно изменялся. Поэтому каждый комплекс осадочных пород характеризуется определенными остатками фауны и флоры, среди которых особое значение имеют руководящие формы. Это группы вымерших организмов, приуроченных только к определенным слоям, толщам горных пород, имеющих ограниченное распространение по времени их существования и широкое распространение по площади.

Изучение ископаемых остатков позволяет не только расчленить слои в разрезе, найти одновозрастные слои в соседних разрезах, но и выяснить условия образования отдельных частей

Стратиграфические и геохронологические шкалы

Группа (эра) продолжительность, млн. лет	Система (период), продолжительность, млн. лет	Отдел (эпоха)
	Четвертичная — Q (четвертичный) 1,0—1,5	Современный — Q ₁ (современная) Верхнечетвертичный — Q ₃ (позднечетвертичный) Среднечетвертичный — Q ₂ (среднечетвертичная) Нижнечетвертичный — Q ₁ (раннечетвертичная)
Кайнозойская КZ 67—70	Неогеновая — N (неогеновый) 25	Плиоценовый — N ₂ (плиоценовая) Миоценовый — N ₁ (миоценовая)
	Палеогеновая — P (палеогеновый) 41	Олигоценовый — P ₃ (олигоценовая) Эоценовый — P ₂ (эоценовая) Палеоценовый — P ₁ (палеоценовая)
	Меловая — K (меловой) 70	Верхнемеловой — K ₂ (позднемеловая) Нижнемеловой — K ₁ (раннемеловая)
Мезозойская MZ 165—170	Юрская — J (юрский) 55—58	Верхнеюрский — J ₃ (позднеюрская) Среднеюрский — J ₂ (среднеюрская) Нижнеюрский — J ₁ (раннеюрская)
	Триасовая — T (триасовый) 40—45	Верхнетриасовый — T ₃ (позднетриасовая) Среднетриасовый — T ₂ (среднетриасовая) Нижнетриасовый — T ₁ (раннетриасовая)

разреза, так как те или иные организмы могли существовать только в определенных физико-географических условиях. Учитывая, что осадконакопление в древние эпохи и в настоящее время имеет много общего, литологические особенности осадочных пород и содержащиеся в них остатки организмов и растений позволяют воссоздать палеогеографические условия, в которых происходило формирование осадочных толщ.

Петрографический метод заключается в изучении и сравнении состава пород в соседних разрезах. Выявление одновозрастных пород в разрезах соседних скважин называется корреляцией разрезов. Применение петрографического метода ограничено, так как разные физико-географические условия приводят к образованию одновозрастных осадочных пород, резко отличающихся друг от друга по петрографическому составу. Однако при изучении метаморфических и магматических пород этот метод является одним из главных, так как он позволяет судить об относительном возрасте изверженных пород.

Стратиграфическая и геохронологическая шкалы. Смена физико-географических условий в геологической истории Земли обусловила большое многообразие животного и растительного мира. На основании различия руководящих и сопутствующих им форм растительного и животного мира, а также различий в петрографическом составе горных пород толща земной коры подразделена на пять крупнейших, последовательно сформировавшихся групп пород. Группы подразделяются на системы, системы — на отделы, отделы — на ярусы. Каждое подразделение имеет свой характерный комплекс руководящей фауны и флоры. Время, за которое происходило накопление осадков данной группы, называется эрой, каждой системы — периодом, отдела — эпохой и яруса — веком. Соотношение их приводится ниже.

Стратиграфические подразделения	Геохронологические подразделения
1. Группа	1. Эра
2. Система	2. Период
3. Отдел	3. Эпоха
4. Ярус	4. Век
5. Зона	5. Время

Группы, системы, отделы и соответствующие им отрезки времени — эра, период, эпоха составляют международную стратиграфическую и геохронологическую шкалу, в которой подразделения до отделов (эпох), а в ряде случаев и до ярусов (веков) являются едиными для всех материков (табл. 7). Стратиграфическая шкала показывает определенную последовательность накопления толщ земной коры и соподчиненность выделенных стратиграфических единиц (группа, система, отдел, ярус), а геохронологическая — временной этап развития Земли и органического мира за отрезок

Продолжение табл. 7

Группа (эра) продолжительность, млн. лет	Система (период), продолжительность, млн. лет	Отдел (эпоха)
Палеозойская РZ 310—385		
	Верхний палеозой — РZ (поздний палеозой)	Пермская — Р (пермский) 45 Бернепермский — Р ₂ (позднепермская) Нижнепермский — Р ₁ (раннепермская)
		Каменноугольная — С (каменноугольный) 65—70 Бернекаменноугольный — С ₃ (позднекаменноугольная) Среднекаменноугольный — С ₂ (среднекаменноугольная) Нижнекаменноугольный — С ₁ (раннекаменноугольная)
	Средний палеозой — РZ ₂ (средний палеозой)	Девонская — D (девонский) 55—60 Верхнедевонский — D ₃ (позднедевонская) Среднедевонский — D ₂ (среднедевонская) Нижнедевонский — D ₁ (раннедевонская)
		Силурийская — S (силурийский) 30—35 Верхнесилурийский — S ₂ (позднесилурийская) Нижнесилурийский — S ₁ (раннесилурийская)
	Нижний палеозой — РZ ₁ (ранний палеозой)	Ордовикская — O (ордовикский) 60—70 Верхнеордовикский — O ₃ (позднеордовикская) Среднеордовикский — O ₂ (среднеордовикская) Нижнеордовикский — O ₁ (раннеордовикская)
		Кембрийская — E (кембрийский) 70—80 Верхнекембрийский — E ₃ (позднекембрийская) Среднекембрийский — E ₂ (среднекембрийская) Нижнекембрийский — E ₁ (раннекембрийская)
Протеро- зойская — PR около 2000	Венская V (венский) Рифейская RF (рифейский) Средний PR ₂ Ранний PR ₁	
Архей- ская — AR 1500— 2000	Поздний AR ₂ Ранний AR ₁	

времени (эра, период, эпоха, век). Международная стратиграфическая и геохронологическая шкалы являются основой периодизации геологической истории Земли.

Ввиду многообразия физико-географических условий не все осадочные породы содержат руководящую фауну и флору, а во многих толщах органические остатки вообще отсутствуют. В этих случаях составляют местные стратиграфические шкалы. Наиболее крупной единицей местной шкалы является серия. Серия может делиться на свиты, свиты — на пачки. Сериям и свитам присваиваются местные географические названия, пачки нумеруются. По своему объему серия в какой-то мере отвечает отделу или системе единой международной стратиграфической и геохронологической шкалы, а свита — части яруса, ярусу или нескольким ярусам. Свита может быть разделена на подсвиты. Местные подразделения должны быть увязаны с единой стратиграфической шкалой. Местные стратиграфические шкалы имеют большое значение для геологических съемок при поисках и разведке полезных ископаемых в слабо изученных районах.

Радиологические методы определения абсолютного возраста Земли. Абсолютный возраст — время, прошедшее с момента образования минералов и пород до настоящего времени, выраженное в годах. В настоящее время для определения абсолютного возраста Земли широко используются радиологические методы: свинцовыи, гелиевые, стронциевые, аргоновые, радиоуглеродные. Эти методы основаны на определении количества продуктов полураспада радиоактивных элементов. При радиоактивном распаде урана 238 и 235 и тория 232 образуются свинец и галлий, рубидия 87 — стронций, калия 40 — аргон. Процесс распада радиоактивных элементов самопроизвольный и постоянный; на скорость распада не влияют температура, давление, химические реакции, а также магнитные и электрические поля.

Для каждого радиоактивного элемента экспериментально установлен период полураспада — время, в течение которого распадается половина атомов любого количества радиоактивного элемента, превращаясь в стабильные изотопы. Период полураспада Th²³² 13,9 млрд. лет, U²³⁸ 4,51 млрд. лет, U²³⁵ 710 млн. лет. Зная количество оставшегося в породе радиоактивного элемента и скорость его полураспада, а также количество появившихся устойчивых элементов, с помощью специальных формул определяют абсолютный возраст породы. Возраст Земли по радиологическим методам 4,6 млрд. лет.

Если возраст горных пород невелик и измеряется тысячами лет (для определения возраста четвертичных отложений), пользуются радиоуглеродным методом — по содержанию радиоактивного углерода C¹⁴. Период полураспада его всего лишь 5,5—6 тыс. лет.

Индексы и цвета стратиграфической шкалы

Система	Стратиграфический индекс	Цвет
Четвертичная	Q	Бледные тона сероватых, желтоватых оттенков
Неогеновая	N	Лимонно-желтый
Палеогеновая	P	Желто-оранжевый
Меловая	K	Зеленый
Юрская	J	Синий
Триасовая	T	Фиолетовый
Пермская	P	Светло-коричневый
Каменноугольная	C	Серый
Девонская	D	Коричневый
Силурийская	S	Светлый, серовато-зеленый
Ордовикская	O	Темный, серовато-зеленый (табачный)
Кембрийская	E	Сине-зеленый
Протерозойская	PR	Розовый
Архейская группа	AR	Темно-розовый

характер складчатости и разрывных нарушений. Разрез составляется по данным выходов слоев под четвертичные отложения и буровых скважин, перебуривших отдельные слои на различных глубинах.

Линия геологического разреза обозначается на карте. Как правило, вертикальный и горизонтальный масштабы разреза должны быть одинаковыми и соответствовать масштабу карты. В некоторых случаях (при горизонтальном залегании слоев) допускается увеличение вертикального масштаба в несколько раз. Вертикальный масштаб выбирают в зависимости от мощности изображаемых слоев с учетом, что самый маломощный пласт (стратиграфический горизонт) имел на разрезе ширину не менее 1 мм.

Затем вдоль намеченной линии разреза вычерчивают топографический профиль по высотным отметкам, определенным по карте. На концах разреза указывается графический вертикальный масштаб и буквенные обозначения положения разреза относительно стран света. Разрез ориентируется таким образом, чтобы с левой стороны располагалась его юго-западная, западная или северо-западная части, а справа соответственно — северо-восточная, восточная, юго-восточная. Если разрез проходит точно по меридиану, то справа располагается северный конец разреза, слева — южный.

Точки пересечения геологических границ пластов (слоев, стратиграфических горизонтов) с линией разреза переносят на профиль и с учетом данных буровых скважин строят геологические границы. В пределах каждого слоя указывают соответствующие индексы.

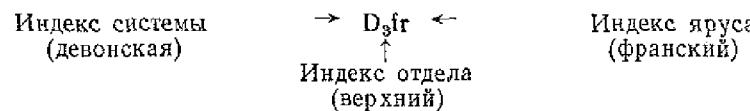
Геологическая карта представляет собой вертикальную проекцию выходов горных пород на поверхность, изображенную на топографической карте с помощью условных знаков.

Основой для построения геологических карт являются результаты геологических исследований того или иного региона, участка. На карте изображаются различные по возрасту горные породы, выходящие на дневную поверхность, элементы их залегания и границы. По форме границ на карте можно судить о геологических структурах, условиях залегания пластов и о поведении пластов на глубине.

Учитывая, что четвертичные отложения имеют повсеместное распространение и в ряде случаев незначительную мощность (первые метры, реже, десятки метров), их в большинстве случаев на геологическую карту не наносят, за исключением тех областей, где их мощность достигает десятков и сотен метров.

В зависимости от масштаба геологические карты подразделяются на обзорные (масштаб 1 : 10 000 000 и мельче), мелкомасштабные (1 : 1 000 000 и 1 : 500 000), среднемасштабные (1 : 200 000, 1 : 100 000), крупномасштабные (1 : 50 000, 1 : 25 000) и детальные (1 : 10 000 и крупнее). Обзорные карты составляются для огромных территорий (земного шара, материков, отдельных стран) и отражают общие черты их геологического строения. Мелкомасштабные карты — для отдельных регионов (Урал, Казахстан и др.), средне-, крупномасштабные карты — для отдельных площадей и промышленных районов и детальные карты — для перспективных участков и месторождений, на которых с большой степенью детальности выявляется геологическое строение.

Возраст горных пород на геологических картах обозначается с помощью соответствующих индексов, окраски или штриховки. Индексы — это буквенные и цифровые обозначения возраста пород согласно стратиграфической шкале. Например:



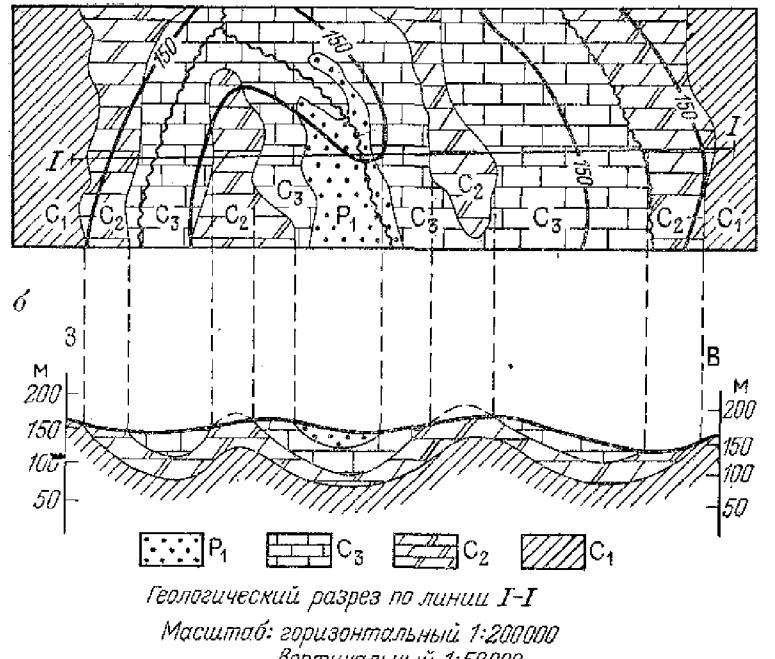
Для обозначения пород различного возраста в настоящее время принята единая для всех цветовая шкала (табл. 8).

Магматические породы раскрашиваются на геологических картах в зависимости от их возраста и петрографического состава.

Для наглядного представления о характере залегания горных пород геологическая карта сопровождается геологическими разрезами и стратиграфической колонкой (рис. 31).

Геологический разрез — это графическое изображение вертикального сечения земной коры вдоль определенной линии. На разрезе отображаются условия залегания горных пород, соотношения пород различного возраста, формы геологических тел,

α



б

Система	Отдел	Индекс	Колонка	Мощность, м	Краткое описание пород
Каменноугольная	Нижний	P ₁		150	Песчаник светло-серый, среднезернистый, плотный. В нижней части, конгломераты
	Верхний	C ₃		250	Известняк белый, плотный
	Средний	C ₂		200	Доломит светло-серый с прослойками мергеляй
	Нижний	C ₁		100	Глина серо-зеленоватая, сланцеватая

Рис. 31. Геологическая карта (*α*), разрез (*б*) и стратиграфическая колонка (*в*)

Стратиграфическая колонка. Для средне-, крупномасштабных и детальных карт составляется сводная стратиграфическая колонка (по данным зарисовок, схем, скважин и т. д.), в которой условными знаками изображается последовательность напластований горных пород в нормальном разрезе (см. рис. 31). Интрузивные породы в стратиграфической колонке не приводятся. Расчленение пород в колонке должно соответствовать стратиграфическим подразделениям карты. Масштаб колонки может быть различным. Общая длина колонки не должна превышать 40–50 см.

Кроме геологических карт, при геологических исследованиях составляются карты литологические, тектонические, гидрогеологические, геоморфологические, металлогенические и др.

§ 8. ГЛАВНЕЙШИЕ ЭТАПЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

8.1. ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ В ДОКЕМБРИИ

Первый этап геологической истории Земли называется доцембрийским — в его состав включают архейскую и протерозойскую эры.

В геологической науке существует представление, что в начальной стадии развития Земля не имела оболочки в виде современной земной коры и не была разделена на платформенные и геосинклинальные области. Ее верхний первозданный слой был базальтическим. В этот период на Земле происходила интенсивная вулканическая деятельность, в результате которой верхние слои легко проплавлялись, ломались, и по трещинам и разломам на поверхность Земли изливалось огромное количество базальтовых лав. С постепенным охлаждением верхних слоев Земли и конденсацией водяных паров стали образовываться водные бассейны. Это привело к интенсивному развитию денудационных процессов, которые обусловили накопление мощных осадочных толщ (судя по огромной мощности — до 10–12 км — докембрийских отложений). Толщи осадочных пород подвергались складчатости, метаморфизму, гранитизации. Огромные участки таких пород образовали относительно приподнятые блоки коры. Участки, не испытавшие гранитизации, прогибались, и возникли первые геосинклинали — протогеосинклинали (более 3,5 млрд. лет назад). Накаплившиеся в них осадки в последующем также были смяты в складки, метаморфизованы, подвергались широкой гранитизации и вместе с ранее образованными приподнятыми гранитизированными участками образовали крупные платформенные структуры — площади с континентальной земной корой. Позже в этих областях преобладали плавные колебательные движения, способствующие смене условий осадконакопления и образованию платформенного чехла. Наиболее крупными платформами в пределах СССР,

образовавшимися в это время, являются Восточно-Европейская, Сибирская.

В результате обособления платформ в конце докембрия происходит заложение крупных геосинклинальных поясов земного шара: Тихоокеанского, Средиземноморского, Атлантического, Урало-Монгольского и Арктического. Здесь по-прежнему продолжал существовать геосинклинальный режим с мощными движениями различных знаков, образованием в отдельных районах складчатости, процессами магматизма и метаморфизма. Складкообразовательные процессы конца рифея известны под названием байкальской складчатости. Они возникли на небольших территориях в окраинных зонах Урало-Монгольского пояса (Тимано-Печорский район, западное обрамление Сибирской платформы).

Органические остатки в докембрийских отложениях встречаются редко. Полагают, что активное развитие жизни на Земле происходило в конце архея, когда появились одноклеточные, а может быть и многоклеточные организмы, не имевшие минерального скелета. В отложениях протерозоя встречены выделения синезеленых водорослей, споры, а также следы червей, остатки кишечнополостных и членистоногих. В позднем протерозое (рифее) были широко развиты водоросли, которые являются породообразующими.

8.2. ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ В ПАЛЕОЗОЕ

Геологическая история Земли в палеозое разделяется на два этапа: ранний палеозой (кембрий, ордовик, силур) и поздний палеозой (девон, карбон, пермь), обусловленные двухэтапным тектоническим развитием земной коры: каледонским и герцинским.

Ранний палеозой (кембрий, ордовики, силур). В геосинклинальных поясах, имеющих широкое площадное развитие, в раннем палеозое происходило накопление мощных толщ морских осадков, переслаивающихся с большим количеством эффузивных образований. Однако начиная с конца кембрия, в отдельных местах геосинклинальных поясов проходили интенсивные складкообразовательные процессы, сопровождающиеся магматической деятельностью, воздыманием отдельных областей геосинклиналей и горообразованием. Эта складчатость получила название каледонской, а горные сооружения — каледонид. Заключительный этап каледонского тектогенеза в Монголо-Охотском геосинклинальном поясе произошел в силуре. В результате в СССР в конце раннего палеозоя образовались следующие районы каледонид: Прибайкалье, Восточные Саяны, Кузнецкий Алатау. Следует отметить, что каледонские складчатые структуры в раннем палеозое не образовали новых крупных платформенных массивов. В Средиземноморском геосин-

клинальном поясе происходило активное прогибание и накопление осадков.

Платформенные области в кембрии и ордовике характеризуются интенсивными погружениями земной коры и развитием трансгрессий. В это время формировались крупные прогибы и разделяющие их поднятия, в которых происходило накопление карбонатных, песчано-глинистых отложений, иногда соленосных (Сибирь).

В результате завершения каледонской складчатости в конце силура происходят поднятия как в геосинклинальных областях, так и на платформах. На последних устанавливается континентальный режим (Сибирская платформа, Восточно-Европейская).

Органический мир раннего палеозоя был достаточно разнообразен. Растительный мир представлен различными водорослями, из наземных растений — мхи и псилофиты. Животный мир представлен исключительно морскими формами: трилобитами (главные руководящие ископаемые), плеченогими, граптолитами, археоциатами.

Поздний палеозой (девон, карбон, пермь). Геосинклинальные области. В первой половине позднего палеозоя заканчивается формирование каледонских горноскладчатых структур и наступает длительное и интенсивное погружение земной коры, развитие многократных трансгрессий и подводного эффузивного вулканизма. Местами проявляется складчатость. Во второй половине позднего палеозоя (средний карбон — пермь) происходят активные горо- и складкообразовательные процессы, начинаются восходящие движения земной коры, которые сопровождались активным проявлением интрузивного и наземно-эффузивного магматизма. Эти восходящие движения получили название герцинской складчатости, которая также проявлялась в несколько этапов (начиная с конца девона) во всех геосинклинальных поясах. Образование складчатых сооружений сопровождалось прогибанием земной коры на границе платформ и горных сооружений. В результате происходило формирование краевых прогибов. Так, например, к концу карбона Урал превратился в горную страну, а вдоль его западного края оформился Предуральский краевой прогиб. Герциниды возникли в пределах Восточного Казахстана, Прибалхашья, Юго-Западного Алтая и Южного Тянь-Шаня.

Герцинский орогенез охватил и не завершенные тектоническим развитием каледонские структуры. Наряду со складчатостью здесь проявилась активная магматическая деятельность с внедрением крупных кислых интрузий. В результате герцинских тектонических движений был ликвидирован геосинклинальный режим в Монголо-Охотском, Атлантическом, Арктическом и в некоторых прогибах в Средиземноморском

геосинклинальных поясах. На их месте возникли горные сооружения, которые значительно расширили территории континентов. В результате в северном полушарии образовалась обширная гетерогенная платформенная область — Лавразия, состоящая из Восточно-Европейской и Сибирской древних платформ, спаянных каледонскими и герцинскими горными сооружениями.

С окончанием герцинского тектогенеза каледонские и герцинские складчатые структуры вступают в платформенный этап развития (эпигерцинские платформы) и в их пределах формируется платформенный чехол (Скифская, Западно-Сибирская и Туранская плиты).

Платформенные области. К началу девона на древних платформах устанавливается континентальный режим. Во вновь образуемых молодых складчатых областях в первой половине девона происходит интенсивное разрушение воздымавшихся каледонских горных сооружений. В результате горообразовательных движений в фундаменте платформ возникают глубокие разломы, закладываются новые впадины и углубляются ранее возникшие. На окраине Восточно-Европейской платформы возникает Припятско-Донецкий прогиб и др. Формирование новообразованных и ранее заложенных впадин происходило в карбоне и перми. На Сибирской платформе, в западной ее части, в конце перми проявляется интенсивная магматическая деятельность. По трещинам и разломам на площади в 1,5 млн. км² происходило внедрение и излияние магмы основного состава. Такой тип магматических проявлений на платформах называется трапповым вулканизмом.

Колебательные движения в девоне, карбоне, перми привели к развитию неоднократных трансгрессий и регрессий моря. К концу пермского периода на платформах повсеместно установилась суша, за исключением сравнительно небольших участков.

В палеозое широкое развитие получили водоросли и споровые растения. С середины девона появились хвощевые, плауновые и папоротники; в карбоне — голосеменные; в ранней перми — хвойные, цикадовые, гinkговые.

Из беспозвоночных широкое развитие получили плеченогие (брахиоподы), брюхоногие, гастropоды, кораллы, головоногие моллюски и др. Появились и активно развивались бесчелюстные (ракообразные), рыбы, земноводные, пресмыкающиеся.

8.3. ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ В МЕЗОЗОЕ

Геосинклинальные области. В триасовом периоде продолжали развиваться Средиземноморская, Тихоокеанская геосинклинали, а также на небольших участках — Монголо-Охотская. В конце триасового периода происходит

складкообразование, особенно в пределах Тихоокеанского кольца (побережье Тихого океана в Азии). Эта складчатость получила название древнекиммерийской.

В юрское время вся территория геосинклиналей была покрыта морем островного типа. На отдельных ее участках в разное время, начиная с конца ранней юры и до конца поздней, проявлялась интенсивная складчатость, сопровождаемая внедрением кислой магмы. Эта складчатость получила название новокиммерийской. Новокиммерийская складчатость местами проявилась в Средиземноморском поясе, однако в целом весь Юг СССР (Карпаты — Крым — Кавказ — Памир) остался в мезозое областью морского глубоководного осадконакопления.

Складчатость охватила почти всю Тихоокеанскую геосинклинальную область и привела здесь к значительным перестройкам земной коры. По берегам Тихого океана появился мощный пояс горных сооружений. В Верхояно-Чукотской области геосинклинальный режим полностью прекратил свое существование в конце юры — в начале мела и в позднем мелу вся Верхояно-Чукотская область представляла собой горно-складчатое сооружение (мезозоиды). На границе с Сибирской платформой заложился Предверхоянский краевой прогиб.

В конце раннего мела по западной окраине Тихоокеанского геосинклинального пояса от Чукотки до Индокитая возникают крупные линейные разломы, по которым вплоть до палеогена происходили мощные вулканические извержения. Этот вулканогенный пояс назван Чукотско-Катазиатским.

Платформенные области. Континентальный режим, установившийся в Лавразии в пермское время, сохранился в течение триаса и до начала средней юры. За этот период продолжало усложняться строение континентов, образованных герцинской складчатостью. В их пределах формировались узкие грабенообразные впадины, прогибы (Зауралье, Туранская плита), в которых накапливались продукты разрушения герцинид. На Сибирской платформе продолжалось излияние базальтовой лавы.

В средней и поздней юре Восточно-Европейская платформа неоднократно прогибалась, особенно в южной части, и море проникало в глубь платформы. В позднеюрскую эпоху развилась одна из величайших на земном шаре трансгрессий. Она перекрыла почти всю Восточно-Европейскую платформу. Позднеюрская трансгрессия охватила и Западно-Сибирскую плиту. В конце поздней юры наступила регрессия. В альбе начинается новая широкая трансгрессия, которая перекрывает плиты, прогибы, впадины в пределах Восточно-Европейской платформы, Западно-Сибирской эпигерцинской плиты. На Сибирской платформе в это время формировались континентальные отложения,

В результате киммерийских движений в конце мезозоя произошел распад Лавразии и Гондваны (образовались Атлантический и Индийский океаны).

В мезозойскую эру происходят значительные преобразования в органическом мире. Из растений широкое развитие получили голосеменные, из споровых — папоротники и позже покрытосеменные.

Из беспозвоночных животных руководящими группами были пелециподы, аммониты, белемниты, морские ежи, губки.

Из позвоночных животных господствующее положение заняли пресмыкающиеся (динозавры, ихтиозавры и др.). Появляются млекопитающие и птицы.

8.4. ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ В КАЙНОЗОЕ

Геосинклинальные области. В начале кайнозоя Средиземноморская и Тихоокеанская области интенсивно погружаются. На рубеже эоцена и олигоцена в Средиземноморской геосинклинальной области погружение сменяется вздыманием, сопровождающимся альпийскими складкообразовательными движениями.

В неогене Средиземноморская и Тихоокеанская геосинклинальные области заняты морями островного типа, где островами служат горные сооружения, возникшие в палеогене. Наибольшей силы складкообразовательные движения с активной вулканической деятельностью достигают в конце миоцена и плиоцена. Они привели к образованию альпийских складчатых сооружений, межгорных и предгорных прогибов, а также морских котловин, окаймленных горными дугами.

Альпийская складчатость создала две обширные зоны складчатых структур. Первая из них образует Средиземноморский пояс — Средиземное, Черное моря, южная часть Каспия, Альпы, Карпаты, Крым, Кавказ, Памир, Гималаи. Вторая охватывает западное и восточное побережья Тихого океана, образуя Тихоокеанское кольцо: Корякский хребет, Камчатка, Сахалин, Японские острова и т. д. Эта зона характеризуется высокой сейсмичностью, вулканизмом, особенно в западной части Тихого океана. Ее можно рассматривать как современную геосинклиналь.

В четвертичное время в результате вздымания альпийских горных сооружений Средиземноморская геосинклиналь разделилась на ряд водоемов, наиболее крупными из которых являются Средиземное, Черное и Каспийское моря.

Платформенные области. Почти до конца палеогена сохранилась обстановка, возникшая в позднемеловую эпоху — все плиты, впадины, прогибы были перекрыты морем в пределах Западно-Сибирской низменности, юга Восточно-Европейской платформы, в Каракумах и Кызылкумах. Западная часть Тихо-

океанского пояса в палеогене в Евразии представляла собой область молодых складчатых сооружений.

В конце олигоценовой эпохи в связи с общим поднятием, охватившим почти все платформенные массивы, развилась регрессия и вся территория платформ стала сушей.

Неоген был периодом преимущественного поднятия значительных участков земной коры и формирования континентальных образований, за исключением небольших кратковременных трансгрессий в миоцене. Они развивались в пределах Скифской плиты и на южной окраине Восточно-Европейской платформы. Мощные тектонические движения, проявившиеся в конце плиоцена, привели к омоложению рельефа в пределах древних складчатых сооружений мезозоид, герцинид, каледонид и даже докембрийских платформ, к активному проявлению разрывных дислокаций, глыбовому воздыманию и т. д. В результате на месте древних сооружений возникли новые горы — каледонские структуры Скандинавии, герцинские структуры Урала, Казахстана, Средней Азии.

В конце неогенового периода распределение суши и моря на земном шаре стало близким к современному. Однако в течение четвертичного времени проявлялись медленные колебательные движения, в результате которых ряд районов Европы, Азии и Северной Америки испытал погружение или поднятие. В ранне-четвертичное время Берингов пролив отсутствовал и Азия соединялась с Аляской, не существовало Гибралтарского пролива и Европа соединялась с Африкой. Отсутствовали Босфор, Дарданеллы, Эгейское море и т. д.

В кайнозое продолжалась эволюция органического мира. Из растительного мира широко распространились покрытосеменные, из голосеменных — хвойные.

Из животного мира господствующее положение заняли млекопитающие. Они приспособились к жизни в воде, на суше и в воздухе. В кайнозое появился человек — одно из важнейших событий развития органического мира.

Из беспозвоночных руководящими для кайнозоя являются пелециподы, гастроподы, нуммулитиды.

§ 9. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

9.1. ПОНЯТИЕ О СЛОЕ И СЛОИСТОСТИ

Слой — это геологическое тело, образованное осадочной горной породой, однородной по составу или структуре, цвету и т. д., ограниченное приблизительно параллельными поверхностями. Наряду с термином «слой», в том же понимании часто употребляется термин «пласт», особенно для обозначения слоев полезных ископаемых (уголь, известняк и т. д.).

Основные элементы слоя (пласта). Плоскости соприкосновения слоя с окружающими породами называются поверхностями напластования. Породы, покрывающие слой, называются кровлей, подстилающие — подошвой (рис. 32).

Кратчайшее расстояние между поверхностями напластования называется истинной мощностью. Любое другое расстояние между кровлей и подошвой называется видимой мощностью. При неполном обнажении слоя замеряют неполную мощность — расстояние по перпендикуляру к поверхности наслаждения от кровли или почвы до любой точки слоя.

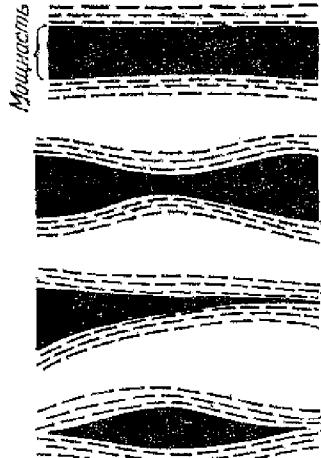


Рис. 32. Элементы слоя.
а — кровля; б — подошва;
в — пережим; г — выклинивание; д — линза

Под слоистостью понимают чередование слоев, тонких прослойков, отличающихся по своим свойствам (например, чередование глинистого материала с песком и др.). Переход одного слоя в другой может быть или резким или постепенным, незаметным. В последнем случае граница между слоями проводится условно. Характер слоистости позволяет судить о тех изменениях, которые происходили при формировании осадков.

Классификация слоистости. Слоистость осадочных горных пород классифицируют по мощности и условиям образования.

В зависимости от мощности часто выделяют следующие виды слоистости:

грубая —	мощность слоев	50 см;
крупная —	" "	50—10 см;
мелкая	" "	10—1 см;
тонкая	" "	1—0,1 см;
микрослоистая	" "	1—0,1 см.

Соответственно этому породы называются грубо-, крупно-, мелко-, тонко- и микрослоистыми или листоватыми.

По условиям образования выделяют четыре основных типа слоистости (рис. 33):

параллельная — поверхности наслаждения близки к плоскостям; формируется при отсутствии заметных движений воды;

волнистая — имеет волнисто-изогнутые поверхности наслаждения; формируется при периодической смене движений — приливных и отливных течений и др.;

косая — характеризуется прямолинейными и криволинейными поверхностями наслаждения; формируется при движении

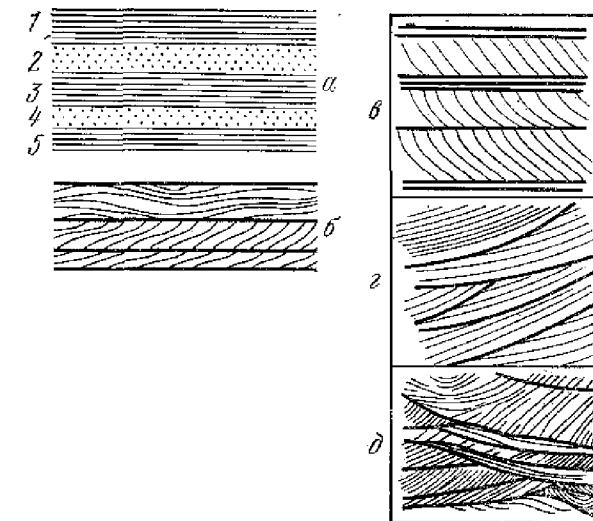


Рис. 33. Различные типы слоистости в разрезе.

а — горизонтальная (1, 3,
5 — глина, 2, 4 — пески);
б — волнистая; в — косая
слоистость речных потоков;
г — косая слоистость в мор-
ских отложениях; д — эо-
ловая косая слоистость

среды в одном направлении — реки, морского потока, воздуха и др.;

линзовидная — имеет разнообразные формы и изменчивые мощности отдельных слоев; формируется при быстром и изменчивом направлении движения водной или воздушной среды и др.

Образование слоистых толщ. Характер слоистости и масштабы ее проявления в природе многообразны и обусловлены целым рядом факторов: вертикальными тектоническими движениями, климатом, динамическим режимом водной или воздушной среды, а также химическими изменениями состава вод озерных и морских бассейнов.

Формирование крупной слоистости происходит обычно в результате тектонических движений и вызванных ими изменений физико-географических условий отложения осадков.

При определенном положении береговой линии осадки в плане располагаются в строго определенном порядке. В общем случае вблизи берега накапливаются грубозернистые осадки, например галечники. Затем, с увеличением глубины, зона грубо-

зернистых осадков сменяется более мелкозернистыми — песками, алевритами, глинистыми илами. Вертикальные тектонические движения приводят к передвижению береговой линии, которая в свою очередь приводит к миграции зон осадков. В случае наступления моря на сушу (трансгрессии) происходит углубление моря — на грубозернистых осадках будут накапливаться пески, на песках алевриты, на алевритах — глинистые илы.

При отступлении моря (ретрессии) происходит обмеление моря — осадки накапливаются в обратной последовательности: на глинистых илах — алевриты, на алевритах — песок, на песках — грубозернистые осадки.

Таким образом, по характеру взаимосвязи слоистых толщ по отношению к древнему основанию выделяют трансгрессивное и ретрессивное взаимоотношение слоистых толщ (см. рис. 7).

Формирование мелкой, тонкой и микрослойчатости связано в большинстве случаев с изменением физико-географических условий в области сноса и накопления осадков (сезонные изменения климата, изменение уровня воды в реках, несущих терригенный материал, химическое изменение состава вод озерных и морских бассейнов).

При первичном ненарушенном залегании слои расположены горизонтально, относительно параллельны между собой и в них

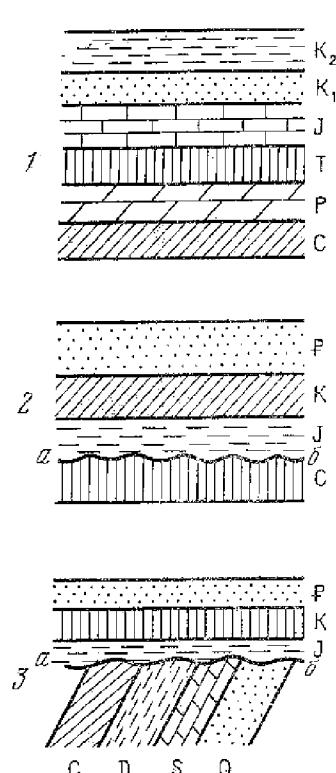


Рис. 34. Согласное и несогласное залегание слоев.

1 — согласное залегание; 2 — стратиграфическое несогласное залегание; 3 — угловое несогласное залегание; а—б — поверхность несогласия

перерыва поверхность образованного слоя осадков подвергается выветриванию, размывается как на поверхности суши, так и под водой. Когда осадконакопление вновь возобновляется, в основании нового слоя нередко накапливается галька. Поверхности, которые образуются при перерывах в осадконакоплении, носят название поверхностей стратиграфических несогласий, поскольку с ними связано выпадение из разреза отдельных стратиграфических горизонтов.

Если новый слой осадка ложится на горизонтально лежащие, ранее накопившиеся слои и у них нет различия в условиях залегания — говорят о параллельном несогласии. Если нижние слои перед накоплением нового слоя за время перерыва оказались смятыми в складки или приобрели наклон, то по характеру залегания они отличаются от вышележащих горизонтальных слоев. Такой тип взаимоотношения между слоистыми толщами называется угловым несогласием. Различие в величине наклона слоев носит название угла несогласия, который может меняться от 0 до 180°. В случае когда простижение нижних, более древних слоев не совпадает с верхними, более молодыми, говорят об азимутальном угловом несогласии.

Аналогичные соотношения между двумя контактирующими толщами могут возникнуть и тогда, когда на складчатую серию пород будет надвинут пакет пологозалегающих отложений. В этом случае они разграничены поверхностью тектонического разрыва, которая выражена зоной перетертых пород, наличием зеркал скольжения и т. п. Взаимоотношение между двумя этими толщами носит название тектонического несогласия.

При стратиграфических несогласиях сверху всегда залегает более молодая толща, при тектонических — в верхней части могут оказаться и более древние отложения.

По площади распространения несогласия могут быть региональными, т. е. проявляющимися на значительной территории, и локальными, или местными, т. е. приуроченными к небольшим участкам.

Горизонтальное залегание слоев. В условиях горизонтального залегания поверхности наслойния отдельных толщ горизонтальны или близки к ним, и каждый нижележащий пласт более древний, чем вышележащий.

Если пласти осадочных толщ имеют горизонтальное залегание в условиях идеально ровной, плоской местности (столовая равнина), то на поверхности будет обнажен только самый верхний пласт. Представим себе, что при том же горизонтальном залегании — рельеф местности пересеченный, расчлененный, т. е. прорезанный оврагами и речками, водоразделы между которыми плоские. В этом случае самые молодые пласти обнажаются на водоразделах, а более древние — на склонах оврагов и долин рек. Иногда в береговых обрывах отчетливо видна кровля и по-

дошва отдельных слоев (пластов), имеющих одинаковые абсолютные отметки.

Ширина выхода пластов (a) на дневную поверхность зависит от мощности слоя и характера рельефа местности. Из рис. 35 видно, что чем выше рельеф, тем больше ширина выхода горизонтально лежащего слоя на поверхность и наоборот. Истинная мощность горизонтального слоя выходящего на склоне водораздела, если неизвестны отметки, равна

$$m = h \cdot \sin \alpha,$$

где m — истинная мощность пласта;

h — видимая мощность пласта;

α — угол склона местности.

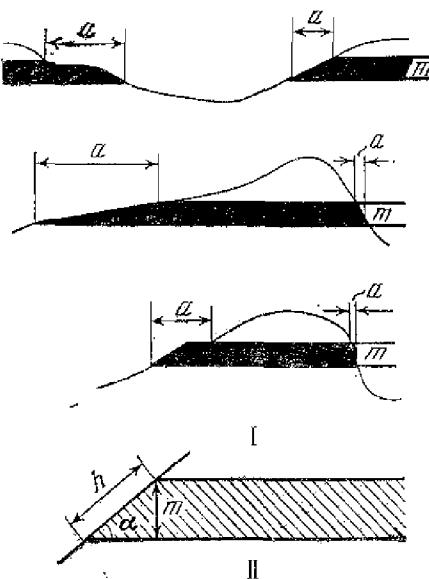


Рис. 35. Взаимосвязь ширины выхода пласта с рельефом.

I — зависимость проекции ширины выхода (a) горизонтального слоя от его истинной мощности (m) и характера местности; II — определение истинной мощности горизонтального слоя

сительного превышения рельефа, то по соотношению гидрографической сети и геологических границ можно установить наличие горизонтального залегания пород. Обычно границы между отдельными слоями в виде полос плавно окаймляют реки, овраги, водоразделы (см. рис. 36) и никогда не наблюдается резкого пересечения геологических границ реками или оврагами. В равнинных частях водоразделов слои, лежащие горизонтально, занимают обширные пространства.

Горизонтальное залегание слоев широко распространено на Русской и Западно-Сибирской равнинах.

Наклонное залегание слоев. При наклонном, или моноклиническом, залегании поверхность каждого пласта представляет собой наклонную плоскость, причем породы имеют одинаковую ориентировку наклона и величину угла наклона.

Для ориентировки наклонного слоя в пространстве введено понятие об элементах залегания: линии простирания, линии падения, которые характеризуют положение слоя по отношению к странам света (рис. 37).

Линия простирания — это линия пересечения пласта с горизонтальной плоскостью. Линия падения — это на-

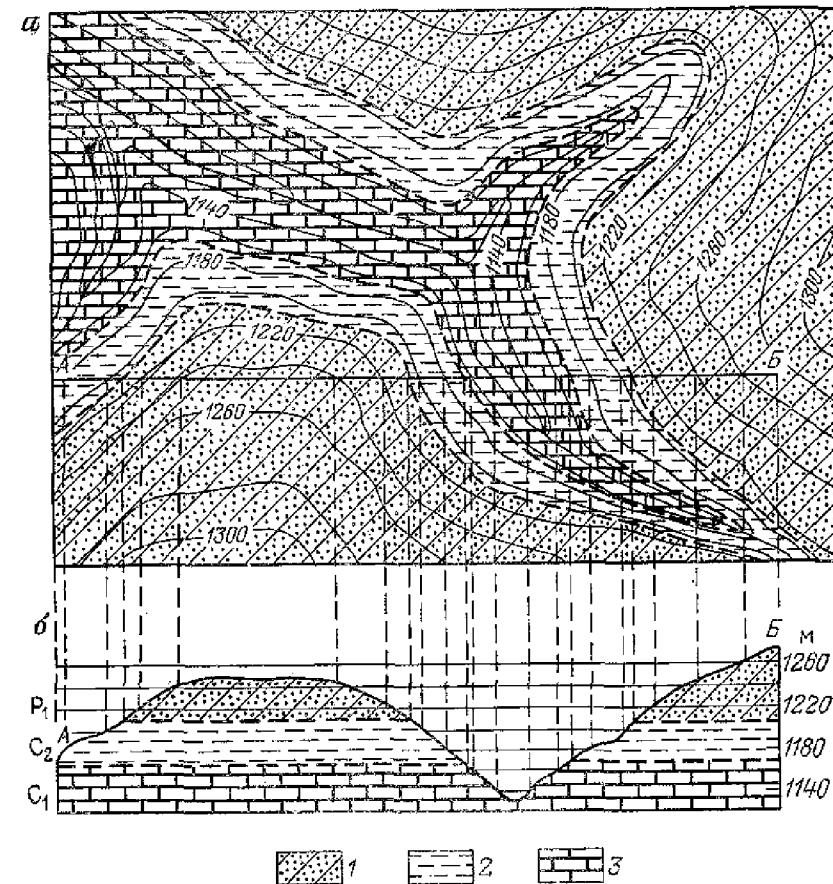


Рис. 36. Изображение горизонтально залегающих пород на геологической карте (а) и в разрезе (б).

1 — песчаник; 2 — глина; 3 — известняк

правление наибольшего наклона пласта. Линия падения всегда перпендикулярна линии простирания.

При одном и том же направлении падения пласт может иметь различный наклон. Поэтому введено понятие угла падения, под которым понимают угол наклона пласта к горизонту. Углы падения пород до 20° принято относить к пологим,

до 50° — к средним, 50° и выше — к крутым. При угле падения, близком к 90° , слои относят к вертикальному падению.

Положение линий простирания и линии падения в пространстве определяется их азимутами. Азимутом данного направления является угол, отсчитываемый от северного направления истинного меридиана до заданного направления по ходу часовой стрелки.

Азимутом линии простирания называется правый векториальный угол между одним из направлений линии простирания и северным направлением истинного меридиана.

В связи с тем что линия простирания имеет два противоположных направления, у нее могут быть два замера, различающиеся между собой на 180° .

Азимутом падения называется правый векториальный угол между проекцией линии падения на горизонтальную плоскость и северным направлением истинного меридиана.

Учитывая, что у наклонного пласта имеется одно определенное направление падения, может быть замерен только один азимут падения, который отличается от азимута линии простирания на 90° . Значение угла падения не может быть больше 90° .

Горный компас. Элементы залегания наклонного слоя определяются горным компасом (рис. 38).

Основание горного компаса имеет вид прямоугольника ($8-11 \times 7-8$ см), в середине которого прикреплена коробка с лимбом, разделенным против часовой стрелки на 360° . Лимб установлен таким образом, что длинные ребра основания компаса параллельны линии север—юг, а короткие — линии восток—запад.

На острие шпилля в центре корпуса на агатовом или рубиновом подшипнике закреплена стальная магнитная стрелка; ее северный конец покрыт синей (вороненой) или белой краской. Подшипник сообщает стрелке свободное вращение. В нерабочем положении стрелка закрепляется тормозным приспособлением, один конец которого надет на шпиль, а другой — выведен в юго-западный конец корпуса и управляемся винтом. Стрелка освобождается только на время работы.

Под стрелкой компаса на шпиль наложен отвес — клинометр, который может свободно двигаться только при вертикальном положении компаса. На нижней расширенной части отвеса про-

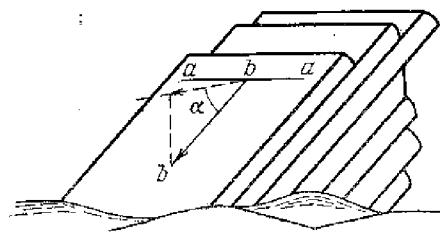


Рис. 37. Элементы залегания наклонного слоя.

$a-a$ — линия простирания; $b-b$ — линия падения; α — угол падения

мута линии простирания на 90° . Значение угла падения не может быть больше 90° .

Горный компас. Элементы залегания наклонного слоя определяются горным компасом (рис. 38).

Основание горного компаса имеет вид прямоугольника ($8-11 \times 7-8$ см), в середине которого прикреплена коробка с лимбом, разделенным против часовой стрелки на 360° . Лимб установлен таким образом, что длинные ребра основания компаса параллельны линии север—юг, а короткие — линии восток—запад.

На острие шпилля в центре корпуса на агатовом или рубиновом подшипнике закреплена стальная магнитная стрелка; ее северный конец покрыт синей (вороненой) или белой краской. Подшипник сообщает стрелке свободное вращение. В нерабочем положении стрелка закрепляется тормозным приспособлением, один конец которого надет на шпиль, а другой — выведен в юго-западный конец корпуса и управляемся винтом. Стрелка освобождается только на время работы.

Под стрелкой компаса на шпиль наложен отвес — клинометр, который может свободно двигаться только при вертикальном положении компаса. На нижней расширенной части отвеса про-

зано окошечко, в середине которого точно по центру отвеса прорезан зубец. В основании компаса, кроме лимба для замера азимутов, имеется полукруговая шкала клинометра для измерения углов наклона. Отсчет градусов по этой шкале идет от нулевого положения в две противоположные стороны. Лимб покрывается стеклом, закрепленным кольцевой пружиной. На круглую коробку компаса надевается крышка. Все части компаса, кроме стрелки, изготавливаются из немагнитных материалов: алюминия, латуни, бронзы или пластмассы.

В отличие от обычного компаса, в горном компасе восток и запад обменены своими местами. Это сделано для того,

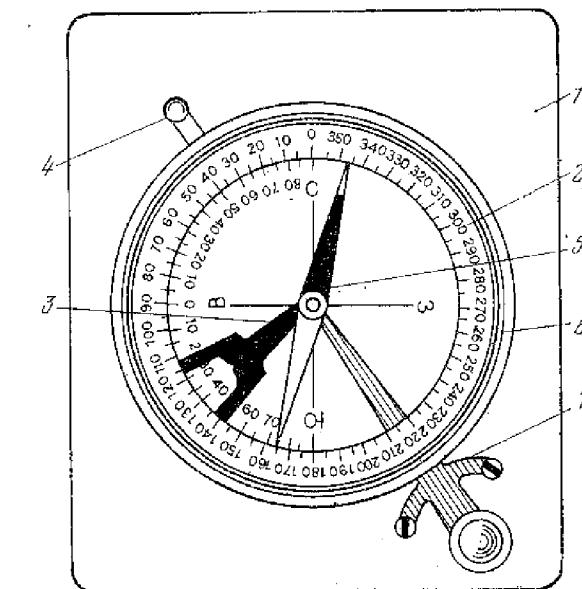


Рис. 38. Горный компас.

1 — пластина (основание компаса); 2 — коробка компаса с лимбом; 3 — клинометр (отвес); 4 — тормозное приспособление для клинометра; 5 — магнитная стрелка; 6 — пружина, удерживающая покровное стекло; 7 — тормозное приспособление для магнитной стрелки

чтобы величину азимута можно было читать непосредственно по северному концу магнитной стрелки (рис. 39).

Порядок работы с горным компасом. Для определения азимута любого направления компас устанавливают горизонтально так, чтобы короткая его сторона, на которой написано «север» и «0», была направлена в искомом направлении. Отпускают магнитную стрелку и берут показания по ее северному концу.

Для определения азимута простирания на расчищенный участок наклонного пласта устанавливают компас на длинное ребро так, чтобы отвес принял положение 0° . Линия соприкосновения поверхности слоя с ребром компаса будет линией простирания. Вдоль ребра компаса проводят карандашом или иглой линию простирания пласта. Затем компас приводят в горизонтальное положение, прикладывая длинное ребро к линии простирания, освобождают магнитную стрелку и по ее северному концу про-

изводят отсчет, который и дает азимут линии простирания (рис. 40, а, б).

При определении линии падения компас следует приложить

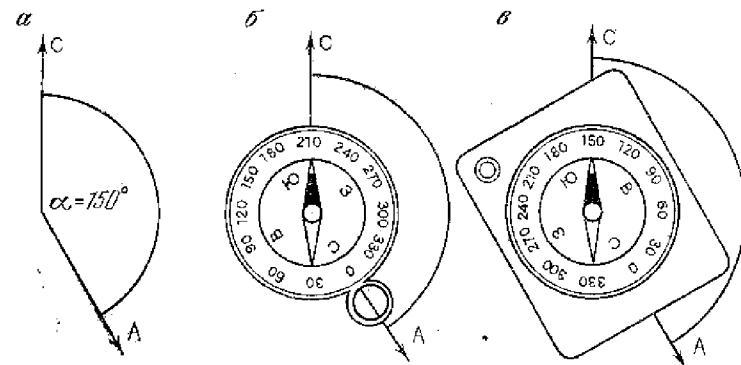


Рис. 39. Измерение азимута.

а — измеряемый угол (стрелка С — направление на север, стрелка А — направление, азимут которого определяется $\angle \alpha = 150^\circ$); б — показание стрелки обычного компаса ЮЗ 210° ; в — показание стрелки горного компаса ЮВ 150°

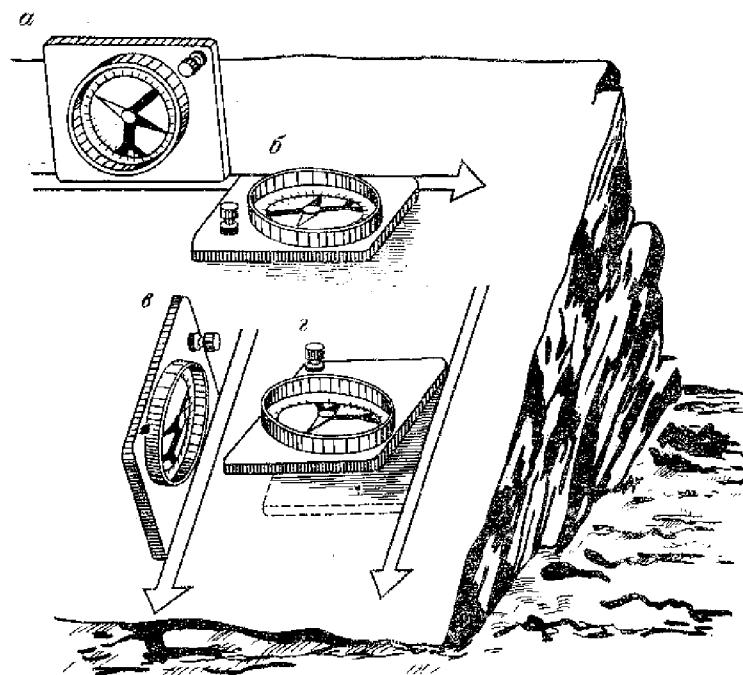


Рис. 40. Порядок замеров элементов залегания слоя горным компасом

к линии простирания короткой южной стороной, чтобы север «С», указанный на основании компаса, был направлен по направлению падения. Затем компас приводят в горизонтальное положение. Отпустив зажим винта, закрепляющего стрелку, бе-

рут отсчет по ее северному концу (рис. 40, г). После этого закрывают зажим и, приложив компас длинной стороной по линии падения, по отвесу фиксируют угол наклона слоя (рис. 40, в).

При записи простирания и падения записывается в буквенно-ном выражении четверть, на которую падает этот угол (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ). При цифровом выражении угла значок градусов не ставится, чтобы не смешать его с нулем. Полная запись элементов залегания такова: аз. прост. ЮЗ 215 , аз. пад $125 < 30$, или аз. прост. 215 , аз. пад. $125 < 30$. Часто в практике запись

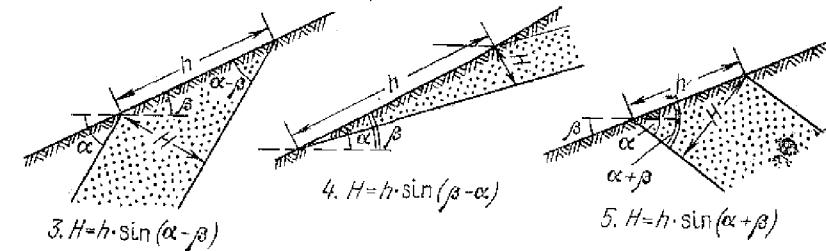
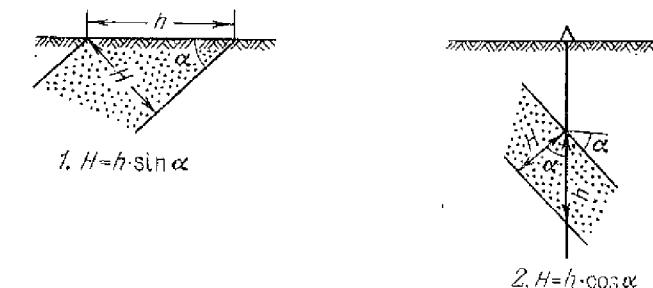


Рис. 41. Различные случаи определения истинной мощности наклонно залегающих слоев по видимой мощности, углу наклона слоя и углу наклона поверхности рельефа, по А. Е. Михайлову.

1 — поверхность рельефа горизонтальная; 2 — по буровой скважине; 3 — поверхность рельефа наклонная, слой падает в сторону наклона поверхности рельефа, но круче рельефа; 4 — поверхность рельефа наклонная, слой падает в сторону наклона рельефа, но пологе рельефа; 5 — поверхность рельефа наклонная, слой падает в сторону, противоположную относительно наклона поверхности рельефа

сокращается: аз. пад. $125 < 30$, так как простижение можно получить, прибавив (или отняв) к азимуту падения 90° .

Если замеры выполнены правильно, то разность отсчетов азимутов линии простирания и падения должна составить 90° . В случае значительного отклонения ($2-3^\circ$) от этой величины замеры следует повторить.

Следует помнить, что замеры горным компасом дают углы между данным направлением и магнитным меридианом. Для получения истинных азимутов следует учитывать магнитное склонение.

Определение истинной мощности слоя при наклонном залегании. При наклонном залегании в полевых условиях не всегда удается замерить истинную мощность слоя, т. е. кратчайшее

расстояние между его кровлей и почвой. В этом случае истинную мощность (H) можно определить, пользуясь рядом формул (рис. 41), измерив видимую мощность (h), угол падения слоя (α) и наклон поверхности рельефа (β).

9.2. СКЛАДЧАТЫЕ ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ СЛОЕВ

Складки и их элементы. При тектонических движениях (пластических деформациях горных пород) слоистые толщи часто приобретают волнообразные изгибы, т. е. сминаются в складки.

В каждой складке принято различать следующие элементы (рис. 42). Крылья складки — две поверхности, ограничи-

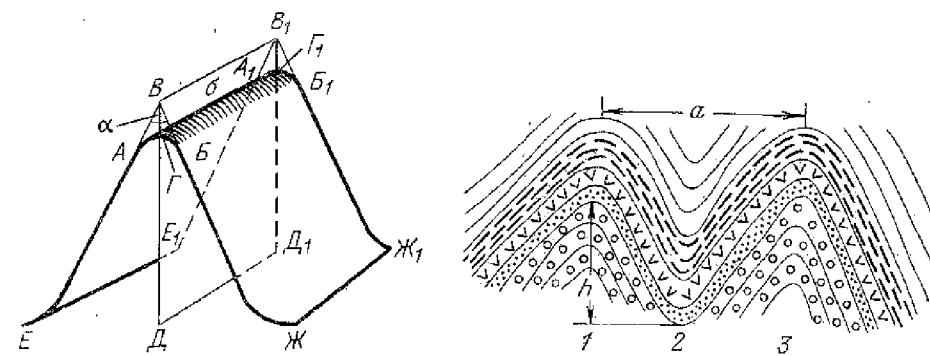


Рис. 42. Элементы складки.
АА₁, Е₁Е — крылья; АА₁, Б₁Б — замок; ГГ₁ — шарнир; α — угол;
ВВ₁, Д₁Д — осевая поверхность

Рис. 43. Антиклинальная (1, 3) и синклинальная (2) складки.
 a — ширина складки; h — высота складки

вающие складку по краям, имеющие более или менее одинаковый наклон слоев. Замок складки — место перегиба слоев, слагающих крылья складки. Четких границ между крыльями и замком складки не существует. Ядро — породы, слагающие центральную часть складки. Угол складки — угол между продолженными до пересечения поверхностями крыльев. Осевая поверхность складки — поверхность, проходящая через точки перегиба слоев в замке складки. Ось складки — линия пересечения осевой поверхности складки с горизонтальной поверхностью. Шарнир складки — линия, проходящая через точки максимального перегиба слоя в замке складки. Он характеризует строение складки вдоль осевой поверхности, повторяет все изгибы слоя.

Все складки делятся на две основные разновидности: синклинальные и антиклинальные (рис. 43).

Синклинальные складки представляют собой изгибы слоев, обращенных выпуклостью вниз и сложенных в центральных частях (ядре) наиболее молодыми породами. Анти-

клинальные — изгиб слоев обращен выпуклостью вверх и центральная часть (ядро) их сложена более древними породами относительно краевых частей. Полная складка состоит из синклинального и антиклинального перегибов, которые имеют общее крыло.

Размеры складок характеризуются длиной, высотой и шириной (или горизонтальным размахом). В природе встречаются складки различных размеров: от нескольких сотен метров и даже километров в ширину до нескольких метров и сантиметров.

Флексура — однокрылая складка, имеющая коленообразный изгиб. Выделяют следующие элементы флексур (рис. 44). АБ — верхнее, или поднятое крыло, ВГ — нижнее, или опущенное крыло. ВВ — смыкающее крыло, α — вертикальная амплитуда смыкающего крыла. Флексуры имеют довольно широкое распространение, особенно при моноклинальном залегании пород. Они осложняют крылья синклинальных и антиклинальных складок.



Рис. 44. Элементы флексуры, по А. Е. Михайлову

9.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СКЛАДОК. ИХ ИЗОБРАЖЕНИЕ В РАЗРЕЗАХ И НА КАРТАХ

Складки классифицируют по форме — морфологическая классификация и по происхождению — генетическая классификация.

Морфологическая классификация складок. По соотношению между крыльями складки выделяют (рис. 45): обычные, или нормальные, складки с падением крыльев в разные стороны; изоклинальные складки с однонаправленным ровным наклоном крыльев и узким замком; веерообразные складки с изменяющимися направлениями и углами наклона крыльев, часто приводящими к пережиманию ядра.

По форме и характеру замка различают складки округлые и острые, сундучные (с широким плоским замком и крутыми крыльями).

По положению осевой поверхности выделяют (рис. 46): прямые (симметричные) складки с одинаковыми углами наклона крыльев, осевая поверхность вертикальна или почти вертикальна; наклонные — с падением крыльев под различными углами, осевая поверхность наклонна; опрокинутые — с крыльями, наклоненными в одну и ту же сторону, осевая поверхность наклонна, лежачие — осевая поверхность горизонтальна или почти горизонтальна, ныряющие, или перевернутые — осевая поверхность изогнута до обратного падения.

По соотношению мощностей слоев на крыльях и в замке складки выделяют (рис. 47): концентрические складки с одинаковой мощностью слоев в замке и на крыльях, подоб-

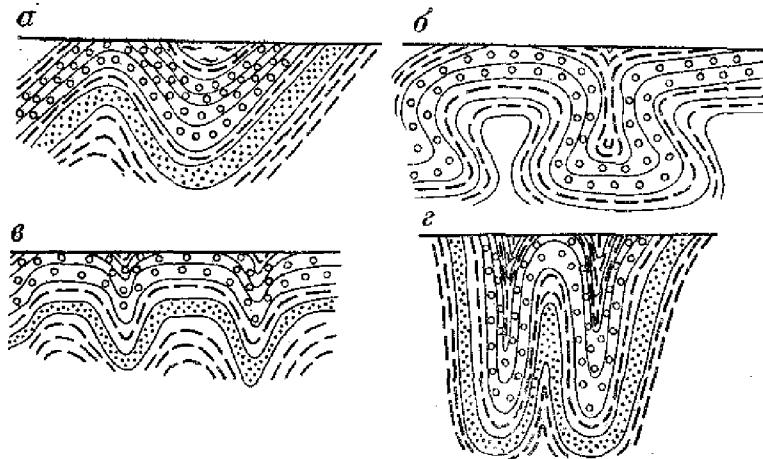


Рис. 45. Деление складок по соотношению между крыльями и по форме замка.
а — нормальные, округлые; б — веерообразные; в — сундучные; г — изоклинальные

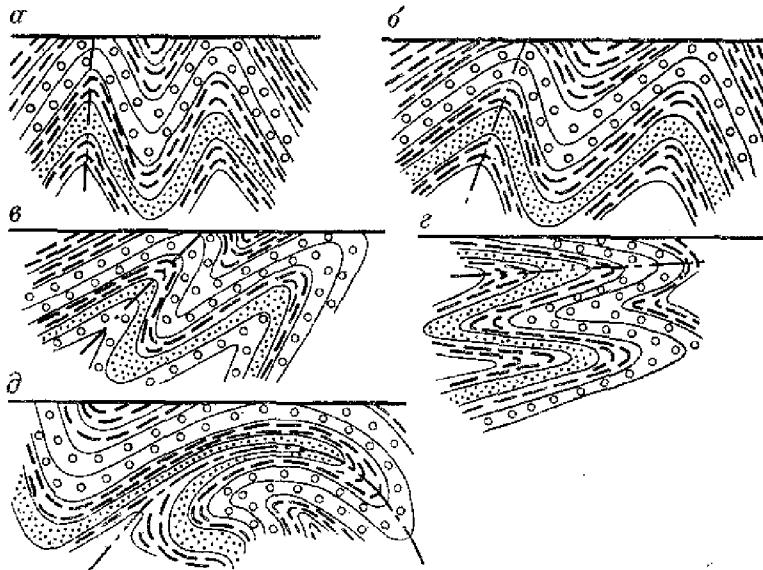


Рис. 46. Деление складок по положению осевой поверхности.
а — прямые; б — наклонные; в — опрокинутые; г — лежачие; д — ныряющие

ные складки — с уменьшенной мощностью слоев на крыльях и увеличенной в замках.

Генетическая классификация складок. Формирование складчатости обусловлено целым рядом причин, отражающих историю развития земной коры. В целом принято различать склад-

чатость, связанную с тектоническими процессами, и складчатость не тектонического характера. По соотношению времени образования складок и возрасту изогнутых слоев выделяют складки конседиментационные и постседиментационные.

Конседиментационные складки формируются одновременно с деформирующими слоями; при этом на участках воздымания образуются антиклинали, а на участках прогибания — синклинали. Постседиментационные складки образуются после накопления слоев в результате более поздних тектонических движений.

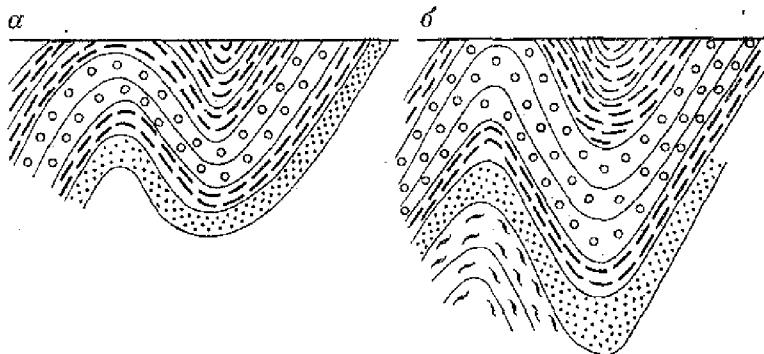


Рис. 47. Деление складок по соотношению мощностей слоев в замке и на крыльях.

а — концентрические; б — подобные

Построение разрезов через районы со складчатым залеганием. При построении разрезов (профилей) через складчатые структуры необходимо, чтобы горизонтальный масштаб соответствовал вертикальному. Учитывая, что косое сечение слоев приводит к искаженному изображению складок, следует стремиться к тому, чтобы линии разрезов были ориентированы вкrest простирания осей складок. Если профиль проходит под некоторым углом к простиранию, то в значения углов наклона слоев следует вносить поправки, сведенные в специальные таблицы. При увеличенном вертикальном масштабе, по сравнению с горизонтальным, в изображение наклона слоев также вводятся поправки.

На разрез с отстроенным рельефом наносят все точки пересечения профиля с геологическими границами (маркирующими слои) и согласно элементам залегания на карте отстраивают углы наклона слоев. Учитывая мощность выделяемых стратиграфических толщ, на разрезе отстраивают, как правило, концентрические складки. При построении замков складок следует ориентироваться на форму их замыкания на карте.

Изображение складок на геологических картах проводят в различных масштабах, которые позволяют для каждого конкретного случая отобразить строение того или иного района.

Наиболее четко складчатое строение района вырисовывается на геологической карте, если изображение складок проводят по маркирующим горизонтам. Маркирующие горизонты — это слои горных пород, имеющие широкое распространение, выдержанную мощность и признаки, позволяющие их легко выделить среди окружающих пород (пласти угля, прослои известняков в глинистой толще и т. д.).

При анализе геологической карты, отражающей складчатое залегание пород, необходимо прежде всего обратить внимание на то, что пласти пород обычно вытянуты в виде полос, границы их не согласуются с гидографической сетью и резко секут горизонтали. Затем необходимо найти полосы выходов более древних и самых молодых пластов, принимающих участие в складчатости. Эти выходы определяют положение антиклиналей и синклиналей. Складки на геологической карте характеризуются эллипсоидно-кольцевыми и зигзагообразными полосами выходов пластов.

§ 10. РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ И ИХ ТИПЫ

При тектонических движениях земной коры пласти горных пород могут быть разорваны и смещены относительно друг друга.

Среди разрывных (дизъюнктивных) нарушений принято различать разрывы со смещением и разрывы без смещения (трещины). Протяженность разрывных нарушений изменяется от нескольких миллиметров и сантиметров до десятков и сотен километров.

10.1. РАЗРЫВЫ СО СМЕЩЕНИЯМИ

В разрывных нарушениях принято различать следующие элементы (рис. 48).

Сместитель — это трещина, по которой происходит смещение. Сместитель может быть вертикальным, наклонным и горизонтальным. Он может быть выражен сравнительно широкой зоной, заполненной раздробленным материалом (зона дробления, брекчия трения), или узкой закрытой трещиной с блестящими, отполированными стенками — зеркалами скольжения или зеркалами трения. Поверхность сместителя не всегда ровная иногда она существенно искривлена. Пространственная характеристика сместителя определяется азимутами простирации и падения и углом падения его поверхности в данной точке.

Крылья, или бока, разрыва — разорванные и перемещенные участки пластов, примыкающие с разных сторон к сместителю. Амплитуда разрыва — величина, на которую сме-

щены крылья относительно друг друга. Различают горизонтальную, вертикальную стратиграфическую и полную амплитуды разрыва.

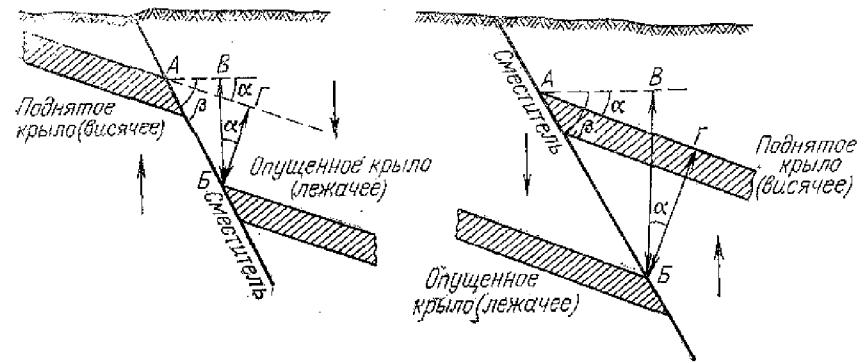


Рис. 48. Элементы разрывов.
АБ — полная амплитуда; ВВ — вертикальная амплитуда; ГБ — стратиграфическая амплитуда; АВ — горизонтальная амплитуда (этическое, перекрытие); α — угол падения пород, β — угол падения плоскости сместителя.

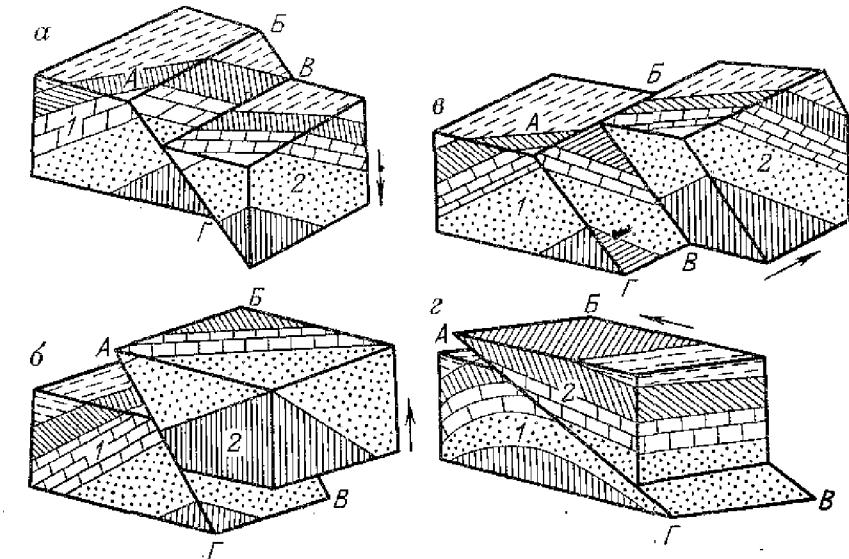


Рис. 49. Разрывные нарушения.
а — нормальный сброс (1 — поднятое крыло, 2 — опущенное крыло); б — взброс (1 — опущенное крыло, 2 — поднятое крыло); в — сдвиг (1 и 2 — крылья сдвига); г — надвиг (1 — лежачее крыло надвига, 2 — висячее надвигнутое крыло). АБГ — плоскость сместителя; АВ — линия простирации плоскости, АГ — линия падения плоскости

Классификация разрывов со смещениями (рис. 49) основана на морфологических признаках и генезисе разрывов. Обычно выделяют сбросы, взбросы, сдвиги, раздвинги, надвиги (покровы). Среди них в зависимости от ориентировки разрывов по отношению к складчатым структурам, кото-

рые они осложняют, различают поперечные, продольные и диагональные.

В зависимости от наклона поверхности сместителя к горизонту (более или менее 45°) различают пологие и крутые сбросы, взбросы и сдвиги.

Сбросы — это нарушения, в которых поверхность разрыва наклонена в сторону крыла, занимающего более низкое положение.

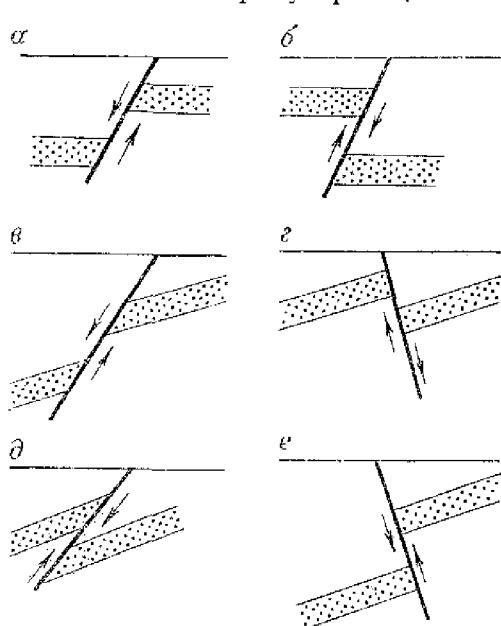


Рис. 50. Типы сбросов и взбросов.

а — нормальный сброс в горизонтальных слоях; б — взброс в горизонтальных слоях; в — согласный сброс; г — несогласный сброс; д — согласный взброс; е — несогласный взброс

Это крыло называется опущенным (лежачим). Другое, занимающее более высокое положение, — поднятым (висячим) (см. рис. 48, 49). Сбросы образуются в условиях растяжения земной коры, поэтому при сбросах всегда возникает горизонтальное растаскивание пласта, измеряемое величиной «зияния». В зависимости от соотношения углов наклона слоев в крыльях сброса и поверхности сместителя различают нормальные (согласные) и обратные (несогласные) сбросы. У нормальных (согласных) сбросов слои пород и сместитель наклонены в одну сторону. У обратных (несогласных) сбросов — в разные стороны (рис. 50).

Пологие сбросы с большой величиной зияния иногда называют раздвигами.

Наряду с этим существует представление, что раздвиги — это нарушения, у которых перемещение пород в крыльях происходит перпендикулярно их отрыву. Разрывы, образующиеся при раздвигах, обычно выполнены инородными породами или минералами.

Взбросы — это нарушения, в которых поверхность разрыва наклонена в сторону расположения приподнятых слоев. Взбросы возникают в условиях сжатия и характеризуются перекрытием разорванных крыльев. Так же как и среди сбросов, различают нормальные (согласные) и обратные (несогласные) взбросы (см. рис. 50).

Надвиги — это взбросы с наклоном поверхности сместителя менее 45—60°. Надвиги с очень пологим сместителем и

большой горизонтальной амплитудой смещения (перекрытия) называют шарьями, или покровами.

Сдвиг — это разрывное нарушение, у которого смещение крыльев происходит по горизонтам вдоль линии простирации поверхности сбрасывателя (см. рис. 49). Если смещение крыльев ориентировано косо по отношению к линии простирации поверхности разрыва, то выделяют сбросо-сдвиги, взбросо-сдвиги.

Сдвиги возникают в том случае, когда действие сил (пара сил) направлено горизонтально, параллельно поверхности сместителя.

В пространстве разрывные нарушения со смещением могут группироваться в протяженные зоны, в пределах которых наблюдаются блоки, приподнятые на разную высоту. В результате одни участки земной коры могут быть опущены, а другие подняты относительно смежных. Такие тектонические структуры называют соответственно грабенами и горстами (рис. 51). Иногда борта грабенов и склоны горстов могут быть ограничены несколькими параллельными разрывами. Такие горсты и грабены называют сложными, ступенчатыми.

Системы грабенов и горстов могут возникать в условиях растяжения (ограниченных сбросами) и в условиях сжатия (ограниченных взбросами). Первая система носит название рифтовой, вторая — рамповой.

Изображение разрывов со смещениями на картах и планах. Тип разрывного нарушения на геологической карте можно установить далеко не всегда. Достаточно определенно можно диагностировать разрывные нарушения, ориентированные перпендикулярно к оси антиклинальной или синклинальной складки. В случае сброса (взброса), пересекающего ось антиклинали, в его приподнятом крыле выходы одновозрастных отложений в осевой зоне складки будут иметь большую ширину, чем в опущенном. В приподнятом крыле синклинальной складки — наоборот (рис. 52). Положение оси складки при этом не смещается. В случае сдвигового нарушения при тех же условиях существенно смещается положение оси складки, в то время как ширина выходов одновозрастных отложений складки в обоих крыльях остается одинаковой.

Прямолинейность выходов линии разрывного нарушения свидетельствует о крутизне поверхности сместителя. При надвиговых нарушениях выходы поверхности сместителя имеют в плане изогнутую форму, образуя пластовые треугольники в долинах рек и оврагов.

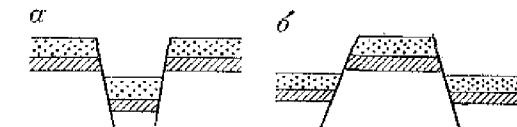


Рис. 51. Грабен (а) и горст (б)

Определение направления перемещения крыльев сброса и амплитуды смещения. Определение направления перемещения крыльев сброса в полевых условиях или в горных выработках можно проводить по поверхности смесятеля, а именно по ориентировке штрихов и борозд на зеркалах скольжения. При поглаживании рукой по поверхности зеркала ощущаются зазубрины, ориентированные в направлении, противоположном перемещавшемуся блоку.

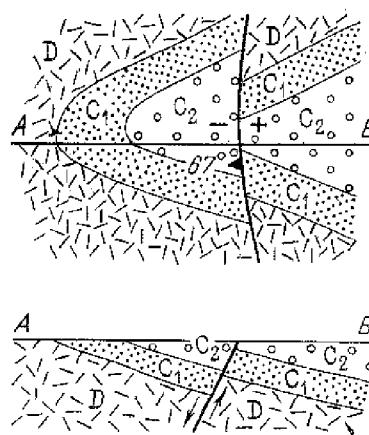


Рис. 52. Определение относительного перемещения крыльев сброса по возрасту слагающих их пород и по характеру выходов, по

А. Е. Михайлову

разбитых поперечными разрывами, позволяет определить, какой из блоков поднят.

Амплитуды смещения сбросов в обнажениях, в стенках горных выработок, по скважинам, пробуренным вблизи смесятеля на смежных крыльях разрыва, определяются расстоянием между разорванными концами одного и того же пласта на разных крыльях нарушения.

Амплитуду сбросов можно оценить по геологической карте, построив геологический разрез вкрест простирации разрыва. Сравнивая положение одного и того же пласта в разных крыльях нарушения, графически замеряются амплитуды сброса.

Если на геологической карте имеются горизонтали и пласти по обе стороны смесятеля имеют одинаковое простиранье, то, построив проекцию линии простирания какого-либо пласта, можно по разности его отметок на разных крыльях смесятеля определить амплитуду смещения.

Определение возраста разрывных нарушений. Возраст разрывных нарушений определяется возрастом отложений, кото-

рые они пересекают. Разрывные нарушения всегда моложе самых молодых слоев, которые они затрагивают. Возраст этих слоев может рассматриваться как нижний возрастной предел. Верхний возрастной предел можно установить в том случае, если имеются места, где разрывы перекрыты чехлом несогласно залегающих отложений и не проникают в них.

Некоторые типы разрывов формируются длительно и неоднократно подновляются. Иногда при сложно пересекающихся системах разрывов устанавливается относительный возраст разрывов разных направлений на основе изучения их взаимоотношения. Этому способствует наличие минерализации различного состава и возраста по трещинам разных направлений («дорудные», «рудные», «пострудные»). Установление относительного возраста разрывов имеет важное практическое значение при поисках месторождений полезных ископаемых жильного типа.

10.2. РАЗРЫВЫ БЕЗ СМЕЩЕНИЯ

Трещины — это разрывные нарушения в горных породах по которым не происходило видимых смещений.

Принято выделять трещины вертикальные, горизонтальные и наклонные. Кроме того, в зависимости от ориентировки их по отношению к пластам, в которых они находятся, выделяют пластовые трещины, поперечные и диагональные. Характеристика трещин в пространстве определяется азимутом простирания, азимутом наклона и углом наклона. Для того чтобы представить положение трещины в пространстве, достаточно замерить азимут наклона и угол наклона трещины.

По характеру проявления различают: открытые трещины с хорошо видимой полостью, закрытые — полость по разрыву неразличима и скрытые, которые обнаруживаются только при специальном изучении.

Размеры трещины изменяются в широком диапазоне. Они могут пересекать толщи пород с мощностями, измеряемыми сотнями метров, но могут и не выходить за пределы сантиметров и миллиметров. Трещины, имеющие одинаковую или близкую ориентировку, объединяются в системы, которые обусловливают отдельность горных пород. Отдельность — способность породы раскалываться на характерные по форме блоки, глыбы, куски вдоль видимых или скрытых пересекающихся систем трещин.

Генетическая классификация предусматривает выделение тектонических и нетектонических трещин, среди которых выделяют ряд разновидностей.

Нетектонические трещины: 1) первичные трещины, 2) трещины выветривания, 3) трещины оползней, обвалов и провалов, 4) трещины расширения пород при разгрузке.

Тектонические трещины: 1) трещины с разрывом сплошности пород (трещины отрыва и скальвания), 2) кливаж.



Рис. 53. Определение относительного перемещения крыльев сброса по изгибам слоев у поверхности смесятеля

Нетектонические трещины. Нетектонические трещины возникают при изменении физико-химических свойств горных пород вблизи или на поверхности Земли.

Первичные трещины в осадочных породах возникают на стадии диагенеза — осадок теряет влагу, уменьшается в объеме и постепенно переходит в горную породу. Первичные трещины приурочены только к отдельным слоям или пачкам слоев. По отношению к слоистости они могут располагаться перпендикулярно, косо, параллельно. В эфузивных породах первичные трещины возникают при остывании лавы и уменьшении объема породы. Эти трещины обусловливают отдельность эфузивных пород (столбчатую, пластинчатую и плитчатую).

Трещины выветривания образуются в горной породе в основном под воздействием атмосферных агентов. Глубина трещиноватой зоны и степень трещиноватости зависит от характера породы, длительности процессов выветривания и обычно распространяется до 10—15 м, в редких случаях до 30—50 м от поверхности. Трещины не имеют общего направления — извилистые, часто пересекают друг друга.

Трещины оползней, обвалов и провалов имеют локальную приуроченность и возникают от неравномерности напряжений, испытываемых породой при подвижках. Они характеризуются неровными стенками, зиянием, частой сменой ориентировки.

Трещины расширения пород при разгрузке возникают вокруг выработанного пространства горных выработок, а также в бортах речных долин (в скальных и полускальных породах). Возникновение их обусловлено изменением соотношения сил, действующих на горные породы внутри массива.

Тектонические трещины. Тектонические трещины возникают в горных породах под влиянием эндогенных процессов. Проявление складкообразовательных движений приводит к возникновению в горных породах трещин с разрывом сплошности, среди которых выделяют трещины разрыва (отрыва) и трещины скольжения.

Трещины разрыва (отрыва) образуются в породах, испытавших растяжение при вертикальных движениях. Они имеют локальное и региональное распространение и приурочены в основном к сводовым частям антиклинальных поднятий, складок и т. д. Эти трещины представляют собой систему взаимно пересекающихся трещин (под прямым или близким к нему углом) и проявляются по простиранию и падению слоев. Они обычно вертикальные или круто наклонные. Поверхности трещин разрыва (отрыва) шероховатые, иногда неровные, с рваными краями. Они могут быть зияющими или выполнены минеральными образованиями (кварц, кальцит, гипс и др.).

Трещины скольжения возникают в условиях сжатия земной коры. Они хорошо выдерживаются на значительных рас-

стояниях по падению и простиранию слоев. Стенки трещин скользования плотно сжаты и имеют гладкую поверхность. Иногда по ним происходят подвижки отдельных блоков пород, о чем свидетельствуют следы скольжения в виде борозд, царапин и зеркал скольжения на поверхности трещины.

Кливаж. Кливаж — это способность горных пород раскальваться на пластинки, призмы по густо развитой системе параллельных трещин, секущих слоистость или согласных с ней.

Полагают, что сланцеватость возникает в горных породах при пластических деформациях. Трещины кливажа могут быть открытыми и закрытыми, с ровными поверхностями, иногда со следами скольжения.

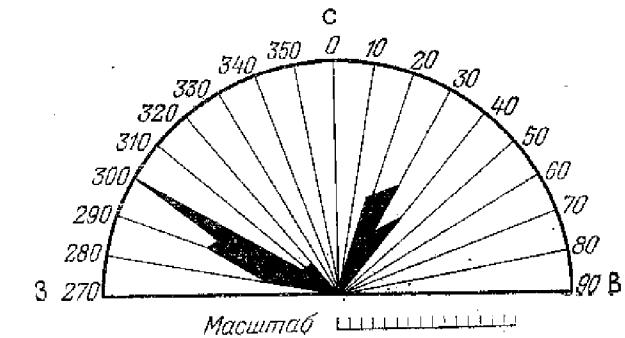


Рис. 54. Роза-диаграмма простираний (деление масштаба соответствует одной трещине)

Статистическая обработка полевых замеров трещин. При изучении трещиноватости в полевых условиях необходимо произвести массовые замеры элементов пространственного положения трещин (азимут простирания, азимут падения и угол падения). Затем произвести их систематическую обработку, стараясь разделить трещины по происхождению. Для выявления преобладающего направления трещин определенного генезиса в данном районе пользуются круговыми диаграммами. Наиболее широко распространены диаграммы типа «роза» трещиноватости. С этой целью вычерчивают окружность произвольного радиуса, через ее центр проводят сверху вниз прямую, изображающую направление меридиана. На окружности показывают средние азимуты простирания трещин (разбивают окружность на 360°) и соединяют их с центром радиусами. Затем в масштабе выбирают отрезок с произвольной длиной, соответствующей одному замеру. По радиусам от центра (по направлению замеренного азимута) откладывают абсолютные или относительные количества трещин. После нанесения всех замеров концы линий соединяют между собой прямыми и полученный контур затушевывают (рис. 54). На диаграмме в виде пикообразных выступов вырисовывается преобладающее направление простирания трещин.

§ 11. ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Крупнейшие структурные элементы земной коры. Крупнейшими структурными элементами земной коры являются ее участки, различающиеся типом строения коры: материковые глыбы и впадины океанов.

Материковые глыбы имеют так называемый материковый тип строения коры, включающий три геофизических слоя: осадочный, гранито-гнейсовый и базальтовый, общей мощностью 30—70 км (рис. 55). Материковым типом коры обладает вся поверхность суши, а также шельфовые моря, обрамляющие СССР.

Кора океанического типа состоит из осадочного и базальтового слоев, общей мощностью 5—15 км, и характерна для глубоководных впадин океанов близ берегов нашей страны, котловин внутренних морей — Черного, южной части Каспийского, а также котловин внешних морей — Охотского, Японского, Берингова.

Главнейшими структурными подразделениями материков являются геосинклинальные пояса и платформы.

Геосинклинальные пояса — это огромные, линейно вытянутые подвижные участки земной коры, возникающие по системам разломов среди массивов более древних пород и ограниченные глубинными разломами. В развитии геосинклинальных областей принято различать два этапа: 1) собственно геосинклинальный, или главный, 2) заключительный, или орогенный. На первом, главном этапе, преобладают интенсивные нисходящие движения и геосинклиналь представляет собой глубоководный морской бассейн. Погружение сопровождается активным магматизмом вдоль серии разломов и накоплением мощных толщ осадочных и вулканогенно-осадочных пород (до 15—20 км). На втором этапе проявляются сильные восходящие движения (орогенические движения), море отступает. Развиваются складкообразовательные процессы, слои пород сминаются в складки, пронизываются гранитными интрузиями. На месте геосинклинали возникает горно-складчатая страна, тектоническая активность которой со временем значительно ослабевает.

Платформы представляют собой устойчивые блоки зем-

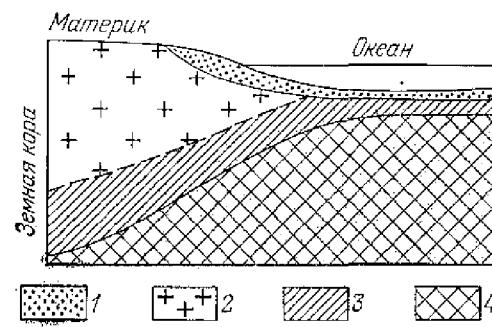


Рис. 55. Схема распределения геофизических слоев земной коры под дном океана и под континентом

1 — осадочный слой; 2 — гранито-гнейсовый слой; 3 — базальтовый слой; 4 — мантия

ной коры, отличающиеся малой подвижностью, медленными колебательными движениями, слабым развитием разрывных дислокаций, своеобразным магматизмом и накоплением незначительных по мощности осадков.

Платформы формируются на месте орогенных структур после их активной денудации. Поэтому в строении платформ выделяют два комплекса пород или два структурных этажа, различающихся по происхождению и характеру дислокаций (рис. 56). Нижний структурный этаж — фундамент, или складчатое основание, сформировалось в геосинклинальных условиях и состоит из сильно метаморфизованных осадочных и вулканогенно-осадочных пород, смятых в складки и пронизанных гранитными интрузиями. Верхний структурный этаж — чехол сложен полого залегающими слоями осадочных пород, обычно небольшой мощности. Породы осадочного чехла, как правило, не метаморфизованы. Магматизм играет подчиненную роль (щелочные интрузии, базальтовые лавы — траппы). Платформенный чехол обычно отделяется от фундамента крупным угловым несогласием.

Возраст платформы определяется возрастом ее фундамента. Различают древние и молодые платформы. Фундамент древних платформ образован архейскими и нижнепротерозойскими породами, чехол — верхнепротерозойскими, палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими породами. Фундамент молодых платформ сформировался в послепротерозойское время на месте раннепалеозойских, позднепалеозойских и мезозойских складчатых областей. Эти платформы называют эпикаледонскими, эпигерцинскими и эпимезозойскими. Чехол молодых платформ первого типа сложен породами, начиная с позднего палеозоя до кайнозоя включительно, второго типа — с мезозоя по кайнозой и третьего — кайнозоя. Молодые платформы не образуют самостоятельных глыб материковой коры, а окаймляют древние платформы.

Структурными элементами геосинклинальных областей являются системы частных геосинклинальных прогибов, выраженных линейными зонами, нередко имеющими форму трогов с глубоководным типом осадков. Положение геосинклинальных прогибов в пространстве связано и предопределено зонами глубинных разломов. Прогибы разделены приподнятыми линейными зонами — геоантеклиниалиями, выраженным в виде цепочек островных гряд и подводных возвышенностей. Заложение геосинклинальных прогибов на различных участках области происходит неодновременно. Наибольшую площадь геосинклинальной области составляют жесткие нераздробленные



Рис. 56. Структурные этажи платформы

блоки основания — срединные массивы, которые отвечают участкам относительно мелкого моря, частью сущего. На протяжении геосинклинального этапа площадь, занятая срединным массивом, сокращается за счет заложения на ней геосинклинальных прогибов поздней генерации.

В ходе эволюции геосинклинальной области отдельные ее участки периодически испытывают сжатие, в результате которого возникает складчатость слоев горных пород. Обычно складчатость сопровождается кислым магматизмом.

В результате процессов складчатости на месте систем геосинклинальных прогибов и разделяющих их поднятий образуются синклиниории и антиклиниории — сложно постро-

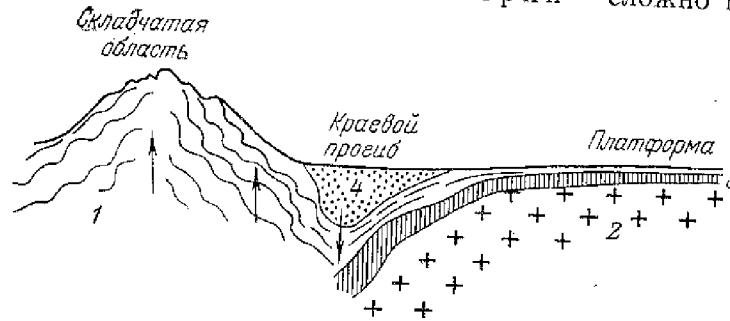


Рис. 57. Сочленение складчатой области с платформой.
1 — геосинклинальный комплекс складчатой области; 2 — основание (фундамент) платформы; 3 — чехол платформы; 4 — краевой прогиб

енные крупные синклинальные и антиклинальные структуры, состоящие в свою очередь из простых антиклиналей и синклиналей.

При превращении геосинклинальной области в складчатую крупные блоки земной коры перемещаются по разломам, которые образуют в геосинклинальных областях густую сеть. Многие из разломов относятся к категории глубинных, т. е. своими концами проникают в мантийный слой.

В результате общего сводового поднятия на месте геосинклинальной области формируется орогенная область. С эпохой орогенеза связано образование и внедрение больших порций гранитной магмы в верхние слои земной коры. Образуется мощный гранито-гнейсовый слой.

Положительным структурам орогенных (горно-складчатых) областей соответствуют горные массивы, представляющие крупные сводово-глыбовые поднятия земной коры. Поднятия разделены меж горными впадинами. Обычно с внешней стороны орогенной области по границе с платформой формируется цепочка впадин, составляющих предгорные (краевые) прогибы (рис. 57). Последние являются коллекторами для продуктов размыва, сносимых с воздымающихся горных

массивов в предгорную равнину. Толщи обломочных, органогенных и хемогенных пород, заполняющих предгорные и межгорные прогибы, называют молассами. Возраст моласс свидетельствует о времени орогенических процессов.

Горные системы образуются не только в ходе развития геосинклинальных областей. Многие горные системы (Тянь-Шань, Саяны, Алтай и др.) возникли на месте ранее существовавших типичных платформенных структур. Такие горные системы получили название областей эпиплатформенного орогенеза. Большая часть современных горных хребтов возникла в результате эпиплатформенного орогенеза в неоген-четвертичное время.

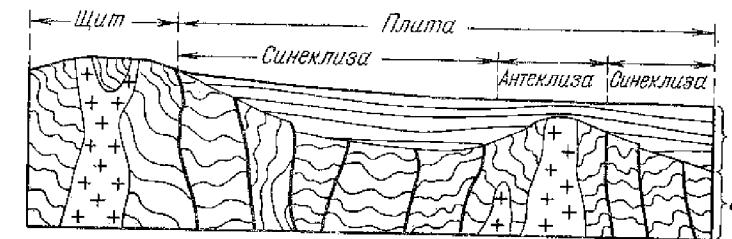


Рис. 58. Схема строения платформенной области.
а — платформенный чехол; б — складчатый фундамент

Структурные элементы платформ. Платформы обычно характеризуются относительной устойчивостью, небольшими амплитудами вертикальных тектонических движений. Для платформ типично широкое распространение кор выветривания, отсутствие метаморфизма пород чехла, выдержаные состав и мощности чехла, морские мелководные (шельфовые), лагунные и наземные осадки, крупные структурные формы с очень пологим залеганием слоев.

Участки выходов на поверхность кристаллического фундамента древних платформ называются щиты (рис. 58). Щиты на протяжении всей истории платформы испытывают восходящие движения. На молодых платформах в качестве структур, аналогичных щитам, выделяются выступы. Участки платформ, где фундамент опущен и перекрыт чехлом осадочных пород, выделяются под названием плит. Фундамент плит состоит из блоков, которые в течение геологической истории испытали прогибание различной амплитуды. В результате глубина залегания фундамента на плитах изменяется от сотен метров до первых километров. Участки с маломощным чехлом соответствуют положительным платформенным структурам — антиклизам, сводам. Отрицательные платформенные структуры называются синеклизами, впадинами. Углы наклона слоев на

крыльях платформенных структур измеряются минутами и первыми градусами.

Строение синеклиз и антеклиз бывает осложнено отдельными антиклиналями — платформенными поднятиями. Иногда антиклинали группируются цепочками вдоль зон разломов в фундаменте и образуют валы. В синеклизах, где в разрезе чехла развиты соленосные серии, часто формируются диапировые антиклинальные складки — соляные купола.

Структуры платформенного чехла нередко осложнены разрывами, на крыльях прогибов и поднятий развиваются флексуры. Особой категорией структур, развитых на платформах, являются азлакогены — крупные грабенообразные прогибы с большими мощностями осадочного выполнения и крутыми углами наклона слоев вблизи бортов.

Развитие платформ и осадконакопление в их пределах теснейшим образом связаны с развитием смежных геосинклинальных поясов.

§ 12. ПРИНЦИПЫ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ СССР

Обоснование принципов тектонического районирования территории СССР в первую очередь связано с именами А. Д. Архангельского и Н. С. Шатского. Н. С. Шатский вместе с коллективом сотрудников в 1953 г. составил первую тектоническую карту СССР масштаба 1 : 4 000 000, на которой были воплощены идеи строения и развития земной коры с позиций теории геосинклиналей. Разработанные ими главнейшие принципы районирования получили дальнейшее уточнение при разработке легенд всех последующих карт, охватывающих территорию СССР, и в настоящее время широко признаны за рубежом.

Тектоническое районирование территории СССР опирается на историко-тектонический принцип, предопределяющий выделение участков земной коры, которые в разное время закончили геосинклинальное развитие. Как отмечалось выше, со временем завершения геосинклинального развития связаны интенсивные деформации толщ, смена состава осадочных и вулканических формаций, широкое проявление гранитного магматизма, которые в совокупности позволяют установить начало горообразования — орогенических движений, приведших к отмиранию геосинклинального развития той или иной территории и к созданию жесткой земной коры материкового типа.

Начиная с позднего протерозоя, история земной коры эпохами крупных тектонических перестроек делится на несколько тектонических периодов — «циклов»: байкальский — поздний протерозой, каледонский — ранний палеозой, герцинский — средний и поздний палеозой, альпийский — мезозой — кайнозой. Каждый из указанных тектонических периодов (циклов) заканчи-

вался горообразовательными движениями соответствующего наименования, проявлявшимися на поверхности Земли неравномерно несколькими «фазами», имеющими неодинаковое значение для разных районов.

Тектоническая периодизация геологической истории по эпохам складчатости и горообразования позволяет обосновать выделение разновозрастных тектонических структур. Геосинклинальные системы байкальской, каледонской, герцинской, альпийской тектонических эпох и складчатые сооружения, возникшие на их месте, существенно отличаются особенностями строения, развития и наборами полезных ископаемых. В их пределах неодинаково происходит формирование платформенного чехла.

При тектоническом районировании любой области в разрезе ее земной коры выделяются крупные серии — структурные комплексы, разделенные поверхностями угловых несогласий и отвечающие во времени тектоническим периодам: альпийскому, герцинскому и др. Изучая ассоциации горных пород, слагающие выделенные комплексы, формы тектонических структур, характер магматических проявлений, метаморфизм, устанавливают принадлежности всего комплекса или его части к геосинклинальным, орогенным или платформенным образованиям.

Оценивая стратиграфические объемы геосинклинальных, орогенных и платформенных образований в конкретном районе и сравнивая их с объемами подобных образований в областях, принятых в качестве эталонов (тектонотипов), выделяются области соответствующих эпох складчатости, т. е. завершивших геосинклинальное развитие к определенным временным рубежам: до позднего протерозоя (древние платформы), к концу позднего протерозоя (байкалиды или рифеиды), к середине палеозоя (каледониды), к концу палеозоя (герциниды), в середине мезозоя (мезозоиды), в неоген-четвертичное время (альпиды). Обычно байкалиды, каледониды и герциниды относят к молодым платформам.

При тектоническом районировании учитывается возраст наиболее молодого геосинклинального и орогенного комплексов, в период формирования которых образовались современные структурные формы. Если в разрезе земной коры удается выделить более древние структурные комплексы, на которых сформировался молодой геосинклинальный комплекс, то этот древний комплекс обозначается как «комплекс основания». Последний соответствует сложному и длительному периоду «доисторического» развития земной коры, когда современный структурный план еще не существовал. Следует иметь в виду, что в роли комплекса основания в геосинклинальных прогибах любой области может выступать земная кора океанического типа, т. е. непосредственно базальтовый слой.

Стратиграфические объемы структурных этажей, представ-

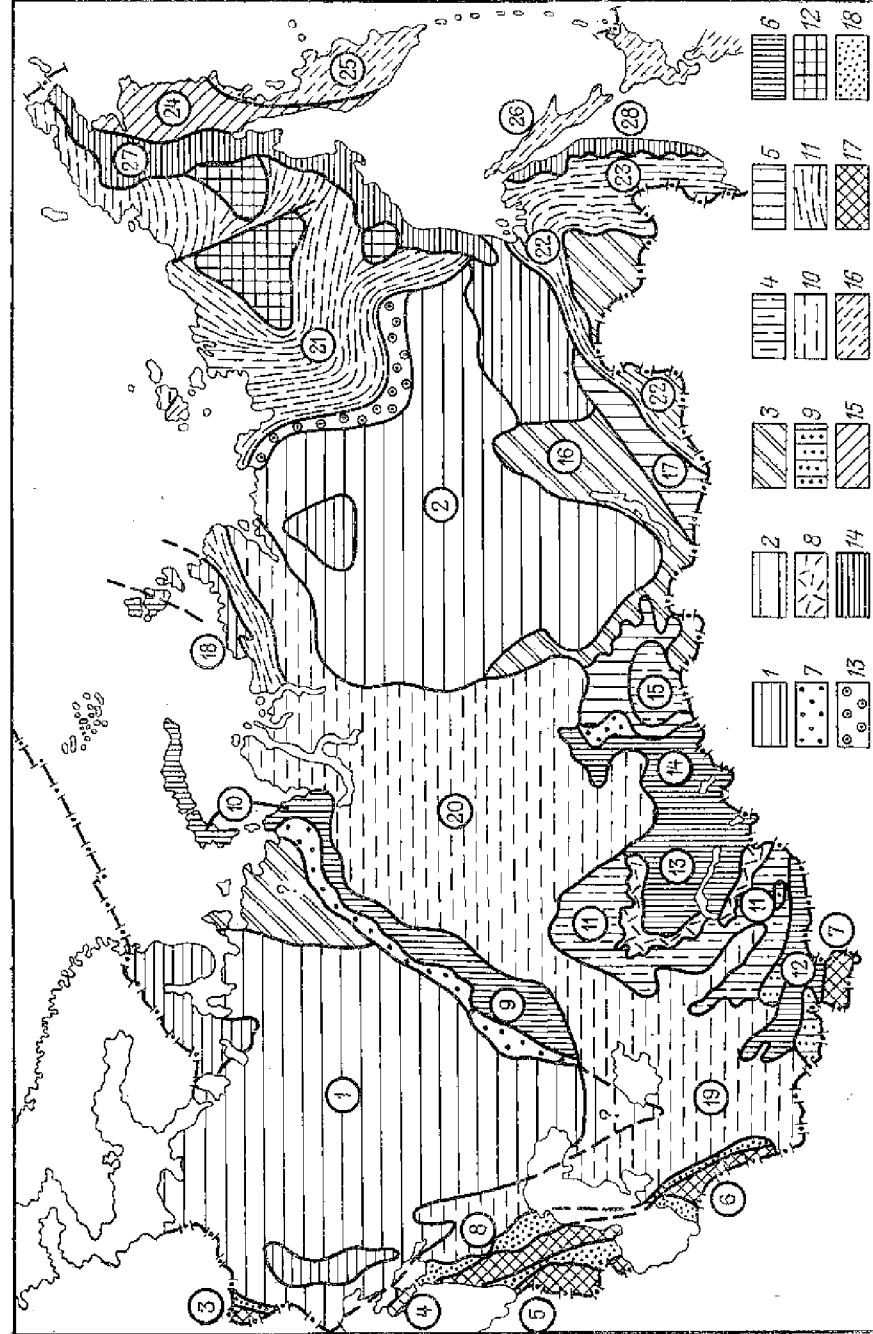


Рис. 59. Схема тектонического районирования СССР.

1 — дорифейский (долоподиапротеродорический) складчатый комплекс, находящий на поверхности; 2 — то же, перекрытый чехлом более молодых отложений; 3—6 — складчатые области Урано-Монгольского пояса; 3 — байкальские; 4 — раннекайнозойские, салайские; 5 — герцинские; 6 — герцинские краевые прогибы; 7 — герцинские впадины; 8 — средне-позднепалеовоксные вулканические пояса; 9 — мезозойские и кайнозойские впадины; 10 — эпипалеовоксные плиты; 11 — структуры Тихоокеанского пояса; 12 — области мезавоксовых складчатости, мезовоксовых срединных массивов; 13 — мезовоксовые прогибы; 14 — мезо-палеовоксовые вулканические пояса; 15 — области позднепалеовоксовой складчатости; 16 — области позднекайнозойской складчатости; 17 — области альпийской складчатости; 18 — альпийские краевые и межгорные прогибы.

Цифры в кругах обозначают основные структуры: 1 — Восточно-Европейская платформа; 2 — Сибирская платформа; 3 — Средне-Чуйская платформа; 4 — Байкальская; 5 — Кавказская; 6 — Колымская; 7 — Памирская; 8 — эпипалеовоксовые складчатые области; 9 — Урала; 10 — Скандинавская; 11 — Алтайская; 12 — Тянь-Шаньская; 13 — Джукутаро-Балтская; 14 — Северного Тянь-Шаня; 15 — Саянская; 16 — Байкальская; 17 — Селенгинско-Яблочная; 18 — Таймырско-Новоземельская; 19 — Тураланская; 20 — Западно-Сибирская; 21 — Ихокеанская; 22 — Монголо-Охотская; 23 — Сихотэ-Аянская; 24 — Анадиро-Корякская; 25 — Олекторско-Камчатско-Курильская; 26 — Охотско-Чукотский.

Таблица 9

Стратиграфические объемы структурных этажей в разновозрастных геосинклинальных областях СССР

Геосинклинальные области	Возрастной объем				Принятый цвет на тектонических картах
	«комплекса основания»	геосинклинальных формаций	орогенных формаций	платформенного чехла	
Байкальские	Дорифейский	Рифей	Венд	Ранний палеозой — кайнозой.	Серо-синий
Каледонские	Долпалеозойский	Кембрий-ордovicий, редко силур	Поздний ордовик — силур; частично девон — пермь	Мезозой — кайнозой	Сиреневый
Герцинские	Долгапалеозойский, иногда ранне-палеозойский	Девон — ранний карбон; иногда кембрий — ранний карбон	Средний карбон — пермь	Мезозой — кайнозой	Коричневый
Мезозойские	Рифейско-палеозойский	Средний карбон — поздняя юра	Поздняя юра — ранний мел	Кайнозой	Зеленый
Кайнозойские	Рифейско-палеозойский	Поздний триас (юра) — палеоген	Неоген-четвертичные	Отсутствует	Желтый

ленных образованиями разных структурных типов в разновозрастных геосинклинальных областях СССР, приведены в табл. 9.

Стратиграфические объемы геосинклинальных комплексов, развитых на территории СССР, испытывают изменения, что позволяет выделять области «ранних» и «поздних» байкалид, каледонид и т. д.

Опираясь на изложенные принципы тектонического районирования на территории СССР, удается выделить два крупных блока дорифейской консолидации коры — две древние платформы: Восточно-Европейскую и Сибирскую, а также разновозрастные геосинклинальные области. Последние группируются в три геосинклинальных пояса, разделяющих и обрамляющих древние платформы: Урало-Монгольский, Средиземноморский, Тихоокеанский (рис. 59); Урало-Монгольский пояс к началу мезозоя целиком завершил геосинклинальное развитие и превратился в молодую платформу с разновозрастным складчатым фундаментом (байкальским, каледонским, герцинским), на котором местами накопился мощный чехол платформенных образований мезозоя—кайнозоя — Западно-Сибирская и северная часть Туранской низменности. Тихоокеанский и Средиземноморский пояса превращены в молодые платформы частично.

§ 13. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СССР

Территория СССР занимает площадь 22,4 млн. км², что примерно равно 15% площади поверхности всей суши. Около 9 млн. км² составляет площадь акваторий морей, омывающих с севера и востока Советский Союз. СССР — страна с чрезвычайно разнообразным геологическим строением земной коры.

Заслуга в детальном изучении геологического строения СССР принадлежит огромному коллективу советских геологов. Основные черты строения СССР отражены на обзорных геологических картах, которые изданы в разных масштабах от 1 : 2 500 000 до 1 : 15 000 000 и мельче*. Имеется также серия специальных геологических карт СССР: тектонических, палеотектонических, палеогеографических, металлогенических и других, на которых показаны главнейшие тектонические структуры, их эволюция во времени, общие закономерности размещения полезных ископаемых на территории страны.

Знакомство с геологическим строением территории СССР — это прежде всего знакомство с разновозрастными комплексами горных пород, слагающих ее поверхность, с условиями их залегания и формирования; с общими закономерностями строения и развития земной коры и распределением в ней месторождений полезных ископаемых.

* Для изучения геологического строения СССР рекомендуется геологическая карта СССР м-ба 1 : 10 000 000, изд. 1975 г. ВСЕГЕИ; тектоническая карта Евразии м-ба 1 : 5 000 000, изд. 1963 г. АН СССР.

Ниже приводится наиболее общая геологическая характеристика крупнейших структурных элементов, выделяемых при тектоническом районировании СССР.

Восточно-Европейская платформа. Площадь Восточно-Европейской платформы соответствует территории одноименной равнины от западной государственной границы СССР и восточных склонов Восточных Карпат на западе до подножья Тиманского Кряжа и Уральских гор на востоке. На юге граница платформы проходит, примерно, от северного берега п-ова Бузачи через Астрахань, Ростов, Перекоп к устью р. Дунай.

Рассматриваемая территория обладает двухэтажным строением. Отложения верхнего протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя представлены почти неметаморфизованными осадочными породами, образующими горизонтально залегающий чехол на более древних высокометаморфизованных, сложно деформированных слоях архея — нижнего протерозоя. Последние слагают складчатый фундамент платформы.

Выходы пород складчатого фундамента на поверхность образуют два крупных участка, соответствующих двум щитам — Балтийскому (Карелия и Кольский п-ов) и Украинскому (междуречье Днестра и Днепра). В строении фундамента широко распространены гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, железистые кварциты, мраморы. Комплексы метаморфических пород прорваны интрузивными массивами, среди которых имеются граниты, габбро, диориты. Сложная складчатость вплоть до мелкой плойчатости характерна для архейских — нижнепротерозойских пород фундамента. Среднепротерозойские серии залегают местами более спокойно. С породами фундамента связаны месторождения железа (Кривой Рог, КМА), меди и никеля (Печенга), слюд, керамического сырья и пр.

Область распространения позднепротерозойско-кайнозойского чехла выделяется под названием Русской плиты. Областям глубокого залегания фундамента (более 2 км) соответствуют синеклизы: Московская, занимающая центральную и северную часть плиты, Прикаспийская, занимающая междуречье Волги и Эмбы к юго-востоку от Саратова, Балтийская, примыкающая к Балтийскому морю, а также Припятско-Днепровско-Донецкая. Последняя отделяет Украинский щит от расположенного к северу участка неглубокого залегания фундамента — Воронежской антеклизы. Сложным строением характеризуется участок плиты от долины Цны на западе до Уральских гор на востоке, известный в литературе под названием Волго-Камской (Волго-Уральской) антеклизы. На разных участках плиты чехол характеризуется неодинаковой полнотой разреза.

Рифейские обломочные толщи присутствуют в грабенообразных прогибах — авлакогенах (Пачелмский, Среднерусский, Крестцовско-Валдайский и др.), достигая значительной

мощности. Имеются они также вдоль западного и восточного краев платформы.

Песчано-глинистые вендско-кембрийские отложения развиты широко, почти во всех синеклизыах. Ордовикские и силурийские отложения ограниченно развиты на западе платформы (Прибалтика, Приднестровье). Это карбонатные и терригенно-карбонатные толщи с горизонтами фосфоритов и горючих сланцев (Эстония). Средне-верхнедевонские и каменноугольные отложения распространены почти повсеместно. В их разрезе, наряду с обломочными породами, широко развиты известняки и доломиты. В разрезе девона местами есть каменная соль. С девоном и карбоном связаны месторождения нефти и газа, с карбоном — бурый уголь, бокситы. Пермские отложения в нижней части карбонатные, местами соленосные, в верхах сменяются обломочными красноцветными толщами, которые также характерны для триаса. В разрезе юры и нижнего мела на платформе преобладают темные глины, глауконитовые песчаники. С ними связаны месторождения фосфоритов, бурых железняков, нефти и газа (Прикаспий). В южных районах в составе верхнемеловых отложений распространены мергели и писчий мел. Морские кайнозойские песчаные и песчано-известняковые толщи известны только в южных районах платформы.

Сибирская платформа. Сибирская платформа занимает пространство от долины Енисея и Енисейского кряжа на западе до долины Лены и низовьев Алдана на востоке. На севере граница проходит примерно от Дудинки на устье Хатанги; на юге — вдоль подножья хребтов Восточного Саяна и Байкало-Патомского нагорья, на юго-востоке — вдоль южных отрогов Станового хребта. Высокометаморфизованные комплексы складчатого фундамента обнажены на северо-востоке (Анабарский массив) и юго-востоке платформы (Алданский щит). Они образованы главным образом метаморфическими породами архея, которые местами прорваны более молодыми интрузиями. На Алданском щите в архейских кристаллических породах содержатся месторождения слюд, железа.

Чехол платформы включает отложения верхнего протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. В области распространения чехла выделяются несколько платформенных прогибов и поднятий. Северо-западная часть платформы занята палеозойской Тунгусской синеклизой. На востоке находится юрско-меловая Вилюйская синеклиза, открывающаяся в глубокий Приверхоянский прогиб, отделяющий Сибирскую платформу от Верхояно-Чукотской области мезозойской складчатости. Вдоль северного края платформы протягиваются мезозойские Хатангская и Лено-Анабарская впадины. Относительно приподнятый блок между перечисленными прогибами образует сложная Анабарская антиклиза с выходами на поверхность отложений протерозоя и кембрия. На юге платформы, вдоль верхнего течения р. Лены,

расположен удлиненный неглубокий Ангаро-Ленский прогиб, заполненный кембрийскими (с толщей каменной соли), ордовикскими и силурийскими отложениями. Вблизи южной границы платформы протягивается ряд впадин с угленосными юрскими отложениями.

Верхний протерозой, слагающий нижнюю часть платформенного чехла, образован карбонатными и обломочными сериями пород. В разрезе кембрая широко развиты известняки, а также соленосные толщи. Карбонатно-терригенные отложения ордовика и силура распространены в западных и центральных частях платформы. Морской терригенный и карбонатный девон и нижний карбон известны на северо-западе платформы. В бассейне р. Вилюя в девоне имеется каменная соль, а в разрезе карбона — основные туфы и лавы.

Континентальные угленосные отложения среднего и верхнего карбона, перми, а также мощные тuffогенные и лавовые серии триаса (сибирские траппы) заполняют Тунгусскую синеклизу. Многочисленные интрузии траппов развиты по ее окраинам, на склонах Анабарской антиклизы и в южных районах платформы, образуя линейные зоны вдоль разломов, секущих фундамент и отложения чехла. С траппами связаны медно-никелевые месторождения, а также месторождения железа, оптического кальцита, графита, золота. На платформе также имеются трубы взрыва, заполненные ультраосновной щелочной породой — кимберлитом. Юрские и меловые отложения представлены обломочными породами. На севере среди морских отложений выделяются прослои известняков, на юге это исключительно континентальные образования с пластами бурых и каменных углей. Кайнозойские отложения для платформы не характерны.

Сибирская платформа в отличие от Восточно-Европейской в конце протерозоя и начале палеозоя являлась областью общего погружения и почти повсеместного накопления морских, в значительной степени карбонатных отложений. В позднем палеозое, в мезозое и кайнозое она была относительно приподнята и на ней накапливались преимущественно континентальные отложения.

Сибирская платформа отличается высокой степенью тектонической активности. На ней много разломов, пересекающих чехол, и флексур; широко проявлен основной и щелочной магматизм.

Складчатые области Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов. Разновозрастные складчатые области, составляющие Урало-Монгольский пояс, отделяют Восточно-Европейскую платформу от Сибирской, опоясывая последнюю дугой с севера, запада и юга. По линии глубинного разлома, прослеживающегося вдоль Алайской долины, южных склонов Гиссара, через Нукус к северному побережью п-ова Манышлак,

Урало-Монгольский пояс сочленяется со Средиземноморским, расположенным южнее и юго-западнее Восточно-Европейской платформы.

Урало-Монгольский пояс представляет собой молодую платформу, на которой начиная с юры формировались обширные области прогибания — плиты с мощным мезозойско-кайнозойским чехлом (Западно-Сибирская, северная часть Туранской) и крупные положительные структуры, аналогичные щитам древних платформ, где на поверхности обнажены складчатые докембрийские и палеозойские серии, образующие фундамент молодой платформы.

Внешняя северная часть Средиземноморского пояса также является молодой платформой с докембрийско-палеозойским фундаментом, перекрытым мезозойско-кайнозойским чехлом — Равнинный Крым, Северное Предкавказье (Скифская плита) и южная часть Туранской плиты. Внутренняя часть Средиземноморского пояса относится к области кайнозойской (альпийской) складчатости, ныне испытывающей горообразование (Карпаты, Горный Крым, Кавказ и др.).

В пределах выступов фундамента молодых платформ рассматриваемой территории удается выделить участки, завершившие геосинклинальное развитие в конце протерозоя — середине кембрия (байкалиды и ранние каледониды), участки с геосинклинальным развитием в течение всего раннего палеозоя (кембрий — ордовик), также в течение всего палеозоя (каледониды и герциниды соответственно). На основе геофизических исследований такие же участки устанавливаются под чехлом Западно-Сибирской, Туранской и Скифской плит.

Области байкалид и ранних каледонид. Складчатые структуры байкалид и ранних каледонид (салаярид) занимают большие площади во внешних зонах Урало-Монгольского пояса. Во внутренней части пояса они переработаны более молодыми процессами геосинклинального развития, но частично сохранились в виде срединных массивов. К областям байкальской и раннекаледонской складчатости относятся Северо-Байкальское и Патомское нагорья, Витимское плоскогорье, хребты южной Сибири от Кузнецкого Алатау на западе до Восточного Саяна и Южного Прибайкалья на востоке, Енисейский кряж, Приенисейские зоны поднятий (Турюханско, Игарское).

С байкальской эпохой складчатости связано формирование фундамента Тиманского кряжа и Печорской синеклизы. Под чехлом восточной окраины Западно-Сибирской плиты байкальские и раннекаледонские структуры протягиваются вдоль левобережья р. Енисей. Аналогичные по времени формирования блоки фундамента установлены на Туранской плите (Устюрт, Центральные Каракумы и др.) и в центральной части Западно-Сибирской плиты.

В строении областей байкальской складчатости главную роль играют мощные докембрийские, преимущественно рифейские толщи, метаморфизованные и смятые в сложные линейные складки. В разрезе геосинклинального комплекса (рифей) развиты различные типы осадочных и осадочно-вулканогенных толщ. Вендинские обломочные накопления рассматриваются в качестве молассы. Для байкалид характерны крупные массивы гранитоидов позднего рифея — венда. Местами в пределах байкалид есть более молодые (девонские, мезозойские) кислые интрузии. С байкальскими структурами очень тесно связаны раннекаледонские (салаярские). Не исключено, что их относительная роль выше, чем собственно байкальских. В разрезе геосинклинального комплекса салаираид наряду с верхним протерозоем присутствует нижний и средний кембрий, представленный мощными осадочно-вулканогенными сериями морских отложений. Молассовый комплекс салаираид образован красноцветными обломочными толщами верхнего кембра: возраст гранитоидов — позднекембрийский.

На байкало-раннекаледонском блоковом основании местами сформировались крупные наложенные впадины, заполненные обломочно-вулканогенными толщами девона, обломочными толщами карбона и перми (Рыбинская, Минусинская впадина и др.). Девон-пермские отложения, заполняющие впадины, образуют коробчатые структуры, связанные с разломами в фундаменте. В ряде впадин присутствует континентальный мезозой и кайнозой. Некоторые блоки, непосредственно примыкающие к древним платформам, как бы нарастили их площадь, и здесь с раннего палеозоя формируется общий платформенный чехол (Тимано-Печорская плита и др.).

В областях байкальской и раннекаледонской складчатости известны месторождения слюд, железа, золота, талька, асбеста, меди, бокситов. С чехлом впадин местами связаны уголь, нефть, минеральные воды.

Области каледонид и герцинид. К областям, завершившим геосинклинальное развитие в конце ордовика — силура (каледониды), относятся Северный Тянь-Шань, западная часть Центрального Казахстана. По-видимому, каледонидами является часть Горного Алтая и Тувы.

В строении каледонид широко развиты морские кембрийские и ордовиковые осадочные и осадочно-вулканогенные серии пород, смятые в сложные линейные складки. В ядрах антиклиниориев, на массивах обнажен докембрый. Силур и более молодые отложения обычно относятся к молассам. Местами (Северный Тянь-Шань) каледонские структуры проплавлены огромными массивами раннепалеозойских гранитоидов. Для области каледонид, так же как для байкалид и салаираид, характерны крупные межгорные впадины — Тенизская, Джезказганская, Тувинская, выполненные морскими и континентальными, часто обло-

мочными накоплениями девона, карбона и перми. Владины являются наложенными новообразованными структурами: некоторые (Тувинская) унаследуют положение крупных глубинных разломов.

К позднепалеозойским (герцинским) областям принадлежат Урал, Южный Тянь-Шань, восточная часть Центрального Казахстана (Прибалхашье) и Восточный Казахстан, Рудный Алтай, Южный Таймыр (?), полоса Восточного Забайкалья и Примурье между Сибирской платформой и докембрийскими структурами Буреинского массива (Монголо-Охотская складчатая система).

Герцинские складчатые структуры образованы в основном морскими геосинклинальными осадочными и вулканогенными формациями нижнего палеозоя, девона и нижнего карбона, собранными в линейные складки. Докембрийские метаморфические породы в их пределах выходят на поверхность в ядрах антиклиниориев. В отдельных межгорных впадинах они перекрыты континентальными молассами верхов карбона и перми. Осадочные и вулканогенные породы в герцинских областях прорваны крупными гранитными массивами (верхний карбон — пермь). Позднепалеозойские интрузии развиты также в областях более ранних эпох складчатости. Мезозойские комплексы обычно представлены морскими и континентальными терригенными отложениями платформенного типа; только местами нижний мезозой (триас — юра) обладает большими мощностями и близок к геосинклинальным образованиям (Монголо-Охотская система, Южный Таймыр и пр.). Некоторые участки пояса (Чишгиз, Горный Алтай, Срединный Тянь-Шань) испытали каледонское горообразование. Однако оно не привело к полной ликвидации геосинклинальных структур в девонский и каменноугольный периоды. Только позднепалеозойские горообразовательные движения привели к полной консолидации отмеченных районов. В результате некоторые геологи относят указанные структуры к каледонидам с остаточными «герцинскими» прогибами; другие — к герцинидам, для которых важное значение имели каледонские горообразовательные движения.

Области каледонид и герцинид богаты различными полезными ископаемыми: рудами железа, меди, алюминия, никеля, хрома, олова, полиметаллов, асбестом и тальком, рядом других полезных ископаемых. В межгорных впадинах много месторождений угля, каменной соли; имеется нефть.

Плиты Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов. На обширной площади, занятой Западно-Сибирской, Туранской и Скифской плитами, фундамент образован рифейско-палеозойскими складчатыми комплексами такими же, как и в горном обрамлении плит.

В составе фундамента Западно-Сибирской плиты выделяются отдельные позднепротерозойские массивы, которые окаймлены

более молодыми (каледонскими и герцинскими) системами структур. Континентальные, вулканогенные и угленосные отложения триаса — низов юры выполняют отдельные грабены в фундаменте плиты (Челябинский и др.). Полиый разрез чехла на Западно-Сибирской плите представлен внизу континентальными угленосными отложениями (нижняя и средняя юра), морскими глинисто-песчаными толщами верхней юры — нижней части мела, континентальными толщами нижнего мела; морскими глинистыми толщами верхнего мела — эоцен, морскими глинами олигоцена. Неогеновые и антропогеновые отложения обычно континентальны. Мезозойско-кайнозойский чехол залегает почти горизонтально, образуя отдельные своды и прогибы; местами отмечаются флексуры и разломы.

Скифская плита, заключающая равнинные территории Крыма и Предкавказья, имеет фундамент, в составе которого выделяются блоки верхнепротерозойских пород, спаянные воедино складчатым геосинклинальным палеозоем. На байкальских массивах местами развиты полого залегающие палеозойские отложения, прорванные позднепалеозойскими интрузиями. Платформенный чехол повсеместно включает меловые — антропогеновые отложения. Нижние горизонты чехла (триас — юра) развиты неповсеместно, часто залегают в грабенах. Местами они дислоцированы, прорваны интрузиями (Ейско-Березанская складка Северного Кавказа, Тарханкутские складки Крыма). В строении чехла развиты глинисто-песчаные толщи (нижний мел, палеоген) и мергельно-меловые толщи (верхний мел). Они слагают ряд впадин и выступов.

Туранская плита обладает фундаментом, состоящим из нескольких крупных докембрийских массивов, разделенных позднепалеозойскими складчатыми системами. Северо-восточная часть плиты имеет каледонский фундамент. В фундаменте выделяются также крупные грабены, заполненные морскими и континентальными, часто вулканогенными отложениями триаса (Мантышлак, Туаркыр, Карабиль). Чехол южной и северо-западной частей плиты обладает наибольшей полнотой разреза и включает отложения нижней юры — кайнозоя, среди которых широко развиты морские терригенно-карбонатные накопления. На северо-востоке плиты и в Кустанайской седловине чехол состоит из меловых — кайнозойских отложений, в разрезе которых много континентальных образований.

Чехол послепалеозойских плит содержит нефть и газ, минеральные и пресные воды. Здесь имеются месторождения угля, бокситов, железа, серы, каменной соли, разнообразных строительных материалов.

Значительные участки плит и выступов фундамента молодой платформы Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов после периода относительного тектонического покоя в течение мезозоя и палеогена, во время которого на поднятиях формиро-

вались коры выветривания, а в прогибах — чехол платформенных отложений, в неоген-четвертичное время испытали активизацию тектонических движений. Последняя выразилась в образовании крупных сводово-глыбовых поднятий в виде горных массивов и разделяющих их межгорных впадин. К структурам этого типа относятся высочайшие хребты Тянь-Шаня и Северного Памира, Алтай, Саяны, хребты Забайкалья, а также крупные впадины: Ферганская, Нарынская, Иссыккульская, Зайсанская, Байкальская и многие другие. В несколько ослабленном виде неоген-четвертичный орогенез проявился на Урале. Проявление орогенных процессов после платформенного этапа развития обусловливает отнесение данных районов к эпиплатформенным орогенам.

Область кайнозойской (альпийской) складчатости. Внутренняя зона Средиземноморского пояса (Карпаты, Горный Крым, Кавказ, Копетдаг, Срединный и Южный Памир) отличается тем, что мезозойские и кайнозойские отложения в ней представлены геосинклинальным типом формаций. Обособление внешней (платформенной) и внутренней (геосинклинальной) зон началось с позднего триаса — юры.

Восточные Карпаты на территории СССР образованы в основном меловыми и палеогеновыми флишевыми сериями. Подчиненную роль играют выступы основания геосинклинальных комплексов (нижний мезозой, палеозой и докембрий). Для Карпат характерна сложная складчатая структура с многочисленными надвигами. От Восточно-Европейской платформы Восточные Карпаты отделены глубоким Предкарпатским краевым прогибом.

Горный Крым представляет собой обособленное антиклинальное сооружение, южное крыло которого погружено под уровень Черного моря. В ядре Крымского антиклинального поднятия обнажены песчано-глинистые, карбонатные и вулканогенные отложения геосинклинального типа (верхний триас, юра, частично нижний мел). Северное крыло образовано полого залегающими породами мела — палеогена платформенного типа. Главные проявления интрузивного и эфузивного магматизма относятся к средней юре.

Сложная складчатая структура Большого Кавказа образована различными по составу геосинклинальными комплексами палеозоя, мезозоя и палеогена, нарушенными многочисленными разломами и прорванными разновозрастными интрузиями. В ядрах наиболее поднятых структур обнажаются метаморфические породы верхнего докембра. Докембрейские и палеозойские породы слагают доальпийское основание; мезозой и палеоген образуют альпийский геосинклинальный комплекс, мощности которого достигают наибольших значений на южном склоне Крымского мегантиклинория в районе Большого Кавказа. Песчано-глинистые и карбонатные породы юры, мела, палеогена на

северном крыле мегантиклинория залегают полого, моноклинально, на южном крыле они лежат круто, смяты в складки, осложненные надвигами. Верхнеюрские — палеогеновые отложения на западе и востоке южного крыла представлены флишевыми сериями. К северу от Большого Кавказа располагаются Индоло-Кубанский и Терско-Каспийский краевые прогибы неоген-четвертичного возраста, а к югу — Рионско-Куринская зона межгорных впадин, разделяющая мегантиклинории Большого и Малого Кавказа. В геологическом строении Малого Кавказа главная роль принадлежит осадочно-вулканогенным образованиям юрского, мелового и палеогенового возрастов. Структура Малого Кавказа — блоковая. Крупные участки перекрыты мощными, полого залегающими толщами неогеновых и четвертичных лав.

Копетдаг представляет собой сравнительно просто построенное складчатое сооружение, образованное на поверхности карбонатно-глинистыми комплексами мелового и палеогенового возрастов со складками, опрокинутыми к северу в сторону Предкопетдагского прогиба, отделяющего Копетдаг от Туранской плиты. В пределах Центрального Памира развиты собранные в сложные складки, осложненные надвигами, осадочные геосинклинальные комплексы палеозойского и мезозойского возрастов, а на Южном Памире — метаморфические породы докембра и крупные массивы гранитов различного возраста (главным образом меловые).

Во внутренней зоне Средиземноморского пояса расположены глубоководные котловинные моря — Черное и южная часть Каспия. Они обладают корой океанического типа с увеличенным по мощности осадочным слоем.

Полезные ископаемые в рассмотренной территории чрезвычайно разнообразны. Здесь имеются месторождения руд железа, меди, свинца и цинка, олова, марганца; месторождения угля, каменной соли, ценных строительных материалов, минеральных вод. В краевых прогибах и межгорных впадинах сконцентрированы месторождения нефти и газа.

Тихоокеанский геосинклинальный пояс. Тихоокеанский пояс занимает площадь к востоку от Сибирской платформы и Буреинского массива. Восточной границей пояса служит система Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов, отделяющих структуры пояса от центральной части впадины Тихого океана. Тихоокеанский пояс включает складчатые области, завершившие геосинклинальное развитие в середине или в конце мезозоя (Верхояно-Чукотская и Сихотэ-Алинская области мезозойд), зоны кайнозойской складчатости (Корякское нагорье, Камчатка, Сахалин), а также современную геосинклинальную область, состоящую из островных гряд (Курильская, Алеутская), сопряженных с ними глубоководных желобов и котловин окраинных морей (Японского, Охотского, Берингова). На территории

Советского Союза мезозоиды образуют внешнюю зону пояса, область кайнозойской складчатости и современные геосинклинали — внутреннюю.

Верхояно-Чукотская складчатая область занимает Северо-Восток СССР. В ее границах широко развиты пермские, триасовые и юрские отложения, образующие несколько крупных антиклинальных и синклинальных зон. Геосинклинальный комплекс (средний карбон — средняя юра) образован мощной серией морских глинисто-песчаниковых отложений, среди которых вулканические породы занимают подчиненное место. Крупнейшими положительными структурами области являются Верхоянский мегантиклинарий, антиклинарий Сетте-Дабана, Анюйский, Чукотский, Тас-Хаяхтахский, Момский, Полосуненский и др. В строении трех последних важная роль принадлежит комплексу основания мезозоид. Крупнейшая отрицательная структура — Яно-Индигирская (Яно-Колымская) синклинальная зона, сложена на поверхности триасово-юрскими отложениями. Молассовый орогенный комплекс (верхняя юра — низы мела), в значительной степени угленосный, заполняет Приверхоянский краевой прогиб, а также несколько крупных внутренних унаследованных прогибов и межгорных впадин (Ольджайская, Момско-Зыряновская). Важная роль в структуре области принадлежит выступам докембрийского основания, местами перекрытого чехлом палеозойских и мезозойских отложений (Колымский, Охотский, Омолонский, Чукотский и другие массивы). Позднеюрско-раннемеловые и позднемеловые — палеогеновые гранитоиды образуют вдоль зон глубинных разломов крупные массивы. Верхнемеловой — кайнозойский комплекс развит ограниченно; образован главным образом континентальными угленосными и вулканическими сериями. В низовьях рек Яны, Индигирки, Колымы кайнозойские породы перекрывают плащом геосинклинальные и орогенные структуры, слагая платформенный чехол, выстилающий шельфы морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

Сихотэ-Алинская складчатая область отличается от Верхояно-Чукотской широким распространением вулканогенно-кремнистых толщ среднего и верхнего палеозоя и мезозоя, а также более поздним завершением геосинклинального осадконакопления (конец позднего мела). В конце мела и кайнозое Сихотэ-Алинская область подверглась орогенезу с накоплением обломочных и вулканических пород.

Структуры мезозоид отделены от расположенной к востоку области кайнозойской складчатости системой глубинных разломов, которыми контролировались вулканические излияния и внедрение интрузий на протяжении позднего мела и кайнозоя. Положению разломов соответствует Охотско-Чукотский и Восточно-Сихотэ-Алинский окраинные вулканические пояса — поля развития меловых и палеогеновых эфузивов.

Внутренняя часть пояса включает Корякское нагорье, п-ов Камчатку, Курильские и Командорские о-ва, о. Сахалин и дно прилежащих морей — Берингова, Охотского, Японского. Восточной границей области служит глубоководный Курило-Камчатский желоб. Местоположение желоба соответствует выходу на поверхность зоны глубокофокусных землетрясений (зона Заваричского—Беньофа), связанный с крупнейшими глубинными разломами в земной коре и верхнейmantии.

Гряды островов рассматриваются в качестве положительных геосинклинальных структур (геоантеклиналей); глубоководные котловины (Берингоморская, Южнокурильская) и глубоководные желоба (Курило-Камчатский, Алеутский) являются отрицательными структурами (геосинклинальными прогибами), в разрезе земной коры которых отсутствует «гранитный» слой. Часть дна Охотского и Японского морей представляет собой погруженные жесткие срединные массивы среди линейно вытянутых геосинклинальных прогибов и геоантеклинальных поднятий. Большая часть площади является областью современного осадконакопления и характеризуется активной сейсмичностью и интенсивным вулканизмом (вулканы Камчатки и Курильских островов). Главную роль в геологическом строении играют мощные осадочные и вулканогенно-осадочные комплексы мелового, палеогенового и неогенового возрастов, а также четвертичные отложения, собранные в системы складчатых структур. Более древние породы имеют триас-юрский возраст. На Камчатке развиты метаморфические комплексы палеозоя и мезозоя. На Курильских островах наиболее древними являются верхнемеловые песчано-глинистые отложения.

Главными полезными ископаемыми территории Тихоокеанского пояса являются руды олова, полиметаллов, ртути, золота, а также уголь, нефть. Области современного вулканизма богаты горячими минеральными водами.

Глава IV

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 14. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Учение о месторождениях полезных ископаемых является специальной геологической дисциплиной, изучающей условия образования месторождений полезных ископаемых, основные закономерности распределения их в земной коре и экономическое значение отдельных типов месторождений.

Учение о месторождениях полезных ископаемых основывается на фактических данных, полученных при эксплуатационных и поисково-разведочных работах, и полностью зависит от интенсивности развития горной промышленности и полноты использования полученных при этом геологических данных.

Полезным ископаемым принято называть природное скопление минерального вещества в земной коре, образовавшееся под влиянием геологических процессов, из которого можно извлекать металлы или минералы с целью промышленного их использования в народном хозяйстве. Полезные ископаемые находятся в твердом, жидким или газообразном состоянии.

Месторождением полезного ископаемого называют участок земной коры с характерной структурой, в котором полезное ископаемое образует рудные тела, разработка которых в количественном, качественном и экономическом отношениях удовлетворяет требованиям промышленности.

Рудное тело или залежь — обособленное скопление полезного ископаемого (руды), отчетливо ограниченное от окружающих пород.

Рудопроявление — скопление полезного ископаемого в земной коре, непригодное для эксплуатации или еще недостаточно изученное.

Руда — агрегат минералов, из которого технологически возможно и экономически целесообразно извлекать металлы или металлическое соединение. Раньше термин «руда» применялся только для металлических полезных ископаемых; сейчас он широко применяется и для неметаллических полезных ископаемых (серные, асbestosовые, графитовые, фосфоритные руды и т. д.).

Рудное поле — группа месторождений, объединяемых общностью происхождения и единством геологической струк-

туры. Площадь рудных полей — от нескольких до десятков квадратных километров. Для изучения структуры рудных полей и месторождений проводят детальное изучение тектонических элементов (складок, трещин, разрывов и т. д.), а также интрузивных массивов, играющих важную роль в локализации оруденения.

По применению в народном хозяйстве полезные ископаемые подразделяются на три основные группы.

1. Металлические полезные ископаемые, к которым относятся руды железа, марганца, меди, свинца, цинка, никеля, хрома, золота, урана и др. Среди металлических руд могут быть монометальные (железные, хромовые, золотые и т. д.), из которых извлекается в основном один металл; биметаллические, из которых извлекается два металла (свинцово-цинковые, медно-молибденовые и т. д.), полиметаллические руды с цинком, свинцом, медью, серебром и золотом; руды месторождений «пятиэлементной» формации с никелем, кобальтом, ураном, висмутом и серебром и т. п. Очень часто в рудах кроме основных компонентов содержатся примеси других металлов, в том числе и рассеянных, которые повышают общую ценность руды.

2. Неметаллические полезные ископаемые используются либо в естественном (строительные камни и строительные материалы — граниты, лабрадориты, пески, глины, гравий, известняки и т. д.), либо в переработанном (калийные соли, фосфаты, бораты, апатит-нефелиновые руды и т. д.) виде.

3. Горючие полезные ископаемые — это минеральные вещества, извлекаемые из недр Земли и используемые в современной промышленности как энергетическое топливо или как сырье для металлургической и химической промышленности. Среди полезных ископаемых этой группы выделяются: твердые — ископаемые угли, горючие сланцы, твердые битумы; жидкые — нефть; газообразные — горючие газы.

Важнейшим для человечества полезным ископаемым является вода.

Месторождения, разработка которых при существующих технико-экономических условиях является рентабельной, называются промышленными; месторождения, которые в тех же условиях разрабатывать экономически нерентабельно, называются непромышленными.

Экономическое развитие нашей страны базируется на собственных топливно-энергетических ресурсах. На базе железных руд и угля создана мощная отрасль промышленности — черная металлургия; меди, свинца, цинка, алюминия и других цветных металлов — цветная металлургия; угля, нефти и газа — топливно-энергетическая промышленность. Различные виды неметаллических полезных ископаемых — калийные соли, фосфориты, сера и др. — являются основой химической промышлен-

ности и минеральных удобрений. Горные породы широко используются в качестве строительных материалов.

Коммунистическая партия Советского Союза и Советское Правительство всегда уделяли большое внимание развитию и укреплению минерально-сырьевой базы, являющейся основой промышленного производства. В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы», утвержденных XXV съездом КПСС, перед советскими геологами поставлены огромные задачи по увеличению минерально-сырьевых ресурсов.

Крупные монографические обобщения, выполненные в различных областях теории образования месторождений полезных ископаемых А. Н. Заварицким, А. Е. Ферсманом, В. И. Вернадским, А. Д. Архангельским, Д. В. Наливкиным, С. С. Смирновым, Ю. А. Билибиным, Л. И. Лутугиным, П. И. Степановым, И. М. Губкиным, М. А. Усовым, П. И. Преображенским, А. Г. Бетехтиным и многими другими учеными, обеспечили нашей стране одно из ведущих мест в мировой науке о полезных ископаемых.

§ 15. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Понятие о миграции химических элементов в земной коре. Химические элементы в земной коре находятся в постоянной миграции. Перемещение их происходит главным образом в жидкой и газовой фазах и прежде всего при переносе вещества из верхней мантии в земную кору. В широких масштабах миграция наблюдается в магматических расплавах, их дифференциатах и особенно интенсивно в постмагматических газовых и жидким растворах. Имеет место миграция химических элементов и в твердой фазе в горных породах. Разнообразное перемещение элементов происходит при метаморфических процессах и прежде всего в растворах метаморфогенного происхождения, а также в больших масштабах осуществляется при экзогенных процессах как посредством вод поверхностного стока, так и в водах подземной циркуляции.

Миграционная способность химических элементов определяется свойствами самого химического элемента, соотношением температуры, давления и характером среды (щелочная, кислотная, окислительно-восстановительная обстановка и т. п.). В зависимости от геохимических условий элементы способны изменять свою миграционную способность, но тем не менее выделяют химические элементы с очень высокой миграционной способностью (хлор, бром, иод, азот, натрий), с высокой (калий, кальций, германий, уран, железо), со средней (алюминий, кремний, магний, торий) с низкой (ниобий, tantal) и очень низкой (платиновые металлы).

Геохимические условия в одних случаях приводят к распределению химических элементов в земной коре, в других — к их концентрации в виде месторождений полезных ископаемых.

Структурно-текстурные особенности руд. Изучение текстур и структур руд имеет важное значение, так как позволяет проследить процесс минералообразования при формировании месторождений полезных ископаемых.

Структура руды определяется формой, размерами и характером срастания отдельных минеральных зерен. Различают: равномернозернистую структуру, неравномернозернистую, пластинчатую, волокнистую, зональную, ориентированную тесного срастания, окаймления, замещения, дробления, коломорфную, сферолитовую, обломочную.

Под текстурой руды понимаются те особенности ее строения, которые определяются пространственным расположением слагающих ее минеральных агрегатов, различающихся по минеральному составу и структурам. Различают: массивную текстуру, пятнистую, полосчатую, прожилковатую, сфероидальную, почковидную, текстуру дробления, пустотную, каркасную, рыхлую.

15.1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В зависимости от геологических процессов, обусловливающих скопление минерального вещества в недрах, все месторождения полезных ископаемых принято разделять на эндогенные, экзогенные и метаморфогенные.

Эндогенные месторождения полезных ископаемых формируются в результате воздействия внутренней энергии Земли и связаны с магматическими процессами. В процессе дифференциации и кристаллизации огненно-жидких силикатных расплавов и образования изверженных пород происходит формирование различных типов матматических месторождений полезных ископаемых (ликвационный, раннемагматический, позднемагматический, пегматитовый, карбонатитовый, скарновый, гидротермальный).

При ликвации (разделение жидкой магмы по удельному весу на рудный и силикатный расплав) образуются ликвационные сульфидно-медно-никелевые месторождения среди основных и ультраосновных пород. Этот тип месторождений встречается редко.

Некоторые рудные минералы (хромит, платина, алмаз) и редкоземельные минералы (лопарит, монацит, циркон и др.) обладают способностью кристаллизоваться раньше силикатных минералов (оливин, пироксен) и приводят к образованию раннемагматических месторождений вкрапленных руд в ультраосновных (рудные минералы) и щелочных (редкоземельные минералы) породах.

Если рудные минералы кристаллизуются после силикатных минералов, то остаточный рудный расплав, выполняя трещины в интрузивном теле, приводит к образованию позднемагматических месторождений хромита и платины в ультраосновных породах, титано-магнетита и ильменита в основных, магнетита и апатита в породах сиенитового состава и графита от ультраосновных до кислых и щелочных.

Формы рудных тел магматических месторождений разнообразны: жилы, линзы, гнезда, штоки, столбообразные тела, залежи неправильной формы.

Пегматитовые месторождения полезных ископаемых возникают на завершающих этапах остывания интрузивных массивов и локализуются вблизи их кровли. Остаточная силикатная магма, обогащенная высокоминерализованными летучими соединениями, является источником целого ряда полезных ископаемых. При разработке пегматитов получают керамическое сырье, мусковит, флюорит, драгоценные камни, руды лития, берилля, иногда руды олова, вольфрама, урана, тория, ниобия, tantalа и др. Пегматиты встречаются среди изверженных пород любого состава, но промышленное значение имеют гранитные пегматиты, щелочные пегматиты. Форма залегания пегматитов — жилы.

Карбонатитовые месторождения полезных ископаемых образованы эндогенными существенно карбонатными породами, генетически и пространственно связанными с интрузивами ультраосновного и щелочного состава. Карбонатиты содержат руды ниobia, редких земель, повышенные концентрации tantalита, апатита, вермикулита, флюорита, железа и др. Залежи карбонатитов образуют штоки, дайки, жилы.

Скарновые, или контактово-метасоматические, месторождения полезных ископаемых образуются под воздействием магмы или пневматолито-гидротермальных растворов на вмещающие карбонатные, реже силикатные породы на контакте с интрузией или в глубине вмещающих пород. Различают скарны известковые (замещение известняков), магнеziальные (замещение доломитов) и силикатные (замещение пород силикатного состава). Наибольшее значение имеют известковые скарновые месторождения железа, кобальта, меди, платины, вольфрама, бора, свинца, цинка, золота, олова, редких земель, тория и урана. Формы залегания скарновых месторождений обычно разнообразны: сложные ветвящиеся тела, гнезда, жилы, линзы, трубки, штоки и др.

Гидротермальные месторождения полезных ископаемых формируются путем осаждения в пустотах горных пород минеральных масс из горячих минерализованных газово-жидких растворов. Наличие пустот в горных породах обусловлено их составом, строением, трещиноватостью, наличием разломов, внутрипластовых и межпластовых отложений. С гидротермаль-

ными месторождениями связаны скопления ртути, сурьмы, исландского шпата, меди, свинца, цинка, барита, молибденита, золота, урана, серебра, кобальта, никеля, кассiterита, вольфрамита, флогопита, графита и др.

Экзогенные месторождения полезных ископаемых образуются в результате химической, биохимической и механической дифференциации веществ под воздействием внешней солнечной энергии. Среди экзогенных месторождений различают: месторождения выветривания, россыпные и осадочные.

Месторождения выветривания генетически связаны с формированием кор выветривания. В зависимости от конкретных условий различают остаточные и инфильтрационные месторождения.

Остаточные месторождения полезных ископаемых образуются при разрушении горных пород за счет растворения и выноса ряда минералов химически неустойчивых вблизи поверхности Земли. В результате на коренных породах происходит накопление таких полезных ископаемых, как бокситы, каолиниты, апатит, барит, бурые железняки, магнетит, марганец и др. Форма рудных тел остаточных месторождений неправильная пластиообразная с неровной нижней границей, реже это гнезда, штоки.

Воды, циркулируя в зоне выветривания, растворяют ценные минеральные вещества и переносят их. При определенных физико-химических условиях рудные минералы выпадают в осадок и скапливаются в других породах, образуя инфильтрационные месторождения меди, железа, урана, ванадия и т. д. Наиболее распространенные формы залегания рудных тел инфильтрационных месторождений: неправильные пластиообразные залежи, карманы, гнезда, прожилки, прослои, вкрашенники.

Россыпные месторождения — скопления на земной поверхности мелких обломков горных пород, содержащих ценные минералы, обладающие высокой плотностью и прочностью, а также химической устойчивостью в зоне окисления. Россыпи образуются в результате разрушения коренных месторождений или горных пород, содержащих минералы в рассеянном состоянии. При переносе обломочного материала проточными водами минеральные зерна сортируются по плотности и крупности и отлагаются вместе с другими обломками горных пород в русле или в долине реки. Россыпные месторождения различают: по происхождению (аллювиальные, элювиальные, делювиальные), по времени образования (современные, древние), по условиям залегания (открытые, погребенные). Россыпные месторождения алмаза, титана, вольфрама, олова, золота, платины, tantalа, ртути и других металлов имеют важное промышленное значение.

Осадочные месторождения формируются в результате механического (гравий, песок, глины), химического (соли, гипс,

ангидрит, бораты, барий, железо, марганец, алюминий и др.) и биохимического (фосфориты, карбонаты, кремнистые породы, угли, горючие сланцы) осаждения минералов или руд в водных бассейнах. Среди них различают озерные, болотные, речные, морские месторождения. Осадочные месторождения всегда приурочены к определенным стратиграфическим горизонтам. Форма залежей — пластины, линзы.

Метаморфогенные месторождения полезных ископаемых образуются при метаморфизме эндогенных и экзогенных месторождений в результате регионального или термального (контактового) метаморфизма. Высокое давление, высокие температуры и водные растворы различных концентраций приводят к уплотнению и перекристаллизации полезных ископаемых, изменению их минерального состава, миграции отдельных элементов. Среди метаморфогенных месторождений выделяют: метаморфизованые, полезные ископаемые в которых при метаморфизме не изменяют основных физико-химических свойств и промышленного применения (из оболитовых фосфоритов образуется апатит, из бокситов — гидроксиды, из бурого железняка и сидерита — магнетит и т. д.) и метаморфические, которые могут заново образоваться из горных пород, не имевших ранее промышленной ценности (песчаники превращаются в кварциты, известняки — в мрамор, угли — в графит и т. д.).

Глава V

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 16. ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

Геохимия углерода и его круговорот в природе. Геохимическая история углерода сложна и многое еще до сих пор остается невыясненным. В свободном состоянии углерод встречается в природе в виде алмаза и графита. Значительно шире углерод распространен в различных соединениях. Он входит в состав многих минералов, горных пород, горючих полезных ископаемых и т. д. Углерод входит в состав таких газов, как метан (CH_4) и углекислый газ (CO_2), которые в больших количествах выносятся в атмосферу при биохимических, метаморфических, вулканических и других глубинных процессах. Попадая в атмосферу, метан быстро подвергается разложению. Образовавшийся углерод входит в качестве основного компонента в состав сложных органических соединений. В результате окисления углерода живые организмы получают необходимую для поддержания жизнеспособности энергию. В процессе жизнедеятельности организмов значительная часть углерода снова возвращается в атмосферу в форме CO_2 .

Усвоение углерода из углекислоты воздуха растениями совершается благодаря способности к такой ассимиляции хлорофилла под воздействием солнечных лучей (фотосинтез). Реакция, которая при этом происходит, является реакцией эндотермической, требующей определенной затраты энергии. Следовательно, фотосинтез — это процесс концентрирования солнечной энергии в виде углерода. Ежегодно зеленые растения связывают громадное количество углерода — около $1,5 \cdot 10^{11}$ т.

После отмирания организмов часть органического вещества разлагается бактериями с выделением углерода в форме углекислого газа и метана. Другая часть органического вещества минерализуется, углерод переходит в состав минеральных соединений, среди которых наибольшим распространением пользуется кальцит. Попав в метаморфическую оболочку земной коры, минеральные соединения углерода при нагревании разлагаются, в результате чего образуются углекислый газ и частично метан, которые снова возвращают углерод в атмосферу, где содержание CO_2 равно 0,03 %.

Циклический процесс круговорота углерода в природе изображен на рис. 60. Переход элементов из газообразной в жидкую или твердую фазу и обратно является частью общего процесса круговорота вещества в природе, имеющего очень большое геохимическое значение.

Условия накопления и преобразования органического вещества в природе. Простейшей частью организма, содержащей биохимически связанный углерод, является клетка. Оболочка клетки состоит из клетчатки и относится к группе органических соединений, известных под названием углеводов. После гибели и последующего разложения растений и животных органические соединения вместе с минеральными веществами преобразуются в осадочные отложения; при этом могут образоваться угли и битумы. В связи с тем что условия накопления и последующего преобразования органического материала в природе весьма различны, образующиеся горючие ископаемые также

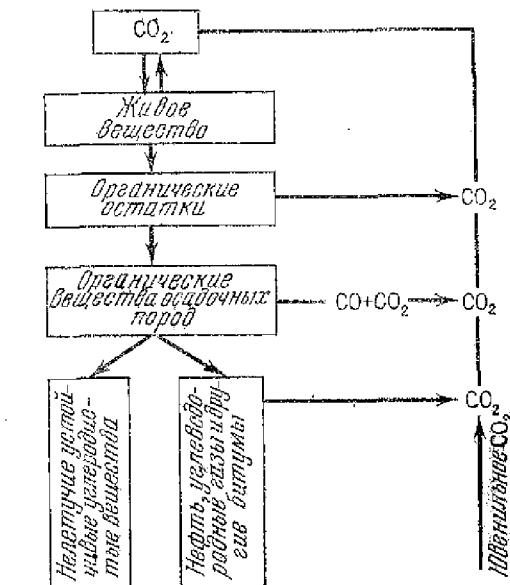


Рис. 60. Схема круговорота углерода в природе, по И. О. Броду

отличаются разнообразием. Горючие ископаемые образуют ряд, в середине которого (табл. 10) стоит торф. Состав его наиболее близок к составу растительных остатков. На концах ряда находятся антрацит и нефть. Эти вещества почти одинаково бедны кислородом, но по содержанию водорода они резко отличаются друг от друга: его много в нефти и очень мало в антраците.

Таблица 10

Элементарный состав различных видов горючих ископаемых

Горючие ископаемые	C	H	O+N+S	C/H
Антрацит	95,0	2,0	3,0	47,5
Каменные угли	82,0	5,0	13,0	16,4
Бурый уголь	70,0	5,5	24,5	12,7
Торф	59,0	6,0	35,0	9,8
Асфальт	84,5	5,7	9,8	14,8
Нефть	86,0	11,5	2,5	7,5

Еще в 1778 г. М. В. Ломоносовым была высказана гипотеза, получившая широкое признание под названием «Теории превращения». В ней говорилось, что торф, бурый уголь и антрацит произошли от одного и того же исходного материала — растительных остатков и представляют различные стадии превращения последних. В вопросе происхождения углей и нефтей до сих пор еще нет единого мнения. Если допустить, что исходный материал углей и нефтей был один и тот же, то несомненно, что процессы превращения, которым он подвергался, резко различны.

Превращения растительного материала, приводящие к образованию углей, в основном достаточно изучены. Как бы глубоко ни происходило превращение вещества при образовании углей, последние частично сохраняют структуру исходного растительного материала и содержат форменные элементы (скопление спор, смоляных тел и т. д.). Ни в асфальтах, ни тем более в нефтях нет никаких «зримых» признаков исходного вещества.

В угле, как и в нефти, присутствуют битумы. Битумы встречаются в природе в чистом виде и в смеси с другими минералами. В смеси с неорганическим материалом битумы образуют битуминозные породы (битуминозные известняки, песчаники и т. д.). Характерной особенностью твердых и жидкых битумов, отличающей их от углей, является способность растворяться в бензине, скпицидаре, бензоле, хлороформе и сероуглероде. Углеводородные вещества, не растворимые в указанных жидкостях и обнаруживающиеся только при сильном прокаливании благодаря выделению при этом летучих веществ, называются пиробитумами (антраксолиты, шунгиты, альбертиты и др.). Пиробитумы в смеси с минеральными веществами образуют пиробитуминозные породы (различные горючие сланцы и т. п.).

§ 17. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОБРАЗОВАНИИ УГЛЕЙ И УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Основные факторы (предпосылки), необходимые для образования углей. Для образования ископаемых углей необходимо наличие растительного материала, определенных климатических и геотектонических условий. Эти факторы тесно связаны между собой и обусловливают друг друга.

Растительный материал. Самый древний растительный мир на Земле представлен синезелеными, зелеными и бурыми водорослями, из которых, по-видимому, образовалось углистое вещество, встречающееся в виде чешуек, линз, прослоев в отложениях протерозоя, кембрия, силура, а также в виде промышленных скоплений горючих сланцев в ордовике (Прибалтийский бассейн). Промышленные скопления углей встречаются начиная с девона (Барзасское месторождение за северо-восточной границей Кузнецкого бассейна). Исходным растительным материалом для них послужили псилофиты — первенцы наземной растительности, не имеющие еще листьев и корней. К концу девона стали развиваться растения, которые уже имели хорошо развитые корни, стебель, листья. Пышного расцвета наземная растительность достигла только в каменноугольный период и частично в перми. В это время на смену псилофитам приходят плауновидные (гигантские лепидодендроны высотой до 40 м, сигиллярии толщиной до 2 м), членистостебельные (огромных размеров хвоши, каламиты), папоротниковые (древовидные папоротники, кордайты высотой более 40 м с линейными листьями длиной до 1 м). Наиболее широкое распространение кордайты получили в позднем карбоне и перми. В перми, наряду с координатами, из голосеменных появились гингковые и хвойные. Заселяя в огромных количествах низменные берега прибрежно-морских и континентальных водоемов, эта растительность являлась исходным материалом, из которого формировались угли таких бассейнов, как Донецкий, Кузнецкий, Карагандинский, Подмосковный, Печорский и др. К концу палеозоя гиганты каменноугольных лесов почти вымерли. Для образования мезозойских углей (триасовых, юрских, нижнемеловых) послужили голосеменные растения: гингковые, хвойные, цикадовые. Наивысший расцвет их был в юре. Это месторождения Восточного склона Урала, Кавказа, Средней Азии, Сибири, Дальнего Востока. На границе раннего и позднего мела на земном шаре происходило обновление флоры — появились покрытосеменные растения, которые господствовали в кайнозое и имеют широкое распространение в настоящее время. Расцвет покрытосеменных растений относится к палеогену и они сыграли значительную роль в образовании палеогеновых и неогеновых месторождений углей на Дальнем Востоке, о. Сахалин и Камчатке. Таким образом, на протяжении многих геологических периодов,

прошедших с появлением органической жизни, на Земле неоднократно возникали благоприятные условия для развития растительного мира. Такие условия существовали в каменноугольный, пермский, юрский, меловый, палеогеновый и неогеновый периоды, на долю которых приходится основная масса запасов углей. Именно в эти периоды новые виды растений благодаря своей более высокой организации не только приспособились к новым условиям, но и достигали пышного расцвета.

Климатические условия. Основным условием для усиленного развития растительности как в настоящее время, так и в прошлом является благоприятный климат, влияние которого оказывается не только на росте растений, но и на их анатомическом строении и составе. Климатические условия в истории нашей планеты не были постоянными, об этом свидетельствуют изменения растительного мира, установленные по ископаемым остаткам. Сочетание влажности и теплого климата на отдельных участках земной поверхности приводило к развитию пышной растительности. Например, растения каменноугольного периода, давшие значительные угленакопления, имели высокий рост, толстые мягкие большие листья, обладали слабым развитием корневой системы. Они произрастали в условиях теплого влажного климата, который существовал в каменноугольный период. Периодическое существование засушливого климата отмечается в поздней перми и в триасе. Климат юры был примерно таким же, как и в каменноугольное время. В позднем мелу климат становился значительно суще, но с достаточной увлажненностью, и появляются новые растения — покрытосеменные, скопления которых также явились исходным материалом для формирования многих угольных бассейнов и месторождений в позднем мелу, палеогене и неогене.

Геотектонический фактор. В угленакоплении важную роль играли геотектонические условия. Отрицательные движения земной коры создавали благоприятные физико-географические условия для накопления материнского вещества, приводили к захоронению торфа и превращению его в уголь. Угленакопление происходило в условиях медленного и длительного погружения суши. Основным фактором, отражающим тектонические условия, является положение уровня грунтовых вод в торфянике. Это определяло мощность, строение и протяженность пластов угля (их форму) как геологических тел.

Ни климат, ни растительность даже при самом благоприятном их сочетании сами по себе не могут обеспечить углеобразования. В этом процессе обязательно должен участвовать геотектонический фактор — опускание, при наличии которого только и может осуществляться переход торфяника в ископаемое состояние и начаться углеобразование.

Состав органического вещества растений. Стенки клетки, особенно в древесных растениях, обычно состоят из целлюлозы,

или клетчатки, пропитанной особым инкрустирующим веществом — лигнином. В растениях главное место по количеству принадлежит целлюлозе, а затем — лигнину. Клетчатка относится к углеводам и может быть выражена формулой $[C_6(H_2O)_5]_n$. Лигнин имеет сложный состав, неодинаковый в различных растениях. При растворении древесины в аммиачном растворе окиси меди (швейцеров реагент), клетчатка переходит в раствор, а лигнин остается в осадке.

Кроме целлюлозы и лигнина, в состав растений входят белки, жиры, воски, смолы. Их роль в жизни растений значительна, но преобладающая роль в углеобразовании принадлежит целлюлозе и лигнину и в исключительных случаях химически стойким веществам — воскам и смолам.

Процессы разложения растительных тканей в природе. Различают четыре типа разложения растительного вещества, причем каждый из них определяется особыми условиями отложения остатков растений: тление, перегнивание, оторфяние и гниение.

Тление, происходящее при обильном доступе кислорода (воздуха), является как бы медленным горением, в результате которого происходит полное окисление; органические ткани при этом уничтожаются, образуя газообразные соединения (пары воды, углекислый газ, сернистый газ, метан и пр.) и минеральные вещества (зола).

Перегнивание — неполное тление при недостаточном доступе воздуха, что обычно связано с присутствием влаги. В этом случае происходит неполное окисление, в результате которого создается перегной, содержащий твердые соединения и богатые кислородом гумусовые вещества.

Оторфяние — неполное разложение растительных тканей в условиях болот при затрудненном доступе воздуха и большой влажности. В условиях повышенной влажности отмершие растительные остатки под влиянием главным образом микроорганизмов, которые могут существовать без доступа воздуха (анаэробные бактерии), превращаются в торф, представляющий собой смесь различных веществ — неразложившихся остатков растений, продуктов распада целлюлозы и лигнина и вновь образовавшихся органических соединений (гуминовых кислот, их солей, частично битумов и других продуктов). Превращение остатков растительности в торф является процессом биохимическим.

В зависимости от гидрохимических условий из одного и того же исходного материала образуются различные продукты его превращения. Основное влияние на формирование того или иного вида торфа оказывает степень обводненности болот, застойный или проточный характер болотных вод, а также количество и состав минеральных веществ, приносимых в болото.

В обводненных болотах с застойными водами в условиях восстановительной среды растительные ткани претерпевают глубо-

кое разложение (остудневают) и превращаются в коллоидное вещество — гель. Гелификация растительных тканей имеет различные стадии и выражается в различной степени сохранности структуры тканей.

Существуют, однако, органические вещества, трудно поддающиеся разложению. К ним относятся, например, смолы, воск, содержащиеся в спорах, коре и смоле растений. После всех процессов разложения они мало изменяются и в случае больших скоплений преобразуются в угли — липтобиолиты.

Гниение — это процесс разложения главным образом водорослей и простейших животных организмов в водной среде, при полной изоляции от доступа воздуха, что происходит преимущественно в застойных водоемах — озерах, лагунах и заливах. Это восстановительный процесс, который ведет к образованию твердых продуктов, более богатых водородом. Если среди растительного материала преобладают водоросли, получается так называемый «гнилой ил» — сапропель, из которого потом может образоваться сапропелевый уголь.

Способы накопления растительных остатков в природе. Различают два способа накопления растительного материала: автохтонный и аллохтонный.

Автохтонным (автос — сам, хтон — земля) накопление считается в том случае, когда основная масса материнского вещества угля в форме растительных остатков накапливается на местах современного залегания твердых горючих ископаемых. Наглядное представление об условиях автохтонного накопления дают торфяные болота, образующиеся в результате зарастания наземными и водными растениями различных водоемов со стоячей и малоподвижной водой. Подавляющее большинство угольных месторождений было образовано из торфянников именно автохтонным способом накопления. Это подтверждается наличием корневых остатков в почве угольных пластов; почвы с обуглившимися корнями деревьев; боковых корневых побегов ископаемых растений, встречающихся в углях; известковых почек (конкремций) чаще всего округлой формы, в которых содержатся минерализованные остатки растений с хорошей сохранностью, а также незначительным содержанием в углях минеральных примесей; выдержанной мощностью угольных пластов на больших протяжениях и др.

Существуют следующие разновидности автохтонии: водная, когда остатки растений и животных накапливались на дне водоема, в котором они жили; наземная, при которой растения, жившие на суше, превратились в уголь на месте их произрастания.

Аллохтонный (аллес — другой, чуждый, хтон — земля), или приносной, способ накопления, при котором твердые продукты разложения растительного материала принесены извне. Перенос материального вещества может совершаться ветром или

водой. Реки переносят на большие расстояния стволы деревьев и другой растительный материал, который в заводях, в широких устьях и дельтах задерживается и, оседая на дно, может давать значительные накопления. Легкие растительные остатки в виде пыльцы, спор и семян могут переноситься ветром на очень большие расстояния.

Различают два типа аллохтонии: первичная — когда материнское вещество, перенесенное из других мест, на месте своего отложения превратилось в твердые горючие ископаемые; вторичная — когда уже образовавшиеся твердые горючие ископаемые перенесены в другое место и снова отложены.

Стадийность процессов углеобразования. При затрудненном доступе воздуха в условиях обильного обводнения остатков отмерших растений происходит образование торфов. В условиях ограниченного доступа кислорода под влиянием микроорганизмов происходит дальнейшее преобразование различных химических соединений, входящих в состав отмерших растений и последующий синтез продуктов распада, что обуславливает разнообразие видов ископаемых углей. Процесс углеобразования является единым и стадийным, от молодых образований — торфов, до каменных углей и далее антрацитов.

Торфяная стадия. Накопление растительного материала происходит в результате постепенного зарастания водоема различными растительными сообществами. С уменьшением обводненности на поверхности такого торфяного болота развиваются мхи, способные к существованию за счет влаги атмосферных осадков. Одновременно с зарастанием болота травянистой растительностью с берегов начинает продвижение и древесная растительность (ольха, береза). Отдельные стадии зарастания озерного водоема видны на рис. 61. В I стадии в центре озера

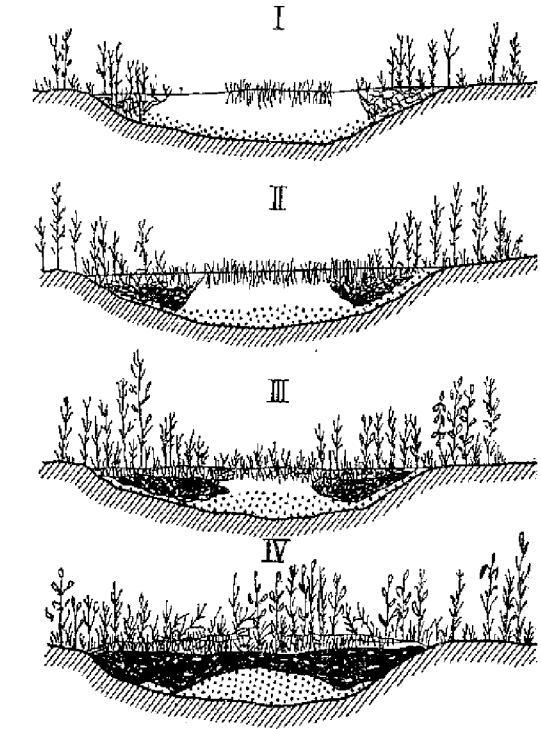


Рис. 61. Схематическое изображение различных стадий (I—IV) превращения озера в болото

развивается планктон водорослей, образующий слой сапропеля, во II — происходит увеличение накопления сапропеля и образование торфа в береговой зоне, в III — дальнейшее торфообразование в более глубоких частях озера и наступление с берега древесных пород, в IV — полное зарастание озера и переход в торфяное болото. Мощность торфяного слоя достигает 4—5 м, редко 25 м.

В зависимости от характера питающих вод различна и растительность торфяника: при преимущественно атмосферном питании произрастают растения так называемого верхового типа, не требующие богатого минерального питания, например пушкица, сфагновые мхи; при грунтовом и речном — растения так называемого низинного типа, нуждающиеся в большем количестве минеральных солей, например береза, ольха, осоки, зеленые мхи. Отсюда торф, слагаемый в основном низинной растительностью, называется низинным. Эти же названия — верховой и низинный — присвоены двум основным типам торфяной залежи в зависимости от преобладания в них торfov того или иного типа.

Торф в естественном состоянии представляет собой относительно однородную по составу и окраске массу черного или коричневого цвета. Естественная его влажность 85—95%. Сухое вещество торфа состоит из неполностью разложившихся растительных остатков; продуктов разложения растительных тканей в виде потерявшего клеточную структуру темного аморфного вещества (гумуса) и минеральных веществ.

Торфы в большинстве случаев представляют собой еще не погребенные образования, накопление и процессы преобразования которых продолжаются в торфяных болотах и в настоящее время. Встречаются иногда погребенные торфы.

Буроугольная стадия является следующей стадией углеобразовательного процесса. Отличие бурых углей от торfov заключается в более высокой степени превращения остатков отмерших растений и в большем обогащении их углеродом. В результате в составе бурых углей появляются новые, не обнаруживаемые в торфах вещества — темные, аморфные, нейтральные, образовавшиеся путем дальнейшего усложнения гумусовых кислот.

Бурые угли по сравнению с каменными и антрацитами содержат меньшее количество углерода и повышенное — кислорода. Для бурых углей характерны бурая черта, бурое окрашивание раствора едкой щелочи и густожелтое до красно-бурого окрашивание раствора азотной кислоты. Бурые угли часто имеют рыхлое сложение, их удельный вес изменяется от 0,8 до 1,35. Они легко выветриваются и характеризуются развитием эпигенетических трещин.

Превращение бурого угля в каменный. Следующая, более высокая стадия — образование каменных углей.

Внешне каменные угли существенно отличаются от бурых: они плотные, цвет их обыкновенно черный; удельный вес 1,3—1,45, цвет черты черный. При повышении степени углефикации заметно меняются цвет и отражательная способность основной массы (под микроскопом), твердость, цвет и яркость люминесценции, а также химико-технологические свойства. Блеск углей служит одним из основных показателей степени углефикации.

Химико-технологические свойства каменных углей отличаются не только от свойств бурых углей, но и существенно разнятся между собой в пределах одной каменоугольной стадии, так как в ней встречаются угли различных генетических групп: гумусовые, сапропелевые и смешанного исходного материала, когда образуются гумусово-сапропелевые угли.

Антрацитовая стадия. Антрацит — это высокометаморфизованный уголь, занимающий место между каменным углем и графитом. Цвет антрацита черный с желтоватым (золотистым), а иногда с сероватым оттенком. Некоторые антрациты имеют, подобно графиту, серый цвет. Антрациты почти всегда блестящие, сравнительно однородные. Структура антрацитов плотная. Полосчатости, как правило, не наблюдается.

Удельный вес антрацита от 1,45—1,60 до 1,90, твердость от 2 до 4.

§ 18. УГЛЕНОСНАЯ ТОЛЩА, ЕЕ СОСТАВ И СТРОЕНИЕ

Под угленосной толщей понимается комплекс осадочных пород, содержащих угольные пласти. Обычно угленосная толща представлена монотонным чередованием песчано-глинистых осадков от мелкозернистого материала до грубозернистого и галечного включительно. Слои известняков редки, как правило, не достигают значительной мощности и во многих случаях являются маркирующими горизонтами для построения нормального стратиграфического разреза угленосной толщи и увязки в ней отдельных угольных пластов.

Цвет пород преимущественно серый, иногда с зеленоватым или голубоватым оттенком; первично-красноцветные породы встречаются редко. Характерно разнообразие типов слоистости, причем наряду с горизонтальной встречается волнистая и косая. При условии медленного тектонического опускания и одновременного поднятия уровня грунтовых вод торф может длительное время нарастать сверху, образуя толщу значительной мощности, которая дает в свою очередь мощный угольный пласт. Слишком быстрое опускание площади угленакопления, за которым не успевает рост торфа, вызывает затопление болота и накопление на его месте речных, озерных, лагунных или морских осадков образовавшегося водоема. Многократное чередование пластов угля с вмещающими породами, характерное для большинства угленосных толщ, объясняется неравномерным опусканием местности в эпоху угленакопления или чередованием опусканий

с поднятием при непременном условии преобладания опускания. Мощность образующейся толщи является следствием общей величины тектонического опускания, происходящего во время на-копления. Именно поэтому платформенные участки земной коры характеризуются сравнительно небольшой мощностью угленосных толщ — от единиц и десятков метров до немногих сотен метров, а в геосинклинальных условиях доходят до нескольких тысяч метров (10 км и более — Донбасс). В связи с этим среди угленосных толщ выделяют следующие основные типы: геосинклинальный, платформенный и переходный от геосинклинального к платформенному.

Изучение геологических разрезов угленосной толщи многих угольных бассейнов показало, что осадконакопление прерывалось и затем через известный промежуток времени вновь возобновлялось. Такая закономерная повторяемость (ритмичность) получила название циклической седиментации. Например, в разрезе угленосной толщи полный цикл составляют: 1) песчаники континентального характера, залегающие несогласно на морских известняках и глинистых сланцах, 2) алевролиты и аргиллиты, 3) угли, 4) морские известняки и глинистые сланцы.

Такой разрез говорит о том, что в период выветривания здесь накапливались песчаники. Затем в результате опускания возникло обширное болотистое пространство, в котором накапливались и развивались торфяники. Дальнейшая трансгрессия привела к затоплению болот и здесь накапливались морские осадки, а торфяники преобразовывались в угли. Последующая регрессия моря привела к континентальному периоду и вновь началось выветривание накопившихся осадков.

Такая смена циклов осадконакопления происходит в некоторых бассейнах до нескольких десятков раз. Колебательные движения земной коры, как правило, имели очень сложный характер по причинам частой смены и чередования быстрого движения замедленным, а кратковременного периода колебаний длительным, и наоборот. Колебательные движения происходили на фоне общего погружения земной коры. Иногда угленосные толщи отделены ясным перерывом от подстилающих более древних или покрывающих более молодых отложений; в других случаях, наоборот, они связаны постепенным переходом, при этом граница между ними принимается условной.

Метаморфизм углей. Процесс превращения торфа в бурый уголь называется диагенезом, процесс дальнейшего перехода бурого угля в каменные и далее в антрациты — метаморфизмом углей. Совокупность вторичных процессов, наложенных на дифференцированное в торфяном болоте вещество, приводящих к превращению этого вещества в торф, бурый и каменный уголь и антрацит, носит название обуглероживания или углефикации.

В результате метаморфизма изменяются физико-химические свойства углей: в них происходит уменьшение влажности, летучих компонентов органической смолы, кислорода и возрастание содержания углерода. Угли изменяют цвет, увеличиваются блеск и плотность. При дальнейшем обуглероживании они переходят в тощие, а затем в антрацит.

Различают три вида метаморфизма: региональный, или глубинный, контактный и динамометаморфизм, или дислокационный.

Региональный метаморфизм. Большинство исследователей считает, что наибольшее значение в процессе изменения ископаемых углей занимает региональный метаморфизм, связанный в обширных районах с опусканием угольных пластов в зоны более высоких температур.

Для многих бассейнов СССР (Донбасс, Кузбасс, Караганда и др.) наблюдается, что в одном и том же бассейне угли, находящиеся примерно в одинаковых тектонических условиях, с увеличением стратиграфической глубины обедняются от пласта к пласту летучими веществами и обогащаются углеродом *. Иногда падение выхода летучих веществ настолько закономерно, что можно установить градиент этого изменения — на 100 м он колеблется в пределах от 1 до 2,3 %. Например, в Донецком бассейне падение выхода летучих веществ составляет от 0,5 до 1,4 %, для Кузбасса 1,45 %. Изменение выхода летучих по правилу Хильта иногда нарушается различными факторами (большей или меньшей зольностью угля, его петрографическим составом, близостью тектонических нарушений и возможным выветриванием угля на неглубоких горизонтах).

Контактовый метаморфизм. Наиболее четко проявляется влияние температуры на изменение углей при соприкосновении с ними расплавленных масс. Многочисленные изменения температуры лав при излиянии дают в среднем около 1100° С, при колебаниях — от 1050 до 1300° С. До выхода на дневную поверхность температура магмы еще выше. Под воздействием интрузий каменный уголь, как и вся осадочная толща, претерпевает ту или иную степень контактового метаморфизма, в зависимости от характера интрузивного тела и близости пласта к контакту. При крайней степени метаморфизма уголь переходит в графит, причем это наблюдается при непосредственном контакте угля с интрузивным телом на расстоянии примерно не более 5—10 м от контакта. Несколько дальше от контакта уголь теряет некоторые количества летучих и переходит в тощие угли и антрациты.

Характерными примерами изменения углей под воздействием магматических образований могут служить некоторые место-

* Закономерность повышения степени метаморфизма со стратиграфической глубиной установлена Хильтом (Hilt, 1823) и названа «правилом Хильта».

рождения Тунгусской угленосной площади, где каменные угли на расстоянии 5—10 м от интрузивного тела превращены в естественный кокс и графит, с выходом летучих до 18%, и антрацит, а в отдельных местах на расстоянии 200 м они переходят в тощий уголь.

Регионально-термальный метаморфизм — это такой метаморфизм, когда органическое вещество угля изменяется на большом регионе под воздействием теплового потока от пластовых интрузивных тел на больших площадях. Регионально-термальный и контактовый метаморфизм имеют очень важное практическое значение для некоторых угленосных районов Советского Союза (Тунгусская угленосная площадь и отчасти Сучанский угленосный бассейн).

Динамометаморфизм (дислокационный или тектонический) происходит в основном под влиянием давления. Вместе с тем отложения вместе с подчиненными им угольными пластами, погружаясь на значительную глубину, подвергаются воздействию повышенных температур, обусловленных геотермией.

При метаморфизме изменяются и те породы, в которых залегают угли, — пески переходят в песчаники и алевролиты, а глины — в аргиллиты и глинистые сланцы.

Правильное прогнозирование залежей углей нужного качества возможно лишь при совершенно отчетливом представлении законов метаморфизма углей под влиянием различных геологических факторов. Следует заметить, что увеличение степени метаморфизма в пределах угольных бассейнов приводит только к увеличению плотности вмещающих пород.

Фактический материал по Донбассу с исчерпывающей очевидностью доказывает, что угли бурье, длиннопламенные и газовые (см. § 20) встречаются во вмещающих породах, средняя плотность которых 2,15—2,35. Угли более высоких степеней метаморфизма (в пределах марок Ж, К и ОС) — в породах со средней плотностью 2,35—2,60, тощие угли (Т) и антрациты (А) приурочены к породам со средней плотностью 2,60—2,75.

§ 19. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ

Угольный пласт, его кровля и почва. Под угольным пластом понимают весь комплекс осадочных слоев органического и неорганического происхождения, распространенных на значительной площади и заключенных между более или менее параллельными плоскостями (поверхностями) напластования вмещающих пород, называемых кровлей и почвой. Иногда угли залегают в виде линз и залежей неправильной формы. Почва и кровля угольного пласта в большинстве случаев генетически связаны с углем. Породы, непосредственно вмещающие угольные пласты, представляют большой интерес для изучения, так как отражают

условия образования угленосной толщи и историю развития самого угольного пласта. В большинстве случаев угольные пласты заключены в глинистые сланцы, хотя наблюдаются и многочисленные случаи отклонения от этого правила. Встречающиеся в кровле пластов породы указывают на различные условия накопления осадков, следовавшие за образованием угольных пластов. Так, грубозернистые осадки свидетельствуют о быстром и резком изменении предшествовавших условий накопления. В некоторых случаях это связано с размывом накопленного ранее растительного материала. Наличие известняка в кровле угольного пласта говорит о быстром опускании дна. Иногда оно сопровождалось размывом накопившегося торфа, причем чистые известняки с морской фауной накладывались непосредственно на угольные пласты. Глинисто-сланцевые породы являются типичными осадками мелкого моря. Об этом свидетельствуют встречающиеся в них характерные текстуры.

Строение угольных пластов. Угольные пласты обычно сложены несколькими пачками угля, разделенными углистыми минеральными породами, называемыми прослойками пустой породы. При отсутствии прослойков угольный пласт слагается сплошной массой угля. В первом случае пласт называется сложным, во втором — простым (рис. 62).

Простой угольный пласт сохраняет свое строение на всем протяжении и является пластом непрерывного накопления. Сложные пласти — образования прерывистого накопления, т. е. они связаны с изменениями характера накопления или с остановками в процессе накопления растительной массы.

Под прослойками в угле следует понимать как отложения чистой породы во время перерыва в накоплении угольного вещества, так и переходные слои, отвечающие моментам совместного отложения растительного материала и неорганического осадка. В последнем случае получается серия углистых пород со всеми переходами их в сланцы и песчаники. Такими переходными породами угольный пласт обычно начинается внизу и кончается вверху. Часть угольного пласта, заключенная между двумя породными прослойками, называется пачкой.

Угольные пласти могут расщепляться и выклиниваться. Формы расщепления и выклинивания угольных пластов угля очень разнообразны и могут быть сведены к некоторым наиболее типичным случаям, изображенным на рис. 63.

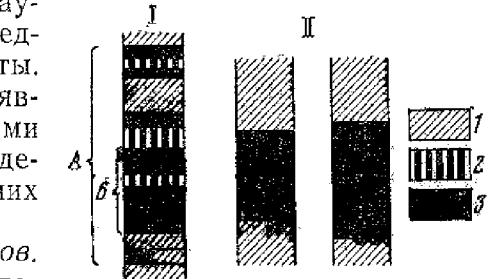


Рис. 62. Сложное (I) и простое (II) строение угольного пласта.
A — общая мощность угольного пласта;
B — рабочая мощность; 1 — алевролиты;
2 — углистый сланец; 3 — уголь

Размыв угольных пластов. Угольный пласт нередко подвергается местному частичному разрушению, зависящему от отложения последующих осадков. Эти разрушения пластов угля сводятся к трем основным факторам: эрозионному размыву текущими водами, смыву водами морских трансгрессий и ингрессий и выпахивающему действию ледниковых.

Явления размыва угольного пласта можно подразделять на сингенетические, или одновременные торфонакоплению (рис. 64),

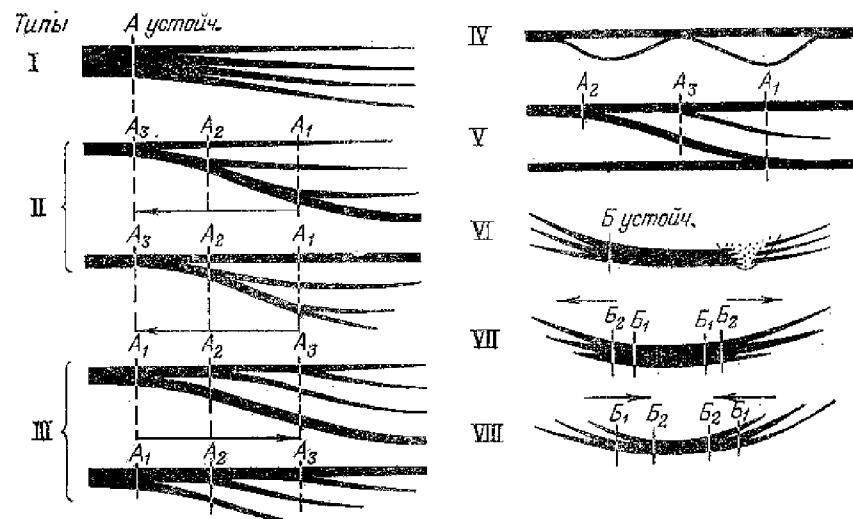


Рис. 63. Типы расщепления пластов угля, по Г. А. Иванову.

I — расходящийся пучок (тип конского хвоста); II — трансгрессивное; III — регрессивное (во II и III: вверху — выше основного пласта); IV — бифуркация (расщепление и слияние пластов); V — зетобразное; VI — тип расходящегося вверх пучка; VII — с последовательно увеличивающейся площадью угленакопления; VIII — с последовательно уменьшающейся площадью угленакопления. A_1, A_2, A_3 и B_1, B_2, B_3 — пункты расщепления пластов угля

и эпигенетические, или последующие (рис. 65). В первом случае происходит размыв торфяника, из которого образовался уголь до покрытия его кровлей, во втором — размыв угля водным потоком, который прежде чем врезаться в уголь, прорезал породы, лежащие над пластом угля. Критерием для этого различия является положение истинной кровли пласта по отношению к породам размыва. Если, например, глинистая нормальная кровля срезает песчаную породу размыва, то последний должен рассматриваться как сингенетический. Если песчаная или известняковая порода размыва прорезает обычную кровлю пласта, то размыв, очевидно, произошел после отложения ряда слоев кровли, т. е. он будет эпигенетическим.

Мощность угольных пластов и пропластов весьма различна и колеблется от очень тонких (в несколько миллиметров) до мощных (в несколько десятков метров) и даже до сверхмощных

(до 200—300 м). Различают так называемые общую мощность (см. рис. 62) угольного пласта (включая и все прослои пустых пород) от его почвы до кровли и рабочую мощность, т. е. минимально предельную, при которой в данных условиях (технических, экономических и др.) пласт выгодно

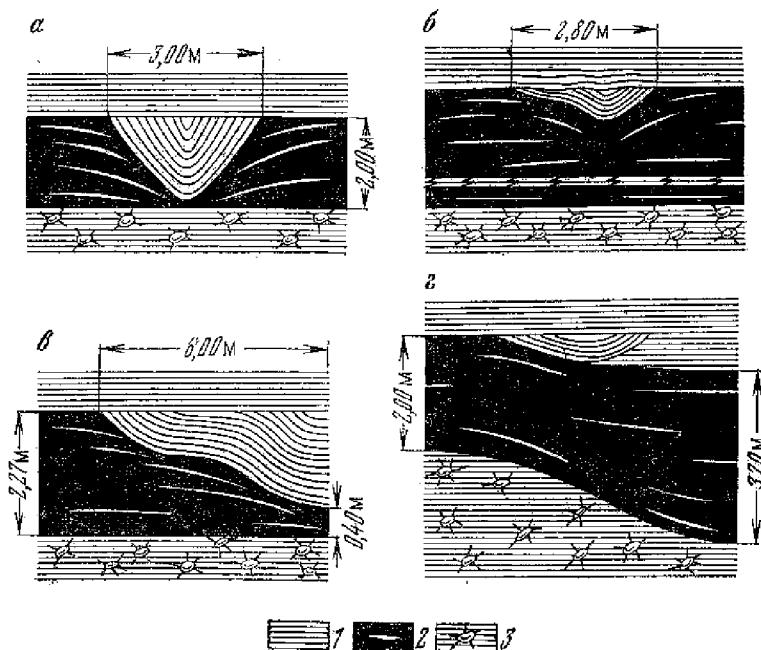


Рис. 64. Различные случаи сингенетического размыва в пласте угля.
a, b, c — различные виды вымани в одном и том же пласте; г — две генерации размыва.
1 — глинистый сланец; 2 — уголь; 3 — стигмарневая глина

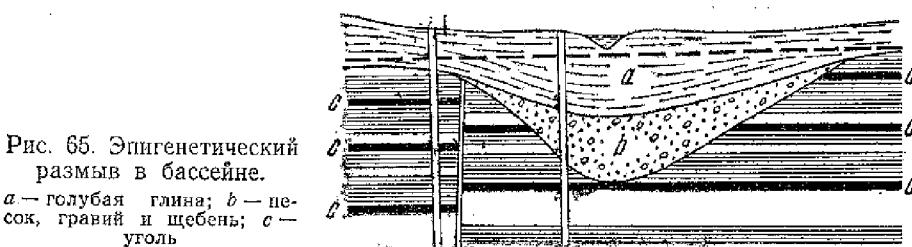


Рис. 65. Эпигенетический размыв в бассейне.
a — голубая глина; b — песок, гравий и щебень; c — уголь

эксплуатировать. По степени выдержанности мощности угольного пласта, строению и качеству, наличию переходов от рабочей мощности к нерабочей и кондиционного по качеству угля к некондиционному, согласно инструкции ГКЗ, выделяются следующие главнейшие типы:

1) выдержаные, когда мощность, строение пласта и качество углей (сланцев) на площади, для которой производится

оценка пласта угля как выдержанного, имеют незначительные отклонения от средних, характерных для этой площади величин; участки с нерабочим значением пласта отсутствуют;

2) относительно выдержаные, когда мощность и строение пласта, а также основные показатели качества углей (сланцев) имеют значительные колебания, но на большей части пласта не утрачивает промышленного значения; при наличии участков с нерабочей мощностью пласта установлена определенная закономерность изменения показателей, определяющих переход рабочего пласта в нерабочий;

3) невыдержаные, когда вследствие резкого изменения мощности или строения пластов, показателей качества углей (сланцев) или вследствие близости этих параметров к предельным значениям, угольный пласт на многих локальных участках оцениваемой площади утрачивает рабочее значение.

Мощность одного и того же угольного пласта может сильно меняться по простиранию. Это изменение происходит под влиянием: 1) неровности дна торфяных болот (рис. 66); 2) неравномерного накопления растительного материала вследствие различной скорости погружения отдельных частей торфяного болота; 3) размыва или смыва части пласта наступающим морем или движущимися водами озера водоема; 4) тектонического воздействия и других причин.

Коэффициенты угленосности. Количество угольных пластов в значительной степени зависит от генетического типа бассейна. В геосинклинальных бассейнах оно иногда исчисляется сотнями, а в платформенных выражается лишь немногими единицами.

Для характеристики бассейнов большое значение имеет коэффициент угленосности (K), равный:

$$K = \frac{h \cdot 100\%}{H},$$

где h — суммарная мощность угольных пластов, м;

H — мощность вмещающих пород угленосной толщи, м.

Коэффициент угленосности Донецкого бассейна составляет около 0,64—0,66%, Кузнецкого бассейна — приблизительно 1,60%, карбоновых углей Караганды доходит до 5% (по Промышленному участку).

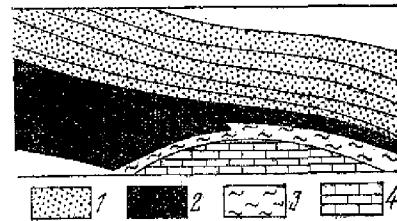


Рис. 66. Образование угольных пластов на неровном дне.

1 — песок; 2 — уголь; 3 — кора выветривания; 4 — известняк

Другим показателем угленосности служит коэффициент углеплотности ($K_{уп}$):

$$K_{уп} = \frac{Q}{F},$$

где Q — количество угля, т;
 F — площадь, км².

§ 20. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И КАЧЕСТВО УГЛЕЙ

Генетическая классификация ископаемых углей по Ю. А. Жемчужникову. В зависимости от исходного материала и различных условий его преобразования, в природе существует многообразие ископаемых углей. Они отличаются по внешнему виду и свойствам.

Ю. А. Жемчужников, учитывая исходный материал и условия его превращения, создал генетическую классификацию ископаемых углей (табл. 11).

Основное распространение в природе и важное промышленное значение имеют угли класса гумита (гумусовые угли).

Таблица 11
Генетическая классификация ископаемых углей, по Ю. А. Жемчужникову

Группы	Классы	Примеры
Гумолиты (происходят из высших растений)	I. Гумиты (лигнинно-целлюлозные плюс кутиловые элементы или смолы)	a) однородные (дюреновые, клареновые, фюзено-ксиленовые) b) полосчатые
	II. Липтобиолиты (только кутиловые элементы или смолы)	a) споровый (тасманит) b) кутикуловый (барзасит) в) смоляной (рабдолипсит) г) коровий (лопинит)
Сапропелиты (происходят из водорослей и животного планктона)	III. Собственно сапропелиты (сохраняются водоросли и другие планктонные остатки)	a) богхед б) марагунит в) кеннель г) кеннель-богхед д) касьянит
	IV. Сапроколлиты (водоросли не сохраняются, превращаясь в бесструктурную массу)	а) матаганский б) хахарейский

Петрографический состав углей. Гумусовые угли за редким исключением петрографически неоднородны и состоят из составных частей (ингредиентов) хорошо различимых по блеску небооруженным глазом. Блестящий — витрен, полублестящий — кларен, полуматовый — дюрен и матовый — фюзен. Витрен и фюзен относятся к простым ингредиентам *, кларен и дюрен — к сложным. Терминология, предложенная английским ученым М. Стопс, принятая от латинских слов: витрен (*vitrus*) — стеклянный, кларен (*clarus*) — светлый, дюрен (*durus*) — твердый, фюзен (*fusus*) — вытянутый. Термины блестящий, полублестящий, полуматовый, матовый и волокнистый применимы лишь при макроскопическом изучении.

В зависимости от преобладания в строении угольных пластов тех или иных ингредиентов выделяют петрографические типы углей: дюреновые (матовые), клареновые (блестящие), дюро-клареновые (полублестящие), кларо-дюреновые (полуматовые).

Физические свойства углей. При макроскопическом изучении углей обычно описываются их основные физические свойства: цвет, блеск, удельный вес, плотность, твердость, хрупкость, излом, структура и текстура.

Цвет углей обычно от бурого и темно-серого до черного. Бурый цвет или оттенок, зависит от низкой степени углефикации и характерен для бурых углей и сапропелитов; каменные угли имеют черный или темно-серый цвет, антрациты — черный с желтоватым, а иногда сероватым оттенком, некоторые антрациты темно-серые или серые. Различаются также угли и по цвету черты, оставляемой на фарфоровой неглазированной пластинке, а именно: бурые угли дают бурую черту, каменные — коричневато-черную или темно-серую и черную, антрациты — черную, сапропелиты — от желтой до бурой.

Блеск углей является одним из самых характерных свойств углей. Для блестящих ингредиентов различают следующие оттенки блеска: смолистый (жирный), стеклянный, алмазный. Для дюrena характерен матовый блеск, для фюзена — шелковистый. Блеск усиливается по мере увеличения степени углефикации. Отражательная способность углей определяется обычно макроскопически — путем сравнения серии образцов, а также фотометрами с графическим изображением результатов измерения.

Плотность зависит от петрографического состава углей, степени их обуглероживания (углефикации), количества и характера минеральных примесей, количества в них влаги и, наконец, от природы углей. Плотность изменяется довольно заметно; в среднем, если взять угли одинаковой средней зольности, возрастает с повышением степени углефикации; у бурых углей она равна 0,8—1,35, у каменных 1,30—1,45, у антрацитов от 1,45—1,60 до 1,90. Наименьшая плотность у липтобиолитов.

* Витрен и фюзен относятся как к макро-, так и к микрокомпонентам.

Твердость (мягкость) по шкале Мооса лежит в пределах 1—3 и повышается со степенью углефикации. Наименьшую твердость имеют угли средней степени метаморфизма.

Хрупкость углей определяется по степени их сопротивления раздавливанию, истиранию и удару. Наиболее хрупкие угли фюзеновые, далее следуют витреновые и клареновые и наиболее стойкие дюреновые.

Излом углей может быть раковистым, землистым, волокнистым, листоватым, занозистым, зернистым или неровным. Раковистый присущ сапропелевым и некоторым блестящим гумусовым углям, иногда антрацитам; зернистый (крупно- и мелко-зернистый) наблюдается у каменных углей и антрацитов; землистый и неровный изломы встречаются у бурых углей.

Структура (строение) отражает вещественный состав ископаемых углей. Под ней обычно понимают визуально определяемые по форме и величине (морфологическим особенностям) углеобразующие компоненты различного вещественного состава. Различают листоватую структуру, характерную для кутикуловых липтобиолитов; лигнитовую, указывающую на низкую степень разложения высшей растительности; фюзеновую; землистую — характерную для слабометаморфизованных бурых гумусовых углей, однородную — для сапроколлитов и витренов.

Текстура (сложение) отражает изменчивость среды накопления и обусловлена расположением в угольной массе различных составных частей угля. Различают текстуры однородные, массивные, полосчатые (грубо-, средне-, тонкополосчатые), штриховатые, слоистые (горизонтально-, косо-, линзовиднослоистые) и др.

Несмотря на установленные понятия, термины структура и текстура углей очень часто смешиваются. Поэтому в практике структура углей в большинстве случаев не фиксируется.

Под трещиноватостью понимают совокупность трещин, нарушающих монолитность пород и угля. Многие ископаемые угли разбиты системами эндогенных и экзогенных трещин. Возникновение эндогенных трещин обусловлено внутренними причинами (глубокими изменениями угольного вещества, сокращением его объема и т. д.), а экзогенных — внешними (под влиянием тектонических процессов или в результате механического воздействия на уголь). Эндогенные трещины в углях всегда перпендикулярны к напластованию, экзогенные — расположены под самыми различными углами к напластованию.

Под отдельностью понимают свойство пород и углей раскалываться по трещинам на куски различной формы. Отдельность может быть: пластинчатой, призматической, кубической, ромбической, пирамидальной и др.

Качественная характеристика ископаемых углей проводится с помощью элементарного и технического анализов углей.

Элементарный анализ проводится для определения количественного содержания в углях углерода, водорода, кислорода, азота и серы. Иногда выясняют содержание фосфора, имеющего важное значение для установления качества коксующихся углей.

Углерод С — определяет теплоту сгорания углей. Содержание его на органическую массу различно и зависит от степени обуглероживания. В бурых углях количество углерода составляет в среднем 60—76%, в каменных 75—91% и у антрацитов — до 97%.

Водород Н₂ — повышает теплоту сгорания углей, так как при сгорании водорода выделяется тепла в 4,2 раза больше, чем при сгорании углерода. Содержание этого элемента снижается от бурых углей (4—6%) к антрацитам. В сапропелитах количество водорода достигает 7—9% и даже 11%.

Кислород О₂ — убывает от бурых углей (10—30%) к антрацитам, где его содержание всего 1—2%. В торфе кислорода содержится около 40%.

Азот N₂ — содержится в количестве от 1 до 3%, с заметным уменьшением его по мере повышения степени углефикации. В гумусовых углях азота больше, чем в сапропелитах. В процессе коксования часть азота образует аммиак, используемый для изготовления нашатырного спирта, азотистых удобрений, азотной кислоты и других химических продуктов.

Сера S — органическая, связанная с углем химически, входила в состав растений, из которых образовался уголь.

Фосфор Р — содержится в углях различных бассейнов и угольных пластов очень неравномерно (в донецких 0,01—0,02%, а в углях Кузбасса до 0,1%). Фосфор является очень вредной примесью в коксующихся углях, так как он из кокса полностью переходит в чугун и резко снижает его качество. Содержание фосфора в коксующихся углях не должно превышать 0,03%.

Технический анализ. Цель технического анализа — выявить горючие и негорючие части топлива. В его задачу входит определение влаги W, золы A, летучих веществ V^т, коксового остатка K^т, серы S_{общ} и теплоты сгорания Q (кал/кг)*. Влага и зола составляют негорючую часть угля (балласт топлива), остальные части образуют органическую горючую массу.

Влага (W) ископаемого угля бывает общая, или рабочая, состоящая из внешней и внутренней. Внешняя влага при лежании угля улетучивается в окружающий воздух, после чего уголь переходит в воздушно-сухое состояние. Внутренняя же (гигроскопическая) — удаляется (неполностью) только при нагревании угля до температуры 105° С. Абсолютно сухое топливо совершиенно не содержит влаги. Его получают путем высушивания угля при температуре выше 105° С.

При технических анализах определяется влажность воздушно-сухой пробы, после чего делаются пересчеты на абсолютно сухое топливо, рабочее топливо, горючую массу.

Зола (A) — смесь минеральных веществ, остающихся после сгорания всех горючих частей топлива. Масса золы не равна массе заключенных в топливе минеральных примесей (считают, что золы получается меньше на 5—10%). Например: примеси серного колчедана FeS₂ при сжигании угля образуют сернистый газ SO₃; находящийся в угле гипс CaSO₄·2H₂O теряет при сжигании свою кристаллизационную воду.

Зола углей подразделяется на внутреннюю, или растительную, связанную с веществом угля (при обогащении внутреннюю золу удалить почти невозможно), и внешнюю (наносную), т. е. принесенную ветром или водой в период накопления растительного материала в торфяниках. Она связана с органической массой механически и обычно состоит из мельчайших частиц глинистого вещества и кварца. К внешней золе относится: зола, полученная из прослоев пустой породы обычно глинистого состава; зола от пород и минеральных образований, заполняющих трещины в углях, а также кусков породы из почвы или кровли пласта, попавших в уголь при разработке.

Зольность углей является исключительно важным и нередко решающим качественным показателем, от которого зависит пригодность угля к использованию. Она колеблется в широких пределах: от 2—3 до 35—40% и более. Границей между углем и углистым сланцем условно считается содержание золы 40—45%, иногда 50—60%.

Значительное количество золы понижает теплоту сгорания топлива, требует лишних расходов на перевозку и излишнюю загрузку транспорта. Металлурги считают, что 1% золы увеличивает расход кокса в домне в среднем на 2—2,5% и уменьшает производительность печи примерно на 2%.

В золе нередко содержатся значительные количества редких элементов. Так, в 1 т золы, получаемой после сжигания некоторых углей, содержится до 10 г серебра, около 1 г золота и 0,5 г платины, обнаруживаются также германий (0,002—1,0%) и ванадий (0,001—0,003%).

Наличие минеральных примесей в угле осложняет использование его для коксования. Удаление минеральных примесей называется обогащением и осуществляется сочетанием различных механических, а также физико-химических процессов, приводящих к снижению зольности.

Летучие вещества V^т. Под летучими веществами принято понимать смесь газообразных и парообразных веществ, выделяющихся из угля в результате разложения органической массы при нагревании без доступа воздуха до 850° С. Содержание летучих обычно вычисляется на безводный и беззолльный уголь, на так называемую горючую массу.

* В Международной системе (СИ) 1 кал=4,2 дж.

В одном и том же угле (буром или каменином) наибольший выход летучих веществ образуют споровые вещества и другие желтые форменные элементы (кутикула, смоляные тельца), а наименьший — фузеновые вещества; витреновые — занимают промежуточное положение.

С повышением степени метаморфизма углей количество летучих веществ уменьшается. В гумусовых бурых углях процент летучих составляет 55—45%, в каменных — от 10 до 50%, а у антрацитов — снижается до 1—2%. Наиболее закономерное изменение их содержания наблюдается в ряду витренов — от

47% в витрене длиннопламенных углей до 1—4% в витрене антрацита. Таким образом, для углей однородного петрографического состава (среднекарбоновые угли Донбасса и других бассейнов) выход летучих веществ (рис. 67) может служить показателем степени метаморфизма углей.

Суммарный выход летучих веществ из петрографических неоднородных гумусовых углей зависит от степени их метаморфизма и от петрографического состава углей. Поэтому выход летучих не может всегда строго соответствовать степени метаморфизма углей. Сапропелевые угли и липтобиолиты дают самый высокий выход летучих: 60—70% и даже 90%.

Рис. 67. Теплота сгорания различных марок донецких углей, по В. С. Крыму.

А — антрацит; Т — тощие угли; ОС — отощенно-спекающиеся угли; К — коксовые угли; Ж — жирные угли; Г — газовые угли; Д — длиннопламенные угли

Коксовый остаток K^r , в котором содержится часть органического вещества и золообразующие примеси, представляет собой твердый продукт, остающийся в тигле после удаления летучих веществ. Чтобы получить количество беззольного кокса и так называемого связанный углерода, нужно из веса коксового остатка вычесть вес золы.

По характеристике нелетучего остатка можно судить в первом приближении о спекаемости углей. Это свойство необходимо для промышленной характеристики углей, используемых для получения металлургического кокса. Если коксовый остаток имеет вид порошка, уголь называют неспекающимся. Коксовые остатки, представленные целым куском, называют коксовым корольком и говорят, что уголь спекается. Степень спекания бывает разной: если в корольке различаются отдельные зерна или кусочки угля, более или менее скрепленные сплавленной массой, то корольк называют слившимся,

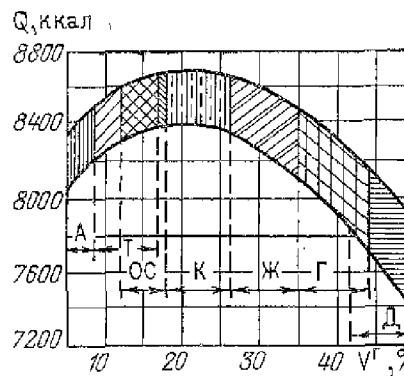


Рис. 67. Теплота сгорания различных марок донецких углей, по В. С. Крыму.

А — антрацит; Т — тощие угли; ОС — отощенно-спекающиеся угли; К — коксовые угли; Ж — жирные угли; Г — газовые угли; Д — длиннопламенные угли

а уголь — плохо спекающимся, если же получился сплошной однородный коксовый корольк, — то спекшимся, а уголь — спекающимся. Слабо спекающийся уголь дает очень непрочный корольк, при легком нажиме он рассыпается.

В зависимости от метаморфизма углей, а также от соотношения между витреновыми споровыми и фузеновыми веществами спекаемость может изменяться в широких пределах. Она увеличивается при прочих равных условиях с увеличением в углях содержания витрена и экзин спор.

Сера $S_{общ}$ входит в состав различных сернистых соединений (органическая, пиритная и сульфатная сера), содержащихся в ископаемых углях, и существенно зависит от их метаморфизма. Общее содержание серы в углях колеблется от долей процента до 8—12% и является решающим при установлении пригодности углей для различных видов практического использования.

Первым важнейшим показателем сернистости углей является общее содержание серы $S_{общ}$, условно пересчитанное на сухое топливо в весовых процентах к анализируемым углям. Выделены следующие промышленные группы углей по сернистости: I — малосернистые — с содержанием серы от 0,5 до 1,5%; II — среднесернистые — с содержанием серы от 1,6 до 2,5%; III — сернистые — с содержанием серы от 2,6 до 4,0%; IV — высокосернистые — с содержанием серы более 4,0%.

Теплота сгорания углей (Q) — это количество тепла, выделяемое при полном сгорании единицы их топлива. Обычно за единицу веса считают 1 кг, а количество тепла выражают в килограмм-калориях. Чем выше теплота сгорания, тем лучше качество энергетических углей.

Этот показатель определяется на рабочее Q^p и абсолютно сухое топливо Q^o , на аналитическую пробу угля Q^a и его горючую массу Q^r . Теплоту сгорания можно определить как непосредственно экспериментальным путем с помощью специального калориметра (калориметрической бомбей), так и по результатам элементарного анализа по эмпирическим формулам. Одна из таких формул, предложенная Д. И. Менделеевым для жидкого топлива, пригодна для твердых:

$$Q = 81C + 300H - 26(O - S),$$

где C, H, O, S — содержание элементов, %.

Для бурых углей теплота сгорания обычно не превышает 4500 ккал/кг, для коксующихся составляет 8600—8700 ккал/кг, а для антрацитов 8200—8500 ккал/кг.

С ростом степени метаморфизма углей теплота сгорания вначале возрастает и достигает максимума у коксовых и отощенных спекающихся углей, а затем снижается к тощим углем и антрацитам (см. рис. 67). Это объясняется тем, что некоторые угли имеют благоприятное соотношение углерода и водорода. Теп-

лота сгорания углей сапропелевого происхождения выше, чем гумусовых.

Для сопоставления разных видов топлива с точки зрения их ценности как источника тепловой энергии введено понятие об условном топливе, являющемся эталоном для сравнения полноценности топлива. В качестве такого эталона принято топливо с теплотой сгорания рабочей массы, равной 7000 ккал/кг.

Выветривание (окисление) углей. Угольные пласты при выходе их на дневную поверхность подвергаются воздействию атмосферных факторов.

Глубина выветривания отдельных угольных бассейнов и месторождений различна и зависит от рельефа местности, климатических условий, угла наклона пластов, их строения и других факторов. Нередко глубина выветривания, особенно химического, достигает многих десятков метров. Изменения от выветривания могут быть физическими (механическими) и химическими.

Физические изменения углей при выветривании прежде всего сказываются на изменении его строения, что выражается в ослаблении прочности и связности как в самом угле, так и между отдельными частями пласта. Вначале уголь, сохранив свой цвет, теряет блеск и распадается на довольно мелкие куски. При более интенсивном выветривании он переходит в совершенно рыхлое состояние и вследствие образования гуминовых соединений принимает даже буроватый цвет. В самой же верхней зоне уголь делается почти порошкообразным. Мощность пласта к выходу сильно уменьшается, иногда в 8—10 раз, и пласт выклинивается к поверхности. Это объясняется выщелачиванием при выветривании значительной части органического вещества угля.

На выходах выветрелые угольные пласты имеют различную окраску, что объясняется разложением некоторых минеральных соединений и образованием новых. Окраска бывает то буро-желтая (от гидратов окси железа), то беловатая (от железистых квасцов). Иногда на значительную глубину уголь покрывается белым налетом, образовавшимся от разложения находящихся в его кровле известняков, переходящих в сильно известковистые глины. В Донецком бассейне такие белесоватые выходы выветрелого угля шахтеры называют «меловой».

Химические изменения углей при выветривании. В зоне выветривания увеличиваются влажность, зольность угля, выход летучих веществ. Спекающаяся способность углей уменьшается и при значительном окислении полностью исчезает. Это самый чуткий показатель степени окисленности углей. Теплота сгорания углей уменьшается, удельный вес углей увеличивается за счет возрастания зольности выветрелого угля.

Самовозгорание углей. Окисление углей нередко вызывает самонагрев и самовозгорание. Свежедобытый уголь по выдаче

его из шахты на поверхность сразу же начинает адсорбировать из воздуха кислород, который вступает в химическое взаимодействие с органическим веществом угля и окисляет его. Эта реакция сопровождается выделением тепла. Температура угля вследствие этого повышается и процессы его окисления ускоряются, что приводит к еще большему повышению температуры угля. Если выделяющееся при этом тепло не рассеивается с достаточной быстротой в окружающее пространство, то при температуре 85—100°С уголь самопроизвольно загорается. Самовозгорание происходит при хранении углей в штабелях и кучах, а также в горных выработках при значительном доступе воздуха в недра. Наиболее склонны к самовозгоранию бурые угли. На пожароопасность углей влияют: угол падения, мощность и сближенность пласта, характер обрушения вмещающих пород,tektonическая нарушенность, глубина залегания разрабатываемого пласта и горнотехнические факторы. Пласти угля с углом падения менее 25° считаются малоопасными, 25—50° — умеренно опасными, а с углом падения более 50° — опасными. Пласти мощностью менее 2 м считаются малоопасными, от 2—3 до 5 — умеренно опасными и более 3—5 м — опасными.

Промышленная маркировка гумусовых углей. Марка — условное буквенное обозначение или название разновидности угля, которое отражает его химические, физические свойства и направление использования его в промышленности.

Основными параметрами маркировки бурых углей являются содержание рабочей влаги (для некоторых месторождений выход первичного дегтя); для каменных углей — весовой выход летучих веществ на горючую массу и пластический слой (показатель спекаемости углей); для антрацитов — весовой и объемный выход летучих веществ на горючую массу и теплота сгорания.

Для каждого бассейна существует своя маркировка углей, утвержденная ГОСТом. Для примера в табл. 12 приведен ГОСТ по Донецкому бассейну.

Использование углей в народном хозяйстве. В настоящее время угли в основном используют для сжигания, коксования, полукоксования, газификации, гидрогенизации и экстракции.

Непосредственное сжигание углей в топках для получения энергии до сих пор является основным способом их использования. Для этой цели могут быть пригодны угли всех типов и марок, если содержание в них золы не слишком высокое. В настоящее время часть высокозольных углей сжигается в виде пыли с вдуванием в топку котлов через форсунки. Такой вид сжигания обеспечивает более полное сгорание угля при меньшем его расходовании. Сжигание низкосортного угля в топках производится также в форме брикетов, т. е. плиток, прессованных из нестойких, быстро рассыпающихся углей (в основном бурых) и угольной мелочи с добавлением в нее в отдельных случаях битумов как связывающих веществ.

Таблица 12

Классификация по маркам и группам каменных углей и антрацитов
Донецкого бассейна (ГОСТ 8180—59)

Марка	Условное обозначение группы угля	Показатели			Характер не летучего остатка
		V_{ob}^r , см ³ /г	V^r , %	y , мм	
Длиннопламенный (Д)	—	—	37 и более	—	Порошкообразный слипшийся, слабоспекшийся
Газовый (Г)	Γ_6 Γ_{18}	—	35 и более 35 » »	6—15 16—25	
Жирный (Ж)	$Ж_{13}$ $Ж_{21}$	—	27—<35 27—<35	13—20 21 и более	
Коксовый (К)	$K_Ж$ K_{14}	—	18—<27 18—<27	21 и более 14—20	
Отощенно-спекающийся (ОС)	$ОС_6$ $ОС$	—	14—22 14—22	6—13 <6	Спекшийся без порошка
Тощий (Т)	—	—	9—17	—	Порошкообразный слипшийся, слабоспекшийся
Полуантрацит * (ПА)	—	220—330	<9	—	
Антрацит *	—	<220	<9	—	

* Теплота сгорания $Q_b^r = 8350$ ккал/кг.

Коксование основано на способности коксующихся сортов углей или их смесей при нагревании до 750—1100° С без доступа воздуха давать твердый остаток — кокс и побочные продукты. Главным потребителем кокса является металлургическая промышленность. Для коксования используются неокисленные каменные угли, в качественную характеристику большинства которых должны входить определенные нормы содержания золы, серы, влаги, летучих веществ и фосфора. Ранее для этого использовались только одни коксовые угли, в настоящее время — угли различных марок (от Г—Ж до ОС).

В процессе коксования кроме конечного остатка — кокса по-

лучают деготь (смолу), аммиачную воду и газ. В свою очередь смола и газ служат исходным материалом для изготовления самых разнообразных и многочисленных химических продуктов — от взрывчатых веществ до сахарины, от карболовой кислоты до утонченных духов и от лекарственных веществ до сильнейших ядов. Аммиачная вода главным образом идет на изготовление азотной кислоты.

Полукоксование основано на свойстве углей при нагревании до 500—600° С разлагаться на газ, деготь и подсмольную воду с конечным твердым остатком — полукоксом. Решающим показателем в характеристике углей, идущих для полукоксования, является выход дегтя как сырья для получения искусственного жидкого топлива (бензина, керосина, масел). Каменные угли дают выход дегтя от 5 до 15%, бурые угли — до 25%, сапропелиты — до 30% и более из расчета на обезвоженный уголь. Полукокс и газ, получаемые при полукоксование, используются главным образом как высококалорийное топливо. При переработке углей (газификация) получаемые газы идут на промышленные и бытовые цели. В зависимости от видов переработки получают газы: коксовальный, полукоксовальный, смешанный, генераторный.

Гидрогенизация (получение искусственного жидкого топлива) производится путем воздействия на уголь водорода в присутствии катализаторов, в результате чего получают жидкие горючие продукты. Для этого применяются малозольные, в основном битуминозные угли.

Экстракция (получение горного воска) производится из битумов бурых углей. Основным показателем при оценке углей, идущих для этой цели, является не только общий выход битума, но и главным образом процентное содержание воска и качественная его характеристика.

§ 21. РАЙОНИРОВАНИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Угольный бассейн (по П. И. Степанову) — это обширная площадь (сотни и тысячи квадратных километров) сплошного непрерывного развития угленосных отложений с подчиненными им пластами угля, образовавшимися в результате единого геологического процесса.

Угольное месторождение — какая-нибудь часть бассейна или вообще небольшая по площади (десятка, реже сотни квадратных километров) и запасам угля часть земной поверхности.

Угленосный район — это совокупность угольных месторождений, как правило, разобщенных в результате тектонических или эрозионных процессов.

Громадные угленосные площади, на которых не доказано непрерывное развитие угленосных отложений с подчиненными

Генетическая классификация угленосных отложений (бассейнов, месторождений) по Г. А. Иванову

Диагностические признаки	Основные типы		
	Геосинклинальный	Переходный (субгеосинклинальный)	Платформенный
Признаки, связанные с образованием угленосных отложений (сингенетические)			
Мощность угленосных отложений	Очень большая (километры)	Большая (от нескольких километров до сотен метров)	Малая (от сантиметров до десятков метров)
Фациальный состав угленосных отложений по разрезу (во времени)	Характерна частая смена пород различного состава	Менее частая смена пород (отложения распадаются на более или менее отчетливые песчаные, глинистые и известняковые толщи)	Наблюдается приуроченность груобокластического (песчаного и др.) материала, главным образом к основанию угленосной толщи, лежащей на размagnetой поверхности подстилающих пород.
То же, по площади (в пространстве)	Относительное постоянство на больших площадях (возможно, на сотни километров)	Меньшее постоянство (на десятки километров)	Большая изменчивость на коротких расстояниях (километры — сотни метров)
Характер угленосности (количество, мощность, формы залежей угля, распределение их по разрезу, типы углей)	Большое количество (возможно сотни) премнущественно тонких и достаточно устойчивых залежей угля, более или менее равномерно распределенных по всему разрезу; угли гумусовые	Меньшее количество (десятки, реже сотни) более мощных, но менее устойчивых залежей угля, приуроченных главным образом к глинистым частям разреза; угли преимущественно гумусовые	Малое количество (единицы, редко десятки), неустойчивых, иногда большой мощности залежей угля, приуроченных почти всегда к нижней части угленосной толщи; угли гумусовые и сапропелевые

Продолжение табл. 13

Диагностические признаки	Основные типы		
	Геосинклинальный	Переходный (субгеосинклинальный)	Платформенный
Признаки, связанные с образованием (эпигенетические) угленосных отложений			
Степень изменения (исклучая выветривание вмещающих пород) вмещающих пород	Сильно изменившиеся, всегда уплотненные и скементированные, часто метаморфизованные	Менее изменившиеся, уплотненные и скементированные, реже метаморфизованные	Слабо или неизмененные углы низкой степени углефикации, зональность в распределении их по разрезу и по площади распространения не отчетлива
То же, углей	Сильно изменившиеся угли всех степеней углефикации до антрацитов и графитов включительно; характерна отчетливая зональность в распределении их по разрезу (правило Хильта) и по площади распространения	Средних степеней углефикации, зональность в распределении их по разрезу и по площади распространения не отчетлива	Характерны брахискладки (мульды, купола и пр.) или мягкая складчатость; разрывы преимущественно надвигового характера (переходные зоны между складчатыми и платформенными областями)
Характер складчатости в разрядах	Отчетливо выражена линейность в ориентировке складок; разрывы разнообразного характера (типичные складчатые области)	Проявление вообще нехарактерно	Характерно почти горизонтальное или очень пологое залегание пород; разрывыбросового характера (тиpicные платформы)
Проявление вулканизма	Может проявляться сильно	очень	Проявление нехарактерно, как исключение возможно

пластами угля, называют угленосными площадями, или областями.

При определении размеров и границ угленосных бассейнов наблюдаются три случая:

1) вся площадь, занятая угленосными отложениями, выходит на дневную поверхность, причем угольные пласты и вмещающие их породы могут быть закрыты более молодыми отложениями — такие бассейны называются открытыми (к ним можно отнести, например, Кузнецкий бассейн); видимые границы и площадь бассейна будут в этом случае действительными его границами и площадью;

2) на дневную поверхность выходит только часть угленосных отложений, другая же часть скрыта породами иного возраста, маскирующими действительные границы и площадь угленосных отложений — эти бассейны называют полуоткрытыми, или полузакрытыми; в качестве примера можно указать Донецкий и Карагандинский бассейны;

3) угленосные отложения сплошь закрыты более молодыми отложениями, и в этом случае границы и площадь бассейна могут быть установлены горно-буровыми разведочными работами — такие бассейны называют закрытыми, к их числу можно отнести Челябинский бассейн.

Генетические типы угленосных отложений (формаций и бассейнов).

На основании диагностических и главным образом геотектонических признаков Г. А. Иванов подразделил все бассейны на три типа: геосинклинальный, переходный и платформенный (табл. 13).

Н. И. Погребнов (1972 г.) рассмотрел вопрос о размещении угленосных формаций в современных структурах земной коры и установил определенную закономерность, согласно которой структура бассейнов, угленосность, метаморфизм углей и их качество, а также промышленная ценность месторождений определяются положением угленосной формации в современных структурах земной коры.

§ 22. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И БАССЕЙНОВ

В предыдущих разделах было показано, что для образования месторождения твердых горючих ископаемых (торфа, сланцев и угля) необходимы определенные климатические и тектонические условия, которые обусловили возникновение и развитие органического (преимущественно растительного) мира, его территориальное расселение, условия произрастания, отмирания, скопления, захоронения и превращения в полезное ископаемое.

Все эти процессы, являясь неотъемлемой частью общего развития Земли, обнаруживают определенные закономерности как во времени, так и в пространстве.

Смена эпох расцвета растительности эпохами угнетения обусловила неравномерность распределения скоплений горючих ископаемых во времени (стратиграфическая закономерность). Смена тектонических обстановок приводила к изменениям в распределении суши и моря, областей сноса и накопления осадков, изменению гидрогеологических условий. Орогенические явления обусловили гипсометрическую зональность и связанные с этим различия в рельфе и вертикальной климатической зональности (палеогеографические закономерности). Тектонические причины привели к образованию бассейнов, а впоследствии к изменениям первичного залегания пластов, т. е. явились фактором, обусловившим формирование структур бассейнов и их современное размещение в земной коре (тектонические закономерности). Непрекращающиеся изменения лика Земли приводили не только к образованию месторождений, но и к их разрушению. В ряде случаев мы наблюдаем лишь части бассейнов, уцелевшие от разрушения. Несмотря на длительность и сложность геологической истории формирования и разрушения месторождений твердых горючих ископаемых, ученым удалось выяснить определенные закономерности размещения угольных месторождений в земной коре, оценить их перспективы, прогнозировать качество углей, направлять поисково-разведочные работы, рационально вести эксплуатацию месторождений.

Еще в 1937 г. академик П. И. Степанов установил, что в осадочной оболочке земной коры, начиная с девона, когда появились первые промышленные скопления углей, выделяется три максимума угленакопления. Первый максимум совпадает с поздним карбоном и пермью (в СССР 38,1% мировых запасов углей, второй — с юрой (в СССР 4,0% мировых запасов), третий — с верхней частью позднего мела и третичным периодом (в СССР 54,4% мировых запасов). Минимумы — первый с ранним карбоном, второй с триасом, третий — с началом позднемелового периода.

Анализ размещения угольных месторождений позволил П. И. Степанову выделить площади, в пределах которых в определенный геологический период произошло наиболее обильное накопление угленосных отложений и органической массы. Прослеживая размещение этих площадей на земном шаре, он выделил пояса угленакопления, а в пределах поясов узлы, с которыми связаны максимумы угленакопления данного времени (рис. 68).

Таким образом, акад. П. И. Степанов показал, что географическое размещение угольных бассейнов на земном шаре не случайно, а закономерно, т. е. угленакопление — процесс закономерный.

В результате новых открытий и разведки месторождений со временем работ П. И. Степанова произошли значительные изменения. А. К. Матвеев и Н. Г. Железнова (1973 г.) провели анализ стратиграфического размещения запасов углей на земном

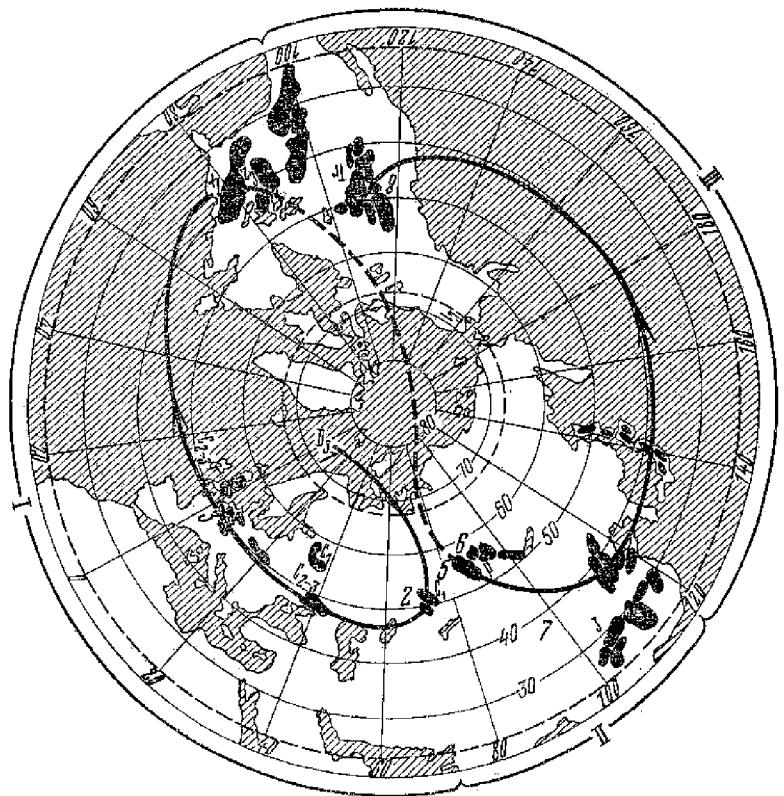


Рис. 68. Схема перемещения узлов угленакопления в стратиграфической последовательности, по П. И. Степанову.

I — площадь с преобладанием карбонового угленакопления — 26,24% мировых запасов угля; II — площадь с преобладанием пермского и юрского угленакопления — 20,17% мировых запасов угля; III — площадь с преобладанием позднемелового и третичного угленакопления — 53,79% мировых запасов угля. 1—8 — узлы угленакопления и % мировых запасов угля в них (1 — позднедевонский — Медвежий остров — 0,001%, 2 — раннекарбоновый — Караганда — 0,64%, 3 — Западно-Европейский — вестфальский — 9%, 4 — восточно-Северо-Американский — вестфальский — 13%, 5 — Сибирский — пермский — 11,7%, 6 — Чульмо-Канско-Иркутский — юрский — 7,47%, 7 — Южно-Китайский — пермь-юра — 2%, 8 — западный Северо-Американский — позднемеловой и третичный — 52%).

шаре с учетом новых материалов. Их данные показывают, что по состоянию на 1970 г. угленакопление в стратиграфическом разрезе распределяется следующим образом: девон 0,001%, карбон 21%, пермь 27%, триас 0,04%, юра 16%, мел 21%, палеоген и неоген 14,6%.

Для территории СССР, по результатам подсчета 1956 г., провели анализ стратиграфического размещения запасов углей

А. В. Тыжнов и Н. В. Шабаров (1958 г.), а в 1970 г. по результатам подсчета 1968 г. А. В. Тыжнов уточнил эти данные (табл. 14).

Известные в настоящее время основные угольные бассейны и месторождения Советского Союза по времени торфонакопления распределяются следующим образом.

1. Бассейны и месторождения карбонового возраста — Львовско-Волынский, Донецкий, Подмосковный, Кизеловский, Карагандинский бассейны и месторождения Передового хребта Северного Кавказа, Восточного склона Урала, Экибастузское и другие месторождения карбона Казахстана.

2. Бассейны и месторождения пермского возраста — Нечорский, Кузнецкий*, Горловский, Минусинский, Тунгусский* и Таймырский.

3. Бассейны и месторождения мезозойского возраста — Челябинский, Тургайский, Канско-Ачинский, Иркутский, Улугхемский, Южно-Якутский, Буреинский, Сучанский, Ленский бассейны, а также месторождения Грузии, Северного Кавказа, Средней Азии и Забайкалья.

4. Бассейны и месторождения кайнозойского возраста — Днепровский, Южно-Уральский бассейны, месторождения Приморского края, о-ва Сахалин и п-ова Камчатки.

Таблица 14
Распределение общих геологических запасов углей СССР по возрасту и маркам (в млрд. т), по А. В. Тыжнову (1970)

Возраст углей	Запасы, млрд. т	Марка угля								Без разделения	
		Б1	Б2, Б3	Д	Г, ГЖ	Ж	КЖ, КН ₂	ОС	СС		
Всего по СССР	6800	231	1847	2089	670	191	112	103	646	225	682
Девонские	0,079	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,54
Карбоновые	475	—	54,6	108	113	12,6	15,9	43,7	31,9	—	0,079
Пермские	3291	—	54,3	1240	358	110	65,6	41,8	614	176	1,49
Триасовые	2,86	—	1,80	—	0,16	—	—	—	—	0,898	5,17
Юрские	1534	25,7	986	333	132	12,6	14,4	4,65	2	4,49	0,74
Меловые	1234	2,20	704	395	65,2	35,4	16,1	12,6	2	3,33	0,58
Палеогеновые и неогеновые	265	203	46,1	13,2	0,39	1,76	1,12	—	—	0,11	—

Примечание. Кончные цифры округлены.

* Имеются две угольных формации — карбоновая и пермская.

§ 23. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗАХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Детальными исследованиями газоносности угольных месторождений в Советском Союзе установлено, что угли и вмещающие их породы содержат следующие природные газы: метан (CH_4), углекислый газ (CO_2), тяжелые углеводороды ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$), азот (N_2), сероводород (H_2S) и водород (H_2). Газы образуются в процессе превращения растительного материала в торф и уголь как при метаморфизме, так и при выветривании углей, т. е. на всех этапах формирования и изменения ископаемого угля.

Метан преобладает среди газов угольных месторождений (от 60 до 98%). Он образовался в основном за счет разложения растительного вещества. Опытами установлено, что из 1 т растительных остатков, содержащих целлюлозу, образуется от 230 до 465 м³ метана.

Однако метан, образовавшийся в больших количествах при биохимических процессах, не мог полностью сохраняться в угольных пластах и вмещающих их породах из-за отсутствия или слабой уплотненности покровных отложений и развития интенсивных процессов дегазации. Кроме того, в торфяной стадии, когда происходило зарождение угольного вещества, в нем не было условий для сохранения газовых компонентов, и газы, выделявшиеся при реакциях углеобразования, улетучивались в атмосферу. В следующих стадиях при метаморфических преобразованиях в углях создавалась пористая структура, в которой появились силы, связывающие уголь с газом, что сделало возможным создание и сохранение до настоящего времени природного равновесия системы «газ—уголь».

Метаморфизм углей и рассеянных углистых включений приводит к выделению углеводородов (метана). Но количество газа, образовавшегося на протяжении вековых процессов углефиксации, значительно превышает обнаруживаемые в настоящее время содержания газа в угольных пластах. Таким образом, основная масса метана в природных газах угольных месторождений образовалась в период их формирования и в настоящее время является остаточной, сохранившейся в угленосных отложениях благодаря различным геологическим факторам. Образование метана в незначительных количествах продолжается и в настоящее время.

Метан в чистом виде не имеет цвета, запаха и вкуса. С примесью других газов он приобретает специфический запах. Для человека метан не вреден, но при большом его количестве в воздухе содержание кислорода в последнем становится недостаточным для дыхания. Относительная плотность метана равна 0,554, т. е. этот газ почти в два раза легче воздуха, вследствие чего он легко скапливается в верхних частях горных выработок,

Метан при небольшом содержании в воздухе горит синеватым пламенем, а при содержании около 5% — серовато-голубым.

Основным и наиболее опасным свойством метана является образование с воздухом взрывчатой смеси. Смесь с содержанием метана от 0 до 5% при высокой температуре сгорает без взрыва. При содержании метана от 5—6 до 14—16% смесь, со-прикасаясь с пламенем, дает взрыв. Наибольшая сила взрыва наблюдается при содержании метана в рудничном воздухе в количестве 9,5%. Смесь с содержанием метана выше 16% не взрывается и не поддерживает горение, так как в этих условиях кислорода воздуха недостаточно не только для сгорания данного количества метана, но и для поддержания горения.

Метан воспламеняется при температуре 650—750° С. С увеличением температуры и давления среды температура вспышки понижается, и наоборот. При соприкосновении метана с источником высокой температуры воспламенение его происходит не сразу, а с некоторым запаздыванием. Если в составе воздуха кроме метана присутствует еще водород, окись углерода и сероводорода, то время запаздывания уменьшается, а при повышенном содержании указанных газов воспламенение наступает моментально. Растворимость метана в воде при давлении 1 атм и температуре 15° С достигает 49,5 см³/л.

Углекислый газ, содержание которого достигает иногда 25% от общего состава газов угольных месторождений, также образовался в результате превращения растительного вещества при углеобразовании и несмотря на его большую растворимость в воде, все же в отдельных наиболее благоприятных геологических условиях мог сохраняться и достигать значительных объемов. Кроме того, углекислый газ, заключенный в угленосных толщах, обязан своим генезисом процессам сорбции атмосферного кислорода с окислением углерода до углекислого газа, а также привносу его циркулирующими водами в растворенном состоянии из верхних горизонтов биосфера. Поступление этого газа в угленосную толщу может быть связано с магматизмом, как, например, это имеет место в Донбассе, Кузбассе, Су-чане и др.

Углекислый газ бесцветен, со слабым кислым вкусом и слабым запахом. Он не поддерживает горения, легко и в больших объемах растворяется в воде. Относительная плотность его 1,52, т. е. он в полтора раза тяжелее воздуха, а поэтому скапливается у почвы выработок и в забоях уклонов. При слабом проветривании эти скопления могут быть опасными для работы.

Азот, заключенный в угольных месторождениях, имеет в основном атмосферное происхождение за счет привноса его подземными водами в растворенном состоянии из верхних горизонтов биосфера. Кроме того, он мог образоваться при осадконакоплении в момент захвата в тех или иных количествах

воздуха, который впоследствии лишился кислорода в результате окислительных процессов. Химически малоактивный в этих условиях, азот иногда может присутствовать в составе подземных газовых скоплений (Кузбасс). И, наконец, частично азот в угольных месторождениях образовался в результате биохимических процессов (Кузбасс, Донбасс). Для определения содержания в газе азота воздушного происхождения используется отношение аргона к азоту в газе из углей к такому же отношению их в воздухе. Как известно, отношение аргона к азоту в воздухе равно 0,0118, или в процентном выражении 1,18%.

Азот не имеет цвета, запаха и вкуса, его плотность 0,97. Этот газ инертен и не поддерживает ни дыхания, ни горения. Азот ослабляет взрывчатость метана. Растворимость в воде достигает 16,3 см³/л при $t=15^{\circ}\text{C}$.

Сероводород своим происхождением обязан главным образом процессам превращения растительного вещества в результате восстановления сульфатов десульфирующими бактериями. Сероводород образуется также при восстановлении сульфатов углеводородными газами. Общее количество сероводорода, возникшее в результате биохимических процессов при углеобразовании, было, по-видимому, очень велико, но вследствие его легкой растворимости в воде и особенно неустойчивости на поверхности Земли, в современных газах угольных месторождений отмечаются обычно лишь следы или незначительные количества его, исчисляемые долями процента. Вторичные процессы выводят сероводород за пределы свободной газовой фазы.

Сероводород — газ без цвета, с характерным запахом тухлых яиц, со сладковатым вкусом. Его плотность 1,19. Он хорошо горит и при содержании 6% дает с воздухом взрывчатую смесь. Так же как углекислый газ, легко растворяется в воде: при температуре 20°C в одном объеме воды растворяется 2,5 объема газа. Сероводород очень ядовит. Он отравляет кровь, раздражает слизистые оболочки глаз и дыхательных путей. Содержание сероводорода в рудничном воздухе 0,00066% (объемных) считается предельно безопасным.

Водород. Происхождение водорода связывают в основном с биохимическими превращениями органических веществ, с метаморфизмом угольного вещества. Свободный водород может образоваться в результате радиохимических процессов. Существуют гипотезы и о неорганическом происхождении водорода.

Водород — газ без цвета, запаха и вкуса. Плотность 0,069. Это самый легкий газ, он почти в 14,5 раз легче воздуха. Растворимость в воде незначительна: в 100 объемах воды при температуре 20°C растворяется 1,8 объема водорода. Водород не ядовит, дыхания не поддерживает, горит и взрывается. При содержании водорода в воздухе до 4% он горит только при постороннем источнике высокой температуры. Газовоздушная

смесь, содержащая от 5 до 74% водорода, является взрывчатой. Водород в составе газов угленосных отложений встречается обычно в небольших количествах (доли процента); иногда его содержание может достигать 15—20%.

Тяжелые углеводороды (главным образом этан, C_2H_6 — плотность 1,049) в угленосной толще образовались, по-видимому, также в результате метаморфизма угольного вещества. Содержание тяжелых углеводородов в отдельных пробах газа из углей достигает 13—15% (Кузбасс).

Генезис большинства газов угольных месторождений, и в первую очередь метана как основного компонента, прежде всего связан с процессами углеобразования, начиная со стадии оторфянения. Следовательно, современный газ в угленосных толщах состоит из газа, оставшегося от торфяной стадии, и главным образом из газа, возникшего в результате углефикации в условиях погружения угля на глубину и перекрытия его породами. Образовавшиеся таким образом газы сорбировались самим веществом угля, скапливаясь в больших количествах в виде свободных газов как в пластах угля, так и в породах, его вмещающих, если для их сохранения были благоприятные геологические условия, а именно: литологический состав пород, пористость и трещиноватость углей и пород.

§ 24. ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ

Под горючими сланцами понимают глинистые или известняковые породы, легко загорающиеся от спички и горящие коптящим пламенем с характерным запахом битумов. Часть горючих сланцев содержит готовый битум, пропитывающий породы. Большая часть собственно горючих сланцев относится к сапропелитовым образованиям.

Сланцы, как и сапропелиты, образовались из водорослей и планктона в пресноводных и морских водоемах типа прибрежно-морских лагун и заливов. Горючие сланцы можно рассматривать как зольные разновидности сапропелитов. На дне водоемов отмерший материал (фитопланктон, остатки животных организмов и наземных растений) подвергался бактериальному разложению, большей частью без доступа воздуха. Образовавшийся сапропель смешивался с минеральными веществами и, погружаясь под тяжестью вышележащих слоев пород, постепенно уплотнялся и затвердевал.

Большая часть горючих сланцев имеет листовидный характер. В свежем виде многие сланцы режутся ножом и даже дают стружку. Цвет сланцев различный: бурый, шоколадный, темно-серый, иногда светло-желтый. Удельный вес их различен: например, эстонские сланцы имеют удельный вес 1,26—1,71, чудовские 1,44—2,77. Состав органической массы в сланцах

различных месторождений и даже горизонтов не постоянен (табл. 15). Характерен высокий выход первичного дегтя.

Сланцы всегда залегают в осадочных породах в виде отдельных слоев, переслаивающихся минеральными породами. Число слоев иногда бывает очень велико, например, в залежах Кендерлыкских сланцев известно 50 слоев, в Ухтинских — 59.

Таблица 15
Состав органической массы различных сланцев, %

Сланец	Влага	Карбонаты	Углерод	Водород	Сера	Азот	Битумы
Гдовский	3,9	10,66	72,37	9,26	1,79	—	2,0
Волжский	5,4	4,74	62,77	7,07	6,59	—	2,0
Романовский	5,8	4,90	64,17	8,12	2,04	—	—
Прибалтийский	—	—	81,6	8,7	—	—	—
Каширский	—	—	64,7	7,3	—	—	—
Буяновский	—	—	61,3	7,3	—	—	—
Кукерский	—	—	77,5	9,7	—	0,4	—
Чудовский	—	—	73,1	9,0	—	0,7	—
Диктионемовый	—	—	69,9	6,6	—	2,0	—

Битумы в горючих сланцах могут быть двух родов. Одни из них (асфальт, нефть) извлекаются из породы органическими растворителями (например, бензолом), другие не выделяют битумов при обработке растворителями, но при сухой перегонке могут дать пиробитумы. Поэтому горючие сланцы можно разделить на две группы: 1) пропитанные готовыми битумами; 2) пиробитуминозные, или собственно горючие сланцы. Встречаются в природе и переходные разновидности.

К первой группе относятся асфальтоподобные сланцы Канады и сланцы типа калифорнийских (типа Монтерей), битумы которых связаны с нефтью. Ко второй группе, к которой принадлежит большая часть сланцев, относятся преимущественно сапропелевые преобразования, т. е. отложения биогенного органического ила. Между гумусовым углем и углистыми сланцами то же соотношение, что и между сапропелевым углем и горючими сланцами, которые представляют собой разновидности кеннелей, багхедов и других сапропелитов.

Применяются горючие сланцы как топливо и как химическое сырье. Сланцы с теплотой сгорания (на сухое топливо) свыше 1500 ккал/кг используются в качестве топлива в стационарных и подвижных (паровозы) установках. Лучший тепловой эффект достигается при сжигании сланцев в пылевидном состоянии или в смеси с антрацитовым штыбом. Главная масса горючих сланцев используется в качестве энергетического топлива, а также перерабатывается термическим способом на газообразное и жидкое топливо, смазочные материалы и разнообразные химикаты.

25.1. БАССЕЙНЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАЛЕОЗОИСКОГО ВОЗРАСТА

Из 6,8 трлн. т прогнозных запасов СССР на долю палеозойских бассейнов приходится 3,8, т. е. немногим более 50% всех прогнозных запасов. Палеозойские бассейны содержат основные запасы каменных углей (80%) и антрацитов (99%).

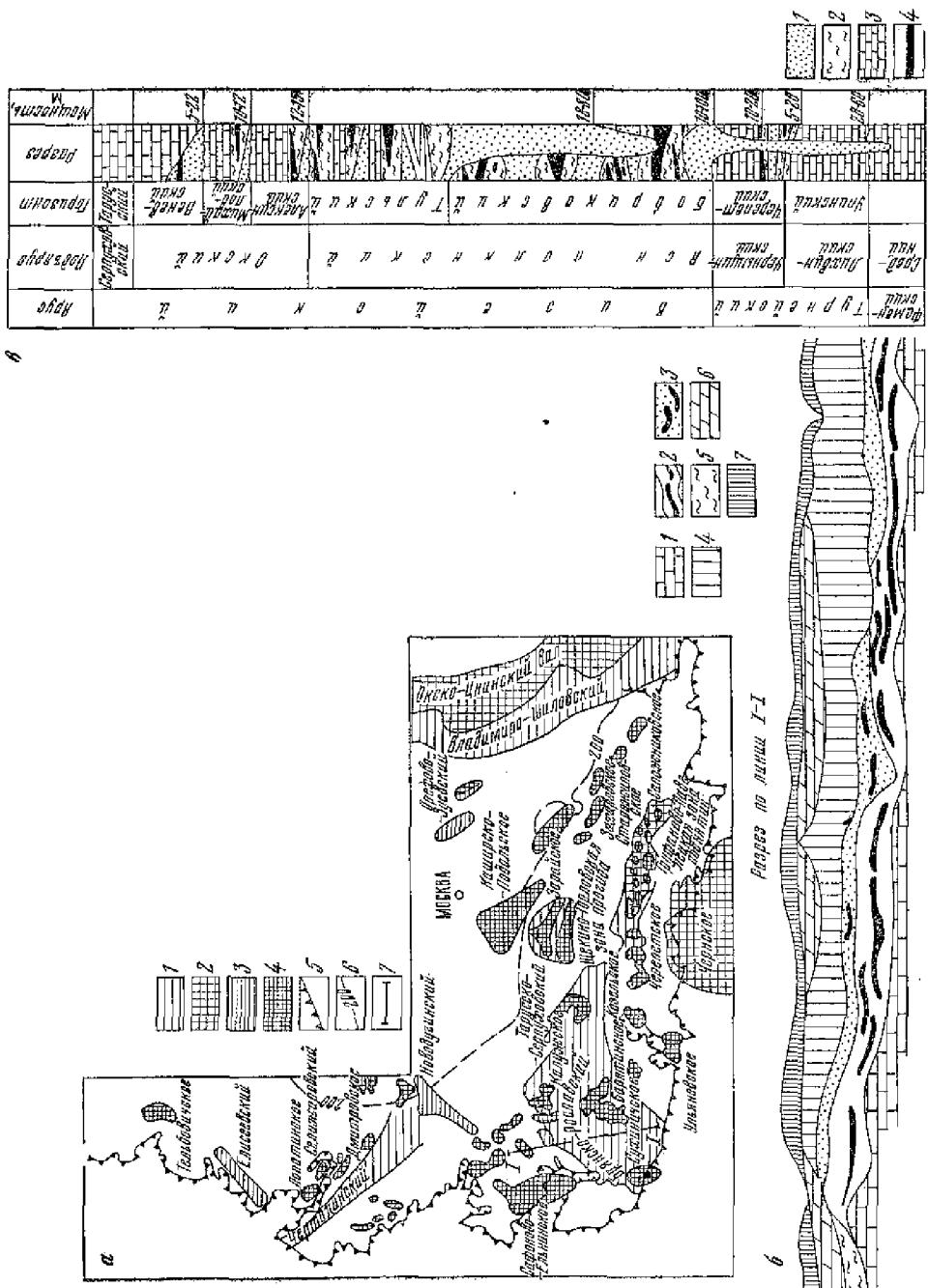
Подмосковный бассейн является одним из старейших бассейнов страны, добыча угля в котором начата свыше 100 лет назад. Он располагается в пределах Рязанской, Московской, Тульской, Калужской, Смоленской, Калининской и Новгородской областей РСФСР. Промышленная часть его образует полосу шириной около 120 км, выпуклую на юго-запад. Площадь бассейна 120 тыс. км² (рис. 69).

Западная и южная границы бассейна определены выходами на поверхность углесодержащего нижнего карбона. Восточная и северная границы приняты условно по 200 м изогипсе поверхности основного угольного пласта. Бассейн приурочен к южному и западному крыльям Московской синеклизы. Находясь в пределах центральных промышленных районов, бассейн имеет важное народнохозяйственное значение. Основными потребителями угля являются теплоэлектростанции центральных районов СССР.

Стратиграфия. На площади бассейна развит комплекс отложений девонского, каменноугольного, местами юрского, мелового, палеоген-неогенового и четвертичного возрастов (см. рис. 69).

Промышленно-угленосными являются отложения нижнего карбона общей мощностью 100—150 м залегающие несогласно на девоне и представленные тремя ярусами. К турнейскому ярусу относятся лихвинский и чернышинский горизонты. Первый сложен известняками мощностью 20—60 м. Чернышинский горизонт мощностью от 15 до 40 м сохранился на отдельных участках. В нижней части разреза это пески, в верхней — известняки.

Визейские отложения подразделяются на ясонополянский, окский и серпуховский надгоризонты. Ясонополянский надгоризонт включает бобриковский и тульский горизонты. Основным угленосным горизонтом является бобриковский, который в юго-западной части Подмосковного бассейна имеет мощность 100 м. В центральной и западной частях бассейна бобриковский горизонт не имеет сплошного распространения, мощность отложений здесь достигает 10—30 м. Тульский горизонт залегает несогласно. Развит он в бассейне довольно широко, имеет мощность 10—25 м (до 80 м) и сложен алевролитами, пластами бурого угля, а также известняками с песчано-углистыми прослоями.



Окский и серпуховский надгоризонты сложены известняками с маломощными песчано-глинистыми прослойями, к которым приурочены прослои бурого угля. Залегающие выше известняки намюрского яруса (протвинский горизонт) сохранились от размыва локально.

Отложения среднего карбона залегают трангрессивно и представлены в нижней части песчано-глинистой толщей, переходящей выше в известняки. Мощность московского яруса 110—125 м. Отложения верхнего карбона и перми известны за пределами бассейна. Мезозойские отложения встречаются на изолированных площадках в депрессиях преимущественно по южной окраине бассейна. Они представлены песчано-глинистыми отложениями с тонкими прослойками лигнита.

Палеоген-неогеновые песчано-глинистые отложения имеются в восточной части бассейна. На территории бассейна развита мощная (50—70 м) толща четвертичных ледниковых отложений.

Тектоника. Московская синеклиза, к южному и западному крыльям которой приурочен бассейн, ограничена с юга Воронежской антиклизой, а с запада Латвийской седловиной. Наклон угленосных слоев в среднем равен 1—3° и увеличивается в северном и северо-восточном направлениях. Глубина залегания угленосного карбона под Москвой около 350 м. Крылья Московской синеклизы на территории Подмосковного бассейна осложнены серией более мелких структур. К ним в западной части бассейна относятся поднятия: Сухиничское, Барятинское, Калужское, Сафоно-Ельинское и др. К склонам этих структур приурочены площади с повышенной угленосностью.

Угленосность и качество углей. Наиболее угленосными являются отложения бобриковского горизонта в западной и восточной частях южного крыла бассейна, где отмечается 11—14 угольных пластов, в центральной части 9—10 пластов, а в западном крыле их количество сокращается до 3—4. Рабочей мощности достигают 4 пласта. Угольные пласты образуют пластообразные залежи. В отложениях тульского горизонта установлено 2—4 пласта угля, из которых лишь 1—2 имеют промышленное значение. Угли Подмосковного бассейна бурые (марки B_2) гумолиты, реже сапропелиты. Средние показатели качества углей: влажность рабочего топлива 32%, зольность на

Рис. 69. Подмосковный бассейн.

- а — тектоническая схема Подмосковного бассейна: 1—2 — структуры I порядка (1 — прогибы, 2 — поднятия); 3—4 — структуры II порядка (3 — прогибы, 4 — поднятия); 5 — контур бассейна (по границе распространения отложений бобриковского горизонта); 6 — линия разреза.
 б — геологический разрез южного крыла Подмосковного бассейна: 1 — подугленосные отложения девона; 2 — угленосная формация нижнего карбона — бобриковский горизонт; 3 — то же, тульский горизонт; 4 — средние и верхнекарбоновые отложения; 5 — юрские отложения; 6 — мадловые отложения; 7 — четвертичные отложения.
 в — сводный стратиграфический разрез Подмосковной угленосной формации: 1 — пески; 2 — глины; 3 — известники; 4 — уголь

сухое топливо до 30%, сера общая 5%, иногда до 7%, теплота сгорания 6750 ккал/кг.

Подмосковный бассейн отличается сложностью гидрологических условий эксплуатации. В горных выработках отмечается присутствие углекислого газа. Общие геологические запасы кондиционных углей составляют 10,0 млрд. т, в том числе по категориям А+В+С — 4,6 млрд. т.

Карагандинский бассейн расположен в Карагандинской области Казахской ССР и занимает площадь более 3000 км². Коксующиеся угли бассейна используются заводами Казахстана и Южного Урала.

Стратиграфия. Угленосные отложения Карагандинского бассейна имеют карбоновый и юрский возраст. В центральной части бассейна развиты отложения карбона, перекрытые в восточной части юрскими отложениями (рис. 70).

В каменноугольной угленосной толще мощностью 4500—5000 м выделены аккудукская, ашлярикская, карагандинская, надкарагандинская, долинская, тентекская (наддолинская) и шеханская свиты. Все эти свиты залегают согласно.

Пластам углей продуктивных свит приданы буквенные наименования. Буква Д — долинская, А — для пластов ашлярикской свиты, К — для Карагандинской, Т — для тентекской; последовательность numerации пластов ашлярикской свиты идет сверху вниз, остальных — снизу вверх.

Тектоника. Карагандинский бассейн представляет собой унаследованный прогиб на каледонском основании широтного направления с пологим северным крылом и крутым опрокинутым на север южным. С запада ограничен крупным дизъюнктивным нарушением меридионального направления — Тентекским взбросом — с амплитудой около 400 м. Вдоль южной границы проходит крупный Джартасский, или Джалаирский надвиг с крутым (до опрокинутого) залеганием пород и многочисленными нарушениями. В бассейне выделяются три крупные мульды (с востока на запад): Верхне-Сокурская, Карагандинская и Чурубай-Нуринская.

Угленосность. Каменные угли Карагандинского бассейна приурочены к нижнему и среднему карбону. В юрских отложениях развиты бурые угли. Для ашлярикской свиты и низов карагандинской характерен параллический тип осадков, для долинской и тентекской — лимнический.

В разрезе свит заключено до 58 рабочих пластов угля суммарной мощностью 90—105 м. Средняя мощность пласта 1,5—2,0 м, иногда до 5,0—8,0 м. Число рабочих пластов изменяется по районам.

Ашлярикская и карагандинская свиты содержат по 20 пластов угля. Значительная часть угольных пластов карагандинской свиты разрабатывается шахтами на северо-западном крыле Карагандинской мульды.

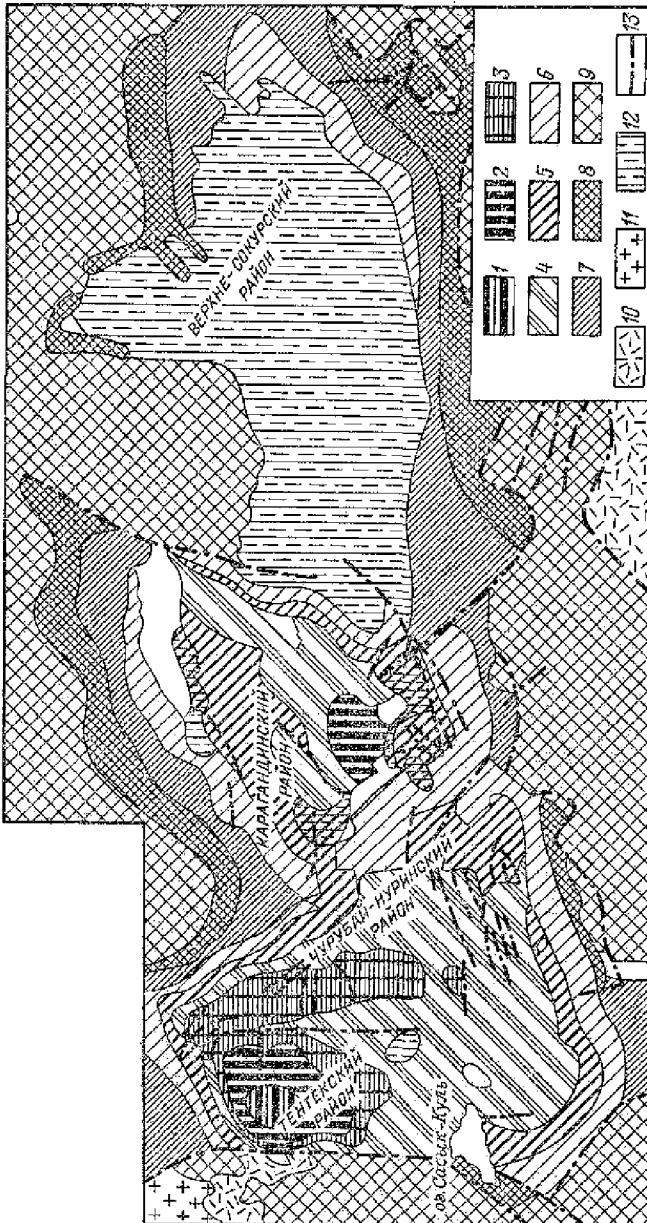


Рис. 70. Схематическая геологическая карта Карагандинского каменноугольного бассейна без кайнозойских и четвертичных отложений.

Свиты: 1 — шаханская (C_2); 2 — тентекская (C_2); 3 — долинская (C_{II}); 4 — надкарагандинская (C_{II}); 5 — карагандинская (C_{II}); 6 — ашлярикская ($C_{II}-V_1$); 7 — аккудукская (C_{II}); 8 — известняково-сланцевая толща (C_1); 9 — известняковая, конгомератово-сланцевниковая S_{I-2} ; 10 — поодинокоритовая свита (S_{I-2}); 11 — туфо-порфиритовая свита (D); 12 — юрские граниты; 13 — линии тектонических нарушений

Долинская свита содержит 12 пластов угля в Чурубай-Нуринском и Тентекском районах.

Качество карбоновых углей Карагандинского бассейна закономерно изменяется по разрезу и по площади; в зависимости от выхода летучих веществ и спекаемости угли подразделяются на марки Ж, КЖ, К, К₂ и ОС. Угли юрского возраста заключены в дубовской и михайловской свитах. Дубовская свита распространена в Карагандинском и Верхне-Сокурском районах и содержит до 7—10 пластов и линз бурого угля, преимущественно нерабочей мощности.

Михайловская свита развита в центральной части карагандинской мульды (Михайловское буроугольное месторождение — которое уже выработано).

Общие геологические запасы углей Карагандинского бассейна составляют 32 млрд. т, из них запасы по категориям А+ + В+С₁ 8 млрд. т, коксующиеся угли — общие запасы 11 млрд. т, по категориям А+В+С₁ 4,6 млрд. т.

Донецкий бассейн (Донбасс) является основным поставщиком энергетических и технологических углей для высокоразвитой промышленности Украины и прилегающих областей других республик.

Площадь Большого Донбасса, занимающего часть Днепровско-Донецкой впадины и всю область развития Донецкого складчатого сооружения, достигает 70 тыс. км², из них на 25 тыс. км² — продуктивные отложения каменноугольного возраста — выведены на дневную поверхность, что значительно упрощает добычу угля (рис. 71).

Стратиграфия. В геологическом строении Донбасса принимают участие породы докембрийского, палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Разрез отложений палеозоя и мезозоя характеризуется многочисленными перерывами, которые сопровождаются выпадением целых стратиграфических подразделений.

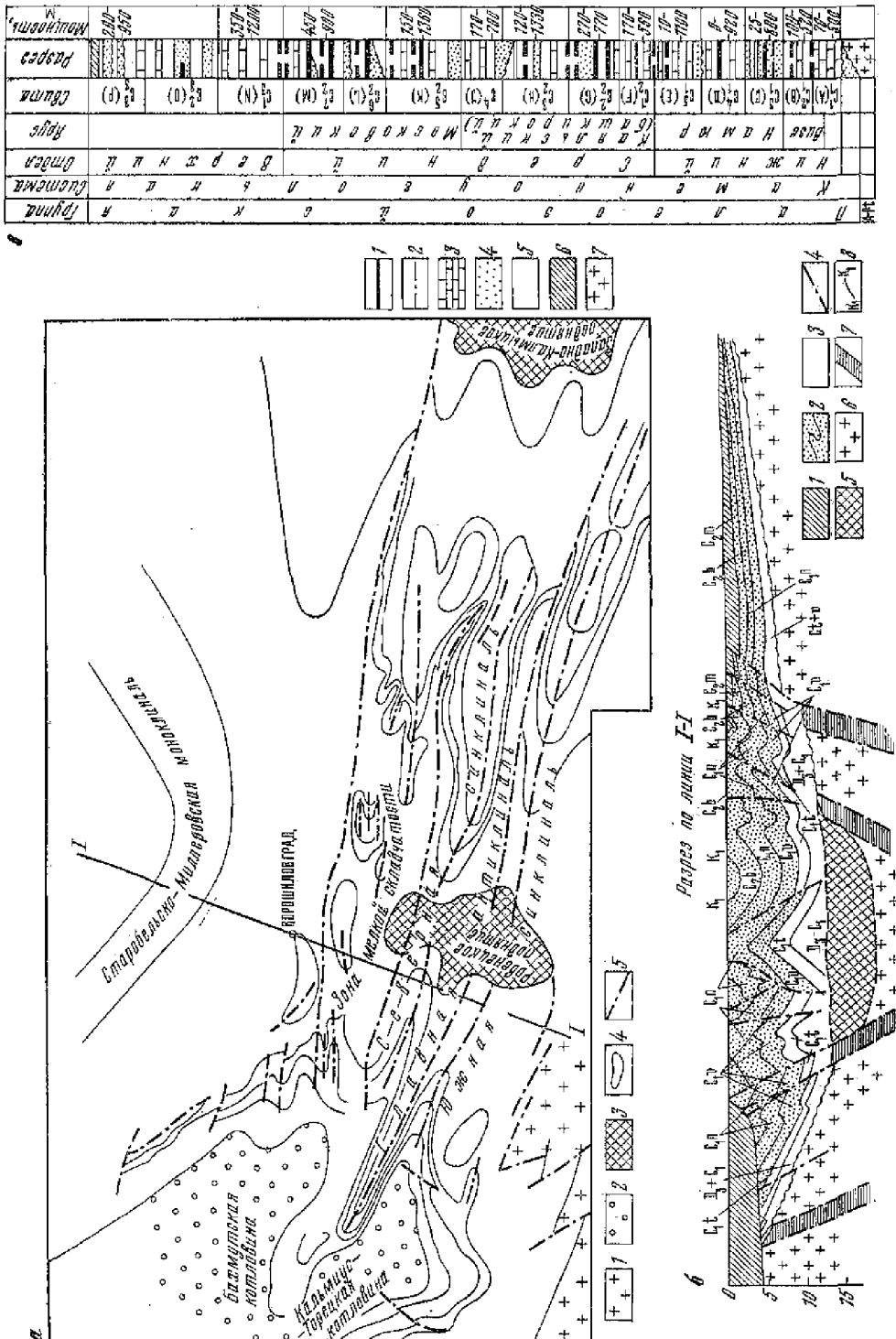
Докембрий. Докембрийские метаморфические породы фундамента выходят на поверхность вдоль южного ограничения Днепровско-Донецкой впадины. От периферии к центру впадины породы фундамента погружаются на глубину до 15 тыс. м.

Рис. 71. Донецкий бассейн.

а — тектоническая схема Донецкого бассейна: 1 — Украинский щит; 2 — крупные котловины; 3 — крупные поднятия; 4 — контуры основных структур; 5 — оси главных структур Донбасса.

б — геолого-структурный разрез Донецкого бассейна: 1 — надулгеноносные мел-палеогеновые отложения; 2 — угленосная формация (С₁—С₃); 3 — подулгеноносные отложения (D₃+ +C₁); 4 — разрывные нарушения; 5 — рифейские отложения; 6 — кристаллические породы (AR—PR); 7 — зоны разломов; 8 — маркирующие горизонты.

в — сводный стратиграфический разрез угленосной формации Донецкого бассейна: 1 — рабочие угольные пласти; 2 — нерабочие угольные пласти; 3 — известняки; 4 — песчаники мелкозернистые и крупнозернистые; 5 — аргиллиты и алевролиты; 6 — красноцветные породы; 7 — кристаллические породы.



Литологический состав свит среднего карбона

Свиты (снизу вверх)	Районы наибольшего распространения	Мощность свиты, м	Литологический состав, %			
			Аргиллиты и алевролиты (песчаные) и глинистые сланцы	Песчаники	Известники	Угли
C ₂ ¹	Красноармейский Донецко-Макеевский	250 500	65 78	30 19,7	4,2 2,0	0,8 0,3
C ₂ ²	Донецко-Макеевский	470	79	19,9	0,6	0,5
C ₂ ³	Донецко-Макеевский Алмазно-Марьевский Должано-Ровенецкий	470 490 1030	64 62 70	33 36 29	0,9 1,1 0,4	2,1 0,9 0,6
C ₂ ⁴	Донецко-Макеевский Шахтинско-Несветаевский	280 880	65 67	33 30,8	1,3 0,9	0,7 1,3
C ₂ ⁵	Донецко-Макеевский Алмазно-Марьевский Должано-Ровенецкий	405 455 790	60 56 63	36 39 35	2,2 3,6 1,2	1,8 1,4 0,8
C ₂ ⁶	Донецко-Макеевский Алмазно-Марьевский Должано-Ровенецкий	290 315 500	77 69 64	19 25 33	1,8 3,5 2,1	2,2 2,5 0,9
C ₂ ⁷	Донецко-Макеевский Алмазно-Марьевский Краснодонецкий	480 530 980	70 66 64	27 28 29	2,1 5,9 6,7	0,9 1,0 0,3

имеют значительно широкое распространение и представлены внизу песчано-глинистыми породами и выше — мергельно-меловой толщей, мощностью от 150 до 700 м.

Палеоген. Представлен песчано-глинистыми образованиями палеоценена, эоценена и олигоцена мощностью 400—700 м.

Неоген. Развит преимущественно на водоразделах. Это пески, песчаники и глины с прослоями бурых углей.

Четвертичные образования представлены лессами, лёссовидными суглинками, мощностью до 60 м.

Тектоника. В тектоническом отношении Донецкий угольный бассейн располагается частично в пределах Днепровско-Донецкой впадины и охватывает все Донецкое складчатое сооружение. Южным ограничением Донбасса служит Украинский щит (см. рис. 71).

Девон. Выходы девонских отложений известны на р. Мокрая Волноваха в южной части бассейна. Они представлены в нижней части известняками, глинистыми сланцами и светлыми песчаниками, темно-бурыми песчано-глинистыми сланцами с прослойями вулканических туфов, а в верхней — вулканогенно-осадочной толщей, сложенной серыми песчаниками, пестроцветными песчано-глинистыми сланцами и туфами. Общая мощность девона достигает 750 м.

Карбон. Каменноугольные отложения залегают на различных горизонтах девона или непосредственно на кристаллическом фундаменте. Они представлены морскими и континентальными образованиями всех трех отделов каменноугольной системы.

Мощность карбона сильно колеблется в пределах участков с различным тектоническим строением. В западной части Днепровско-Донецкой впадины она составляет 4 км, а в центре Донбасса до 18 км. В целом разрез карбона Донбасса представляет собой своеобразную толщу пород, известную как молассовая угленосная формация. В разрезе морских, прибрежно-морских, дельтовых, аллювиальных озерных и болотных образований карбона преобладают терригенные разности пород (песчаники, алевролиты, аргиллиты и т. д.), среди которых прослеживается более 300 пластов и прослоев угля мощностью от 0,3 м до 2,5 м.

Существенное значение имеет присутствие в разрезе более 100 слоев известняков мощностью от нескольких сантиметров до 50 м, которые при корреляции разрезов используются как опорные маркирующие горизонты.

Согласно классификации, разработанной еще Геолкомом, каждый отдел каменноугольной системы в Донбассе расчленяется на ряд свит, имеющих буквенное и цифровое обозначение (табл. 16).

Пермь. Отложения пермской системы распространены в пределах северо-западной части Донбасса.

В разрезе перми выделяются: свита медистых песчаников мощностью до 800 м; известняково-доломитовая свита, мощностью до 800 м; соленосная свита, мощностью до 1300 м; комплекс терригенных красноцветных пород мощностью до 400 м.

Триас. Триасовые пестроцветные песчано-глинистые континентальные образования распространены в Донбассе достаточно широко и залегают несогласно на размытой поверхности складчатого палеозоя. Мощность их в центральной части Днепровско-Донецкой впадины до 450 м. Пермские и триасовые отложения Днепровско-Донецкой впадины нефтегазоносны.

Юра. Юрские отложения известны на северо-западе и северо-востоке Донбасса, они представлены тремя отделами и их мощность достигает 800 м.

Мел. Нижнемеловые отложения имеют ограниченное распространение и представлены пестроцветными образованиями мощностью от нескольких до 350 м. Верхнемеловые отложения

В пределах Донецкого складчатого сооружения выделяется ряд крупных субширотных складчатых структур. Основными структурами являются: Главная антиклиналь с примыкающими к ней с севера Главной синклиналью и с юга — Первой южной синклиналью. Крупное Ровенецкое поперечное поднятие расчленяет эти структуры на западные и восточные их части, замыкающиеся у Ровенецкого поднятия.

Складчатые структуры сопровождаются многочисленными разрывными нарушениями и осложнены рядом взбросов и надвигов, параллельных направлению складчатости. Поперечные поднятия, как правило, сопряжены с параллельными им взбросами. Значительная тектоническая нарушенность, особенно в северной полосе развития мелкой складчатости, является препятствием для отработки угольных пластов.

Угленосность и качество углей. Промышленная угленосность приурочена к южному борту Днепровско-Донецкой впадины и к Донецкому складчатому сооружению.

В толще карбона Донбасса установлено около 300 угольных пластов и пропластков. Около 50 пластов имеют мощность от 0,5 до 2,5 м и являются объектами эксплуатации. Угольные горизонты распределены в разрезе равномерно, а по площади приурочены к отдельным структурам. Свиты нижнего карбона угленосны только на западе (Западный Донбасс). Свиты C_2^1 и C_2^2 слабо угленосны на всей площади Донбасса. Свита C_2^3 имеет максимальную угленосность к западу от Ровенецкого поднятия, а свита C_2^4 , наоборот, наибольшую угленосность имеет к востоку от этого поднятия. Свита C_2^5 имеет практически одинаковую угленосность по всей площади Донбасса.

Геологические запасы кондиционных углей Донбасса составляют 96 млрд. т, категории А+В+C₁ 40,4 млрд. т, коксующихся 28 млрд. т, антрацитов 16 млрд. т.

Горно-геологические условия отработки запасов в общем удовлетворительные. Главными неблагоприятными факторами являются газоносность и значительная нарушенность пластов. При разработке глубокозалегающих горизонтов (глубже 500—700 м) начинают проявляться внезапные выбросы угля и газа.

Печорский угольный бассейн расположен на крайнем северо-востоке европейской части СССР, в пределах Коми АССР и Ненецкого национального округа Архангельской области. На севере границей площади бассейна является Пай-Хой, на востоке — Полярный Урал, на юге — верховья р. Косью, западная граница проводится несколько западнее кряжа Чернышова. Бассейн протягивается с северо-востока на юго-запад на 400 км, имея максимальную ширину 300 км. Площадь бассейна составляет около 50 тыс. км².

Стратиграфия. В разрезе бассейна выделяется три структурных этажа. Нижний включает сильно дислоцированные доордовикские отложения, средний — менее дислоцирован-

ные отложения от ордовика по верхний триас. Породы верхнего этажа, представленные отложениями юры, мела, кайнозоя и четвертичного периода, залегают горизонтально (рис. 72).

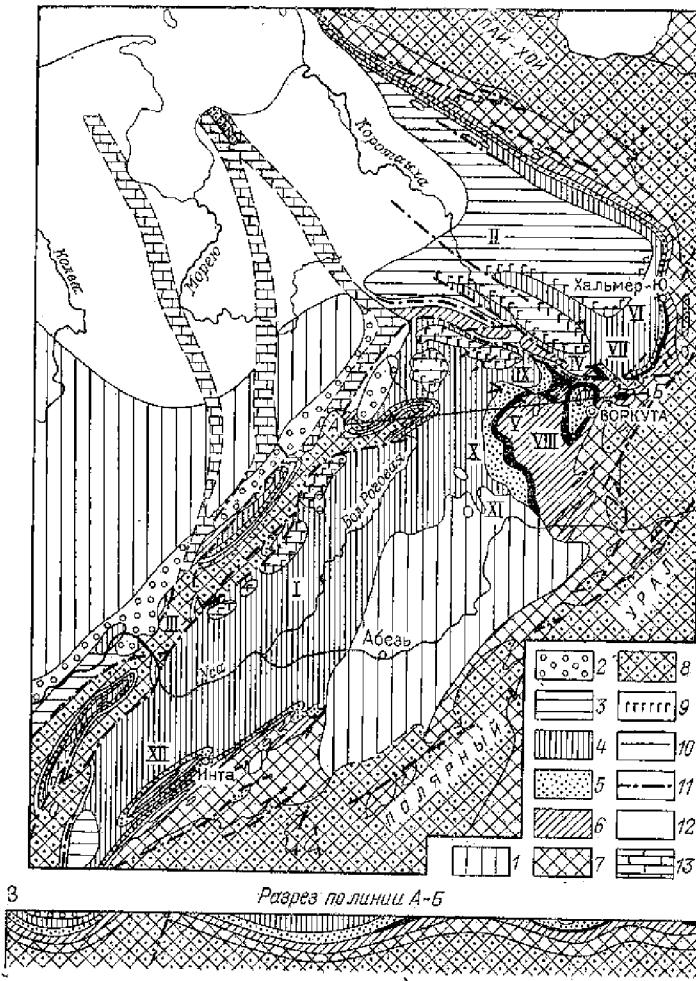


Рис. 72. Схематическая геологическая карта Печорского угольного бассейна.
 1 — мел; 2 — юра; 3 — триас; 4 — верхняя пермь (печорская серия); 5 — верхняя пермь (ингтинская свита); 6 — нижняя пермь (лекорукутская свита с затерченной рудничной подсвитой); 7 — нижняя пермь (юньянгинская серия); 8 — допермские отложения; 9 — базальты; 10 — стратиграфические границы; 11 — тектонические нарушения; 12 — район с невыясненным геологическим строением; 13 — выходы карбонатных пород под мезокайнозойские отложения по геофизическим данным. I — Усинский синклиниорий; II — Коротаихинский синклиниорий; III — кряж Чернышова; IV — поднятие Чернова; V — Ярвожский купол. Угольные месторождения: VI — Хальмерьюское; VII — Нижне- и Верхне-Сырягинское; VIII — Воргутское; IX — Воргашорское; X — Усинское; XI — Сейдинское; XII — Игнинское

Каменноугольные отложения непосредственно подстилают пермскую угленосную формацию в Печорском бассейне и выходят на дневную поверхность в пределах крупных антикли-

нальных структур. На остальной территории карбон погребён под мощной толщей более молодых образований. Разрез каменноугольных отложений представлен мощной (800—2000 м) толщей карбонатных пород.

Пермская система. Вместе с триасовыми отложениями образует единый комплекс преимущественно терригенных пород. Общая мощность пермской толщи достигает в области наибольшего погружения 7—8 км и уменьшается на западе до 2 км. В Печорском бассейне нижней перми соответствуют юньянгинская и воркутская серии, верхней перми — печорская серия. Пермские угленосные отложения залегают непосредственно под четвертичным покровом или под мезозоем.

Юньянгинская серия залегает трансгрессивно на средней части среднего карбона или изредка на нижнем карбоне, а на востоке Пай-Хоя на силуре — ордовике. Серия представляет собой отложения мелководного эпиконтинентального моря и характеризуется разнообразным, часто неяскоритмическим чередованием аргиллитов, полимиктовых алевролитов и песчаников.

Воркутская серия содержит лучшие угли района. Мощность серии 400—2400 м. Серию слагают песчаники, алевролиты, аргиллиты с железисто-карбонатными конкрециями. Слои, с которыми связаны наиболее важные промышленные угольные пласты Печорского бассейна, выделены под названиею рудничной (верхней) подсвиты. Ее мощность меняется от 600 м на северо-востоке до 700 м на кряже Чернышова.

Печорская серия представляет собой верхнюю угленосную толщу Печорского бассейна. Сложена она песчаниками, алевролитами и углами. Мощность серии от 3400 м на северо-востоке до 900 м на юго-западе. Угленосность ее хотя и сравнительно высокая, но по сравнению с воркутской серией более изменчива по площади.

Триасовая система представлена хейянской серией. Мощность серии достигает 2200—2400 м, заметно снижаясь к западу и югу. Ее слагают полимиктовые песчаники, алевролиты и аргиллиты; местами развиты конгломераты. В низах серии песчаники и конгломераты включают обломки эффузивных пород, в основании прослеживается пласт базальтов. В верхней части установлены редкие прослои углистых аргиллитов и даже маломощные угольные пласты.

Юрская система. Юрские отложения известны на западе бассейна в северной части кряжа Чернышова и в бассейне р. Усы, где в отдельных выходах описаны известняковые песчаники и конгломераты с морской фауной верхнего отдела.

Меловая система. Нижний мел общей мощностью 180—280 м вскрыт буровыми скважинами и представлен переслаиванием глин, алевролитов и песков. Верхний мел мощностью 120—180 м в центральной части Печорского бассейна трансгрессивно

залегает на отложениях пермской системы, он сложен преимущественно кварцево-глауконитовыми песчаниками и алевролитами.

Третичные отложения. Третичные отложения на площади Печорского угольного бассейна отмечаются спорадически, в виде пепельно-серых тонкополосчатых аргиллитов мощностью до 10 м. Условно к неогеновым некоторые геологи относят туфогенные породы, развитые по периферии Карской депрессии.

Четвертичные отложения. На территории Печорского угольного бассейна четвертичные образования слагают две толщи общей мощности около 200 м. Осадки нижней толщи имеют алевролито-глинистый состав. Мощность около 150 м. Верхняя толща представлена ледниковыми отложениями мощностью 50—60 м.

Тектоника. Печорский угленосный бассейн рассматривается как краевой прогиб Уральской герцинской геосинклиналии. Складчатость в пределах прогиба подчинена основным направлениям: уральскому (северо-восточному) и пайхайскому (запад-северо-западному). На территории прогиба выделяется ряд синклинальных и антиклинальных структур второго порядка (см. рис. 72), к которым относятся: Усинская мегасинклиналь, Коротаихинская мегасинклиналь, Карская мегасинклиналь, Пайхайский антиклиниорий. Угленосные площади бассейна приурочены к отрицательным структурам. Интенсивность складчатости уменьшается в направлении с северо-востока на юго-запад. Вблизи Пай-Хоя угленосная толща смята в мелкие складки с частыми разрывами. Строение синклинальных складок асимметричное, при этом в складках уральского простирания западные крылья пологие, восточные крутые, иногда даже запрокинутые; в складках вблизи гряды Чернышова наоборот — крутое падение имеют западные крылья, пологое — восточные. В юго-западной части бассейна разрывные нарушения редки, залегание пластов преимущественно пологое и в общем спокойное.

Угленосность и качество углей. Суммарная мощность угольных пластов трех основных районов бассейна — Воркутского, Хальмеюрского и Интинского — колеблется от 62 до 136 м, из которых 22—62 м приходится на воркутскую серию и 40—74 м на печорскую серию. Все месторождения бассейна многопластовые с преобладанием пластов тонких (0,5—1,3 м) и средней мощности (1,3—3,5 м).

Печорская серия содержит пласты средней мощности и мощные, сложного и очень сложного строения, высокозольные, труднообогатимые. Количество пластов мощностью 1 м и более — до 26. Угли энергетические. Количество серы в углях бассейна колеблется от 0,3 до 6,0%. Большинство углей мало-сернистые (содержание серы до 1,5%).

Выход летучих колеблется от 7 до 50%, что указывает на широкую гамму углей различной степени метаморфизма.

Запасы углей Печорского бассейна на 1977 г. составляют 42 млрд. т. Запасы разведанные по категориям А+В+C₁ составляют 8,0 млрд. т, из них энергетические 0,5 млрд. т, коксующиеся — 5,00 млрд. т.

Угленосные отложения бассейна газоносны. По мере углубления шахт интенсивность газовыделения увеличивается. Характерной чертой бассейна является наличие многолетней мерзлоты.

Кузнецкий бассейн расположен в южной части Западной Сибири. Его площадь равна 27 тыс. км². На северо-востоке Кузнецкий бассейн граничит с горным массивом Кузнецкого Алатау, на юго-западе — с Салаирским кряжем, на юго-востоке — со сливающимися отрогами этих двух структур, а на северо-западе — с Колывань-Томской складчатой системой, которая в современном рельфе выражена слабо (рис. 73).

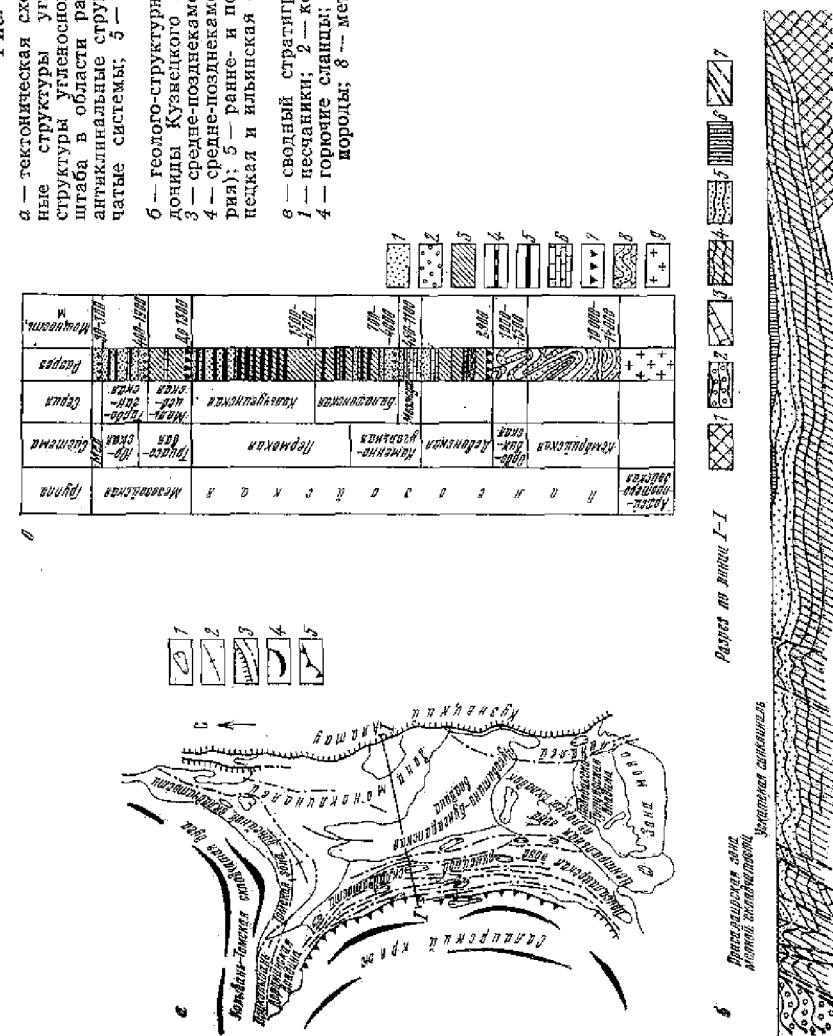
Стратиграфия. В разрезе отложений, слагающих обрамление и фундамент бассейна, выделяются докембрийские, кембрийские, ордовикские, силурийские, девонские образования. Подстилают угленосную толщу терригенно-карбонатные морские девонские отложения. Мощность нижнего и среднего девона в районе Салаира достигает 6 000 м, а в северо-восточной части Кузбасса 450—1 000 м.

Выходы нижнекаменноугольных (турнейских и визейских) отложений протягиваются узкой полосой почти по всем окраинам бассейна. Представлены они известняками, глинистыми сланцами, зеленоватыми песчаниками с известковистыми включениями. Их мощность равна 800—1 000 м. Выше залегает имущество песчанистыми сланцами мощностью от 100 до 600 м.

На морских нижнекаменноугольных отложениях залегает угленосная толща среднего, верхнего карбона и перми. В ее составе выделяются балахонская и кольчугинская серии.

В разрезе балахонской серии преобладают песчаники (до 50%), перемежающиеся с прослойями аргиллитов, алевролитов, углистых аргиллитов и углей. Мощность отложений балахонской серии по отдельным районам Кузбасса составляет 1350—2800 м. Отложения кольчугинской серии отличаются от нижележащих литологическим составом, распределением в разрезе угольных пластов, фауной и флорой. Нижняя часть серии сложена преимущественно песчано-глинистыми породами, а верхняя — песчаниками. Триасовые отложения (мальцевская серия) сложены песчаниками, алевролитами, туфами. Мощность мальцевской серии непостоянна. Отложения юры (тарбаганская серия) представлены конгломератами, залегающими трансгрессивно с угловым несогласием на более древних отложениях.

Рис. 73. Кузнецкий бассейн.
а — тектоническая схема Кузнецкого бассейна: 1 — синклинальные структуры угленосной формации; 2 — разрывы разного масштаба в области распространения угленосных формаций; 3 — антиклинальные структуры в областях отравматизированных складчатые системы; 5 — пограничные (возможные, глубинные) разломы.
б — геолого-структурный разрез Кузнецкого бассейна. 1 — каледониды Кузнецкого Алатау; 2 — ранние террильмы Салаира; 3 — средне-позднекаменноугольные отложения (балахонская серия); 4 — средне-позднекаменноугольные отложения (кульгинская иильинская серии); 5 — конгломераты; 6 — аргиллиты, алевролиты; 7 — крупные разрывы. Кузнецкий разрез: 1 — пещечники; 2 — конгломераты; 3 — аргиллиты; 4 — известняки; 5 — уголь; 6 — известья; 7 — туфогенные породы; 8 — метаморфизованные породы; 9 — гнейсы



В нижней части разреза имеется от 3 до 5 пластов угля. В центральной части бассейна мощность серии достигает 700—800 м, разрез ее преимущественно составляют песчаники. Нижние горизонты представлены глинистыми породами, включающими пласти угеля. На севере бассейна мощность юрских отложений около 250 м. Здесь выявлено до 5 пластов бурого угля.

Верхнемеловые, палеогеновые и неогеновые отложения на площади Кузбасса встречены на очень небольших изолированных участках. Эти отложения имеют мощность не более 30—50 м. Представлены они тонкозернистыми песками, гравелитами и пестроцветными глинами.

Четвертичные отложения представлены элювиально-делювиальными суглинками и аллювиальными образованиями речных террас.

Тектоника. По общему тектоническому плану Кузнецкий бассейн относится к типу унаследованных прогибов. Он представляет собой крупный асимметричный синклиниорий, длина ось которого вытянута с юго-востока на северо-запад. Синклиниорий развивался преимущественно в позднем палеозое.

Современный контур развития угленосных отложений определился в результате поднятия окружающих бассейн горных кряжей и резко выраженного сжатия осадков бассейна в результате бокового давления со стороны Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. Наиболее сильно дислоцированы угленосные отложения вблизи границ бассейна. В центральных частях синклиниория резко выраженная складчатость приурочена к зонам крупных дизъюнктивных нарушений, протягивающихся почти через весь бассейн параллельно его юго-западной и северо-западной границам (см. рис. 73).

Повсеместно четко установлен различный характер складчатости верхнепалеозойских и мезозойских отложений, рассматриваемых как два самостоятельных структурных этажа.

На площади бассейна выделяются три тектонические зоны. Непосредственно у западной, юго-западной и северо-западной окраин бассейна протягивается зона интенсивной мелкой складчатости с линейными узкими и очень крутыми, местами опрокинутыми, нарушенными складками. Восточнее расположена зона брахиоскладчатых структур.

Центральная, юго-восточная и восточная части Кузбасса представляют собой зону моноклинального залегания и пологих складок. От структур предыдущих зон они отличаются более слабой дислоцированностью слоев и разнообразной ориентировкой осей складок. Наиболее крупными зонами разломов являются: Тырганская на западе бассейна и Томская на севере Кузбасса. Многочисленные нарушения различной амплитуды развиты в угленосной толще, особенно в зонах мелкой складчатости.

Угленосность и качество углей. Основная угленосность бассейна приурочена к балахонской и кольчугинской сериям.

В балахонской серии наибольшая угленосность приурочена к юго-западной окраине бассейна, Бочатскому и Прокопьевско-Киселевскому районам. Угленосные отложения мощностью около 1600 м содержат от 22 до 60 пластов угля. Мощность большей части пластов составляет 2—5 м, а в отдельных пластиах до 10—20 м. Основная часть угольных пластов балахонской серии имеет простое строение.

В тарбаганской серии угленосность очень неустойчива и в различных районах занимает различное стратиграфическое положение. В разных районах бассейна в толще содержится от 13 до 56 пластов и пропластков угля, из них рабочей мощности (0,8 м и более) от 3 до 14 пластов. Пласти обычно сложные, состоящие из нескольких пачек, разделенных прослойями породы. В центральной части бассейна юрские отложения более угленасыщены. В нижней части разреза содержится до 5 пластов угля суммарной мощностью до 3 м.

В связи с длительными и часто менявшимися условиями формирования угленосных отложений качество углей Кузнецкого бассейна отличается большим разнообразием.

В основном угли Кузбасса гумусовые. Наиболее высоко метаморфизованные угли Кузбасса (выход летучих 5—7%) приурочены к отложениям балахонской серии. Угли кольчугинской серии почти на всей площади бассейна характеризуются выходом летучих веществ более 30%.

Угли тарбаганской серии имеют наиболее низкую степень метаморфизма — они принадлежат к бурым и переходным от бурых к каменным.

В Кузбассе развиты палеозойские угли технологических марок: от «Д» до «Г». Темпера горения горючей массы каменных углей изменяется от 7600 для марок Д и Г до 8600 ккал/кг у коксующихся и тощих углей; для юрских углей от 4700 до 5800 ккал/кг. Содержание серы не превышает 1% и обычно равно 0,4—0,6%. Большая часть углей бассейна относится к малозольным и среднезольным. Наименьшей зольностью характеризуются угли ерунаковской свиты (2—7%).

Добыча угля в Кузбассе неуклонно растет. В 1960 г. добыча угля составила 36,8 млн. т, в 1971 г. было добыто 112,8 млн. т. В ближайшем будущем получит развитие добыча углей открытым способом.

Многие шахты бассейна опасны по газу и пыли. Гидрологические условия продуктивных толщ бассейна в основном зависят от его тектоники. Наибольшая водоносность встречается в зонах крупных тектонических нарушений, а также на участках выгорания угольных пластов (в «горельниках»). Приток воды в шахтах изменяется от 100 до 250 м³/час.

Запасы кондиционных углей Кузбасса составляют 643 млрд. т, в том числе коксующиеся угли 206 млрд. т. Разведанные запасы по категории А+В+C₁ 59,5 млрд. т, в том числе коксующиеся 31,0 млрд. т.

25.2. БАССЕЙНЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕЗОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА

На долю бассейнов и месторождений мезозойского возраста приходится 2,8 трлн. т общих геологических запасов, коксующиеся угли составляют около 100 млрд. т, а антрациты — только 120 млн. т, т. е. практически отсутствуют.

Основные бассейны мезозойских углей располагаются восточнее Урала, а главные бассейны Канско-Ачинский, Иркутский, Южно-Якутский, Ленский и Зыряновский расположены в районах Восточной Сибири. Среди мезозойских бассейнов также имеются различные структурно-тектонические типы.

Для примера ниже приводится описание Иркутского, Южно-Якутского и Канско-Ачинского бассейнов. Два первые расположены на Сибирской платформе, последний — своей восточной частью приурочен к Сибирской платформе, а западной — к молодой Западно-Сибирской плите.

Иркутский бассейн расположен в юго-западной части Иркутской области. Он протягивается на 500 км вдоль северного склона Восточного Саяна от г. Нижнеудинска до оз. Байкал.

Средняя ширина бассейна около 80 км, а общая площадь его около 45 тыс. км².

Бассейн приурочен к одноименному прогибу, расположенному в юго-западной части Сибирской платформы. На юго-западе прогиб примыкает к зоне сопряжения края дорифейской Сибирской платформы с байкальской складчатой зоной Восточного Саяна (рис. 74).

Стратиграфия. Фундаментом угленосных отложений бассейна служат толщи докембрия и нижнего палеозоя.

На размытой поверхности пород палеозоя несогласно залегают угленосные отложения юры. Они расчленяются на три свиты: нижнюю безугольную (заларинская свита) мощностью от 20 до 240 м, среднюю угленосную и верхнюю непромышлен-

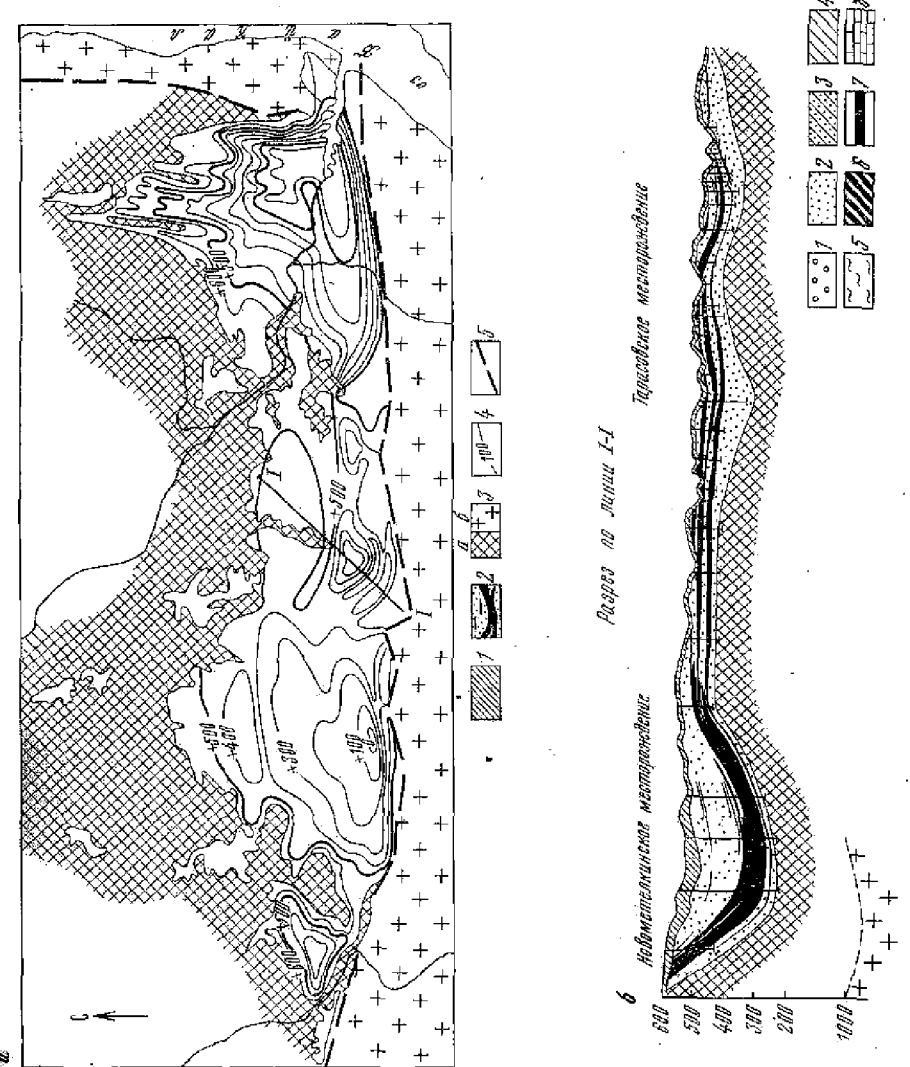
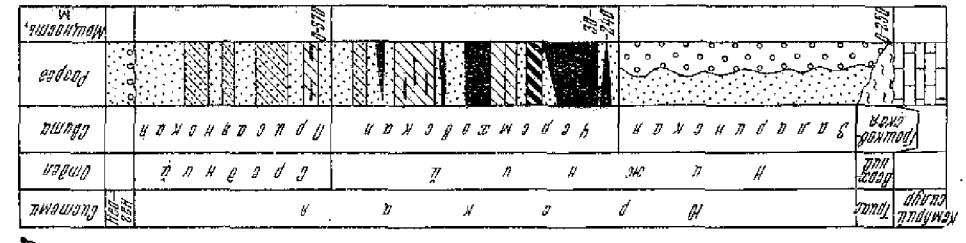


Рис. 74. Иркутский бассейн.

Тектоническая схема (а) и геологический разрез (б) Иркутского бассейна: 1 — четвертичные отложения; 2 — угленосная формация; 3 — породы, подстилающие угленосную формацию (а — нижнепалеозойские, б — протерозойские); 4 — изогипсы кровли докембрийского фундамента; 5 — крупные граничные разломы.

а — сводный стратиграфический разрез Иркутского бассейна: 1 — галечники, конгломераты; 2 — пески, песчаники; 3 — алевролиты; 4 — аргиллиты; 5 — глины; 6 — углистые сланцы; 7 — уголь; 8 — известняки

ную (присаянская свита) мощностью от 0 до 370 м. Общая мощность юрских отложений колеблется от 30 м на северо-западе до 860 м на юго-востоке бассейна.

Угленосные отложения на локальных участках несогласно перекрываются неогеновыми конгломератами и песками. Мощность их достигает 300 м. Четвертичные отложения представлены элювиальными, делювиальными, пролювиальными образованиями.

Тектоника. По общему тектоническому плану Иркутский бассейн относится к типу краевых прогибов. На его площади проявилась складчатость юрских отложений северо-западного направления. Наибольшая дислоцированность юрских пород наблюдается вблизи отрогов Восточных Саян, в центральной части бассейна отложения залегают почти горизонтально. Крупных дислокативных нарушений не установлено. Мелкие смещения угольных пластов, наблюдавшиеся в горных выработках, большей частью связаны с карстом.

Угленосность и качество углей. Угленосность и качество углей мало устойчивы, угольные пласты имеют непостоянную мощность. В отдельных разрезах установлено до 11 рабочих пластов, которые иногда сближаются, образуя мощный пласт (Черемховское и Ново-Метелкинское месторождения). Мощность рабочих пластов изменяется от 0,7 до 30 м. Мощные угольные пласты имеют сложное строение и содержат от 4—6 до 17 горизонтальных прослоев. Угли в большинстве гумусовые каменные (марки Д и Г), в крайней западной части бурые. Вдоль северо-восточной части бассейна среди гумусовых углей широко распространены сапропелевые угли — богходы.

Гумусовые угли однородные, полублестящие, почти исключительно klarеновые. Сапропелиты однородны и бесструктурны. Качественные показатели каменных углей следующие: содержащие влаги 14%, золы 10—12%, серы 0,5—8%, выход летучих 40—53%, теплота сгорания торючей массы 7300—8100 ккал.

Угли используются для энергетических целей и для получения моторного топлива. Малосернистые спекающиеся угли могут использоваться в шахте для получения металлургического кокса.

Общегеологические кондиционные запасы углей Иркутского бассейна составляют 31 млрд. т, разведанные 7,0 млрд. т.

Наиболее широко развита добыча углей открытым способом, что объясняется наличием мощных пластов угля и простыми инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями.

Канско-Ачинский бассейн. Под Канско-Ачинским бассейном понимается широкое поле юрских угленосных отложений, распространенных на юге Западной Сибири. Площадь с неглубоким залеганием угленосных отложений около 50 тыс. км².

В бассейне выделен ряд геолого-промышленных районов: Итат-Боготольский, Чулымо-Сережский, Балахтинский, Приени-

сейский, Рыбинский, Саяно-Партизанский и Абаканский. Каждый район приурочен к определенной тектонической структуре (рис. 75).

Стратиграфия. Стратиграфическое деление угленосной толщи различно для восточной (Канской) и западной (Ачинской) частей. В данном разделе описание стратиграфии дается в основном для Ачинской части бассейна, расположенной в крайней части Западно-Сибирской плиты.

В геологическом строении Канско-Ачинского бассейна принимают участие разнообразные комплексы пород от докембрийских до современных отложений. Они представлены осадочными и метаморфическими породами и вулканогенными образованиями.

Древние отложения — архейские и протерозойские сильно дислоцированы и метаморфизованы. Они слагают фундамент древней Сибирской платформы. Слабее дислоцированы и метаморфизованы палеозойские толщи, являющиеся фундаментом молодой Западно-Сибирской плиты.

Угленосную формацию слагают юрские отложения, которые залегают несогласно на размытой поверхности докембрийских и палеозойских пород и представлены рыхлыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, песками, глинами и галечниками с подчиненными им пластами угля. Мощность юрских отложений колеблется в зависимости от рельефа фундамента от 120 до 1800 м. Накопление их происходило в континентальных условиях.

Юрские отложения Ачинской части бассейна расчленяются на три свиты: макаровскую, итатскую и тягинскую. Макаровская свита мощностью 50—100 м представлена грубообломочным материалом вплоть до конгломератов; в центральных частях бассейна преобладают песчано-глинистые отложения с пластами угля. Итатская свита сложена рыхлыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами и содержит мощные пласты угля. Мощность свиты 160—570 м. В восточной части бассейна итатской свите соответствует бородинская свита. Тягинская свита мощностью до 100—200 м сложена песчано-глинистыми осадками и содержит маломощные пласты угля.

Меловые отложения развиты лишь в крайней западной части бассейна. Мощность их достигает 100 м. Сложены преимущественно глинистыми песчаниками, которые переслаиваются с песками и глинами.

Кайнозой представлен палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными образованиями. Широко распространены покровные элювиально-делювиальные и аллювиальные образования мощностью 5—10 м, реже до 50 м.

Тектоника. Канско-Ачинский угольный бассейн имеет неоднородное тектоническое строение. Это обусловлено расположением его на стыке трех крупнейших структурных областей:

Сибирской платформы, Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянской складчатой области.

Описываемый бассейн в большей своей части является платформенным и характеризуется почти горизонтальным залеганием слабометаморфизованных юрских угленосных отложений.

В настоящее время юрские отложения в бассейне сохранились в отдельных разрозненных неглубоких мульдах, что обусловлено, с одной стороны, неравномерностью первичного накопления угленосных отложений, и с другой, — последующими тектоническими подвижками и эрозионной деятельностью. Морфологически преобладают широкие мульды, разделенные пологими антиклинальными поднятиями. Дизъюнктивные нарушения в юрских породах проявляются слабо, магматические образования отсутствуют.

Углы наклона угленосных отложений 2—5°, вблизи горных хребтов (Саяно-Партизанский район) до 50—60°.

Угленосность и качество углей. Угленосность отложений среднеюрского комплекса связана в основном с бородинской свитой и с верхней половиной разреза итатской свиты. Установлено от 3 до 35 угольных пластов, большая часть которых имеет рабочую мощность. Средняя суммарная мощность угольных пластов равна от 4,0 до 97 м. Такая высокая угленосность объясняется широким распространением мощных угольных пластов. Средняя мощность главного угольного пласта по бассейну определяется в 21 м, а максимальная до 100 м (Итат-Боготольское, Березовское месторождения).

По составу исходного материала угли бассейна относят к типично гумусовым, а по способу накопления — к автохтонным. В бассейне встречаются и горючие сланцы.

По степени метаморфизма угли большинства месторождений относятся к бурым и подразделяются на три технологические группы: Б₁, Б₂ и Б₃. Только угли Саяно-Партизанского месторождения являются каменными марки Г.

Бурые угли характеризуются: содержанием влаги от 21 до 44%, золы от 6,0 до 12,0%, содержание серы не превышает 1%. Темпера тура сгорания рабочего топлива 2800—4800 ккал/кг.

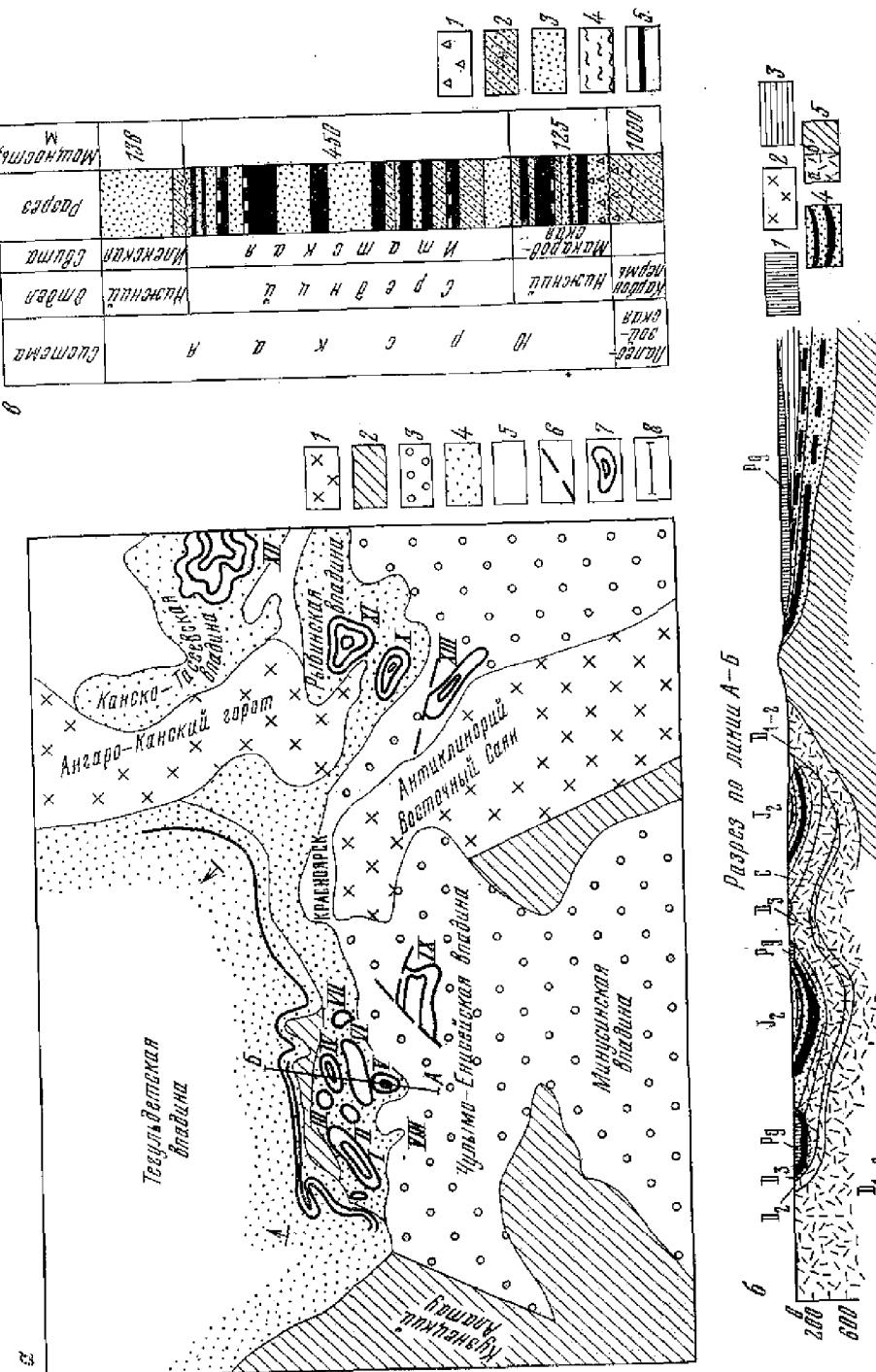


Рис. 75. Канско-Ачинский бассейн.

а — тектоническая схема Канско-Ачинского бассейна: 1 — область байкальской складчатости; 2 — область каледонской складчатости; 3 — впадины на каледонидах и байкалидах; 4 — мезовайские отложения; 5 — мезо-кайнозойский чехол на герцинидах; 6 — тектонические нарушения; 7 — выходы угольных пластов в структурах: I—II — Итат-Бородинская мульда; III — Алтайская мульда; IV — Назаровская мульда; V — Березовская мульда; VI — Сапахтинский прогиб; VII — Соболевская мульда; VIII — Белозерская синклиналь; IX — Балахтинская мульда; X — Переяславская мульда; XI — Рыбинская впадина; XII — Канско-Тасеевская депрессия; XIII — Саяно-Партизанская мульда.
б — геологический разрез Канско-Ачинского бассейна: 1 — палеогеновые отложения; 2 — докембрий; 3 — меловые отложения; 4 — нижне-среднеюрская угленосная формация; 5 — подугленосные палеозойские отложения (а — девонские, б — кембрейские); в — стратиграфический разрез ачинской угленосной формации: 1 — конгломераты; 2 — песчано-алевритовые породы; 3 — песчаники; 4 — аргиллиты; 5 — уголь

Недостатком углей является их низкая атмосфераустойчивость, они быстро окисляются, склонны к самовозгоранию. При высыхании уголь растрескивается и рассыпается, что затрудняет его дальнюю транспортировку.

Запасы кондиционных бурых углей составляют 448 млрд. т, в том числе по промышленным категориям А + В + С₁ — 73 млрд. т.

Южно-Якутский бассейн расположен в пределах Якутской АССР, по южной окраине обширного Алданского нагорья от р. Олекмы на западе до р. Учур на востоке. Общая площадь бассейна около 25 000 км².

Стратиграфия и тектоника. Древнейшие образования бассейна, выступающие в краевых его частях, представлены сложно дислоцированными докембрийскими (архейскими и протерозойскими) интрузивными и метаморфическими породами.

Юрские угленосные отложения трансгрессивно залегают на докембрийских и нижнекембрийских образованиях и сложены толщей континентальных пород общей мощностью более 1600 м. Литологически эта толща представлена конгломератами, песчаниками, алевролитами и пластами каменного угля. Юрские породы сохранились в тектонических депрессиях и прослеживаются в виде ряда вытянутых в северо-западном направлении полос, ограниченных с юга, а иногда и с севера линиями нарушений (рис. 76).

Юрские отложения подразделены на свиты (снизу вверх): юхтинскую мощностью 200—250 м, чульмаканскую мощностью 250—300 м, дурайскую мощностью 380—400 м и горкитекую мощностью 300 м.

Южно-Якутский бассейн приурочен к зоне краевого прогиба, образовавшегося в мезозое на южной окраине Алданского щита. Формирование последнего закончено еще в докембрийское время. Последующие тектонические процессы лишь усложнили и несколько видоизменили возникшие ранее структурные формы.

После формирования угленосного комплекса на сложно дислоцированном фундаменте орогенические напряжения, возникшие во время горообразования в Забайкалье, вызвали образование в южной части Алданского щита целого ряда расколов широтного или северо-западного направления. Обширная депрессия, выполненная угленосными и более молодыми мезозойскими отложениями, была разбита на блоки. Поднятые блоки образовали горстовые хребты (Суниачинский, Элькоинский и др.), разделившие единую депрессию на ряд более мелких.

Образование складчатости, многочисленных сбросов и чешуйчатых надвигов в юрских породах является следствием тангенциального давления с юга и процессов глыбовой тектоники. Наиболее интенсивно складчатость и дизъюнктивные нарушения проявляются вблизи основного (южного) надвига, где на юрские отложения надвинуты архейские образования. Наклон плоскости надвига изменяется от 15° в верховьях р. Туктурча до 70°

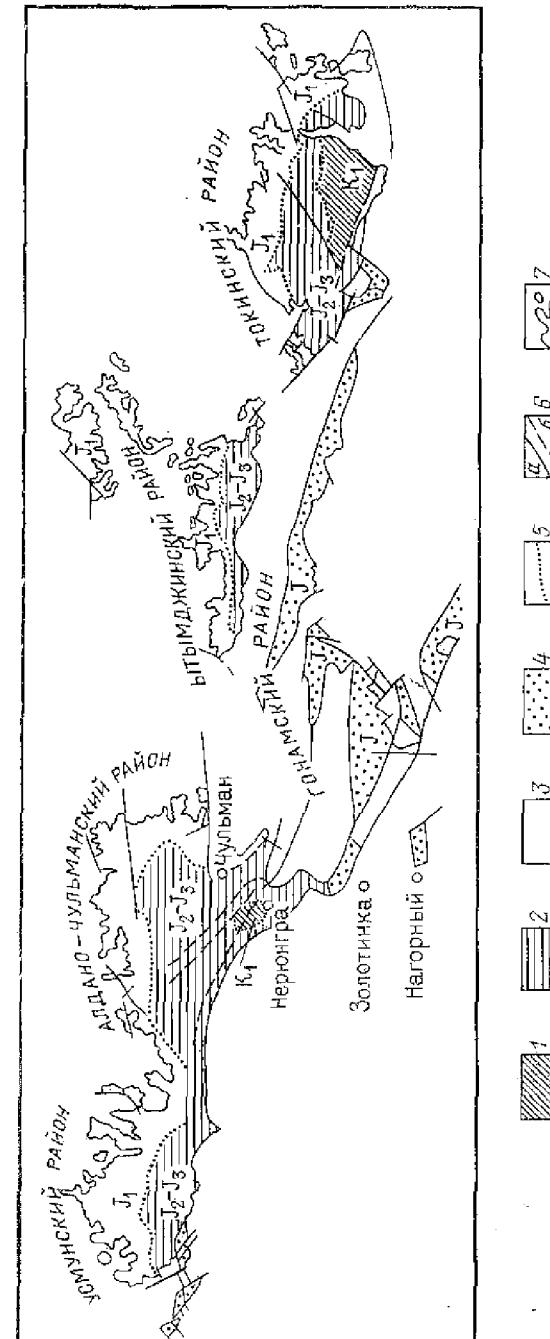


Рис. 76. Схематическая карта Южно-Якутского каменноугольного бассейна.

1 — нижнемеловые угленосные отложения; 2 — юрские отложения средней и верхней юры; 3 — разрывные нарушения (а — установленные, б — предполагаемые); 4 — юрские отложения, перекрытые поздними; 5 — стратиграфические границы; 6 — контуры депрессий;

в восточной части. В зависимости от этого изменяется характер складчатости юрских отложений: в восточной части наблюдаются крупные, нередко опрокинутые разорванные складки; в западной — складки более пологие и менее сложные.

Угленосность. Промышленная угленосность бассейна выявлена в отложениях дурайской свиты, суммарная площадь распространения которой около 8000 км², или 30% общей площади бассейна. Мощность пластов и количество их в разных частях бассейна различны. В большинстве случаев пласти угля имеют сложное строение и состоят из двух-трех и более пачек углей, разобщенных прослойми алевролитов. В почве многих пластов наблюдаются остатки корневищ растений и характерная бурая окраска пород. Иногда кровля пластов размыта и угольная масса замещена алевролитами, аргиллитами или песчаниками.

Угленосность дурайской свиты наиболее изучена на Чульмаканском и Нерюнгринском месторождениях. В разрезе дурайской свиты выявлено до 28 пластов и пропластков угля, которым присвоено номерное обозначение снизу вверх с индексом *D* для рабочих пластов и *d* — для нерабочих. Дурайская свита расчленена на чульмаканскую (нижнюю) и нерюнгринскую (верхнюю) подсвиты. Граница между этими подсвитами проводится по пласту Чульмаканскому (*D*₁₉).

В Чульмаканской подсвите в районе Чульмаканского месторождения выявлено 19 пластов и пропластков, четыре из них с устойчивой рабочей мощностью: Чульмаканский (*D*₁₉), Штольневой (*D*₁₅), Средний (*D*₁₁), Новый (*D*₇). Остальные пласти не имеют широкого распространения на площади месторождения и залегают в виде невыдержаных линз, нередко достигающих рабочей мощности.

В разрезе нерюнгринской подсвиты содержится 9 угольных пластов. Наиболее устойчивыми являются пласти верхней части разреза, которые на Чульмаканском месторождении имеют мощность от 0,7 до 1,4—2,1 м.

В нерюнгринской подсвите этого же месторождения выявлено 8 пластов угля. Мощность верхнего пласта «Мощного» колеблется от 10—13 до 45 м, в среднем 25 м. На остальной площади бассейна угленосность и качество углей изучены слабо. Разведанные запасы по категории А+В+C₁ составляет 2,8 млрд. т, коксующиеся 2,6 млрд. т.

Качество углей. Угли бассейна гумусовые, в основном блестящие и полублестящие; полуматовые и матовые угли имеют подчиненное значение. Первые представлены в основном неясно-полосчатой и штриховатой разновидностями, вторые имеют неравномерно штриховатую структуру. Среди блестящих углей количество однородного клареннового вещества достигает 94% общего объема угольной массы, содержание форменных элементов в них составляет 2—3%. Угли полуматовые и матовые содержат

в большом количестве равномерно распределенные минеральные примеси в виде тонкодисперсной глины, обломочных зерен кварца и кристаллов каолинита.

Степень метаморфизма углей преимущественно средняя — марки Ж и К, менее распространены угли марок ОС и Т в нижних стратиграфических горизонтах. По площади бассейна отчетливо проявляется зональность метаморфизма углей. Кроме регионального метаморфизма угли подверглись термальному воздействию послеюрских интрузивов.

Угли Южно-Якутского бассейна малосернистые, содержащие серы 0,5—1%, малофосфористые, содержащие фосфора до 0,003%, в основном мало- и среднезольные, содержащие золы 10—12%. Блестящие угли имеют зольность 7—8%, полублестящие 17—18%, полуматовые 20—25% и матовые 27—40%. Обогащенность углей трудная. Угли способны давать самостоятельно и в шихте кокс высокой механической прочности.

Вследствие значительного развития послойных движений, в ряде мест угли сильно развалицованны. Процесс развалицевания доходит до степени микроскопического дробления и истирания. Зоны такого развалицевания наблюдаются на большом протяжении (по простиранию) — до 3 км и более.

Кроме развалицевания, в углях широко развита микротектоника в виде сбросов, складок, флексур и даже образование структур, напоминающих структуры истечения в гнейсах. При горизонтальном залегании угольные пласти малой и средней мощности окислены на глубину до 25—30 м.

Сильно пересеченный рельеф, обнажающий угольные пласти на значительном протяжении, обусловил значительную дегазацию месторождения.

Гидрогеологические условия более или менее благоприятны. При разработке известные затруднения могут представить напорные трещинно-пластовые воды в зонах тектонических разломов, приуроченных к юрским и архейским трещиноватым породам в зоне основного надвига.

25.3. БАССЕЙНЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЙНОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА

Среди бассейнов и месторождений кайнозойского возраста встречаются различные типы по геологическому строению и промышленной ценности. К группе геосинклинально-складчатых относятся месторождения палеогенового возраста Сахалина, к платформенным — Кивдо-Райчихинское месторождение. В глыбово-складчатых областях располагаются многие месторождения типа наложенных впадин. Ряд месторождений кайнозойского возраста располагаются в областях соляно-купольной тектоники. В качестве примера ниже приводится описание месторождений

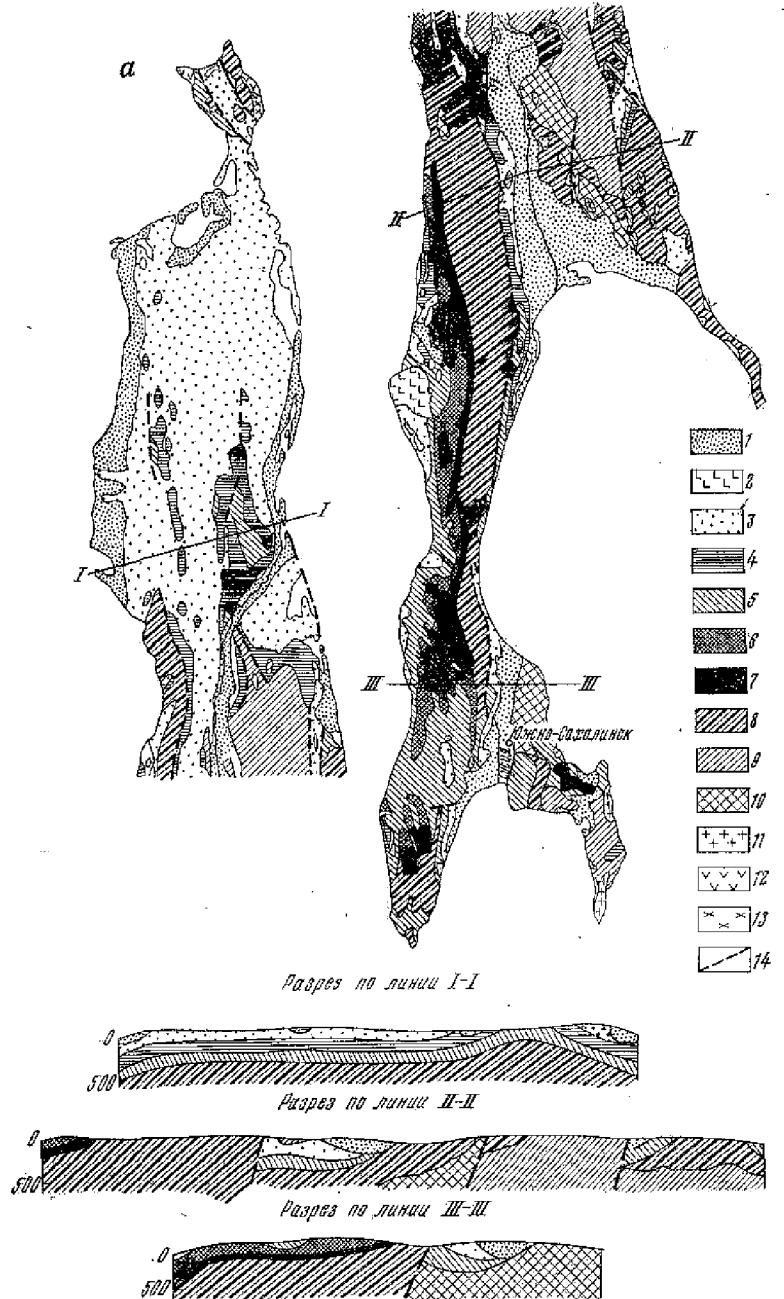


Рис. 77. Схематическая карта угленосных отложений о. Сахалин.

о. Сахалин, сформированных в молодой геосинклинальной области. Месторождения острова Сахалин. Угли в основном сосредоточены в южной части острова. Они потребляются железнодорожным и морским транспортом, промышленными предприятиями острова и частично экспортируются.

Стратиграфия. В геологическом строении Сахалина принимают участие палеозойские образования и залегающие на них после значительного перерыва верхнемеловые, а также палеогеновые и неогеновые отложения с углами (рис. 77). К палеогену относятся свиты (снизу вверх): конгломератовая (мощностью 300—400 м), нижнедуйская угленосная (300—1250 м), краснопольевская верхнего эоценена (до 1700 м) и геннойши (100—2000 м). К неогену — свиты: хойндзо (1000 м), верхнедуйская угленосная (1000—2000 м), соболевская (350—1500 м) и изылметьевская (3500 м). Четвертичные отложения имеют ограниченное распространение.

Тектоника. Тектоническая структура о. Сахалин определяется расположенным в серединной части острова Цен-

трально-Сахалинским синклиниорием и сопряженными с ним двумя антиклиниориями: Восточно-Сахалинским и Западно-Сахалинским.

Формирование этих структур относится к альпийской складчатости. Образование основной части дизъюнктивных нарушений, а также современного рельефа связано с плейстоценовым диастрофизмом.

Основные угольные месторождения расположены в пределах Западно-Сахалинского антиклиниория. Ядро антиклиниория сложено верхнемеловыми отложениями, имеющими моноклинальное залегание, усложненное складками подчиненных порядков. Крылья антиклиниория сложены палеогеновыми и неогеновыми отложениями. Вдоль восточного (тектонического) контакта палеогеновые и неогеновые слои залегают очень круто, нередко имеют опрокинутое залегание с падением на восток.

На западном крыле антиклиниория палеогеновые и неогеновые отложения в прибрежной зоне образуют серию линейных меридиональных антиклинальных складок, часто асимметричных (обычно более крутые, иногда опрокинутые, западные крылья). Ширина полос эти складок изменяется от нескольких километров в районе Александровска и Холмска — Ильинска, где преобладают северо-западные простирации структур, до десятков километров в Углегорском и Невельском районах.

Складчатые структуры сильно усложнены дизъюнктивными нарушениями типа взбросов, сдвигов, взбросо-сдвигов и сбросов различного направления. Меридиональные взбросы (надвиги) играют значительную роль в тектонической структуре. Диагональные сдвиги и взбросо-сдвиги широко развиты в пределах рассматриваемой структуры и являются часто встречающимися элементами дизъюнктивной тектоники шахтных полей. Взбросо-сдвиги генетически связаны со складчатостью. Продольные, по-перечные и диагональные сбросы образовались после складчатых движений.

Структурными особенностями крыльев Западно-Сахалинского антиклиниория определяется строение угольных месторождений. Вдоль восточного склона хребта угольные месторождения неогенового возраста представлены преимущественно антиклиналями с крутыми, иногда опрокинутыми крыльями. Здесь разрывные нарушения сравнительно малочисленны. Изредка встречаются пологие брахисинклинальные складки (месторождения Вахрушевское, Тихменевское, Взморское). Для западного склона характерна приуроченность угольных месторождений к самым разнообразным структурным формам. Многочисленные разрывные нарушения обусловили мелкоблоковую структуру большинства месторождений.

Центрально-Сахалинский синклиниорий является наиболее молодым из этих структур и выполнен третичными отложениями, собранными в небольшие пологие складки II порядка.

Угленосность. Промышленная угленосность о. Сахалин связана с отложениями палеогенового и неогенового возраста. Угли позднемелового возраста не разрабатываются, поскольку для угольных пластов характерно сложное строение, засоренность минеральными примесями, незначительная мощность и невыдержанность в разрезе.

Наибольшее промышленное значение имеют верхнедуйская и нижнедуйская свиты, содержащие бурые и каменные угли различной степени метаморфизма.

Качество углей. Угли о. Сахалин служат хорошим энергетическим топливом, а в некоторых случаях сырьем для получения кокса, искусственного жидкого топлива и химических продуктов.

Угли гумусовые, с прослойками и линзами вязких углей типа гумусово-сапропелевых, бурые и каменные (марок от Д до Т).

В составе органического вещества бурых и длиннопламенных углей преобладают компоненты группы витрена, составляющие 80—100%, а также форменные элементы и желтоватое бесструктурное вещество разложившихся водорослей.

Качество бурых углей: содержание влаги 9,5%, рабочего топлива 16—20%, золы 7,36%, серы 0,2—1%, выход летучих 42—52%, теплота сгорания 6650—7600 ккал/кг.

Качество длиннопламенных углей: содержание влаги 3,5—4,5%, золы 35%, выход летучих 42—49%, теплота сгорания 7600—8000 ккал/кг. В бурых углях содержание углерода 68—75%, водорода 5—5,9%; в длиннопламенных углях: углерода 75—81,5%, водорода 5,6—6,6%. Выход первичного дегтя у бурых и длиннопламенных углей составляет примерно 7—20% на рабочее топливо.

Качество каменных углей марок Г, Ж и К: содержание золы в среднем 10—16%, серы до 1,7%, выход летучих веществ 17—39, содержание фосфора в газовых углях 0,013—0,089%, в более метаморфизованных до 0,175%, теплота сгорания до 8400 ккал/кг.

Угли легко- и среднеобогатимые, за исключением тощих углей, дающих низкий выход концентратов.

Изменение степени метаморфизма по правилу Хильта наблюдается во всех свитах разреза; большое значение на Сахалине имеет контактный и динамометаморфизм.

Газообильность на действующих шахтах изменяется в значительных пределах. Все действующие шахты опасны по пыли, степень взрываемости которой увеличивается с повышением содержания в углях выхода летучих. Самовозгорание углей в естественном залегании свойственно бурым углям всех месторождений и ряду месторождений длиннопламенных и газовых углей.

Гидрогеологические условия угольных месторождений в значительной мере определяются выходом угленосных отложений на поверхность и небольшой мощностью покрывающих их четвертичных отложений. Несмотря на большое количество атмосфер-

ных осадков, угленосные отложения обводнены сравнительно слабо вследствие преобладания в них глинистых пород, а также благодаря расщепленному рельефу. Кондиционные запасы всех углей на Сахалине оцениваются в 10,7 млрд. т, разведанные в 2 млрд. т.

Геологические запасы коксующихся углей марок К, Ж и Г составляют около 13% от общих запасов месторождений. Основные запасы коксующихся углей находятся в западных районах — Углегорско-Лесогорском и Александровском районах.

25.4. ОСНОВНЫЕ БАССЕЙНЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Горючие сланцы известны на значительной части территории СССР (в Прибалтике, на востоке и северо-востоке Русской платформы, в Казахстане и Сибири). В одних случаях они залегают в угленосной толще в виде самостоятельных пластов или отдельных пачек, внутри пласта угля, в других — образуют самостоятельные месторождения и крупные сланцевые районы.

Наиболее изученными и крупными по запасам являются Прибалтийский бассейн и Поволжский район.

По своему происхождению и промышленному значению горючие сланцы разделяются на два типа: 1) образовавшиеся в морских условиях, парагенетически связанные с угленосными фациями, 2) небольшие залежи среди угленосных формаций или залегающие совместно с угольными пластами. Площади распространения сланцев первого типа исчисляются тысячами квадратных километров. К ним относятся — Прибалтийский и Оленекский бассейны, месторождения Поволжья и Заволжья.

Основная структурная форма сланценосных бассейнов — крупные синеклизы, являющиеся структурами первого порядка (синеклиза между Анабарским и Оленекским поднятиями на

Таблица 17
Запасы горючих сланцев

Бассейны и месторождения	Возраст	Всего запасов, млрд. т	В том числе	
			до 300 м	от 300 до 600 м
В целом по СССР	—	156	70,9	82,6
Северо-Восток Сибирской платформы	Ранний и средний кембрий	111,8	30,4	81,4
Прибалтийский бассейн	Средний ордовик	20,4	20,4	—
Барзасское месторождение	Средний девон	1,5	0,3	0,4
Кендерлыкское месторождение	Поздний карбон	4,0	1,5	0,8
Тургайский бассейн	Ранняя и средняя юра	0,1	0,1	—
Восток Русской платформы	Поздняя юра	18,2	18,2	—

Сибирской платформе; Прибалтийская впадина на Русской платформе; Восточно-Русская и Приуральская впадины на Русской платформе).

Запасы горючих сланцев по возрасту и отдельным наиболее крупным районам и месторождениям приведены в табл. 17.

Глава VI

МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

§ 26. НЕФТЬ, ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ И ТВЕРДЫЕ БИТУМЫ

26.1. НЕФТЬ И ГАЗ

Нефть и природный горючий газ являются ценнейшим минеральным сырьем, имеющим чрезвычайно важное значение для экономики.

Нефть и ее продукты потребляются всеми отраслями тяжелой и легкой промышленности, включая пищевую промышленность. Из них изготавливаются текстильные волокна, органические кислоты, пластмассы, синтетические жиры, взрывчатые вещества и т. п.

В целях дальнейшего улучшения структуры топливного баланса страны взят решительный курс на развитие нефтяной и газовой промышленности.

За последние годы в Советском Союзе существенно увеличены запасы природного газа. Месторождения газа разведаны в Узбекистане, Туркмении, Азербайджане, на Украине, в Краснодарском и Ставропольском краях, Саратовской, Тюменской, Оренбургской областях и др. Разведанные запасы газа составляют 20 трлн. м³, из которых 59,5% приходится на Западную Сибирь, 21,3% — на европейскую часть СССР и 19,2% запасов размещены на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Прогнозные запасы газа в нашей стране оцениваются в 50—60 трлн. м³, а потенциальные 80—85 трлн. м³.

Нефтегазопроявления и нефтегазоносность установлены в отложениях всех возрастов: от докембра до кайнозоя. В пределах Советского Союза известны следующие основные нефтегазоносные провинции, области и районы (рис. 78).

Тимано-Печорская нефтегазоносная область (рис. 79) расположена между Тиманским Кряжем и Пай-Хоем. Месторождения этой области, расположенные на северо-восточном склоне Тиманского поднятия, осложненного рядом обширных пологих структур, и приурочены к песчаникам живетского и фаменского ярусов. Месторождения в западной части Печорской депрессии, восточнее Ухты, приурочены к песчаникам и карбонатным породам верхнего и среднего девона.

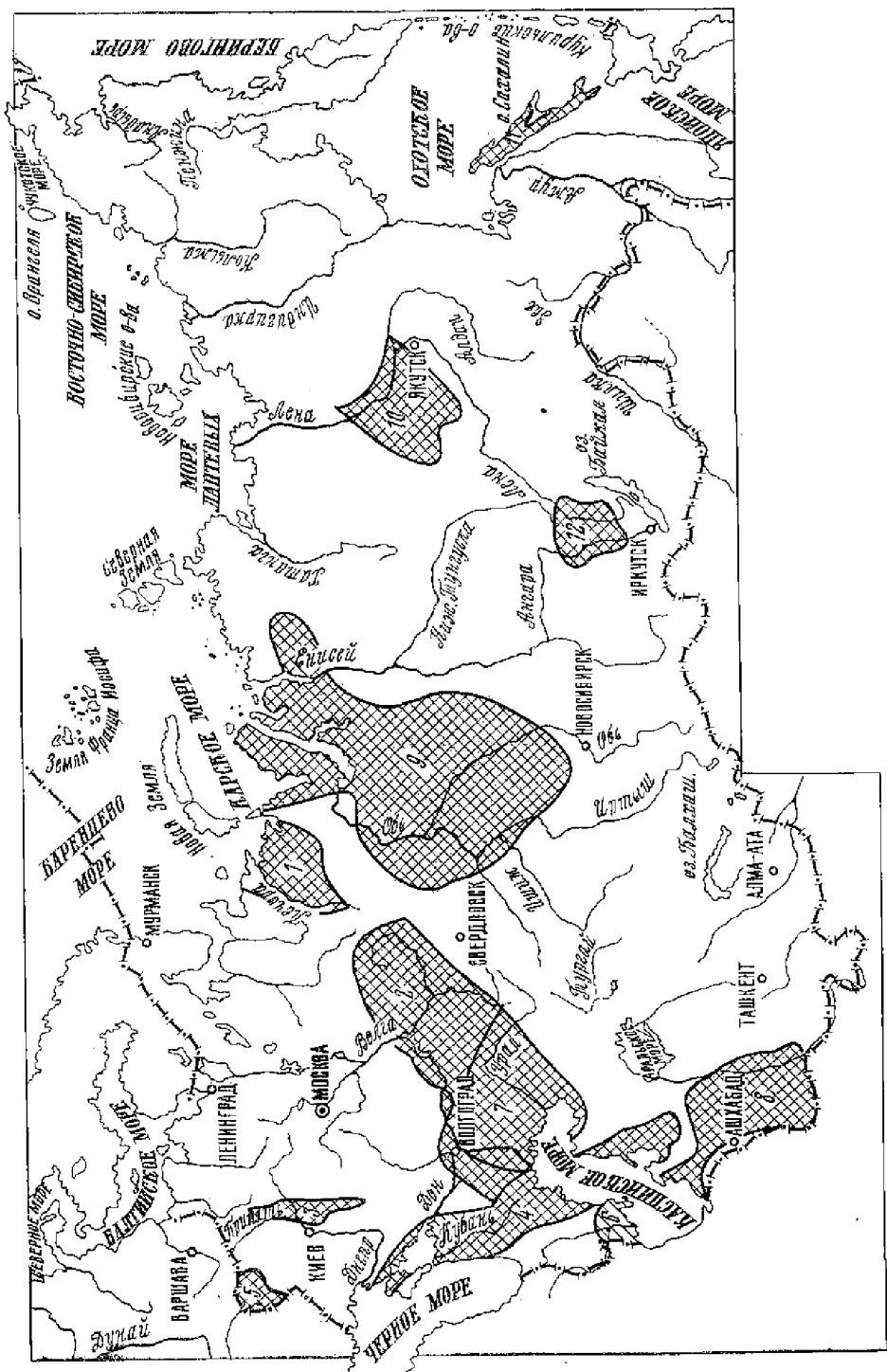


Рис. 78. Схематическая карта нефтегазоносных провинций и областей СССР.
Палеозойские: 1 — Тимано-Печорская область; 2 — Волго-Уральская область; 3 — Днепро-роско-Донецкая область. Мезо-кайнозойские: 4 — Крымско-Предкавказская провинция; 5 — Предкарпатская область; 6 — Восточно-Кавказская область; 7 — Урало-Эмбейская область; 8 — Среднеазиатская провинция; 9 — Западно-Сибирская провинция; 10 — Восточно-Сибирская платформа; 11 — Сахалинская область; 12 — Лено-Ангарская область

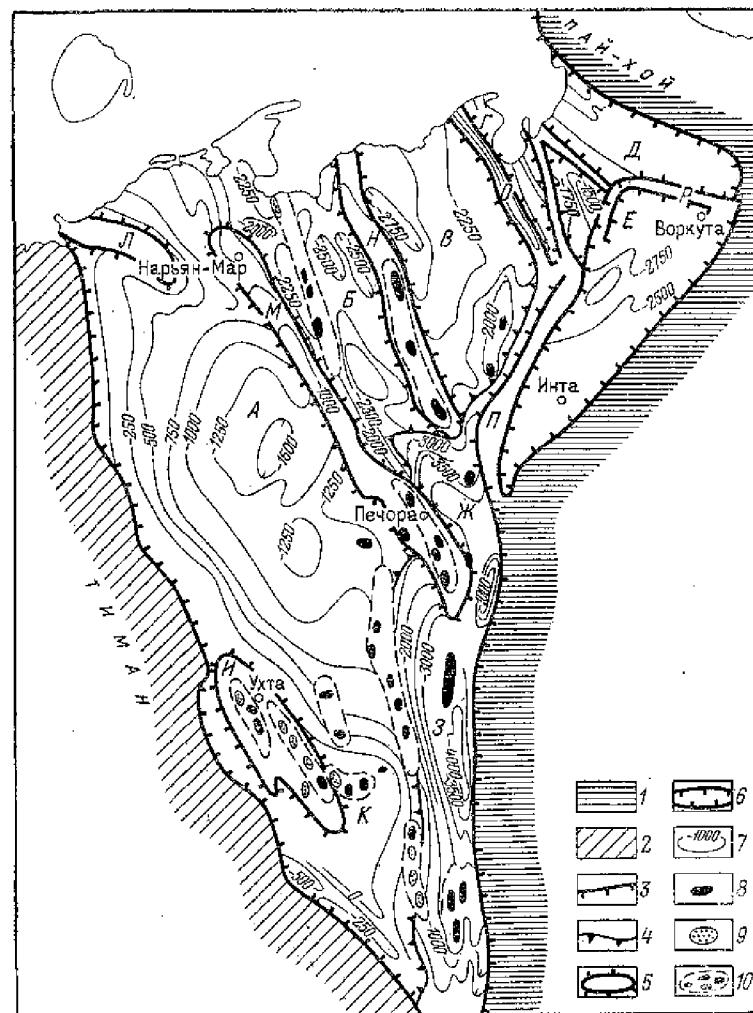


Рис. 79. Тимано-Печорская нефтегазоносная область, по И. В. Высоцкому.
1 — горные сооружения Пай-Хоя и Полярного Урала; 2 — Тиманский выступ фундамента; 3 — Предуральский надвиг; 4 — контакт складчатого и платформенного бортов; 5 — валы, поднятия; 6 — впадины, прогибы; 7 — схематические изолинии глубин фундамента в м; 8 — нефтяные месторождения; 9 — газовые и конденсатно-газовые месторождения; 10 — зоны нефтегазокомплексов. Основные структурные элементы бассейна. Впадины: А — Ижма-Печорская, Б — Денисовская, В — Хорейверская, Г — Мореюсская, Д — Коротанихинская, Е — Косью-Роговская, Ж — Большесининская, З — Верхнепечорская. Валы, поднятия: И — Ухтинский и Ижма-Омринский, К — Омро-Сойвинский, Л — Седуяхинский, М — Печорско-Кожвинский, Н — Колвицкий, О — Сорокинский, П — Чернышева-Гамбурцева, Р — Чернова

Волго-Уральская нефтегазоносная область расположена на востоке Русской платформы, между Волгой и западным склоном Урала. Нефтегазоносные месторождения приурочены к структурам III порядка — пологим куполам или брахиантиклиналям, осложняющим более крупные — структуры II (впадины) и I (своды) порядков. Залежи нефти обнаружены в широком диапазоне палеозойских пород: в терригенных отложениях среднего и верхнего девона и нижнего карбона и в карбонатных породах нижнего и среднего карбона и перми.

Днепровско-Донецкая (Восточно-Украинская) нефтегазоносная область неоднородна на всем протяжении. В восточной части она представляет собой типичный предгорный прогиб, оконтуренный с юга складчатым Донбассом, а с севера — склоном Воронежской антиклизы. Зоны газонефтенакопления приурочены к бортам впадин, вдоль которых на западе протягиваются цепочки антиклиналей — соляных куполов.

В пределах Днепровско-Донецкой нефтегазоносной области выявлено более 60 месторождений нефти и газа. Эти месторождения размещаются в отложениях палеозойского и мезо-кайнозойского возрастов; степень их изученности различна. Наиболее изучено Шебелинское месторождение, которое в центральной части разбурено до глубины 4300 м. В тектоническом отношении месторождение представляет собой большую брахиантиклинальную асимметрическую складку, разбитую системой сбросов и взбросо-надвигов на ряд блоков (рис. 80). Характерным для месторождения является аномально высокое пластовое давление, обусловленное его геологическими особенностями. Все газоносные горизонты месторождения составляют единую залежь, внутренние части которой связаны между собой.

Крымско-Предкавказская нефтегазоносная провинция. В этой провинции разведочными работами установлена промышленная газонефтеносность юрских и меловых отложений в Восточном Предкавказье, палеогеновых — на всей территории и неогеновых — в Восточном и Центральном Предкавказье.

Предкавказье занимает область молодой эпигерцинской платформы, вовлеченной в разной степени в систему предгорных прогибов. Выделяются три структуры первого порядка: Азово-Кубанская впадина, Ставропольское поднятие и Терско-Каспийская впадина.

Газоносность платформенной области Предкавказья связана с комплексом мезо-кайнозойских отложений.

Залежи приурочены к структурным стратиграфически экранированным ловушкам, сгруппированным в крупные зоны.

Перспективными зонами в первую очередь являются склоны Озексутского свода, вала Карпинского, Ставропольского и Ейско-Березовского сводов.

Предкарпатская нефтегазоносная область. По своему геологическому строению весьма своеобразна. Наиболее прогнутая

часть Предкарпатской газонефтеносной области протягивается в виде узкого предгорного рва непосредственно вдоль передовой интенсивно смятой складчатой зоны восточного крыла поднятия Восточных Карпат. Этот ров выполнен мощной (до 6 км) толщей неогеновых осадков. Платформенное крыло прогиба пологое и не осложнено сколько-нибудь заметными структурными изгибами.

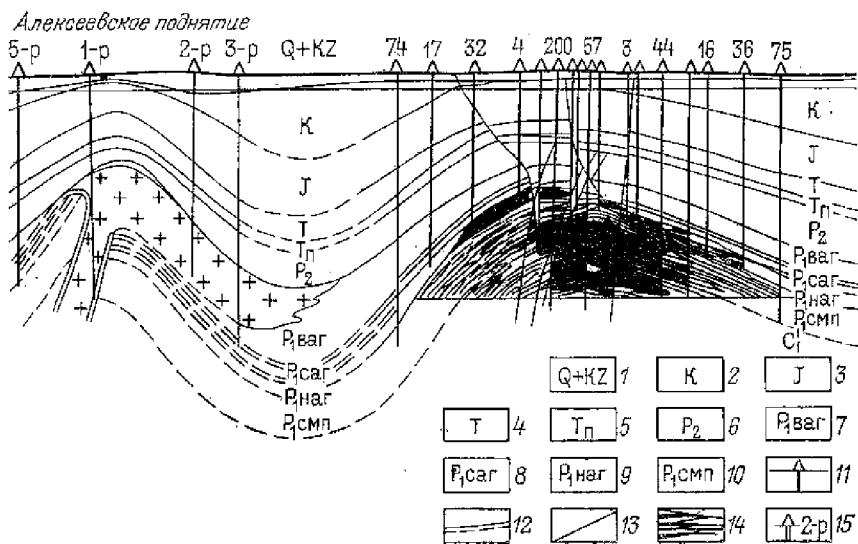


Рис. 80. Условия залегания газа на Шебелинском месторождении, по Б. С. Воробьеву.

1 — четвертичные и кайнозойские отложения (полтавский, харьковский, киевский ярусы); 2 — меловые отложения (верхний и нижний отделы); 3 — юрские отложения (верхний и нижний отделы); 4 — триасовые отложения; 5 — триас песчаный (нижний отдел); 6 — верхняя пермь (шебелинская свита); 7 — верхний ангидритовый горизонт соленосной свиты нижней перми; 8 — средний ангидритовый горизонт; 9 — нижний ангидритовый горизонт; 10 — свита медистых песчаников (нижняя пермь); 11 — скважины; 12 — стратиграфические горизонты; 13 — тектонические нарушения; 14 — газоносные пласти; 15 — родовые скважины

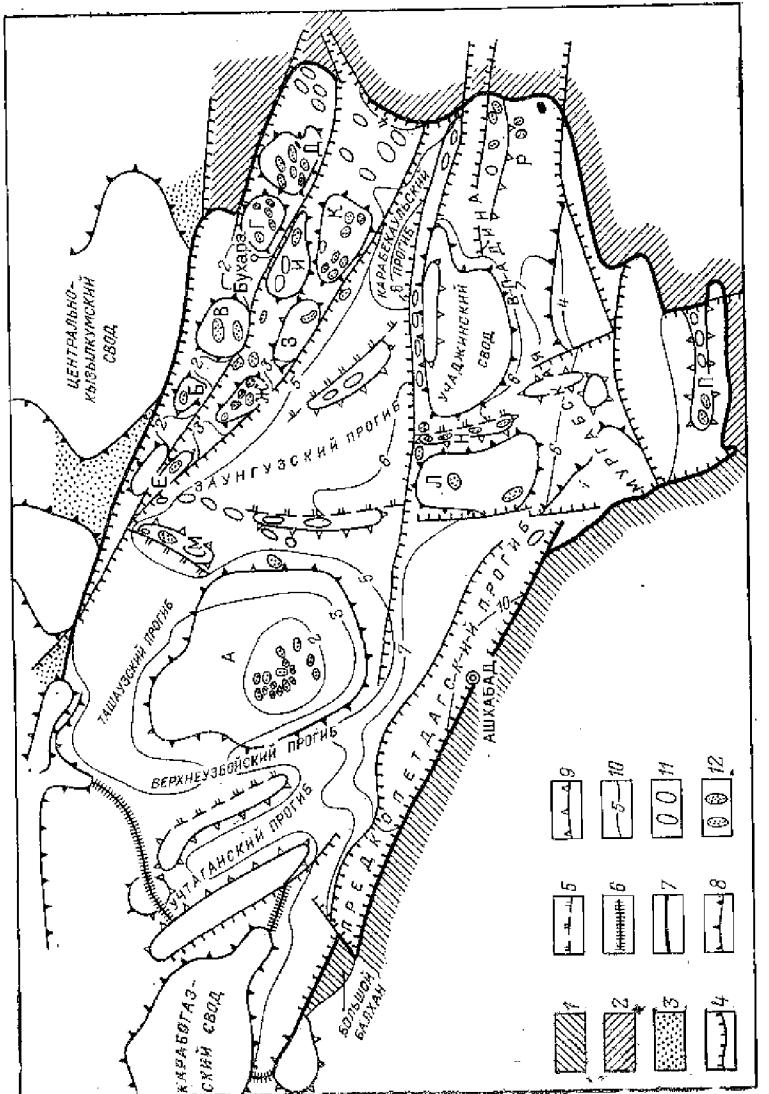
В Предкарпатье нефтяные залежи преимущественно пластовые, тектонически экранированные и связаны с различными песчаными пластами в третичных отложениях. Наибольшее значение имеют залежи в меотисе. На втором месте по значению стоят сарматские залежи. Кроме того, залежи известны в плиоцене, среднем миоцене и олигоцене, они возможны и в более древних отложениях.

Восточно-Кавказская нефтегазоносная область. Основные месторождения нефти этой области расположены на Апшеронском полуострове, в прилегающей части акватории Каспия и в Нижне-Куринской депрессии.

Основной нефтедобывающей областью является Апшеронская, где нефтеносны отложения олигоцена, миоцена и плиоцена.

Рис. 81. Каракумская нефтегазоносная область, по И. В. Высоцкому.

1 — эпигеоминералльные горные сооружения; 2 — эпигеоминералльные сооружения; 3 — аксонометрическая зона; 4 — разломы; 5 — склоны, разрывы; 6 — межбассейновые пология; 7 — границы бассейнов; 8 — склоны и расположенные в их пределах одноточечные ареалы зон нефтегазонакопления (А — Центрально-Каракумский, Б — Янги-казанский, В — Газильский, Г — Каганский, Д — Мубарекский, Е — Султан-Санджарский, К — Кабаклинский, З — Чардакчукский, И — Испильчи-Чанчарский, К — Ленгизульский, Л — Мардаский); 9 — валы и расположенные в их пределах одноименные зоны нефтегазонакопления (М — Уртсанская, Н — Байдымалийская, О — Андхойская, П — Купкинская, Р — нефтяное месторождение Ангот и газовые месторождения восточной центральной Северо-Карабальско-Даулятабадского прогиба); 10 — изолинии глубин фундамента в км; 11 — локальные поднятия; 12 — газовые, газоэфлюзные и нефтяные месторождения



Для Апшеронского полуострова характерны погружение складчатых структур Кавказа в юго-восточном направлении, ветвление и дугообразные завороты осей антиклиналей и развитие грязевого вулканализма. Каждая антиклинальная зона несет многочисленные куполовидные или брахиантклинальные поднятия, разделенные седловиной. Антиклинальные зоны продолжаются под уровень моря, образуя ряд подводных складок, которые содержат газ и нефть.

Насчитывается 30 месторождений нефти. Все они многопластовые, нефтенасыщенность их очень велика. В последнее время в пределах Нижне-Куринской депрессии открыт ряд новых месторождений (Мишов-даг, Кюров-даг и др.).

Урало-Эмбенская нефтегазоносная область расположена в междуречье нижнего течения Урала и Эмбы. Залежи нефти приурочены к соляным куполам. Нефть связана с песчаниками пермо-триаса, средней юры и мела. Здесь известны многие месторождения нефти: Байчунас, Доссор, Кос-Чагыл, Карапон, Кенкияк, Прорва и др.

Среднеазиатская провинция. На территории Средней Азии промышленные месторождения газа и нефти расположены в Бухаро-Хивинской зоне, Ферганской межгорной впадине, Таджикской депрессии, Западно-Туркменской части Южно-Каспийской впадины.

Бухаро-Хивинская нефтегазоносная зона расположена в области ступенчатого погружения палеозойского фундамента из районов его выходов на дневную поверхность в пределах Кызылкумских палеозойских массивов в направлении на юг (рис. 81).

В Ферганской межгорной впадине нефтяные месторождения расположены главным образом вдоль ее южного борта (рис. 82). Кроме того, выявлено несколько месторождений у северного борта впадины в северо-восточной части Ферганы.

Нефтяные месторождения Ферганы приурочены к палеогеновым отложениям, образующим асимметричные антиклинальные складки. Основные перспективы дальнейшего развития нефтедобывающей промышленности Ферганской впадины связаны с выявлением более глубоких погребенных структур. Особый интерес представляют мезозойские отложения.

Таджикская межгорная впадина (депрессия) располагается в пределах юга Таджикистана и Узбекистана. Газонефтепроявления в пределах Таджикской впадины (рис. 83) и в районах южных отрогов Гиссарского хребта распространены довольно широко и охватывают значительный стратиграфический диапазон, включающий юрские, нижне- и верхнемеловые и третичные образования. Основные промышленные (разрабатываемые) горизонты месторождений Таджикской впадины относятся к бухарскому ярусу палеогена.

Западно-Туркменская газонефтеносная область соответствует Западно-Туркменской низменности. В пределах Западно-Туркменской низменности выделено несколько тектонических единиц второго порядка, различных по своему строению: Прибалханская депрессия, Кеймир-Чикишлярская, Аладаг-Мессерианская зона меловых и палеогеновых складок; Кызыл-Атрекская депрессия.

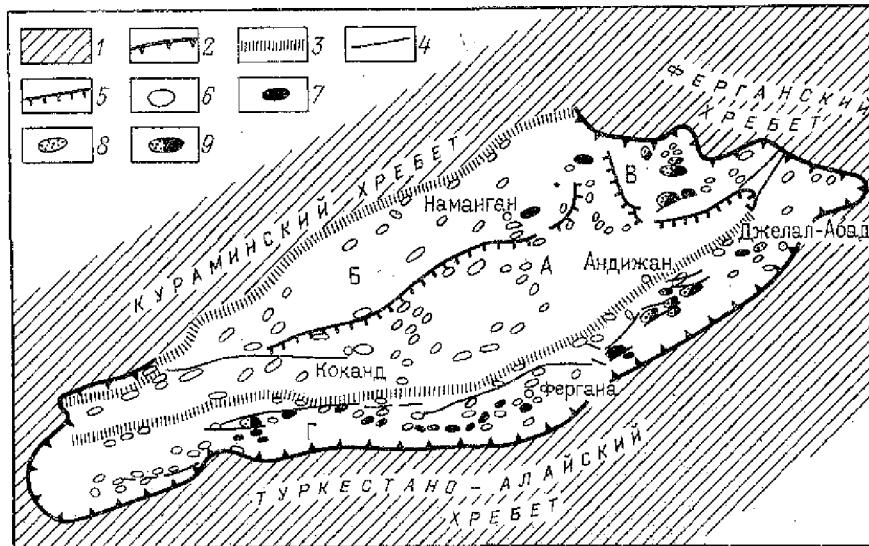


Рис. 82. Ферганская газонефтеносная область, по И. В. Высоцкому.

1 — выходы палеозойских отложений в горном обрамлении бассейна, а также площади с неглубоким залеганием палеозоя; 2 — границы бассейна; 3 — разломы глубинные; 4 — разрывы; 5 — флексуры, осложненные разрывами; 6 — локальные структуры; 7—9 — месторождения (7 — нефтяные, 8 — газовые, 9 — газонефтяные). Структурные зоны: А — Центральный грабен; Б — Северная складчатая зона; В — Майлисуйский выступ; Г — Южная складчатая зона

Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция в геологическом отношении представляют собой эпигерцинскую платформу с мезо-кайнозойским чехлом мощностью 1—4 км.

В платформенном чехле выделяются крупные валообразные поднятия (рис. 84), со сводами которых связаны газовые и нефтяные месторождения. Нефтегазоносными являются песчаники валанжина и готерив-баррема. Наличие нефтяных и газовых залежей можно ожидать и в более древних отложениях фундамента. На территории Восточно-Сибирской платформы имеется несколько перспективных в отношении газонефтеносности районов. Так, в Приверхоянском прогибе открыто газовое месторождение, в Присаянье в небольшом количестве обнаружены газ и жидкая нефть. Все это свидетельствует о том, что в недрах Восточно-Сибирской платформы могут быть открыты промыш-

ленные нефтяные и газовые месторождения. Газонефтероявления на большей части платформы приурочены к прогибам, в которых имеются мощные отложения юрской системы, а также нижнего отдела кембрия.

Лено-Ангарская и Камчатско-Сахалинская нефтегазоносные области по сравнению с другими газонефтеносными областями изучены еще очень слабо.

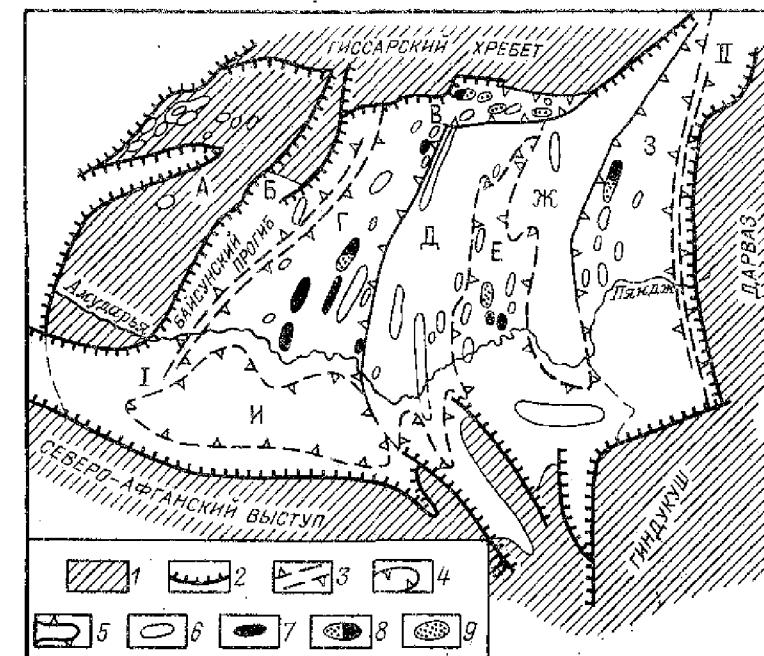


Рис. 83. Афгано-Таджикская газонефтеносная область, по И. В. Высоцкому.

1 — эпиллатформенный ороген; 2 — разломы; 3 — шовные приразломные зоны (I — Келиф-Ширбадская, II — Дарвазская); 4 — синклиниории и прогибы (синклиниории: Г — Сурхан-Дарьинский, Е — Вахшский, З — Кулябский; прогибы: Б — Байсунский, В — Предгиссарский, И — Мазаршерифский); 5 — антиклиниории (А — юго-западные отроги Гиссара, Д — Кафирниганский, Ж — Яванский); 6 — локальные поднятия, валы; 7—9 — месторождения (7 — нефтяные, 8 — газонефтяные, 9 — газовые)

На современной стадии изученности можно говорить лишь об общих перспективах этих территорий. По геологическому строению наиболее перспективным является Восточно-Камчатский прогиб вдоль Тихоокеанского побережья Камчатки. В его пределах имеются прямые признаки нефтеносности, начиная от значительных естественных выходов и кончая непромышленными притоками в скважинах.

Промышленная разработка нефти ведется только на о. Сахалин, месторождения которого расположены в северо-восточной его части. Газонефтеносной является окобыкайская

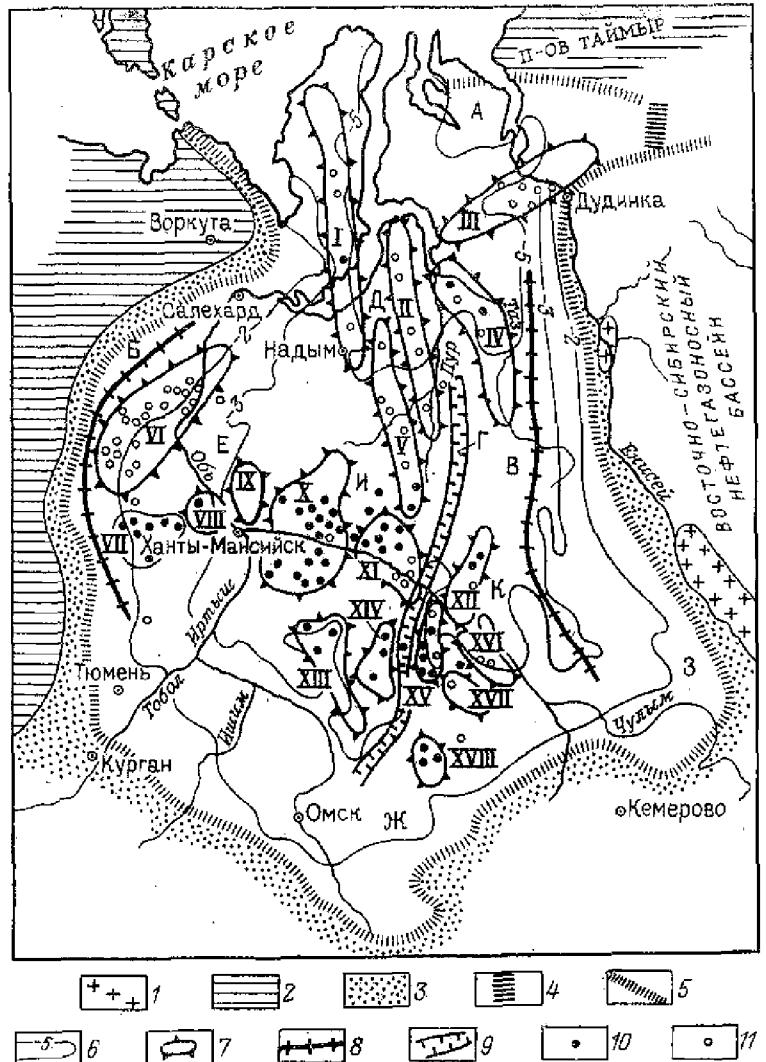


Рис. 84. Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн, по И. В. Высоцкому.
 1 — выходы на поверхность пород байкальской складчатости; 2 — выходы герцинского фундамента бассейна на поверхность; 3 — аконсервационная зона; 4 — Янгдо-Горбигское межбассейновое поднятие; 5 — границы бассейна; 6 — изолинии глубин фундамента в км; 7 — своды и вали (I — Медвежье-Ямальский, II — Уртойгийский, III — Мессояхско-Рассохинский, IV — Тазовский, V — Юбилейно-Варьеганский, VI — Северо-Сосьвинский, VII — Шаймский, VIII — Красноленинский, IX — Ляминский, X — Сургутский, XI — Нижневартовский, XII — Александровский, XIII — Верхнедемьянский, XIV — Каймысовский, XV — Среднеасиоганский, XVI — Сенкинио-Сельгинский, XVII — Пуддинский, XVIII — Межводский), 8 — прогибы (Б — Ляминский, В — Касский); 9 — надразломные желоба (Г — Колтогорско-Пурский); 10, 11 — месторождения (10 — нефтяные и газонефтяные, 11 — газовые и конденсатногазовые). А — Усть-Енисейская впадина. Синеклизы: Д — Обско-Тазовская; Е — Мансианская; Ж — Омская, З — Чульмо-Енисейская. Антеклизы: И — Хантейская, К — Вахская

свита, нефтеносные горизонты которой сложены песками, местами с прослойями глин. Дагинская свита также содержит ряд нефтеносных горизонтов. Типы газонефтяных залежей о. Сахалин отличаются значительным разнообразием.

26.2. ТВЕРДЫЕ БИТУМЫ

Твердые битумы делятся на нефтяные битумы и керогены, или пиробитумы.

Нефтяные битумы (нафтиды) по составу близки к нефтям. Они растворяются в органических растворителях и легко плавятся.

Озокериты представляют собой смесь твердых углеводородов метанового ряда с небольшой примесью жидких углеводородов и газа. Возможно, что они образуются вследствие выпадения из нефти парафиновых углеводородов при быстром охлаждении во время поднятия метановой нефти вверх по трещинам.

В зависимости от количества примесей консистенция озокерита изменяется от мазеподобной до твердой и хрупкой. Элементарный состав: углерода от 84 до 86%; водорода от 13 до 15%.

Озокерит химически стойкий, водо- и паронепроницаемый, кислото- и щелочноупорный, обладает высокой степенью электросопротивляемости, способен давать тончайшие пленки на поверхности предметов, пластичен, обладает большой теплоемкостью и сравнительно низкой теплопроводимостью.

Озокерит — сырец и продукт его очистки — церезин (свободная от примесей фракция углеводородов от $C_{37}H_{76}$ до $C_{53}H_{108}$) применяется для производства антикоррозийных кислото- и щелочноупорных смазок, для пропитки упаковочной бумаги, в производстве полировочных паст, в электро- и радиотехнике как диэлектрик, в медицине как лечебное средство и др.

Месторождения озокерита в СССР: в Среднеазиатских союзных республиках, Краснодарском крае, на Украине, в Закавказье и в Прибайкалье. В настоящее время разработка озокеритовых месторождений производится на п-ове Челекен, в Ферганской долине и на Западной Украине.

Асфальты — аморфные, буровато-черные, мягкие иногда твердые, являются продуктом окисления нафтеновых нефей. Асфальт иногда скапливается на поверхности в углублениях, образуя асфальтовые озера, или в больших и малых трещинах в горных породах, образуя жильные залежи, или заполняет поры терригенных и карбонатных пород. Удельный вес асфальтов 0,9—1,09 (при 25° С).

Асфальтиты — продукт метаморфизма нефти, они являются переходными к керитам. Местами (Боливия, Перу, о-ва Куба и Барбадос) жильные асфальтиты содержат до 30—

40% V₂O₅ и разрабатываются для получения ванадия. Некоторые асфальтиты содержат много никеля.

Керогены состоят в основном из сложных нерастворимых соединений и карбоидов и небольших количеств асфальтенов и масел. Они тверды, углеподобны, слабо растворяются в органических растворителях (только при нагревании до 10—15° С). К керогенам относят кериты, антраксолиты, рассеянные битумы и горючие сланцы.

Кериты — черные, блестящие, хрупкие вещества с раковистым изломом. Они мало похожи на битумы и являются, по всей вероятности, продуктами их метаморфизации.

Антраксолиты считают продуктом еще более глубокой метаморфизации нефти. Они похожи на антрацит.

Месторождения асфальтовых битумов в СССР известны во многих районах нефтеносных областей и представлены жильными (Поволжье, Эмбенский район, Закавказье и др.) и пластовыми (Поволжье) типами.

Глава VII МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 27. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Промышленные классификации металлов многочисленны и в большей части условны потому, что в современной промышленности применение различных металлов весьма разнообразно.

В зависимости от свойств металлов А. Г. Бетехтин (1964 г.) классифицирует их следующим образом.

Группа черных и легирующих металлов:

- а) типичные черные металлы — железо, марганец, хром;
- б) ванадий и титан примыкают к группе «а» (играют важную роль при легировании сталей);
- в) кобальт и никель придают ценные качества сталям и используются также в цветной металлургии;
- г) молибден и вольфрам являются исходными для различных ферросплавов, обладающих высокой твердостью, жаростойкостью и другими свойствами. Используются также в чистом виде.

Группа цветных металлов: медь, цинк, свинец, олово, мышьяк, сурьма, висмут, ртуть.

Группа легких металлов: алюминий, магний.

Группа драгоценных (благородных) металлов: золото, серебро, платина и металлы платиновой группы (иридий, палладий, родий и др.).

Группа радиоактивных элементов: радон, торий и уран.

Группа редких металлов и редкоземельных элементов: цирконий, ниобий, tantal, галлий, германий, кадмий, индий, таллий, редкие щелочные металлы — литий, рубидий, цезий, бериллий, гафний, рений, скандий, иттрий, редкие земли (лантан, церий, туллий, тербий, иттербий и т. д.) и, наконец, селен и теллур.

Месторождения руд черных и легирующих металлов. Железо. Среднее содержание железа в земной коре составляет 4,2%, т. е. по распространенности железо находится среди металлов на втором месте после алюминия. Из железных руд выплавляются чугун (2,5—4% С), сталь (1,7—0,2% С), железо (0,2—0,04% С). Для получения качественных (легированных) сталей обыкновенные стали переплавляются с добавлением марганца, хрома, ванадия, никеля, кобальта, молибдена, вольфрама и др., которые придают сталям вязкость, твердость, антикоррозийные и другие ценные свойства.

Минералы, содержащие железо, весьма многочисленны и многие из них являются породообразующими. Наиболее важные минералы магнетит ($FeFe_2O_4$), гематит (Fe_2O_3), гетит ($HFeO_2$), лимонит ($HFeO_2 \cdot n H_2O$), сидерит ($FeCO_3$).

Вредными примесями в железных рудах являются фосфор, сера и мышьяк, для которых устанавливаются кондиционные пределы.

Основные запасы железных руд связаны с метаморфогенными месторождениями. Они составляют основную массу мировых запасов и до 60% мировой добычи. Наиболее крупными месторождениями данного типа являются Курская аномалия (КМА), Кривой Рог, Карсакпайская группа, месторождения Малого Хингана (Кимканское и др.).

Большое промышленное значение имеют и осадочные месторождения. Примером этого типа являются: Керченское (неогенового возраста) и Аятское (мелового возраста) в Кустанайской области.

Среди магматических и скарновых известны лишь отдельные важные объекты: магматические — на Урале Кусинское, Качканарское; скарновые — на Урале горы Благодать, Высокая, Магнитная; в Северном Казахстане — Соколовское, Сарбайское и Кочкарское; в Горной Шории — Тейское и Тельбеское.

Гидротермальные месторождения также имеют сравнительно незначительное распространение. Среди них к высокотемпературным относятся месторождения Ангаро-Илимской и Ангаро-Катской группы, связанные с тряпковым комплексом пород. Среднетемпературные месторождения — Бакальское на Южном Урале, Абайльское в Казахстане. К месторождениям коры выветривания ультраосновных пород относятся Орско-Халилов-

ского и Актюбинского районов на Южном Урале и Малкинское на Кавказе.

Марганец. Среднее содержание марганца в земной коре составляет 0,1%, кларк его в 40 раз меньше кларка железа. Наблюдается несколько повышенное содержание марганца в основных породах. В земной коре известно более 150 минералов, но промышленное значение имеют лишь пиролюзит, MnO_2 , браунит, Mn_2O_3 , манганит, $MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$, родохрозит, $MnCO_3$, родонит, $MnSiO_3$.

Марганец используется главным образом в черной металлургии и в химической промышленности, а также в электрохимической, керамической, лакокрасочной и других отраслях.

В природе известны месторождения марганца различных генетических типов. Среди эндогенных месторождений выделяются скарновые и гидротермальные (средне- и низкотемпературные), которые имеют незначительное распространение, представлены преимущественно мелкими объектами и промышленное значение их невелико. Экзогенные месторождения марганцевых руд являются основными источниками добычи, а среди них наибольшее значение имеют осадочные месторождения. К месторождениям коры выветривания относятся Мазульское (Красноярский край) и Полуночное на Северном Урале и др. К осадочным месторождениям относятся: Никопольское (Украина) и Чиатурское (Грузия), к метаморфизованным — Кара-Джал, Ктай и другие в Центральном Казахстане.

Накопление марганца в морском бассейне происходило за счет разрушения континентальных масс и выноса марганца в виде коллоидных растворов.

Хром. Кларк его в земной коре составляет 0,035%. Генетически связан исключительно с ультраосновными изверженными породами — дунитами, перidotитами и пироксенитами, содержание хрома в которых достигает 3—4%.

В металлургии добавка хрома, в виде феррохрома (65—75% Cr) к сталим придает им вязкость, повышает твердость и антикоррозийные свойства. В металлургии употребляют около 50% мировой добычи хромитовых руд, остальное количество используется оgneупорной (40%) и химической (10%) промышленностью.

Промышленные месторождения хрома представлены двумя типами: 1) собственно магматическими и 2) аллювиальными россыпями.

Из магматических наиболее крупными являются позднемагматические месторождения, однако наибольшее промышленное значение имеют элювиально-делювиальные россыпи хрома и остаточные накопления его в латеритах, возникшие при разрушении хромитовых залежей в ультраосновных породах.

Месторождения хромитовых руд находятся в основном на Урале.

Ванадий более распространен в природе, чем медь, цинк, свинец и олово. Он редко встречается в виде крупных собственно ванадиевых месторождений. Обладая способностью к рассеянию, ванадий часто встречается в качестве примеси в различных минералах и горных породах.

Сложный генезис имеют концентрации ванадия в различных горючих ископаемых: углях, горючих сланцах, битумах, асфальтах и нефтях.

Из 50 известных минералов ванадия только пять представляют промышленный интерес.

Роскоэлит, или ванадиевая слюда, $KV_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$; карнотит, или «урановая слюдка», $K_2U_2(VO_4)_2O_4 \cdot 3H_2O$; патронит, VS_2 или V_2S_5 ; ванадинит, $Pb_5(VO_4)_3Cl$; деклуазит, $(Zn, Cu) Pb(VO_4)OH$.

Главной областью применения ванадия является черная металлургия (90%) легирование чугуна и стали, производство сплавов; он также используется при производстве анилиновых и литографических красок и катализаторов.

По своему происхождению месторождения, содержащие ванадий в промышленных концентрациях, подразделяются на три генетических типа: 1) магматические месторождения титаномагнетитовых руд, связанные с основными изверженными породами; 2) инфильтрационные; 3) осадочные. Последние представлены ванадиеносными сланцами, развитыми в виде толщ, мощностью до десятков метров. К ним относятся диктионемовые сланцы прибалтийских стран, черные битуминозные сланцы среднего кембрия в Казахстане.

Титан — кларк его в земной коре составляет 0,61%. В основных и щелочных горных породах содержание титана в 2—3 раза выше, чем в породах кислых.

Титан обладает высокой температурой плавления (1725°), высоким электрическим и термическим сопротивлением, пониженным по сравнению с железом удельным весом (4,5) и высокими механическими свойствами. Исходным материалом для получения металлического титана служат рутил (TiO_2) или искусственная окись титана, получаемая из ильменита ($FeTiO_2$) или других минералов и из титанистых шлаков.

Промышленные месторождения титана представлены: 1) собственно магматическими месторождениями, связанными с основными породами — Качканарское на Среднем Урале, Куусинское на Южном Урале; с щелочными породами на Кольском полуострове; 2) остаточными месторождениями коры выветривания основных и щелочных пород — Семигородское месторождение на Украине; 3) осадочными месторождениями в виде ископаемых россыпей — Среднее Приднепровье на Украине, Тобольское в Казахской ССР; 4) метаморфогенными месторождениями — на Кольском полуострове, Среднем и Южном Урале и др.

Никель. Среднее содержание никеля в земной коре составляет 0,02% и концентрируется он главным образом в основных и ультраосновных породах. Никель применяется для производства легированных сталей. Известно около 45 никельсодержащих минералов, но важнейшими являются петланит (Fe, Ni)₂S и водные силикаты никеля. В связи с этим промышленные месторождения никеля связаны с сульфидными медно-никелевыми и силикатными никелевыми рудами.

Основные месторождения сульфидных руд Советского Союза расположены в двух районах — в Красноярском крае (Норильское рудное поле) и на Кольском полуострове. Широко распространены также и месторождения силикатных никелевых руд — на Южном Урале, в Западном Казахстане.

Образование руд связано преимущественно с магматическими и в меньшей мере с гидротермальными процессами.

Медно-никелевые месторождения Норильского рудного поля, по мнению многих исследователей, образовались при ликвационно-магматическом процессе. Одним из важных факторов, способствовавших обособлению сульфидного расплава, была повышенная концентрация серы в рудоносных интрузиях. Большое значение имеют экзогенные процессы, с которыми связано образование силикатных никелевых и окисленных железо-никель-кобальтовых руд — в результате выветривания ультраосновных и основных пород.

Кобальт. Среднее содержание кобальта в изверженных горных породах составляет 0,004% и связан он как с основными и ультраосновными магмами, так и с умеренно-кислыми гранитондами.

Главными минералами руд кобальта являются: кобальтистый петланит (Fe, Ni, Co)₂S, линнант (Co_3S_4), кобальтин (Co, As, S), глаукодот (Co, Fe)_{AsS} и др.

Значительная часть кобальта (70%) расходуется в производстве сплавов, особенно магнитных (27%), тугоплавких (23%) и специальных (20%).

Ликвационные месторождения кобальтсодержащих сульфидных медно-никелевых руд в СССР расположены в Красноярском крае и на Кольском полуострове.

Скарново-железорудные (магнетитовые) месторождения кобальтсодержащих руд пространственно и генетически связаны обычно с известковыми скарнами, реже с магнезиальными — в Западном Казахстане, на Среднем и Южном Урале.

Гидротермальные месторождения кобальта встречены в Дашкесане, в Тувинской АССР. Месторождения коры выветривания серпентинитов известны на Урале, на Украине, в Казахстане, на Алтае.

Вольфрам — представляет собой металл серебристо-стального цвета с температурой плавления 3400°С, химически стойкий. При 1600°С он ковок и способен вытягиваться в тончай-

шие нити. Среднее содержание вольфрама в земной коре 0,007%. Вольфрам в основном применяется в металлургии для получения специальных сортов стали, обладающей твердостью и упругостью и свойством самозакалки. Идет на производство сверхтвёрдых сплавов (победит и др.) и безжелезистых сплавов с хромом, кобальтом и другими металлами.

Промышленными вольфрамсодержащими минералами являются: вольфрамит (Fe, Mn)_{WO₄, ферберит $FeWO_4$, шеелит $CaWO_4$ и др.}

Вольфрам добывается из разнообразных постмагматических (скарновые, гидротермальные) и россыпных месторождений.

Молибден — потребляется металлической до 95%. В промышленности используется для тех же целей, что и вольфрам. Главнейшим минералом молибдена является молибденит MoS_2 .

Месторождения вольфрама и молибдена связаны с гранитными магмами. Во многих рудных районах и месторождениях вольфрам и молибден находятся совместно, образуя в парагенезисе с кварцем, флюоритом и другими минералами комплексные гидротермальные руды. Однако имеются также существенные отличия между некоторыми типами месторождений вольфрама и молибдена.

Месторождения руд цветных металлов. Медь — среднее содержание в земной коре 0,01%. Наиболее тесно медь связана с умеренно кислыми гранитондами, также с основными породами и значительно менее с кислыми гранитами.

В природе известно более 240 минералов, содержащих медь. Главное промышленное значение имеют самородная медь и сульфиды: халькопирит, $CuFeS_2$, халькозин, Cu_2S , ковеллин, CuS , борнит, Cu_5FeS_4 , а также карбонаты меди — малахит, $Cu_2(OH)_2CO_3$ и азурит, $Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$, и окислы куприт, Cu_2O , и др.

Минимальное промышленное содержание меди в рудах колеблется от 0,5 до 1% в зависимости от метода переработки и от содержания в них других компонентов. Важным свойством медных руд является их комплексность. Попутно с медью из сульфидных руд обычно извлекаются молибден, свинец, цинк, золото, серебро, рений, индий, кадмий, висмут, теллур, селен, сера и другие компоненты, стоимость которых нередко превышает стоимость меди.

Широкое применение меди основано на ее высокой электропроводности, теплопроводности, химической устойчивости, отменной ковкости и тягучести. Более 50% добываемой меди потребляет электропромышленность. Медь используется также в машиностроительной и автомобильной промышленности.

Среди месторождений медных руд выделяются четыре генетических типа, имеющие основное промышленное значение: 1) собственно магматические (ликвационные) месторождения сульфидных медно-никелевых руд (главные рудные минералы

пирротин, магнетит, халькопирит, пентландит и талнахит); 2) скарновые (контактово-метасоматические) месторождения, образующиеся на контактах гранитоидов с известняками и другими породами (руды сложены пирротином, халькопиритом, магнетитом и др.); 3) гидротермальные месторождения медно-молибденовых, медиистых песчаников и медноколчеданные; 4) осадочные месторождения сульфидных руд.

Свинец, цинк, серебро. Минералы названных металлов обычно встречаются вместе, иногда находятся в парагенезисе с медью и золотом и поэтому руды их получили название полиметаллических. Геохимически они связаны с умеренно кислыми магмами. Среднее содержание в земной коре цинка 0,02%, свинца 0,002%, серебра 0,00001%.

Свинец идет на изготовление кабеля, свинцовых белил, экранов рентгеноаппаратуры, аккумуляторов, а также применяется в атомной промышленности, в антифрикционных и типографских сплавах.

Цинк, благодаря своим антакоррозийным свойствам, употребляется в металлическом виде главным образом для оцинкования различных железных изделий, в химической промышленности, сплавах (латунь, бронза, мельхиор), при изготовлении проволоки, а также в виде хлористого цинка для пропитывания дерева (железнодорожные шпалы).

Серебро используется для изготовления монетных и ювелирных сплавов и в фотокинопромышленности для получения светочувствительных эмульсий. Оно получило также широкое применение в точном приборостроении и электротехнике.

Важнейшими минералами полиметаллических руд являются свинецсодержащие — галенит, PbS , буланжерит, $Pb_5Sb_4S_{11}$, джемсонит, $Pb_4FeSb_6S_{14}$, церуссит, $PbCO_3ZnS$, англезит, $PbSO_4$, цинксодержащие — сфалерит, ZnS — куб, вюрцит, ZnS — гекс, каламин, $Zn(OH)_2SiO_7 \cdot H_2O$, смитсонит, $ZnCO_3$; серебросодержащие (помимо примеси в галените и самородного серебра) — argentит, Ag_2S , стефанит, Ag_5SbS_4 , пиаргирит, Ag_3SbS_3 , прустит, Ag_3AgS_3 , и др. Месторождения полиметаллических руд относятся к постмагматическим, причем наибольшее значение имеют гидротермальные высоко- и среднетемпературные месторождения умеренных глубин для свинца и цинка и низкотемпературные малых глубин — для серебра. Полиметаллические (Pb , Zn , Ag) месторождения делятся на скарновые и гидротермальные.

Скарновые (контактово-метасоматические) месторождения свинцово-цинковых руд известны на Дальнем Востоке и в Средней Азии. Главные рудные минералы: галенит, высокотемпературный железистый сфалерит — марматит, в небольшом количестве халькопирит, арсенопирит, пирит и др. Кроме свинца и цинка в рудах скарновых месторождений содержится немного меди, висмут, серебро (примесь в галените), кадмий и индий — в сфалерите.

Гидротермальные глубинные месторождения разделяются на высокотемпературные — в СССР промышленного значения не имеют, среднетемпературные и низкотемпературные.

Среднетемпературные гидротермальные месторождения представлены метасоматическими рудными телами в карбонатных и в вулканогенно-осадочных породах, а также жильными рудными телами, образованными путем выполнения трещинных полостей в осадочно-метаморфических и изверженных горных породах. Вещественный состав руд — галенит, сфалерит и другие сульфиды, сопровождающие минералы — кварц, кальцит, реже барит.

Гидротермальные низкотемпературные месторождения свинца и цинка развиты в карбонатных породах и в медиистых песчаниках, а комплексные — золото-серебряные, кобальт-серебряные и олово-серебряные руды в приповерхностных «вулканических» месторождениях.

Олово — достаточно распространенный в земной коре элемент, его кларк равен $2,5 \cdot 10^{-4}\%$ (2,5 г/т), т.е. примерно в 17 раз менее меди и в 3 раза менее свинца.

Повышенные концентрации олова характерны для кислых гранитов, грейзенов, пегматитов и для терригенных песчано-сланцевых пород.

Известно около 20 минералов олова, но к числу распространенных принадлежат только кассiterит, SnO_2 и станин, Cu_2FeSnS_4 .

Олово идет на изготовление белой жести (57%), прилаев и антифрикционных сплавов (20%), бронзы (6%), фольги (6%) и на прочие нужды (11%).

Генетические типы месторождений олова делятся на коренные (эндогенные) и россыпные (экзогенные).

Коренные месторождения — оловоносные пегматиты — наиболее высокотемпературные образования, генетически связаны с интрузивами порфировидных гранитов с повышенной глиноzemистостью и преобладанием натрия над калием. При широком распространении оловоносные пегматиты нередко являются источником образования промышленных россыпей кассiterита. Коренными месторождениями также являются гидротермальные; из них высокотемпературные месторождения кассiterито-кварцевой формации (глубинные) широко распространены и нередко представляют собой весьма крупные промышленные объекты. Средне-низкотемпературные месторождения связаны с гранитоидами малых глубин и распространены менее широко.

Россыпи играют важную промышленную роль и дают 50—60% мировой добычи оловоносных концентратов. Образуются за счет выветривания пегматитов грейзенов и кассiterито-кварцевых месторождений. Наибольшее значение имеют аллювиальные и делювиальные россыпи.

Алюминий — является одним из самых распространенных элементов земной коры. Кларк алюминия составляет 8,05%.

Имея небольшой удельный вес (2,7), алюминий в сплавах с медью, марганцем, магнием, никелем, цинком и другими обладает достаточной механической прочностью, что обуславливает его широкое применение в современной технике. Алюминий употребляется в авиа- и автопромышленности, в электропромышленности и в машиностроении.

Наиболее важной рудой на алюминий являются бокситы, представляющие собой тонкодисперсную породу, состоящую из гидратов окиси алюминия — диаспора, Al_2O_3 , бемита, AlOOH , гидрагиллита, $\text{Al}(\text{OH})_3$, и подчиненного количества окислов и гидроокислов железа и марганца, кварца, опала, окислов титана, лептохлоритов, каолинита, карбонатов кальция и магния и других примесей.

Осадочные месторождения бокситов являются основным источником алюминиевых руд. В последнее время в качестве источника алюминия все большее значение начинают приобретать нефелиновые $\text{Na}(\text{AlSiO}_4)$ и другие породы, образующиеся в эндогенных условиях.

Сурьма. Кларк сурьмы $5 \cdot 10^{-5}\%$. Известно 75 минералов, содержащих сурьму. Однако главным минералом является антимонит (стибинит) — Sb_2S_3 . Небольшое значение имеют бертьерит, FeSb_2S_4 , гудмундит, FeSbS , и самородная сурьма. В рудах, из которых извлекается сурьма, попутно присутствуют и другие полезные минералы. Металлическая сурьма вследствие своей хрупкости применяется очень редко. Более 50% всей сурьмы используется в качестве составной части сплавов, количества которых достигает 200. Добавка сурьмы увеличивает твердость сплавов и предохраняет от окисления. Соединения сурьмы используются в различных отраслях промышленности: лакокрасочной, текстильной, стекольной, резиновой. Небольшое количество соединений сурьмы потребляется для воронения стали, в пиротехнике, медицине и в последнее время — для изготовления полупроводников.

Сурьма извлекается главным образом из собственно сурьмяных руд, меньшую часть добычи дают месторождения комплексных руд: ртутно-золото- и свинцово-сурьмяных и сурьмяно-вольфрамовых.

Минимальное промышленное содержание сурьмы в рудах собственно сурьмяных месторождений составляет 1,2—1,5%.

Все месторождения, в которых сурьма является единственным или одним из главных компонентов, относят к низкотемпературным гидротермальным, образовавшимся на умеренных глубинах и в приповерхностных условиях.

Ртуть. Кларк ртути $5 \cdot 10^{-6}\%$. Ртуть является единственным металлом, находящимся при нормальной температуре в жидком состоянии и затвердевающим при минус $38,7^\circ\text{C}$. Пары ртути ядовиты. Основным промышленным минералом является киноварь HgS .

Главными свойствами ртути являются способность растворять (амальгамировать) Au , Ag , Sn , Cd , Pb , Bi , а также излучать в парообразном состоянии ультрафиолетовые лучи. Ртуть применяется в электро- и радиотехнике, в медицине.

Все ртутные месторождения являются низкотемпературными гидротермальными образованиями, сформировавшимися на умеренных глубинах и приповерхностными, связанными с вулканической деятельностью.

Месторождения драгоценных металлов. Золото — относится к числу широко рассеянных элементов и встречается обычно в очень низких концентрациях в различных горных породах, почвах, растениях. Золото растворено в водах морей и океанов, где оно содержится в количестве до $3—5 \text{ g/m}^3$ воды. Помимо основного своего назначения — использования при международных расчетах — значительное количество золота идет для покрытия ювелирных изделий, применяется в лабораторной практике, для изготовления точных приборов.

Главное промышленное значение имеет самородное золото и редкие теллуриды его. Самородное золото почти всегда содержит примеси серебра, меди, железа, изредка висмута и других элементов. В связи с тем что самородное золото содержит примеси других металлов, введено понятие «проба золота», означающее содержание золота в тысячных долях природного золота и в процентах для изделий из золота. Размеры зерен самородного золота различные — от мельчайших выделений его в некоторых сульфидах, размером в микрона, и до довольно крупных самородков весом в килограмм и десятки килограммов («Большой треугольник» с Южного Урала весил 36 кг 22 г, «Желанный незнакомец» из месторождения Баллотот в Австралии был весом 69,6 кг и др.). В обычных рудах «видимое» золото наблюдается редко. Содержание его, как правило, неравномерное. В некоторых, особенно близповерхностных, месторождениях встречаются участки рудных тел (рудные столбы) очень обогащенные золотом.

Генетические типы месторождений золота довольно разнообразны, но главное промышленное значение имеют гидротермальные: высокотемпературные с кварцевыми золотоносными жилами, среднетемпературные и низкотемпературные месторождения малых глубин.

Важное значение имеют и элювиальные, аллювиальные и морские россыпи золота. Аллювиальные россыпи широко распространены во всех частях земного шара. Среди них выделяются русловые и долинные.

Платина — в группу платины входят шесть металлов: платина, Pt , палладий, Pd , осмий, Os , иридий, Ir , рутений, Ru и родий, Rh . В рудах эти металлы встречаются в самородном состоянии или в виде природных сплавов с другими металлами. Содержание платины в земной коре определяется десятимили-

онными долями процента. Отмечается связь платины с основными и ультраосновными породами. Палладий, осмий, иридий, рутений и родий извлекаются из руд попутно с платиной. Платина как тугоплавкий и весьма устойчивый в химическом отношении металл употребляется в электрохимической промышленности, а также в ювелирном деле.

Промышленными типами месторождений платины являются: а) кристаллизационные, представленные телами платиноносных хромитов в ультраосновных породах; б) ликвационные (главный тип), в которых платина находится совместно с минералами никеля и меди.

Важное промышленное значение имеют также аллювиальные и элювиально-делювиальные россыпи, образовавшиеся при разрушении коренных месторождений платины.

Месторождения редких, рассеянных и редкоземельных элементов. Литий. Кларк лития составляет 0,005 %. Он используется в цветной металлургии, в атомной и медицинской промышленностях и др. Известно более 30 литийсодержащих минералов, но основное значение имеют сподумен, $\text{Li}_2\text{Al}(\text{Si}_2\text{O}_6)$, лепидолит, $\text{K}(\text{Li}, \text{Al})_3(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})_2(\text{F}_2\text{OH})_2$, петалит, $\text{Li}(\text{AlSi}_4\text{O}_{10})$.

Основным источником лития являются гранитные пегматиты, в меньшей степени высокотемпературные гидротермальные и осадочные месторождения.

Бериллий. Кларк бериллия составляет 0,0006 %. Бериллий применяется в ядерной и рентгеновской технике. В виде солей применяется для изготовления бериллиевых светящихся составов (люминофоров), а в виде окиси — для специальных электро-радиоизоляторов.

Главнейшими минералами бериллия являются берилл, $\text{Al}_2\text{Be}_3(\text{LiO}_{18})$, хризоберилл, AlBeO_4 , гельвин, $(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn})_8(\text{BeSiO}_4)_6\text{S}_2$, и др. Кроме того бериллий образует промышленные накопления (до 9 % BeO) в некоторых везувианах и глинах.

Генетические типы промышленных месторождений бериллия: 1) гранитные пегматиты — берилл-мусковитовые, танталит-берилловые и другие; 2) грейзенизированные и альбитизированные граниты и грейзены с бериллом, литиевыми слюдами, кассiterитом, вольфрамитом, молибденом; 3) скарновые месторождения (гельвиновые — флюорит-магнетитовые скарны); 4) гидротермальные высокотемпературные месторождения.

Цирконий и гафний. Кларк циркония около 0,025 %, гафний — типичный рассеянный элемент, практически не образующий собственных минералов. Минералы циркония: циркон, ZrSiO_4 , бедделеит, ZrO_2 , эвдиалит, $(\text{Na}, \text{Ca})_6\text{Zr}(\text{Si}_6\text{O}_{17})(\text{OH}, \text{Cl})$. Цирконий и гафний отличаются высокой химической стойкостью и отгнеупорностью. Они активно поглощают газы, нейтроны, что обуславливает применение их в ядерной технике.

Основным промышленным типом месторождений циркония

являются современные прибрежные морские и в меньшей мере аллювиальные современные и погребенные россыпи.

Тантал и ниобий. Кларк tantalа в земной коре 0,0002 %, ниobia 0,003 %. Они близки по свойствам и отличаются высокой тугоплавкостью, химической устойчивостью, способностью поглощать газы. Они имеют широкое применение в ядерной технике, в радиотехнической промышленности и др. Оба элемента отчетливо связаны с кислыми и особенно щелочными магмами.

Главнейшими минералами tantalа и ниobia являются колумбит, танталит, $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$, пирохлор, $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Th}, \text{TR})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2(\text{O}, \text{OH})_7$, и др.

Основным источником добычи tantalа и ниobia являются россыпи образовавшегося при разрушении и перемыве гранитных пегматитов и гранитов, содержащих колумбит.

В СССР и за рубежом имеются коренные месторождения ниobia, среди которых особый интерес представляет карбонатитовый тип.

Рассеянные металлы — цезий, Cs, рубидий, Rb, скандий, Sc, галлий, Ga, рений, Re, селен, Se, кадмий, Cd, индий, In, таллий, Tl, германий, Ge, теллур, Te, находятся в земной коре главным образом в рассеянном состоянии, не образуя самостоятельных промышленных месторождений и извлекаются попутно при переработке других полезных ископаемых. Кларки перечисленных элементов очень низкие — порядка стотысячных долей процента.

Рассеянные металлы играют важную роль в современной технике и области их использования весьма разнообразны; они применяются в авиационной промышленности, в медицинской, в радиопромышленности и др.

Основным источником получения цезия и рубидия являются гранитные пегматиты и калийные соли, где содержание их измеряется сотыми долями процента. Галлий присутствует в заметных количествах в бокситах, в нефелине и других силикатах. Рений извлекается главным образом из молибденитовых концентратов (входит в состав молибденита). Индий и кадмий извлекаются из металлургической пыли и газа, выделяющихся при выплавке цинка и свинца из сфалеритов, где их содержание колеблется от тысячных до десятых долей процента. Германий извлекается из золы углей и некоторых сульфидных и магнетитовых руд. Селен и теллур извлекают из продуктов переработки медных, полиметаллических и никелевых руд, а также из колчеданного минерального сырья и при производстве из него серной кислоты.

Редкоземельные металлы находятся в природе в рассеянном состоянии — обычно разделяются на две группы: а) цериевую (лантан, La, церий, Ce, неодим, Nd, празеодим, Pr, прометий, Pm, самарий, Sm) и б) иттриевую (иттрий, Y, европий, Eu, гадолиний, Gd, тербий, Tb, диспрозий, Dy, голмий,

Но, эрбий, Ег, туллий, Ти, иттербий, Yb, лютесций, Lu и скандий, Sc.

Редкоземельные элементы находят широкое применение в народном хозяйстве в целом ряде промышленностей и способствуют развитию новой и новейшей техники (космической, ядерной, ракетной).

Редкие земли входят в состав многих минералов, часто ассоциирующих с рассеянными и радиоактивными элементами. Кроме того, редкоземельные элементы извлекаются из апатита, фосфоритов и руд черных и цветных металлов.

До последнего времени основным источником редких земель были монацитовые россыпи. Новым и крупным источником редких земель являются карбонатитовые месторождения. Промышленное значение имеют также крупные магматические месторождения в связи с щелочными магматическими породами. Рудой этих месторождений могут быть сами горные породы с лопаритом, кианитом, апатитом либо скопления этих минералов.

Радиоактивные элементы. Уран. Среднее содержание урана в земной коре около $3,5 \cdot 10^{-4}\%$. Из магматических пород наибольшее содержание урана характерно для гранитов (до $5 \cdot 10^{-4}\%$), а из осадочных — для сланцев ($4-5 \cdot 10^{-4}\%$).

Обычными спутниками урана являются промежуточные продукты его радиоактивного распада — Ra и Rn и конечный — 206 Pb .

В настоящее время ядерное сырье имеет огромное промышленное и стратегическое значение.

Радиоактивные элементы, главным образом уран, и их изотопы используются в ядерной технике, в медицинской промышленности, в сельском хозяйстве, археологии и других областях науки и техники.

Из 1 кг урана можно выделить энергию, эквивалентную энергии 5000 т сжигаемого угля. Уран добывается как из самостоятельных урановых месторождений, так и из комплексных руд.

Промышленные концентрации урана известны для нескольких генетических типов месторождений: гранитные пегматиты, гидротермальные, месторождения осадочные, россыпные, метаморфизованные (докембрийские конгломераты).

Глава VIII

МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 28. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В группу неметаллических, или нерудных полезных ископаемых входят те, которые не являются сырьем для извлечения металлов и не обладают горючестью. Они используются промышленностью для получения из них определенных минералов, либо употребляются целиком как горная порода.

Неметаллические полезные ископаемые в значительной мере условно и чисто практически могут быть разделены на три группы: 1) индустриальное сырье (слюда, асбест, тальк, магнетит, доломит, корунд, алмаз, графит и др.); 2) химическое сырье (апатит, фосфорит, соли, сера, барит и др.); 3) строительные материалы (известняк, мрамор, гипс, глина, песок, песчаник, гравий и др.).

Индустриальное сырье. Слюды. Из обширной группы слюд практическое применение имеют лишь мусковит, $KAl_2(OH)_2(Si_3AlO_{10})$, флогопит, $K(Mg, Fe)_3(Si_3AlO_{10})(OH, F)_2$, и др.

Общая способность изолировать высокие напряжения (до 250—300 квт) пластиной толщиной до 1 мм, жароупорность до 450°C (температура плавления мусковита $1255-1250^\circ\text{C}$), кислотоупорность, гибкость, эластичность и совершенная спайность (способность разделяться до тончайших пластин) слюды нашли широкое применение в электропромышленности и незаменимы во многих электро- и радиоактивных приборах. Слюдяная мелочь и порошок используется как теплоизоляционный материал, при изготовлении кровельных и смазочных материалов и др.

Мусковит извлекается из слюдоносных гранитных пегматитов, чаще всего находящихся в докембрийских кристаллических комплексах среди толщ, кристаллических сланцев и гнейсов (слюдяных, гранитовых, дистеновых, амфиболовых, ставролитовых), в которых они образуют многочисленные жилообразные, столбообразные, лизообразные и неправильные по форме тела протяженностью от десятков до сотен метров и мощностью до десятков метров.

Образование мусковита, по мнению многих исследователей, обусловлено процессами гидролиза полевых шпатов, входящих в состав пегматитов.

Месторождения мусковита в СССР находятся в Юго-Восточной Сибири (бассейны рек Мамы, Витима и др.) и в Карелии.

Месторождения флогопита представлены двумя генетическими типами. Первый тип связан с породами архейских комплексов — гиперстеновыми, силлиманитовыми, диопсидовыми и другими гнейсами, мраморами, доломитами и амфиболитами. Месторождения флогопита образовались на контактах известково-доломитовых пород с гранитоидами, вдоль которых про сачивались высокотемпературные растворы, вызвавшие разложение пордообразующих минералов и встречную диффузию компонентов, и имеют метасоматическое происхождение. Месторождения этого типа находятся в Восточной Сибири (Слюдянка, Алдан). Второй тип флогопитовых месторождений связан с комплексом ультраосновных — щелочных пород, развивающихся в платформенных условиях в процессе метасоматического изменения ультраосновных пород с образованием флогопита под воздействием постмагматических растворов, связанных с щелочными интрузиями. Представителями этого типа являются Ковдорское и Гулинское месторождения.

Асбесты — минералы, легко расщепляемые на тончайшие прочные и гибкие волокна и выдерживающие без изменения высокие температуры, что позволяет использовать их для изготовления текстильных или картоноподобных изделий высокой огнеупорности (до 700—800°С). В настоящее время на основе асбеста вырабатывается около 2000 видов продукции.

Различают две группы асбестов: 1) хризотил-асбест — $Mg_6(Si_4O_{11})(OH)_6H_2O$, тесно связанный с процессами серпентинизации ультраосновных пород и доломитов; 2) амфибол-асбесты. На долю хризотил-асбеста приходится около 95% всей добычи асбеста.

Месторождения хризотил-асбеста расположены на Среднем и Южном Урале, в Тувинской АССР, Восточных Саянах и в Северо-Бурятской АССР и обычно разрабатываются открытым способом.

Месторождения хризотил-асбеста — эндогенные. Они связаны с процессами серпентинизации ультраосновных магматических пород и значительно реже доломитов под воздействием среднетемпературных гидротермальных кремнекислых или углекислых растворов на умеренных глубинах. Источником таких растворов являются гранитные интрузии.

В Баженовском асбестоносном районе (Средний Урал) месторождения хризотил-асбеста приурочены к круто падающему на запад массиву ультраосновных пород, вытянутого в направлении, близком к меридиональному. На востоке и юге этот массив находится в контакте с более молодым гранитным массивом.

Тальк, благодаря белому цвету в порошке, жирности, скользкости, мягкости, прилипаемости, химической инертности, электроизоляционной способности и пр., нашел применение в бумажной, парфюмерной, фармацевтической, керамической

резиновой, химической и других отраслях промышленности. Тальк относится к гидросиликатам магния и имеет формулу $Mg_3[Si_4O_{10}] \cdot OH_2$. По составу тальковые породы (руды) подразделяют на талькиты, содержащие более 75% талька, и тальковые камни с содержанием талька менее 75%.

По производству талька СССР занимает одно из ведущих мест в мире благодаря наличию крупных месторождений. К ним относятся Шабровское (Урал), Удерейское и Киргетайское (Красноярский край), Онотское (Иркутская область), Светлоключевское (Горная Шория) и др.

Месторождения талька обычно находятся среди метаморфизованных толщ, на контактах магнезиальных и алюмосиликатных пород и образовались в результате kontaktово-реакционного метасоматоза под действием углекислых или кремнекислых гидротермальных растворов. За счет изменения ультраосновных пород образуются обычно железистые тальковые руды, а за счет магнезиально-карбонатных доломитовых пород — более ценные безжелезистые тальковые руды.

Кварц (SiO_2) — один из наиболее распространенных минералов в земной коре. Известно несколько разновидностей кварца. Кварц пропускает ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, что делает его пригодным для изготовления «окошек» в оптических приборах.

Сущность пьезоэлектрических свойств кварца заключается в том, что при механическом воздействии на его кристалл — сжимании или растягивании в направлении двойной оси — в том же направлении возникает электрический заряд с противоположными знаками на концах кристалла.

Главное применение кварцевые препараты находят в радиотехнике, в ультразвуковой технике и в оптике. Каждая из перечисленных отраслей промышленности предъявляет к кварцу свои технические требования. В связи с этим выделяют следующие виды кварца: 1) пьезокварц, 2) оптический кварц, 3) кварц для плавки и 4) кварц для огранки.

Основную промышленную ценность представляют пьезокварц и оптический кварц.

Среди промышленных месторождений пьезооптического кварца выделяют следующие генетические типы: 1) пегматитовые, 2) гидротермальные (кварцевые жилы и минерализованные трещины); 3) россыпные (связанные с процессами химического выветривания и с процессами физического выветривания).

Пегматитовые тела с пьезооптическими минералами (кристаллами кварца и флюорита) отличаются наличием хорошо развитого кварцевого ядра, занимающего иногда значительную часть объема тела. В отдельных случаях наблюдаются переходы от полнодифференцированных пегматитов к кварц-полевошпатовым и существенно кварцевым жилам.

Помимо массивного кварца в пегматитовых телах от центра к периферии выделяются зоны (рис. 85).

Гидротермальные — хрусталеносные кварцевые жилы обычно пространственно связаны с массивами гранитоидов и располагаются в зоне их эндо- и экзоконтакта с вмещающими породами. Форма хрусталеносных кварцевых жил весьма разнообразна и зависит главным образом от типа и происхождения вмещающих жил трещин. Наряду с кварцевыми жилами про-

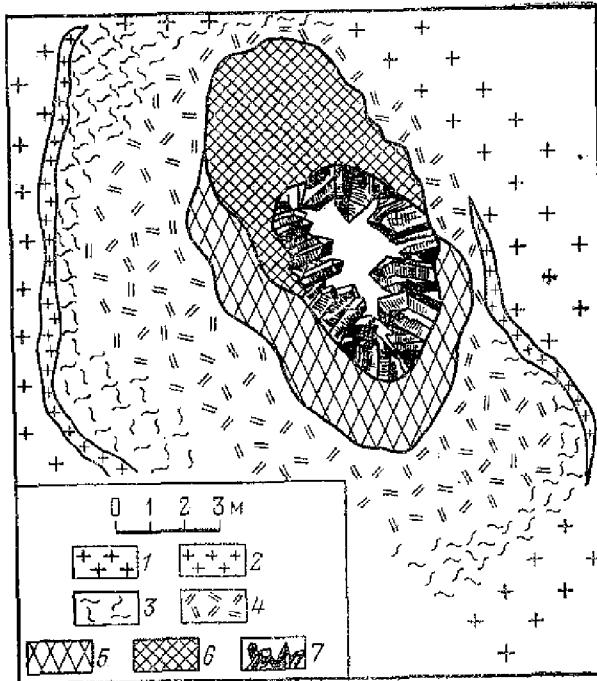


Рис. 85. Разрез мориононосного пегматита, по Е. Я. Киевленко.
1 — гранит; 2 — аплитовая оторочка; 3 — графический пегматит; 4 — пегматоидная зона; 5 — микроклин; 6 — кварцевое ядро; 7 — полость с кристаллами мориона

стой плитообразной или линзообразной формы нередко встречаются сложные ветвящиеся жилы, а также тонкие жильные зоны.

Исландский шпат (CaCO_3) — прозрачная разновидность минерала кальцита, относится к техническим камням и его применение в промышленности связано с большим двупреломлением и высокой прозрачностью. Эти свойства позволяют изготавливать из него специальные приспособления для поляризации света.

Промышленные месторождения исландского шпата являются приповерхностными низкотемпературными гидротермальными образованиями. По составу вмещающих пород и характерным минеральным ассоциациям они делятся на две группы: 1) пространственно и генетически связанные с эфузивными и интрузивными породами трапповой (базальтовой) формации;

2) пространственно связанные с карбонатными осадочными породами.

Графит — представляет собой одну из кристаллических разновидностей углерода и встречается в природе в форме пластинчатых кристаллов, а также в форме чешуйчатых, шестоватых и зернистых агрегатов. Главнейшие физико-химические свойства графита: серебристо-серый и черный цвет, металлический блеск, жирность и маркость; высокая электропроводность и теплопроводность; огнеупорность и химическая инертность. Графит и графитовые материалы нашли широкое применение в народном хозяйстве.

На территории СССР месторождения графита приурочены преимущественно к породам докембрия и палеозоя. К докембрийским относятся Завальевское месторождение на Украине и Союзное и Бираканское в Амурской области. С архейскими гнейсами и кристаллическими сланцами связано месторождение Иркутской области — Безымянское. Месторождения карбонового возраста составляют главным образом аморфный графит: к ним относится Курейское месторождение Красноярского края.

Алмаз — драгоценный камень I класса; по блеску, красоте и твердости он превосходит все остальные минералы и драгоценные камни. Алмаз состоит из чистого углерода, но часто содержит также небольшие количества различных химических элементов, из которых наиболее распространены алюминий, кремний, магний, железо и др.

Величина алмаза указывается в каратах (1 карат равен 200 мг). В природе встречаются отдельные кристаллы, масса которых от сотых долей карата до нескольких тысяч каратов, однако крупные алмазы находят исключительно редко.

Твердость алмаза по шкале Мооса равна 10, почти в 1000 раз больше твердости кварца и в 150 — корунда.

Алмаз нерастворим ни в кислотах, ни в щелочах, а поэтому является весьма устойчивым минералом, он хороший проводник тепла и плохой проводник электричества.

Различают два вида алмазов: 1) ювелирные (кристаллы совершенной формы, прозрачные, без трещин, включений и т. д.), 2) технические (неправильные кристаллы шарообразной формы, тонкозернистые и пористые и др.).

Технические алмазы применяются для бурения твердых горных пород (40—45%), в качестве алмазных инструментов — резцы, сверла, алмазные круги и т. д. (30—35%), в качестве абразивного сырья (7—10%) и др.

Алмазы встречаются в месторождениях двух генетических типов.

1. Собственно магматические (первичные) пространственно и генетически тесно связанные с кимберлитами (своебразными изверженными породами ультраосновного состава с повышен-

ной щелочностью). Наиболее характерный спутник алмаза в кимберлитовых трубках — пироп, являющийся поисковым признаком коренных месторождений алмаза.

2. Рассыпные месторождения алмаза более распространены, чем месторождения кимберлитовых трубок. В рассыпных месторождениях встречаются очень высокие концентрации алмаза — десятки каратов в 1 м³/песков. Кроме того, разрабатывать алмазоносные рассыпи значительно легче, чем коренные месторождения алмазов.

Помимо алмазов в народном хозяйстве применяются цветные (самоцветы) и технические камни. Цветные камни, в свою очередь, подразделяются на ограночные («драгоценные» и «полудрагоценные») и поделочные.

В зависимости от сочетания физических свойств, определяющих эстетический облик минерала, частоты его встречаемости и соответственно стоимости ограночные камни разделяют на три класса: I — алмаз, сапфир, изумруд, александрит, благородная шпинель; II — топаз, аквамарин, берилл, турмалин, пироп, циркон, благородный опал, бирюза, аметист; III — горный хрусталь, дымчатый кварц, морион, хризолит, гематит, кварц-волосатик.

К поделочным камням относятся цветные минералы, минеральные агрегаты и узорчатые разноокрашенные горные породы, обычно непрозрачные или полупрозрачные, просвечивающие, обладающие декоративными свойствами, что позволяет применять их для производства утилитарно-художественных изделий, в глиптике — резьбе по камню, мозаике и скульптуре малых форм.

В число поделочных камней входят малахит, азурит, нефрит, лазурит, амазонит, лабрадор и лабрадорит, родонит, авантюрин, халцедон и агат со всеми разновидностями.

К драгоценным и поделочным камням относятся также органические образования: жемчуг, коралл, янтарь (ископаемая смола хвойных деревьев), гагат и сапропелиты (разновидности углей).

Техническими камнями являются цветные минералы, минеральные агрегаты и некоторые горные породы, обладающие исключительно большой твердостью, высокой механической прочностью, низким коэффициентом трения с металлом и малой изнашиваемостью, пьезоэлектрическим эффектом или различными оптическими свойствами и поэтому они широко применяются в точном приборостроении и измерительной аппаратуре.

Среди технических камней можно выделить «точные камни» — алмаз, корунд и его цветные разновидности (рубин, сапфир), топаз, нефрит, технический агат и техническая яшма; пьезоэлектрические минералы — горный хрусталь и слабоокрашенные кристаллы кварца, оптический флюорит, исландский шпат, турмалин, барит.

Камнесамоцветное сырье, представленное самыми разнообразными минералами и даже горными породами, характеризуются чрезвычайно широким диапазоном условий образования и встречается почти во всех генетических типах месторождений.

Химическое сырье. Соли. Из многочисленных и разнообразных солей, распространенных в земной коре и на ее поверхности, важное значение для удовлетворения потребностей человека имеют главным образом водные и безводные натриевые, калиевые и магниевые соли соляной и серной кислот, особенно галит, NaCl, сильвин, KCl, карналлит, KCl·MgCl₂·6H₂O, мирабилит — глауберова соль, Na₂SO₄·10H₂O, и др.

Каменная соль — галит используется в пищевой промышленности (до 65 %), в химии (получение соляной кислоты и всех солей натрия). Калийная соль — сильвин используется в качестве удобрения в сельском хозяйстве (90 %) и в химической промышленности для получения хлористого и каустического калия, поташа, селитры и других химических продуктов. Карналлит — является источником не только калия, но и магния. Кроме того, в калийно-магнезиальных солях имеют практическое значение примеси брома, цезия и рубидия.

Все промышленные месторождения минеральных солей относятся к осадочным химическим, образующимся из истинных растворов, по особенностям же происхождения среди них выделяют: 1) ископаемые, или древние, и 2) современные месторождения. Неисчерпаемым резервом солей являются морские воды, а также природные рассолы и соляные воды, находящиеся в недрах Земли.

Первоисточником солей для ископаемых месторождений являлись по преимуществу морские воды, выпадение же солей и их накопление в осадке происходило в водоемах, так или иначе связанных с морем: в краевых частях неглубоких морей, в заливах, лагунах и в озерах морского происхождения.

Залежи ископаемых солей имеют форму пластов, линз, куполов и штокообразных тел. Размеры залежей различны: по площадному распространению — от 3—5 до многих десятков и сотен квадратных километров, по мощности — от нескольких метров до 800—1000 м. Соляные залежи обычно перекрыты терригенными осадками — мергелями, известняками, глинами и глинистыми сланцами.

Современные соляные месторождения представляют собой разнообразные соляные бассейны, в водах которых концентрация растворенных солей превышает 3,5 %, а в донных отложениях обычно имеются залежи выпавших из этих вод твердых солей. Подразделяются современные соляные месторождения на морские (Кара-Богаз-гол) и континентальные (Баскунчак и Эльтон).

К числу крупных месторождений калийных солей относятся Соликамское (Верхнекамское) в Пермской области и место-

рождения Западной Украины (Стебникское, Калуш-Голынское), Казахстана (Жилинское) и др.

Сера в природе распространена преимущественно в виде сернистых и кислородных соединений, представленных сульфидами (пиритом, марказитом и др.) и сульфатами (гипсами, ангидритом и др.), присутствует в естественных газах (H_2S , SO_2), нефтях и водах некоторых минеральных источников, входит в состав белков и содержится в организмах животных и растений. Лишь небольшая часть серы и только в верхних горизонтах земной коры встречается в самородном виде, но именно она имеет главное промышленное значение, так как извлекается наиболее просто и дешево. Среднее содержание серы в земной коре около 0,1%.

Чистая сера ярко-желтого цвета, блеск ее в изломе жирный, на гранях кристаллов алмазный, плотность 2,05—2,08 г/см³, твердость 1—2, температура плавления 112,8° С, легко загорается на воздухе, окисляясь до сернистого ангидрита (SO_2).

Сера находит широкое применение: для получения серной, фосфорной, соляной и других кислот, различных технических солей, для изготовления и обработки пластмасс, обогащения и гидрометаллургической переработки руд цветных металлов, выработки красителей, очистки керосина и нефтяных масел и для многих других целей.

Мировые запасы серы сосредоточены главным образом в отложениях пермской, юрской и неогеновой систем. В СССР основные запасы серы находятся на Украине, в Средней Азии и Поволжье.

Существует две группы промышленных месторождений самородной серы: 1) эндогенные (вулканогенные), развитые в областях молодой и современной вулканической деятельности и связанные с вулканогенными и вулканогенно-осадочными горными породами; 2) экзогенные, приуроченные к толщам осадочных горных пород преимущественно лагунного и лагуно-морского происхождения, на долю которых падает около 90% учтенных запасов.

По форме экзогенные серосодержащие залежи подразделяют на пластовые, пластиобразные и линзообразные (месторождения Поволжья, Предкарпатья и Средней Азии, Каракумское и др.); гнездообразной формы (Шор-Су) и солянокупольные, приуроченные к соляным куполам.

Фосфатное сырье. Среднее содержание фосфора в земной коре составляет 0,10—0,12%. В природе он встречается в виде фосфатов — разнообразных солей фосфорных кислот. Практическое значение имеют два главных вида фосфатов — апатиты и фосфориты.

Апатит — сложная кальциевая соль фосфорной кислоты с общей формулой $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl)$. Наиболее распространены крайние члены изоморфного ряда апатита — фторапатит

(3,8% F, 42,3% P_2O_5) и хлорапатит (6,8 Cl, 41,0% P_2O_5). Эти минералы входят в состав магматических и некоторых метаморфических горных пород. Промышленные скопления апатита возникают в щелочных, ультраосновных — щелочных породах или в постмагматических образованиях, генетически связанных с указанными комплексами пород. Качество апатитовых руд, как и фосфоритов, определяется содержанием фосфорного ангидрита — P_2O_5 .

Фосфоритами называют осадочные минеральные образования, состоящие из ряда нефосфатных минералов (кварц, халцедон, глауконит, доломит, кальцит, глинистое вещество и др.) и фосфата, близкого по составу к фторапатиту. Содержание P_2O_5 в фосфоритах колеблется от 5 до 36%. По составу минеральных компонентов, насыщенности фосфатами и текстурно-структурными особенностями выделяют желваковые (конкремионные), зернисто-ракушечниковые и массивные фосфориты.

Апатиты и фосфориты используются в основном для получения фосфорных удобрений.

Известны следующие типы промышленных месторождений.

1. Собственно магматические (позднемагматические), связанные с комплексом щелочных пород (Хибины).

2. Фосфоритовые осадочные геосинклинального типа, к которым относится месторождение Карагату. Некоторые месторождения фосфоритов этого типа имеют промышленный интерес не только как источник фосфорита, но также и редких земель. Вмещающими породами для фосфоритов являются мощные толщи карбонатных пород с подчиненным значением терригенных осадков. Фосфориты преимущественно пластового типа с высоким содержанием P_2O_5 (22—36%).

3. Фосфоритовые осадочные платформенного типа характеризуются широким распространением на больших площадях, но имеют небольшую мощность пластов и соответственно меньшие запасы фосфатного сырья по сравнению с геосинклинальными месторождениями.

К платформенным месторождениям фосфоритов относятся Вятско-Камское месторождение в Кировской области, Егорьевское месторождение, в Московской области, Богдановское и Ново-Украинское в Северном Казахстане, месторождения в Красноярском крае (Гурьевское), в Кемеровской области, в Ленинградской области и др.

Вмещающими породами для фосфоритов являются слабо сцепментированные песчаные, реже глинистые породы. Преимущественный тип фосфоритов желваковый. Содержание P_2O_5 12—16%, но при обогащении получают промышленный концентрат с содержанием P_2O_5 26—35%.

4. Метаморфические (метаморфизованные) месторождения по промышленному значению занимают третье место после позднемагматических и карбонатитовых и образуются из осадочных

фосфоритов на контакте с интрузивными породами или в процессе регионального метаморфизма. В результате раскристаллизации фосфатного вещества образуется апатит (месторождение Гулак-Тау в районе Карагату, м-ния Слюдянки и Восточной Сибири).

5. Комплексные руды карбонатитовых месторождений, в которых апатит присутствует как попутный компонент.

Строительные материалы. Гипс и ангидрит. Гипс, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, и ангидрит, CaSO_4 , как горные породы близки к мономинеральным.

Они используются преимущественно для производства гипсовых вяжущих веществ. Наиболее обычным видом такого вещества является строительный, или штукатурный гипс (алебастр), получаемый путем обжига гипсовой породы (гипсового камня) при температурах до 130 — 180°C и последующего тонкого размола продуктов обжига. Гипс используется в качестве добавок при изготовлении цемента, в химической и бумажной промышленности, сельском хозяйстве (для гипсования почвы) и в медицине. Путем обжига совместно с глиной и коксом из гипса и ангидрита получают сернистый газ для производства серной кислоты.

Гипс и ангидрит имеют осадочное происхождение, образуют мощные пачки среди карбонатных терригенных отложений. Обычно гипсы образуются при гидратации ангидритов. Месторождения гипсов и ангидритов связаны с девонскими и пермскими отложениями на Восточно-Европейской платформе, Приуралье, юрскими и неогеновыми отложениями Средней Азии и др.

Магнезит — карбонат магния (MgCO_3 — MgO 47,8%, CO_2 52,2%) с примесями Fe, Ca и Mn. Он используется для производства огнеупорного кирпича и других изделий (90% всего добываемого магнезита), в металлургии — для получения металлического магния, для производства абразивных изделий, термо- и звукоизоляционного материала, в химической и других отраслях промышленности.

Эксплуатация месторождений магнезита осуществляется открытым способом при мощности рудного тела не менее 1 м и коэффициента вскрыши не более 2.

Промышленные месторождения магнезита относятся к двум генетическим типам — гидротермальному метасоматическому и инфильтрационному.

Глины, каолины, глинистые породы. Глины представляют собой тонкодисперсные горные породы, состоящие в основном из слоистых или псевдослоистых водных алюмосиликатов (называемых глинистыми минералами), обладающих пластичностью и приобретающих после обжига прочность камня.

В народном хозяйстве глина применяется для производства кирпичей и черепицы, цемента, гончарной посуды, фарфора и фа-

яиса, труб, плит, химической посуды, красок, для приготовления литейных форм, глинистых растворов, для очистки нефтепродуктов, органических масел и жиров, а также в бумажной, резиновой, химической и других отраслях промышленности.

Среди глин, учитывая их применение, различают керамические, огнеупорные, кислотоупорные, формовочные, цементные, кирпичные и бентонитовые.

По минеральному составу различают следующие наиболее распространенные разновидности глин: 1) каолинитовые, галлузитовые и каолинит-гидрослюдистые — отличаются светлой (белой, желтой) окраской; в воде не разбухают; 2) монтмориллонитовые («бентониты») и бейделлитовые — восковидные, окрашенные в желтоватый, голубовато-зеленоватый или коричневые тона; с водой дают высокопластичное, липкое, мылкое тесто; 3) гидрослюдистые глины, часто пестроцветные; как правило, песчанисты и пылеваты; малопластичны, в воде не разбухают.

Кроме того, в природе широко развиты глины, представляющие собой более или менее сложную смесь нескольких минералов. По преобладающим примесям выделяют углистые, железистые, известковистые и другие глины. Выделяют также «тоющие» и «жирные» глины по содержанию отщающих примесей, главным образом кварцевого песка.

Генезис месторождений глин различный. Различают глины и суглиники остаточные (в коре глинистого выветривания на полевошпатовых породах) и переотложенные осадочные — морские, озерные, ледниковые, речные.

Главнейшим районом распространения каолинов является Украина.

Месторождения огнеупорных глин в СССР связаны с корой выветривания, с озерными и болотными отложениями и приурочены к осадкам трех главных периодов континентального режима: раннему карбону (Подмосковье), раннему мелу (Воронежская область и восточный склон Урала) и неогену (Украина).

Диатомит, трепел, опока — это осадочные кремнистые горные породы биохимического происхождения. Основу пород составляют кремнистые остатки простейших водорослей диатомей с примесью скелетных остатков радиолярий и игл губок или мельчайшие округлые тельца, сложенные опалом или халцедоном. Кремнистые округлые образования представляют собой продукт диагенетического и эпигенетического преобразования органических остатков. В зависимости от соотношения исходного продукта, составляющего породу, и степени его цементации различают диатомит, трепел и опоку.

Химический состав рассматриваемых пород близок. Основу пород составляет SiO_2 (60—98%). Суммарное количество $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ колеблется от долей процента до 10—15%.

Использование диатомитов, трепелов и опок в народном хозяйстве основано на их свойствах: низкая объемная масса, большая общая, эффективная и поглотительная пористость, высокие звуко- и теплопоглотительные, фильтрующие и отбеливающие свойства, химическая устойчивость и крепость слагающих пород частиц. Диатомиты и трепелы, кроме того, способны выдерживать значительный нагрев (до 1150—1600° С) без нарушения свойств и сплошности пород. Диатомиты, трепелы и опоки широко используются в строительстве и при производстве цементов, а также в химической, пищевой, нефтяной отраслях промышленности, при производстве абразивов.

Месторождения диатомитов, трепелов и опок распространены на территории СССР достаточно широко. Крупнейшими районами развития пластовых залежей этих пород являются Среднее Поволжье, восточный склон Урала, области Центра европейской части СССР и др.

Извещенные и метаморфические горные породы широко распространены в составе земной коры и как дешевый вид материалов в больших количествах применяются в строительстве. По характеру использования все породы подразделяются на следующие группы: 1) естественные строительные камни; 2) кровельные материалы; 3) активные минеральные добавки; 4) кислотоупорные камни; 5) породы для каменного литья; 6) породы для производства легких строительных материалов; 7) пемза, используемая как абразив и как естественный легкий строительный материал.

Естественными строительными камнями называют горные породы, используемые в строительстве в их естественном виде и подвергающиеся лишь механической обработке. В СССР широко распространена добыча разнообразных магматических и метаморфических горных пород с высокими строительными свойствами. В Карелии имеется Шокшинское месторождение декоративных малиново-красных кварцитов.

Природные кровельные материалы и кислотоупорные камни в настоящее время используются в очень небольших количествах и успешно заменяются дешевым шифером и кислотоупорными бетонами.

В качестве активных минеральных добавок, используемых для придания цементам повышенной прочности или способности затвердевать под водой, а также для изменения сроков схватывания цементной массы применяют и некоторые разновидности продуктов вулканического происхождения (пеплы, туфовые пески, пемзы, туфы, туфолавы).

Камнелитейное производство — это плавление естественного камня с получением расплава и последующей отливкой его в формы для получения различных по назначению изделий. Из плавленых пород изготавливают плиты для полов и тротуаров, лестничные ступени, кислотоупорные трубы и емкости,

опоры и станины для машин и станков, детали для оборудования химической промышленности, электроизоляторы, шары для шаровых мельниц, облицовочные материалы и другие изделия. В качестве сырья для каменного литья используются базальты, диабазы, андезито-базальты, реже амфиболиты, сланцы, пески, глины и др.

Пригодность пород для каменного литья определяется опытным путем. Горные породы, используемые для плавки, широко развиты на Кавказе, Украине, в Карелии, на Урале, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

Для удовлетворения огромной потребности бурно развивающегося в СССР промышленного и жилищного строительства важное значение приобретает производство легких и сверхлегких заполнителей бетонов и получение тепло- и звукоизоляционных изделий. Сырьем для таких материалов являются вулканические стекла (перлиты, обсидианы) и легкоплавкие глины.

Перлит — это стекловатая вулканическая порода кислого состава (ряд липарит — дацит), обладающая концентрически-скорлуповым (перлитовым) строением. При нагревании породы содержащаяся в составе стекла вода переходит в пар и всучивает массу. Большое всучивание (в 15—20 раз) происходит в том случае, если перлит вначале раздробить до определенного размера, а затем обжечь при температуре около 1000° С. Максимальная всучиваемость породы наблюдается в том случае, если воды в стекле содержится 2—3%.

Всученный перлит используется для штукатурных работ как основной компонент сухой штукатурки, обладающей звуко- и теплоизоляционными свойствами, в качестве легкого наполнителя в бетонах, обладающего высокой прочностью и сокращающего расход металла в конструкциях, для изготовления термоизоляционных красок и пластмасс.

Обсидиан принадлежит к кислым стекловатым породам, которые иногда обладают флюидальностью за счет закономерно ориентированных в породе минералов и сферолитов. Содержание в обсидиане воды обычно не превышает 1%. При термической обработке обсидиан также может давать легкую пористую массу.

В СССР залежи перлитов и перлитовых обсидианов известны в районах развития молодого вулканизма: в Закарпатье, Закавказье, Восточном Казахстане, Забайкалье, Приморье, на побережье Охотского моря, Чукотке, Камчатке.

Пемза представляет собой сильно пористое вулканическое стекло, характеризующееся пузырчато-ноздреватой текстурой. Общая пористость пемзы составляет 50—60%. Твердость пемзы 5,5—6, плотность 2,0—2,5 г/см³, объемная масса ниже 1 г/см³.

Пемза широко применяется в строительстве промышленных и гражданских объектов (пемзоцементы, из которых делаются стеновые блоки, панели и т. д.). Высокая твердость и абразив-

ные свойства пемзы используются для шлифовки и полировки металлов, каменных изделий, дерева, а также для выделки кожи. В тонко размолотом виде (пемзовый песок) порода может быть использована как фильтрующий материал, а также как сырье для производства стекла.

По условиям образования можно выделить два генетических типа месторождений пемзы: собственно магматические и осадочные месторождения. Собственно магматические месторождения пемзы возникают при вулканических извержениях главным образом взрывного типа. В СССР залежи пемзы этого типа со средоточены в Закавказье (Анийское, Пемзашенское, Махмуджукское, Артикское), на Северном Кавказе (район г. Нальчика) и Камчатке.

Осадочные месторождения пемзы представляют собой продукты переотложения обломочных пемзовых частиц в речных и озерных водоемах.

Карбонатные породы. В качестве строительных материалов или сырья для их производства применяются известняки, мергели, мел, доломиты.

Основными потребителями карбонатных пород являются промышленное, жилищное и дорожное строительство; металлургия, производство вяжущих веществ и химическая промышленность. В меньших количествах они применяются в стекольной, пищевой, бумажной, резиновой, полиграфической и других отраслях промышленности, а также в сельском хозяйстве. Основная масса карбонатных пород образовалась осадочным путем в морских бассейнах. Карбонатные породы составляют примерно 20% по массе от всех осадочных образований земной коры. На долю известняков, мергелей и мела из этого количества приходится около 12%, а на доломиты и мраморы 8%.

Песок и гравий, песчаники и кварциты. В основе применения в промышленности перечисленных выше горных пород лежат разнообразные физические и химические свойства: рыхлость одних и механическая прочность других; абразивная способность зерен кварца; высокое содержание кремнезема и обусловленные этим огнеупорность и кислотоупорность.

В качестве заполнителей применяются главным образом песок и гравий, которые используются в производстве строительного и силикатного кирпича, стеновых блоков, бетона, вяжущих растворов, штукатурных и асфальтовых масс. Песок, гравий и щебень прочных пород применяются для балластировки железнодорожных путей и устройства основания и подстилающего слоя автомобильных дорог, что обеспечивает устойчивость пути и быстрое скатывание вод.

Фильтровальные пески применяются при создании мощных фильтровальных систем для очистки питьевой и технической воды.

Кислотоупорные материалы получают из кварцитов, обладающих большой механической прочностью, мелкозернистостью, малой пористостью и отсутствием примесей, разлагаемых кислотами. Такие кварциты применяют для сооружения кислотных башен, хранилищ для минеральных кислот и для внутренней облицовки помещений на химических заводах.

Кварцевые пески и слабосцементированные песчаники являются главными компонентами стекольной шихты (74—92%).

На территории СССР известно около 800 месторождений кварцевых песков. Месторождения песка и гравия представляют собой обломочные продукты выветривания, либо механические осадки, возникшие при переносе ветром или водными потоками продуктов выветривания. Основные месторождения песка и гравия связаны с аллювиальными, ледниковыми, морскими и эоловыми накоплениями.

Месторождения песчаников образовались в результате уплотнения и цементации песков.

Метаморфогенные месторождения кварцитов возникли в результате метаморфизма песчаников.

В пределах Русской платформы известны многочисленные месторождения кварцевых песчаников (Баническое месторождение в Сумской области, Тараковское и Долотинское в Ростовской области).

В европейской части СССР эксплуатируются юрские и меловые кварцевые песчаники (Московская, Воронежская, Курская, Куйбышевская и другие области).

Месторождения кварцитов располагаются в пределах Украинского кристаллического массива, Балтийского щита, Уральской геосинклинали, в Западной Сибири и др.

Глава IX

ПОИСКИ, РАЗВЕДКА, ОПРОБОВАНИЕ И ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 29. ОСНОВЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Геологическая съемка является важнейшим методом изучения геологического строения верхних частей земной коры и выявления перспектив той или иной площади на полезные ископаемые. Работы по организации геологической съемки включают сборы полевых и камеральных материалов, обработку этих материалов и составление геологической карты. Съемка проводится путем обследования местности и тщательного наблюдения за всеми выходами горных пород (определение состава встреченных пород, условий их залегания, возраста, прослеживание контак-

тов, зон разрывных нарушений и т. д.). При этом все геологические наблюдения наносятся на топографическую карту и фиксируются в полевой книжке.

Обычно выделяют три метода организации полевых маршрутов при геологической съемке: а) метод пересечений, когда маршруты осуществляются по направлениям, перпендикулярным простиранию слоев; б) метод прослеживания геологических границ по простиранию, когда установленные контакты «протягиваются» во время маршрутов; в) точечный метод, когда обследуются точки по заранее выбранной сети наблюдений.

В последние годы геологическое картирование в основном осуществляется на основе аэрофотоматериалов; все наблюдения наносятся на аэрофотоснимки, фотосхемы. Разработана методика составления предварительного варианта геологической карты на основе геологического дешифрирования аэрофотоматериалов, после чего проводятся выборочные маршруты на местности для геологического истолкования границ, видимых на аэрофото. Широко используют космические снимки для установления зон разрывных нарушений.

Полевые маршруты наземные сопровождаются наблюдениями с самолетов и вертолетов, дающими возможность обнаружить интрузивы, зоны разломов, наметить контакты пород, а также установить рудные свалы, выходы рудных тел, карст и т. п. С этой целью используются различные оттенки цвета пород, строение рельефа и другие признаки, наблюдаемые с воздуха.

В зависимости от назначения геологическая съемка подразделяется на маршрутную и площадную. Площадная и маршрутная съемки делятся по масштабу на мелкомасштабные ($1:1\,000\,000$ и $1:500\,000$); среднемасштабные ($1:200\,000$ и $1:100\,000$) и крупномасштабные или детальные ($1:50\,000$ и крупнее). Детальные съемки ведутся с применением горных работ и бурения.

Результатом геологической съемки является геологическая карта, представляющая собой графическое изображение в определенном масштабе геологического строения какого-либо участка земной коры. На карте условными знаками (краской, штриховкой, буквенными индексами и др.) показывается распространение осадочных пород различного возраста (породы одного и того же возраста показываются одним знаком), магматических пород и разрывных тектонических нарушений. Карта сопровождается геологическими разрезами, стратиграфической колонкой. Все это позволяет судить о геологической структуре, условиях залегания горных пород, их соотношении и поведении пластов на глубине.

Геологическая съемка дает научную основу для дальнейшей постановки поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

§ 30. МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Под *поисками* следует понимать весь комплекс различных работ, выполняемых с целью выявления промышленных месторождений полезных ископаемых. При поисках должна даваться оценка многочисленных рудопроявлений, участков минерализации, месторождений, обнаруживаемых при поисках, а также выбор наиболее перспективных месторождений для постановки на них разведочных работ.

Разведка представляет собой процесс геологического изучения месторождений с целью определения количества и качества руды или нерудного минерального сырья, находящегося в недрах. Основными задачами разведки (по В. М. Крейтеру) являются: 1) создание системы разрезов; 2) опробование полезного ископаемого; 3) промышленная оценка месторождения. С этой целью производится проходка горных выработок и буровых скважин с последовательным прослеживанием залегания полезного ископаемого с поверхности на глубину.

В зависимости от полноты геологических данных для промышленной оценки исследованной территории (района, месторождения и т. д.) весь поисково-разведочный процесс по характеру и назначению работ, объему и степени их детальности подразделяется на четыре основные стадии: поиски, предварительная, детальная и эксплуатационная разведка. В целом же весь процесс поисково-разведочных работ является непрерывным, отдельные стадии его постепенно переходят одна в другую, поэтому не всегда возможно установить четкие границы геологосъемочных, поисковых и разведочных работ. По результатам каждого этапа поисково-разведочного процесса производится подсчет запасов выявленных и разведенных полезных ископаемых в соответствии с действующими в СССР классификациями для месторождений твердых полезных ископаемых, нефти, газа и др.

После обнаружения месторождения при поисках и его общей оценки на месторождении производится предварительная разведка.

При предварительной разведке ставится задача — выяснить основные особенности геологического строения месторождения и ориентировочно оценить общее количество минерального сырья в недрах. Разведка заключается во вскрытии и прослеживании выходов рудных тел на поверхности канавами и шурфами (оконтуривание с поверхности) и, при необходимости, в изучении рудных тел редкими буровыми скважинами на глубине. В месторождениях угля устанавливаются структурные особенности месторождений, стратиграфический разрез угленосной толщи, количество пластов, их мощность, качество угля, общие горно-технические условия эксплуатации. Резуль-

таты предварительной разведки обобщаются в виде геологического описания месторождения с подсчетом запасов руд по низким категориям (т. е. с невысокой степенью точности) и оценкой его народнохозяйственного значения.

Для оценки практической значимости месторождения составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором приводятся расчеты предельных значений содержания руд и мощности рудного тела, возможных сроков работы будущего рудника, ориентировочной стоимости добываемой тонны руды и получаемого из нее концентрата или металла и других показателей.

При положительной оценке материалы доклада и геологического отчета о разведке служат основой для проектирования детальных разведочных работ.

При детальной разведке должны быть получены полные и надежные данные для окончательной промышленной оценки месторождения. С этой целью рудные тела и пласти уголь прослеживаются на глубину системой горных выработок и буровых скважин (оконтуриваются на глубину); подробно изучаются их морфология, условия залегания (особенно на первых 2—3 горизонтах работ), определяются качество, типы, сорта, технологические свойства и пространственное размещение руд, изучаются горногеологические и гидрогеологические особенности месторождения. Размещение выработок и их численность должны обеспечить подготовку запасов полезного ископаемого высоких категорий (т. е. с высокой степенью точности).

По данным детальной разведки производится подсчет запасов, который после утверждения в ГКЗ* совместно с окончательным ТЭДом является исходным материалом для проектирования и строительства горнопромышленного предприятия.

Эксплуатационная разведка — проводится в период разработки месторождения с целью доразведки флангов и глубоких горизонтов месторождения, уточнения распределения сортов полезного ископаемого.

На базе данных эксплуатационной разведки проводятся различные текущие эксплуатационные расчеты, особенно по учету запасов, определению их потерь при эксплуатации и разубоживанию.

Технические средства разведки. Разведка залежей полезных ископаемых сводится к их пересечению горными выработками (канавы, шурфы, дудки, разведочные шахты, штолни и связанные с последними квершлаги, орты, штреки и восстающие) и буровыми скважинами вкрест простирации или реже по про-

стианию с использованием геофизических и геохимических методов исследования.

Канавы проходятся в рыхлых породах и наносах мощностью до 3—5 м для вскрытия угольных пластов и вмещающих их пород. Различают канавы магистральные и разведочные.

Магистральные канавы проходятся обычно с целью поисков пластов угля, вскрытия и изучения геологического разреза на месторождении и задаются вкрест простирации тел полезного ископаемого и рудоносных структур. Они проходятся на многие десятки и сотни метров и отстоят друг от друга на различные расстояния, определяемые типом месторождения.

Разведочные канавы, проходимые в целях прослеживания пластов угля, располагаются вкрест простирации тела при расстоянии одна от другой 20—40 м и более.

Шурфы — вертикальные выработки с прямоугольным сечением 1×2 или 1,5×2,5 м — проходятся на глубину до 30 м. Шурфами вскрывают рудное тело, угольные пласти, перекрытые мощным слоем рыхлых отложений.

Дудки — вертикальные короткие выработки круглого сечения диаметром 0,8—0,9 м — проходятся взамен шурfov в породах, не требующих крепления.

Разведочные шахты — вертикальные или наклонные выработки сечением 4,6 и 11 м² и глубиной до 50—100 м — проходятся на участках с пологим рельефом. Из шахт проходит система подземных выработок для изучения и прослеживания рудных тел и угольных пластов.

Квершлаги — горизонтальные выработки, проводимые от ствола шахт до подсечения тела полезного ископаемого вкрест или диагонально его простиранию.

Орты — горизонтальные выработки, проводимые из штреков для пересечения ими всей мощности угольной залежи в соответствующих поперечных сечениях.

Восстающие — вертикальные выработки, идущие по угльному пласту с нижнего горизонта к верхнему.

Штолни — горизонтальные подземные выработки сечением 2,7 и 3,6 м², имеющие выход на дневную поверхность, применяются при разведке месторождений в условиях крутосклонного рельефа.

Буровые скважины — это вертикальные, наклонные или горизонтальные выработки цилиндрической формы малого диаметра (от 30 до 250 мм) и большой глубины (до сотен и первых тысяч метров).

Буровые скважины проходятся при помощи специальных буровых станков, которые в зависимости от способа разрушения породы делятся на станки вращательного и ударного бурения. С помощью станков вращательного бурения можно получить керн — цельные столбики (колонка) ненарушенной породы,

* ГКЗ — Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых.

сечение которого определяется диаметром бурового наконечника — коронки; такое бурение называется колонковым и является основным видом буровых работ при разведке месторождений, так как по поднятому керну можно подробно изучить все встреченные в скважине породы и руды.

Бескерновое вращательное бурение применяется реже. Различают алмазное, твердосплавное (победитовое) и дробовое бурение.

При ударном бурении породы разрушаются с помощью специальных долот, опускаемых в скважину на штангах (ударно-штанговый способ) или на канате (ударно-канатный способ). Скважины ударного бурения имеют значительный (до 600 мм) диаметр.

Для бурения мелких скважин в рыхлых и мягких породах используется разновидность вращательного — шнековое бурение, при котором рабочим наконечником является двухлопастный бур. Выбуренная порода при вращении снаряда движется вверх по виткам бура и штанг. Диаметры буровых скважин приняты равными: 170, 130, 115, 85, 75, 65 мм. Углы наклона скважин к горизонту определяются местными условиями и могут быть самыми различными.

В практике, как правило, используют три группы систем разведки: буровую, горную и комбинированную. Чаще всего применяется третья группа систем разведки — комбинированная. Например, горными выработками разведуются верхние горизонты месторождения, а нижние — буровыми скважинами или месторождение разведается скважинами, данные которых контролируются шурфами и штольнями.

Геофизические работы находят широкое применение при разведке месторождений. Они используются для прослеживания рудных тел, угольных пластов, приближенного определения границ рудных залежей и условий их залегания, для уточнения геологических разделов, определения контактов рудных тел и пород по скважинам (каротажные работы), для изучения мощности вскрытых пород (пород, перекрывающих рудную залежь), для решения гидрогеологических задач и т. д. Достоинство геофизических работ заключается в быстроте и относительно невысокой стоимости их производства, а также в возможности обнаружить и проследить рудные тела, не выходящие на поверхность. В целях разведки чаще всего используются магнитометрия, радиометрия, электроразведка, реже гравиметрия и сейсмометрия.

Методика проведения геофизических работ при разведке обычно сводится к замерам физических свойств пород по довольно густой сети точек (на расстоянии от десятков метров до метров), намечаемой при помощи профилей, ориентированных вкрест простирации рудных залежей и пластов угля.

Геофизические работы используются в целях контроля дан-

ных буровых работ и называются в этом случае каротажными. Они проводятся для того, чтобы определить (уточнить) положение границ разных пород, мощность рудных тел и качество руд, выделить нефтеносные газоносные породы, пласти углей и вообще изучить геологический разрез.

Классификация запасов месторождений твердых горючих ископаемых. Запасы полезных ископаемых по их народнохозяйственному значению Государственной Комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР) разделяются на две группы, подлежащие отдельному подсчету, утверждению и учету:

1) балансовые, использование которых экономически целесообразно; они должны удовлетворять кондициям, установленным для подсчета запасов в недрах;

2) забалансовые, разработка которых в настоящее время экономически нецелесообразна вследствие малого количества и мощности залежей, низкого содержания ценных компонентов, особой сложности условий эксплуатации, необходимости применения очень сложных процессов переработки, но которые в дальнейшем могут явиться объектом промышленного освоения.

Кондиции для подсчета запасов полезных ископаемых в недрах устанавливаются соответствующими государственными органами для каждого месторождения или для группы месторождений, аналогичных по геологическим и экономическим условиям, на основании технико-экономических расчетов, исходя из условий эксплуатации месторождений, количества и качества запасов полезного ископаемого, необходимости его наиболее полного комплексного использования, ценности и технологии переработки.

Запасы месторождений полезных ископаемых подразделяются в зависимости от степени разведанности месторождений, изученности, качества сырья и горногеологических условий разработки месторождений на четыре категории: А, В, С₁ и С₂.

Категория А — запасы разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выявление условий залегания, формы и строения тел полезного ископаемого; полное выявление природных типов и промышленных сортов минерального сырья, их соотношения и пространственного положения; выделение и оконтуривание безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого; полное выяснение качества, технологических свойств полезного ископаемого и природных факторов (гидрогеологических, инженерно-геологических и др.), определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ. Контур запасов полезных ископаемых определен скважинами или горными выработками.

Категория В — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающие выяснение основных особенностей

условий залегания, формы и характера строения тел полезного ископаемого; выявление природных типов и промышленных сортов минерального сырья и закономерностей их распределения без точного отображения пространственного положения каждого типа; выяснение соотношения и характера безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого без точного их оконтуривания; выяснение качества основных технологических свойств полезного ископаемого и основных природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ. Контур запасов определен по данным разведочных выработок с включением при устойчивой мощности и выдержанном качестве полезного ископаемого ограниченной зоны экстраполяции.

Категория С₁ — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, формы и характера строения тел полезного ископаемого; его природных типов, промышленных сортов, качества, технологических свойств, а также природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ. Контур запасов определен на основании разведочных выработок и экстраполяции по геологическим и геофизическим данным.

Категория С₂ — запасы предварительно оцененные; условия залегания, форма и распространение тел полезного ископаемого определены на основании геологических и геофизических данных, подтвержденных вскрытием полезного ископаемого в отдельных точках либо по аналогии с изученными участками.

Качество полезного ископаемого определено по единичным пробам и образцам или по данным примыкающих разведочных участков. Контур запасов полезных ископаемых принят в пределах геологически благоприятных структур и комплексов горных пород.

Подготовленность месторождений (участков) для промышленного освоения. Составление проектов и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий должны производиться при наличии на месторождении или его участке утвержденных ГКЗ (или в соответствующих случаях территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых) балансовых запасов полезного ископаемого категорий А, В и С₁.

Для отдельных групп месторождений устанавливается отношение запасов указанных категорий.

Группа 1. Месторождения (участки) простого строения с выдержанной мощностью тел полезных ископаемых и равномерным распределением полезных компонентов. Для месторождений этой группы не менее 30% запасов должно быть разведано по категориям А и В, в том числе не менее 10% по категории А.

Группа 2. Месторождения (участки) сложного строения с невыдержанной мощностью тел полезных ископаемых или неравномерным распределением полезных компонентов, на которых выявление запасов полезных ископаемых категории А в процессе детальной разведки нецелесообразно вследствие очень высокой стоимости разведочных работ. Для месторождений этой группы не менее 20% запасов должно быть разведано по категории В.

Группа 3. Месторождения очень сложного строения с резко изменчивой мощностью тел полезных ископаемых или исключительно невыдержаным содержанием полезных компонентов, на которых в процессе разведки нецелесообразно выявлять запасы категории В. Проектирование горнодобывающих предприятий и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий допускаются на базе запасов категории С₁.

Для месторождений коксующихся углей запасы по категориям А и В должны составлять не менее 60% от суммы запасов категорий А, В и С₁, в том числе не менее 30% категории А.

На месторождениях (участках), подлежащих промышленному освоению, гидрогеологические и горно-геологические условия их эксплуатации, качество и технология переработки полезного ископаемого должны быть изучены с детальностью, достаточной для составления проекта горнодобывающего предприятия. Наиболее детально должны быть разведаны участки и горизонты месторождения, намечаемые по предварительным данным для первоочередной отработки.

При проектировании горнодобывающих предприятий для определения возможных перспектив их развития в дальнейшем (определения наибольшей глубины и площади разработки, выбора способа вскрытия и места заложения шахтных стволов, при определении контуров карьера, зон обрушения, расположения сооружений, подъездных путей и отвалов), а также с целью более полного использования минеральных ресурсов должны учитываться запасы категории С₂ и забалансовые запасы.

§ 31. ОПРОБОВАНИЕ И ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Опробование. Опробованием называется выявление состава и свойств минерального сырья, определяющих его качество. Обычно оно состоит из трех основных процессов: взятие пробы, доведение этой пробы путем измельчения и сокращения до веса, потребного для соответствующих испытаний, и анализа (испытания) пробы.

Опробование полезного ископаемого дает возможность: 1) выявить качество полезного ископаемого; 2) оконтурить различные по качеству участки рудного тела; 3) подсчитать запасы руды,

угля, нефти и т. д. по месторождению; 4) осуществлять контроль за отработкой месторождения и работой обогатительной фабрики; 5) направлять геологоразведочные и подготовительно-эксплуатационные работы на месторождении.

При изучении качества углей различают следующие методы опробования: штрафное опробование угля в отдельных точках; пластовое опробование пласта в целом, включая породные прослои; пластово-дифференциальное — с выделением пачек угля и породных прослоев; групповое — с объединением пластовых и пластово-дифференциальных проб по нескольким пластопересечениям; эксплуатационное — опробование добывого угля по каждому пласту; товарное — опробование партии отгружаемого угля потребителю.

Основные способы опробования заключаются в отборе небольших кусочков руды, угля массой 50—200 г в забое или стенке выработки по определенной сетке (квадратной, ромбической или прямоугольной), сумма которых составляет начальную пробу. Общая масса пробы составляет в зависимости от этого от 0,5 до 2—5 кг, иногда 10 кг и более.

Способ опробования вычерпыванием, или горстевой применяется при опробовании отвалов и навалов отбитой руды, а также при опробовании руды в вагонетках и вагонах. Масса частной пробы колеблется чаще всего от 0,5 до 1 кг, общая масса пробы составляет 30—50 кг.

Штуровое опробование применяется в основном при эксплуатации месторождения и осуществляется сбором буровой муки и шлама при бурении шпурков в рудном теле. Чаще всего применяется в случаях опробования мощных рудных тел, не вскрываемых полностью горной выработкой, и рудных тел, расположенных за пределами выработки, на расстоянии до 15—20 м.

Бороздовое опробование заключается в отборе пробы из борозды с обнаженной поверхности рудного тела, угольного пласта. Борозды проводят по линии, перпендикулярной кровле и подошве рудного тела, угольного пласта или близкой к ней. Бороздовое опробование — основной способ пластового и дифференциально-пластового опробования полезного ископаемого.

Задирковое опробование заключается в отборе пробы со всей площади тела полезного ископаемого на глубину 5—10 см. Применяется при опробовании рудных тел небольшой мощности.

Валовое опробование заключается в отборе проб большой массы (до 3—5 т и больше), обычно в процессе проходки выработок по рудному телу. Отбирается пробы по отдельным интервалам уходки выработки. В пробу поступает либо вся рудная масса, вынутая с данного интервала, либо в нее отбирается n -я часть (например, 3-, 5-, 6-я и т. д.) из лопаты, бадьи или вагонетки руды. При разведке угольных месторождений применяется редко, в основном для заводских и полузаводских испытаний угля.

Керновое опробование проводится по керну скважин колонкового бурения. При плохом выходе керна дополнительно опробуется шлам (тонкообломочный материал — муть, образующийся при бурении скважины, осаждающийся из промывочной жидкости).

При отборе проб любого типа обязательно производится тщательная геологическая документация места отбора пробы, т. е. делается зарисовка в масштабе 1:25—1:100, ведется описание полезного ископаемого и вмещающих пород. Места отбора пробы привязываются к какому-либо ориентиру (устье скважины и др.).

Обработка угольных проб и подготовка их к анализу проводится в соответствии с ГОСТ 10742—71.

Подсчет запасов. Подсчетом запасов называется определение количества промышленно-природного минерального сырья в недрах.

Основными параметрами для подсчета запасов углей являются: площадь, на которой подсчитываются запасы; средняя нормальная полезная мощность пласта (или суммарная площадь угольных пластов в стратиграфическом разрезе угленосной толщи или той ее части, для которой производится подсчет); плотность угля.

Элементарная формула подсчета запасов угля

$$P = S \cdot m \cdot d,$$

где P — запасы угля, тыс. т;

S — площадь, тыс. м²;

m — средняя нормальная мощность, м;

d — плотность, т/м³.

Подсчет запасов производится несколькими способами:

- 1) среднего арифметического; 2) геологических блоков; 3) разрезов; 4) изолиний; 5) многоугольников или ближайших районов; 6) эксплуатационных блоков.

Методика и техника подсчета запасов рассматриваются в специальном курсе.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Глава X ШАХТНАЯ ГЕОЛОГИЯ

§ 32. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ШАХТНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

Общие положения. Шахтная геологическая служба на горных предприятиях угольной промышленности организована с целью оперативного решения геологических вопросов, возникающих при разработке месторождения, и обеспечения нормального ведения горных работ необходимой геологической документацией. В деятельность шахтной службы входят систематическое и детальное изучение геологии шахтного поля, накопление и обобщение геологических данных, получаемых в процессе ведения горно-эксплуатационных работ.

Геологоразведочные работы дают схематизированное представление о геологическом строении месторождения. Шахтная геологическая служба уточняет, детализирует, а в ряде случаев изменяет отдельные представления об угленосности, тектонике, качестве угля, гидрогеологических и горнотехнических условиях отработки, своевременно выявляет геологические факторы, усложняющие ведение горных работ, дает рекомендации по преодолению таких осложнений.

Задачи шахтной геологической службы. Перед геологической службой на угольных шахтах ставятся следующие задачи: а) дополнительное изучение геологического строения разрабатываемого месторождения; б) изучение физических, химических и химико-технологических свойств угля; в) определение геологических и гидрогеологических факторов, влияющих на нормальную эксплуатацию месторождения; г) контроль и наблюдение за наиболее полным использованием угольных ресурсов; д) геологическая и гидрогеологическая паспортизация шахт и учет движения запасов угля и горючих сланцев в недрах; е) обеспечение капитальных и эксплуатационных работ шахты необходимыми геологическими заключениями; ж) геологическая документация всех разведочных и эксплуатационных работ.

Шахтная геологическая служба самостоятельно производит геологическую съемку поля шахты, бурение скважин, проходку канав и шурфов, гидрогеологические работы и постоянные наблюдения за изменением строения угольных пластов, вмещающих пород и тектонических нарушений.

Совместно с маркшейдерской службой шахтная геологическая служба участвует в составлении годовых и пятилетних

перспективных планов развития горных работ, связанных с вопросами: а) реконструкции шахт и отработки нижних горизонтов; б) установления и уточнения границ шахтного поля; в) проходки капитальных и подготовительных выработок и оставления охранных целиков; г) включения в разработку резервных пластов; д) подхода к опасным зонам, угрожающим затоплением или загазированием, и перехода их горными выработками; е) обводненности шахт и их осушения.

Для обеспечения планомерного подвигания механизированных подготовительных и очистных выработок шахтная геологическая служба составляет геологические заключения по каждому участку и лаве с графическим их изображением — паспортом лавы (участка).

Особенно важна роль шахтного геолога в прогнозировании горно-геологических условий для рациональной и безопасной разработки шахтных полей при современной комплексной механизации и автоматизации добычных работ. Научно обоснованный прогноз горно-геологических условий в процессе разработки месторождения требует обобщения всех имеющихся геологических материалов, полученных при проходке всех подготовительных и очистных выработок, и, в частности, при проходке разведочных выработок и скважин подземного бурения.

§ 33. ТЕКТОНИКА ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ. ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ПОРОД УГЛЕНОСНОЙ ТОЛЩИ

Тектоника шахтных полей и ее значение для эксплуатации. Практика разработки угольных месторождений показывает, что большинство шахтных полей имеет нарушенное залегание угольных пластов и вмещающих пород.

Детально тектоника шахтного поля выясняется в процессе детальной разведки, но вследствие редкой сети буровых разведочных скважин очень часто мелкие разрывы угольных пластов пропускаются и не фиксируются. Между тем известно, что тектоника шахтного поля во многих случаях является важнейшим геологическим фактором, определяющим горно-геологические условия разработки. Разрывная тектоника усложняет проведение горно-эксплуатационных выработок, влияет на применение горных машин и механизированных комплексов, от нее зависит решение вопросов управления кровлей, вентиляции и водоотлива. На тектонически нарушенных шахтных полях, как правило, усложняется планирование горных работ, удорожается проходка подготовительных и возникает необходимость проведения дополнительных горных выработок, а также увеличиваются общие потери угля в недрах при добыче.

Тектоника шахтного поля изучается на основе эксплуатационной разведки и документации эксплуатационных горных

выработок с обобщением материалов наблюдений не только по данному шахтному полю, но и по смежным полям.

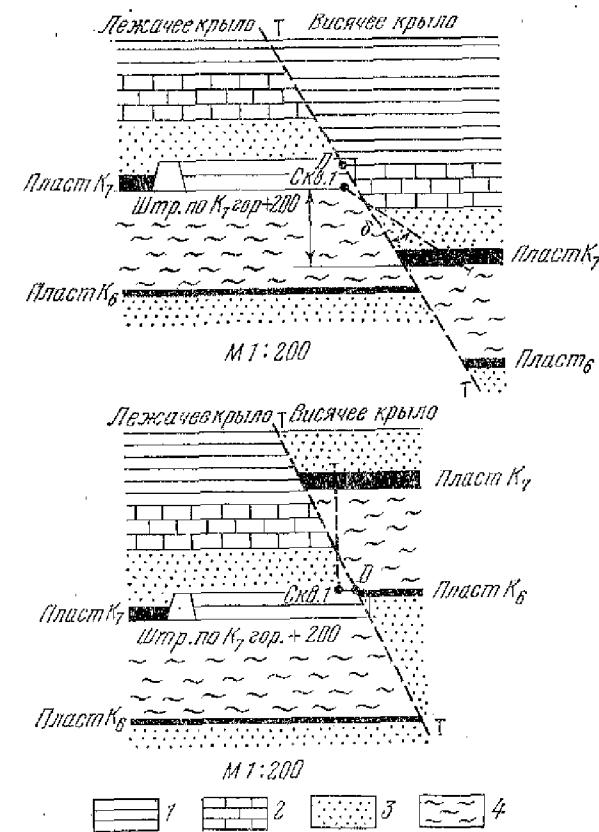
Главная цель детального изучения тектоники в процессе эксплуатации месторождения сводится к тому, чтобы обеспечить рациональную и безопасную разработку нарушенных участков шахтного поля.

Складчатые и разрывные нарушения в залегании пласта угля. В условиях месторождений с нарушенным залеганием пластов изучение складчатых форм разрывных нарушений, приводящих к потере пластов в горных выработках и остановке работ шахты, имеет особенное значение для шахтной геологической службы.

Наблюдения за условиями залегания пласта заключаются в систематических зарисовках, замерах углов падения и направлений простираций. При изменениях элементов залегания, развитии мелких складок и флексур количество пунктов наблюдений увеличивается.

Если в подземной горной выработке было встреченено разрывное нарушение пласта и после проходки плоскости смещения пласт пропал, а выработка врезалась в пустые породы, то необходимо прежде всего составить маркшейдерский план выработки в крупном масштабе. Далее требуется провести тщательную геологическую документацию разрывного нарушения, составив зарисовки забоя, а также правой и левой стенок выработки в масштабе 1:50, замерить элементы залегания пласта и плоскости смещения (плоскости разрыва пласта), замерить, если возможно, азимут бороздок скольжения, мощность пласта и других пород, ширину тектонической зоны, амплитуду разрыва и др. Отыскание потерянного пласта угля на другой стороне нарушения проводится вначале по ряду геологических признаков: 1) циклическая направленность смены слоев в разрезе; 2) положение искомого пласта угля в стратиграфической колонке угленосной толщи; 3) нормальное расстояние между пластами угля и маркирующими горизонтами; 4) типичные и специфические группировки пластов угля; 5) литологический состав кровли и почвы угольных пластов; 6) руководящие горизонты с фауной и флорой; 7) наличие размывов и горизонтов с прослойями конгломератов; 8) мощность пласта угля; 9) строение пласта; 10) типичные для пласта минеральные включения; 11) особенности петрографического состава угольного пласта; 12) степень зольности и минеральные особенности золы; 13) степень сернистости угля; 14) структурные особенности плоскости разрыва и угол ее наклона; 15) наличие и детали зеркал скольжения и направление штриховки. На рис. 86 показано, что штрек по пласту K_7 находится в лежачем крыле нарушения, так как эта выработка подходит к плоскости смещения (трещина $T-T$) со стороны лежачего бока сместителя. Выработка встретила разрывное нарушение, прошла плоскость сместителя

и врезалась в пустые породы висячего крыла нарушения, вследствие чего и в том, и в другом случаях она была остановлена, так как угольный пласт пропал или, как говорят, пласт потерян. Где искать «потерянную», или смешанную часть угольного пласта в случаях, показанных на рис. 86, при совершенно аналогичном литолого-стратиграфическом разрезе пород угленосной толщи в лежачем крыле? В забое штрека в точке D в пер-



установлено, что
щенной сбросом или
взбросом, при одном и
том же литолого-страти-
графическом разрезе по-
род, по А. А. Трофимову.
1 — мергель; 2 — известняк;
3 — песчаник; 4 — глинистые
сланцы

вом случае (см. рис. 86, вверху) был встречен контакт мергелей с известняком, а во втором случае (см. рис. 86, внизу) в точке D был вскрыт пласт K_6 , обычно залегающий ниже данного пласта K_7 по разрезу (по вертикали на 7 м). Отсюда следует, что в первом случае показан сброс, так как потерянная часть пласта опустилась, и ее надо искать наклонной скважиной, направ- ленной вниз под углом наклона σ ; а во-втором — типичный взброс, и потерянную или смешанную часть угольного пласта надо искать вверху, т. е. следует бурить вертикальную разве- дочную скважину, направив ее из кровли штрека вверх, причем минимальная глубина этой скважины будет составлять 8—8,5 м.

Если разведочные скважины, пробуренные из данной выработки, подтвердят предполагаемое залегание смещенного пласта в висячем крыле (как это показано на рис. 86), то на основе маркшейдерских съемок и геологических наблюдений на маркшейдерский план наносятся изогипсы почвы угольного пласта (висячего и лежачего крыла) и изогипсы плоскости смещения графическими методами, излагаемыми в курсе «Геометрия недр».

Трециноватость пород угленосной толщи. Почти все вмещающие уголь породы и ископаемые угли разбиты трещинами, которые изменяют их прочностные свойства.

Устойчивость кровли пород при подземной разработке угля, сдвижение пород над выработанным пространством и надежность оставляемых охранных целиков под сооружениями поверхности — все это связано с трещиноватостью массива горных пород и требует изучения и выяснения закономерностей проявления трещин в породах угленосной толщи и в самих углях. Большое значение приобретает знание трещиноватости пород для оценки устойчивости бортов угольных карьеров, при оценке притоков подземных вод в горные выработки и организации предварительного осушения месторождения. Повышенная трещиноватость угля, как это теперь доказано, служит одной из причин внезапных выбросов угля и газа. Если при разработке угольных месторождений трещиноватость изучается детально, то она может быть использована для повышения производительности труда (правильный выбор положения забоя лавы относительно простирания господствующих систем трещин) и повышения техники безопасности.

Выделяются следующие генетические типы трещин: эндогенные; экзогенные, или тектонические; выветривания; горного давления.

Эндогенные трещины возникают вследствие изменения объема вещества, в связи с потерей воды и летучих веществ, в процессе диагенеза осадков. Такие трещины иногда называют диагенетическими, т. е. образованными за счет внутреннего изменения вещества. Эндогенные трещины, наблюдающиеся в угольных пластах и во вмещающих породах, обычно располагаются перпендикулярно к напластованию. В углях образуются, как правило, две системы. Одна из них, параллельная простиранию пластов, проявляется более отчетливо и называется основной системой. Вторая система эндогенных трещин ей перпендикулярна и называется торцовой. Протяженность эндогенных трещин ограничивается контактами литологических разностей пород. Морфология и частота проявления трещин зависят от литологического состава и мощности слоев.

Экзогенные трещины образуются в толще пород в результате усилий, возникающих при тектонических процессах. Тектонические трещины имеют характер трещин отрыва и тре-

щин скола. Наблюдается определенная связь ориентировки трещин относительно геометрических элементов складок. Экзогенные трещины более отчетливо видны в породах и слабее в углях. Трещины проявляются в виде нескольких систем и распространяются на значительные глубины. На поверхности самих трещин нередко наблюдаются зеркала и борозды скольжения, трещины обычно минерализованы. Экзогенные трещины часто сопровождают разрывные тектонические нарушения — в этом случае их называют трещинами оперения.

Трещины выветривания, или гипергенные трещины, возникают вследствие химического и физического выветривания горных пород на поверхности Земли. Характерной особенностью их является неравномерное распределение и затухание на глубину (до 30 м). Часто трещины выветривания развиваются по трещинам другого происхождения, расширяют последние.

Трещины давления образуются в угольных пластах и породах в связи с проходкой горных выработок и производством буро-взрывных работ. По своему характеру они являются трещинами отрыва. Поверхность трещин обычно неровная и без всякой минерализации. Трещины давления простираются чаще всего параллельно груди забоя и падают в сторону выработанного пространства. Эти трещины далеко в толщу пород и углей не распространяются.

Из существующих генетических классификаций наибольший интерес представляет классификация И. И. Аммосова и И. В. Еремина [2], в которой выделяются три типа трещин (табл. 18) и дается характеристика их поверхностей. В геометрической классификации (рис. 87) трещины систематизированы по их расположению относительно простирания слоя осадочных пород: 1, 2, 3 — поперечные трещины, простирающиеся перпендикулярно к линии простирания пластов, причем среди поперечных трещин различают вертикальные — 2 и наклонные трещины 1 и 3; 4, 5 — продольные трещины, простирающиеся параллельно простиранию слоев; эти трещины секут слоистость под разными углами наклона; 6, 7 — косые трещины, секущие слоистость под острыми углами относительно простирания и падения слоев; 8 — согласные трещины, совпадающие или параллельные слоистости осадочных пород.

Методы изучения трещиноватости. В зависимости от сложности тектонического строения шахтного поля места наблюдений должны представлять собой участки длиной 2—5 м, на которых в выработке можно было бы сделать массовые замеры (от 20 до 100) трещин, примерно по 15—20 замеров по каждой выделяемой системе трещин.

Перед началом наблюдений участок выработки рекомендуется тщательно осмотреть с точки зрения безопасности работ и путем промеров произвести привязку участков наблюдений

Классификация трещин в угле, по И. И. Амосову и И. В. Еремину [2]

Типы трещин по генетической природе	Подтипы трещин	Факторы, вызывающие образование трещин	Характер действующих напряжений при разрыве	Основные направления трещин по отношению к слоистости		Излом	Характер поверхности трещин
				по основной плоскости	по гориз.		
Эндогенные	Мегаморфизм	Растяжение	Перпендикулярное (или почти перпендикулярное)	Неровный, зубчатый, раковистый	Ступенчатый, черепичный, чешуйчатый	Однородная, глазковая, овально-глазковая, ленточная, табличная	
Экзогенные	Скальваний	Сжатие	Разнообразное (от 0 до 90°)	Ровный	Ровный	Зеркальная, штриховатая, волнистая	
	Отрыва	Растяжение	Перпендикулярное (или почти перпендикулярное)	Сгущенчатый	—	Разнообразный — от ровных гладких до неровных различного штриховатых и струйчатых	
	Гипергены	Выветривание	Растяжение	Неровный	Неровный	Неоднородная, бугорчатая	

к опорным маркшейдерским точкам. После такого осмотра приступают к описанию трещин, замеряют их элементы залегания, составляют структурную колонку пласта (слоя) и производят зарисовку или фотографируют забой.

Замеры элементов залегания пласта и трещин производят горным компасом, угломерами или с помощью висячей буссоли.

При изучении трещин в выработках следует различать генетические типы трещин и, в частности, не смешивать эндогенные трещины с трещинами горного давления. Наиболее четко последние проявляются в песчаниках и алевролитах, слабее в аргиллитах и плохо — в углях.

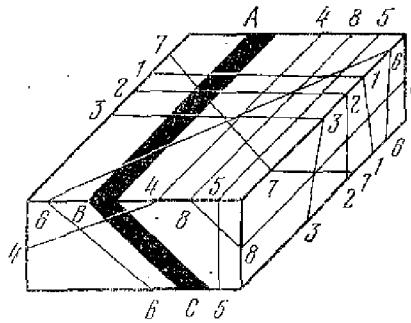


Рис. 87. Геометрическая классификация трещин, по А. А. Трофимову.
ABC — угольный пласт. 1-8 — см. пояснение в тексте

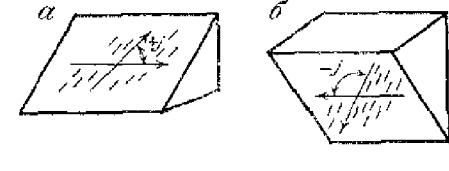


Рис. 88. Измерения угла скольжения, по А. С. Забродину.
а — плоскость падает на наблюдателя;
б — плоскость падает от наблюдателя; *i* — угол скольжения

Важно замерить протяженность трещин отдельных систем, установить связь трещин с отдельными пачками угля и слоями вмещающих пород. Для изучения скрытых микротрещин берут образцы для последующих лабораторных исследований.

Описание трещиноватости угольного пласта в выработке проводят от почвы к кровле. При выделении систем трещин следует указывать основную и торцовую системы, а также характеризовать трещиноватость по напластованию.

На поверхности трещин иногда наблюдаются «зеркала скольжения». На этих «зеркалах» бывают виды поперечные отрывы в виде небольших уступов, поверхность «зеркала» имеет занозистый характер, и на ней можно (правда, не всегда) установить направление перемещения по данной трещине. Установив это направление и зная простирание трещины, замеряют так называемый угол скольжения (рис. 88).

Материалы первичных наблюдений и замеров трещин подлежат камеральной обработке. Эта обработка производится статистическим и графическим методами.

При статистической обработке массовых замеров трещин получают количественные показатели трещиноватости, как, например, средние элементы ориентировки трещин, густота проявления трещин, протяженность, объем пустот и другие показатели. С этой целью составляют сводные таблицы трещин по отдельным участкам шахтного поля или по ряду шахт, отрабатывающих один и тот же пласт. Систематика трещин в сводных таблицах может производиться по азимуту простирания, углу падения и по другим показателям.

Систематическая обработка позволяет получить обобщенные показатели трещиноватости, которые характеризуют прочностные, деформационные, фильтрационные и другие свойства пород.

Важным показателем количественной оценки является количество трещин, наблюдающихся на 1 м обнажения. Этот линейный показатель называют густотой трещиноватости, интенсивностью, частотой, удельной трещиноватостью или модулем трещиноватости. Подсчет количества трещин в этом случае производится по нормали к плоскостям трещин.

Средняя линейная густота (интенсивность) трещиноватости:

$$\Gamma_i = \frac{N}{L},$$

где Γ_i — густота трещин; N — количество трещин в обнажении; L — длина обнажения, м.

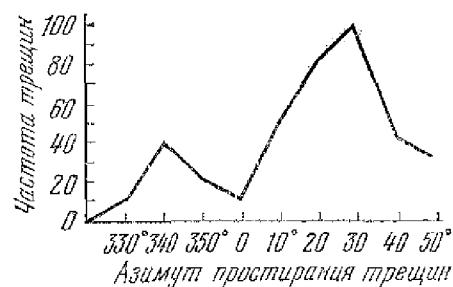
Рис. 89. График изменения частоты трещин в зависимости от их азимута простираания, по А. А. Трофимову.

Иногда возможно густоту трещин (как расстояние по нормали между трещинами одной системы) замерить непосредственно в обнажении. Непосредственный замер Γ_i рекомендуется в тех случаях, когда трещины в обнажении (забое выработки) четко видны, самих трещин мало и расстояние между трещинами составляет 20—50 см.

Количество трещин N в обнажении зависит от условий залегания трещин и ориентировки плоскости обнажения, поэтому необходимо замерять элементы залегания трещин и элементы залегания плоскости обнажения, в которой изучается трещиноватость.

При наличии нескольких систем учет трещин усложняется. В этом случае замеры трещин следует проводить отдельно для каждой системы. Наличие трех систем трещин в пласте обуславливает хорошо выраженную отдельность угля.

Наиболее распространенным способами графического ото-



бражения трещиноватости является составление: 1) графиков трещин в прямоугольных координатах; 2) различных видов круговых диаграмм; 3) карты трещиноватости; 4) блок-диаграмм трещин.

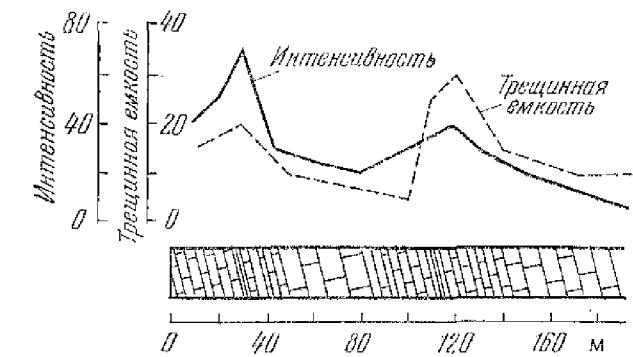


Рис. 90. График интенсивности трещин и трещинной емкости вдоль выработки, по А. А. Трофимову.

Графики в прямоугольных координатах составляют по таблицам замеров. Для этого на одной оси прямоугольных координат откладывают, например, азимут простираания трещин, а на другой — количество трещин (рис. 89). Пики на рисунке

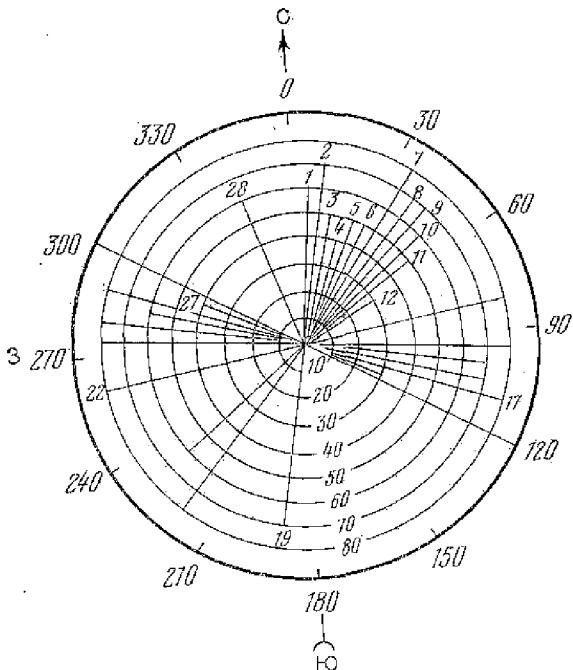


Рис. 91. Лучевая диаграмма трещиноватости.

характеризуют господствующее простиранье трещин. На рис. 90 дается пример построения графика интенсивности трещин и трещинной емкости (трещинная емкость — это относительный объем трещин, заключенных в 1 м³ породы) вдоль стенки выра-

ботки. Такой график иногда позволяет увязать количественные показатели трещиноватости с литологическим составом пород.

Широкое применение получили круговые диаграммы.

Недостаток «розы»-диаграммы состоит в том, что на ней не отображается угол падения трещин. Для учета углов падения трещин используют лучевые диаграммы трещиноватости (рис. 91).

Однако лучевые диаграммы не дают полной количественной оценки трещиноватости, поэтому их часто заменяют точечными

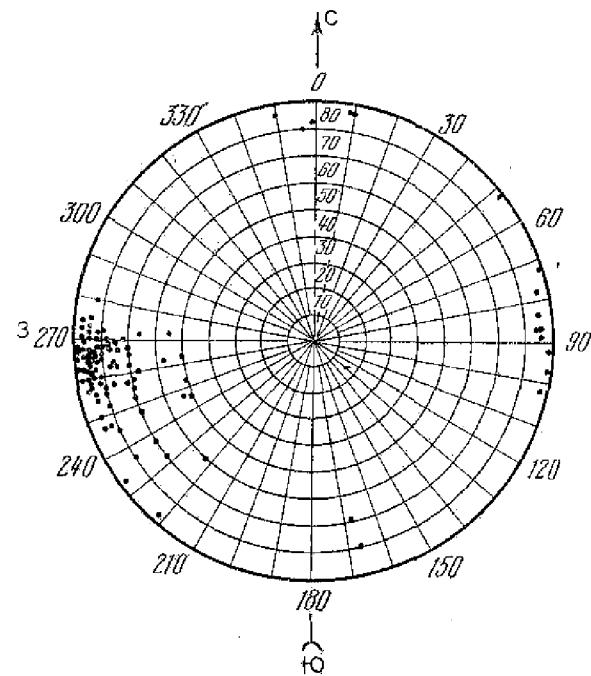


Рис. 92. Диаграмма эндогенной трещиноватости угля на промышленном участке Карагандинского бассейна, по А. А. Трофимову

круговыми диаграммами. Для этого на заранее подготовленную условную полярную сетку по азимутам простирания и углам падения наносят отдельные трещины в виде точек (рис. 92), где по внешней окружности отложены азимуты простирания трещин, а по радиусу, начиная от центра по окружности,— углы падения. В итоге каждая точка на диаграмме соответствует положению отдельной трещины. Концентрация точек в определенных участках диаграммы характеризует интенсивность трещиноватости, благодаря чему появляется возможность оконтурить участки повышенной густоты трещин.

Желая показать распределение плотности трещин, строят круговые диаграммы в изолиниях, которые являются более сложными, чем точечные диаграммы.

§ 34. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ВЫРАБОТОК И ОПРОБОВАНИЕ УГЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Первичная геологическая документация выработок в процессе эксплуатации месторождений угля является важнейшей задачей шахтной геологии.

Непременным условием первичной геологической документации выработок является обязательная привязка точек наблюдений к опорным пунктам маркшейдерской сети.

Приступая к описанию горных пород и составлению зарисовки стенки (забоя) выработки, рекомендуется в начале сделать общий осмотр обнажения (стенок или забоя), произвести замеры элементов залегания, а затем все результаты геологических наблюдений записать в полевую (черновую) книжку, указав дату наблюдений, название выработки и ее адрес (местоположение и привязка к маркшейдерским пунктам). При необходимости в процессе описания пород берут образцы горных пород с указанием их места взятия на геологической зарисовке. Записи в черновых книжках должны быть достаточно подробными, объективными и четко вписаны простым карандашом.

Интервалы геологической документации (или частота наблюдений в горных выработках) зависят от сложности месторождения и характера выработок.

Все записи и зарисовки, сделанные в шахте, на следующий день обрабатываются и оформляются начисто, причем зарисовки стенок забоев выработок выполняют на отдельных карточках, в альбомах или на ватманских листах. Черновые записные книжки и обработанные начисто материалы подлежат регистрации в особом «Журнале геологической документации» и должны храниться в течение всего срока работы угледобывающего предприятия.

Следует различать геологическую документацию подземных выработок, геологическую документацию угольных карьеров и буровых скважин.

Геологическая документация скважин при эксплуатационной разведке. Геологическая документация скважин включает в себя извлечение и обработку керна, описание пород и угля, замеры искривления скважин, контрольные промеры глубины, проведение геофизических исследований в скважине и обязательное заполнение актов о заложении, закрытии и других работах в скважине. Результаты геологического описания керна скважины вносятся в буровой журнал. В отдельных случаях на угольных месторождениях допускается бескерновое бурение скважин, но эти случаи оговариваются особо, и для них устанавливают необходимый объем геофизических исследований скважин.

По окончании бурения все материалы обрабатываются и по скважине вычерчивается буровая колонка в м-бе 1:200 или

1:500, а колонки перебуренных угольных пластов скважиной обычно изображаются рядом в м-бе 1:50 (рис. 93).

Технические скважины также подлежат геологической документации. Контрольные скважины, которые проходят на месте будущего ствола шахты, тщательно документируются, причем керн по контрольным (стволовым) скважинам обрабатывается и сохраняется в кернохранилищах до окончательной проходки и постройки шахтного ствола.

Документация вертикальных горных выработок. Вертикальные шурфы используют для геологического изучения разреза горных пород и структуры угольных пластов. Все шурфы подлежат геологической документации. Для этого в них производят наблюдения, отбирают образцы, делают описание пород и составляют зарисовки стенок шурfov. Обычно зарисовывают северную или две противоположные стенки шурфа.

Рулетка прикрепляется и опускается в шурф по середине документируемой стенки. Определение элементов залегания пласта, трещин производят горным компасом. При документации разведочного шурфа в описании должны быть приведены: 1) литология пород по разрезу шурфа; 2) подробное описание угольного пласта, его структуры, тектонических нарушений; характер слоистости и трещиноватость пород; замеры ориентировки (обязательно составление актов о подсечении пластов угля шурфом); 3) перечень флоры и фауны, встречающихся в породах и угольном пласте; 4) описание включений в угольном пласте в породах; 5) обводненность пород и величины водопритоков; 6) перечень образцов пород, взятых для исследования физико-механических свойств, и др.

Результаты наблюдений и замеров, полученных в шурфе, заносят в полевую записную книжку. По окончании проходки шурфа оформляется и составляется в туши чистовая зарисовка стенки в м-бе 1:100 или 1:200.

В отдельных случаях составляют зарисовки всех четырех стенок шурфа, т. е. делают полную развертку шурфа, по которой можно определить элементы залегания пласта.

Вертикальные шахтные стволы пересекают значительную часть угленосной толщи, поэтому геологическая документация их имеет большое значение. Эта документация осуществляется, как правило, шахтным геологом совместно с маркшейдером. Основным документом является «Журнал проходки ствола», составление и содержание которого сводятся к следующему. На чертежной бумаге размером 210×297 мм указываются начало и конец проходки ствола, а также название шахты, приводятся сведения о глубине ствола, высотные отметки эксплуатационных горизонтов, диаметр ствола, мощность пород по стволу согласно контрольной скважине, способы проходки и другие данные.

Комбинат „КАРАГАНДАУГАЗ“
Трест „ЛЕНИНГАЗ“

Скв. №14

Шахта №....

Координаты устья

X = Y = Z =

Начата
Окончена

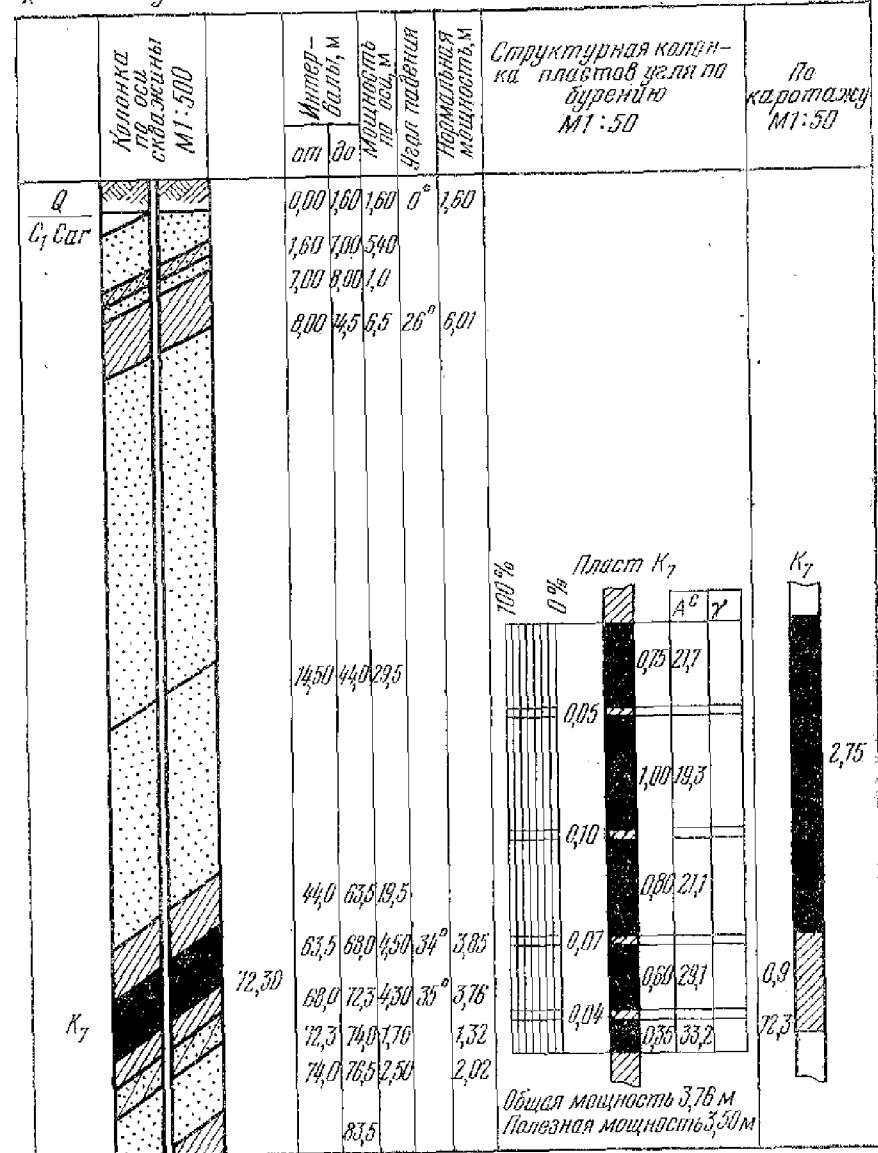


Рис. 93. Геологический разрез буровой скважины, по А. А. Трофимову.

На отдельном листе в м-бе 1:50 вычерчивается сечение шахтного ствола по проекту с указанием осей ствола, направлений меридиана и азимута геологического разреза пород по стволу.

На последующих страницах журнала дается описание пород, углей и приводится зарисовка шахтного ствола в м-бе 1:100, причем для сопоставления слева дается геологическая колонка пород по контрольной скважине, а справа — разрез пород, полученный по шахтному стволу при проходке.

Геологический разрез ствола шахты составляют вкrest простирания пород и на всю глубину шахтного ствола. При проходке определяют притоки воды в ствол шахты и выделяют на геологическом разрезе ствола водоносные горизонты. Колонки угольных пластов, встреченных шахтным стволом, вычерчивают в м-бе 1:50 и помещают их сбоку разреза пород по стволу шахты.

В шахтных стволах круглого сечения геологический разрез пород составляют в вертикальной плоскости, проходящей вкrest простирания вмещающих пород, а для стволов прямоугольного сечения делают зарисовки смежных или двух противоположных стенок шахты.

Замеры элементов залегания плоскости пласта и пород в шахтных ствалах следует производить через каждые 25—30 м в условиях простого тектонического строения и несколько чаще — в местах сложной тектонической нарушенности. Для установления элементов залегания плоскости пласта в ствалах прямоугольного сечения по четырем углам ствола замеряют расстояния от нижнего венца (башмака) до поверхности контакта пласта (или плоскости нарушения пласта). В ствалах круглого сечения также измеряют вертикальные расстояния по четырем боковым проходческим отвесам, которые обычно располагают по двум взаимно перпендикулярным осевым плоскостям ствола шахты.

Имея вертикальные расстояния, вычисляют высотные отметки плоскости контакта в четырех углах ствола, строят по этим отметкам изогипсы определяемой плоскости и графически находят элементы залегания плоскости пласта.

Чистовое оформление геологического разреза по стволу шахты в м-бе 1:200 выполняется на отдельном листе.

Гезенки (стволы, не выходящие на поверхность) подлежат сплошной документации с описанием пород и угольных пластов. В процессе документации составляется геологическая зарисовка одной или двух стенок гезенка в м-бе 1:100 или 1:200. На зарисовке обязательно указываются азимут направления геологической зарисовки стенки гезенка, местоположение выработки и др.

Геологическая документация горизонтальных выработок. К горизонтальным выработкам относят квершилаги, штреки, про-

сечки, орты и другие выработки. Все они подлежат документации на основе геологических наблюдений в них. Квершилаги проходят вкrest простирания горных пород. Вследствие того, что главные квершилаги обычно вскрывают значительную часть угленосной толщи, геологическая документация их имеет очень важное значение для детального изучения пород месторождения, установления структуры и качества угольных пластов. Документация квершилагов делается сплошной, описание пород и угольных пластов ведется подробно, а геологическая зарисовка в м-бе 1:100 обычно производится по одной из стенок квершилага (рис. 94).

На участках сложного тектонического строения рекомендуется делать зарисовки противоположных стенок. Сначала мощность пород и угольных пластов замеряют по горизонтальному направлению вдоль стенки в квершилагах, затем замеряют углы падения и далее путем пересчета вычисляют истинную мощность пласта или породного слоя. При сравнительно спокойном залегании элементы залегания пород замеряют в квершилагах не реже чем через 25—30 м, а в случае разрывных и складчатых нарушений — значительно чаще, практически у каждого нарушения. Места замеров элементов залегания и места взятия проб отмечают на геологической зарисовке стенки квершилага. Рекомендуется при чистовом оформлении вычеркивать геологический разрез по квершилагу в м-бе 1:200 на стандартном листе ватмана или на отдельном планшете размером 50×50 см.

Геологические наблюдения в штреках, идущих по простирию пласта, позволяют проследить за изменениями структуры пласта, условий его залегания и др. В штреках проводят различные наблюдения с описанием пород и угля, замеряют элементы залегания и составляют зарисовки забоев и стенок. При сравнительно спокойном залегании пласта зарисовки забоев штреков производят через каждые 100 м, а при тектонических нарушениях пласта — через 10—20 м. При чистовом оформлении зарисовки забоя штрека составляют в м-бе 1:50, с обязательной привязкой к маркшейдерским опорным точкам.

В зависимости от сложности геологического строения месторождения штреки могут документироваться различно: 1) составляют только зарисовки забоев через определенный интервал; 2) делают зарисовки забоев и документацию одной стенки; 3) документируют забои и составляют зарисовки двух противоположных стенок штрека, если имеется разрывное нарушение.

В качестве примера тщательной геологомаркшейдерской документации штрека в условиях Подмосковного бассейна на рис. 95 изображен геологический разрез по штреку, составленный на основе геометрического нивелирования и пробуренных из штрека зондировочных скважин в почву и кровлю пласта. Рис. 95 позволяет правильно решать вопросы подсчета добычи,

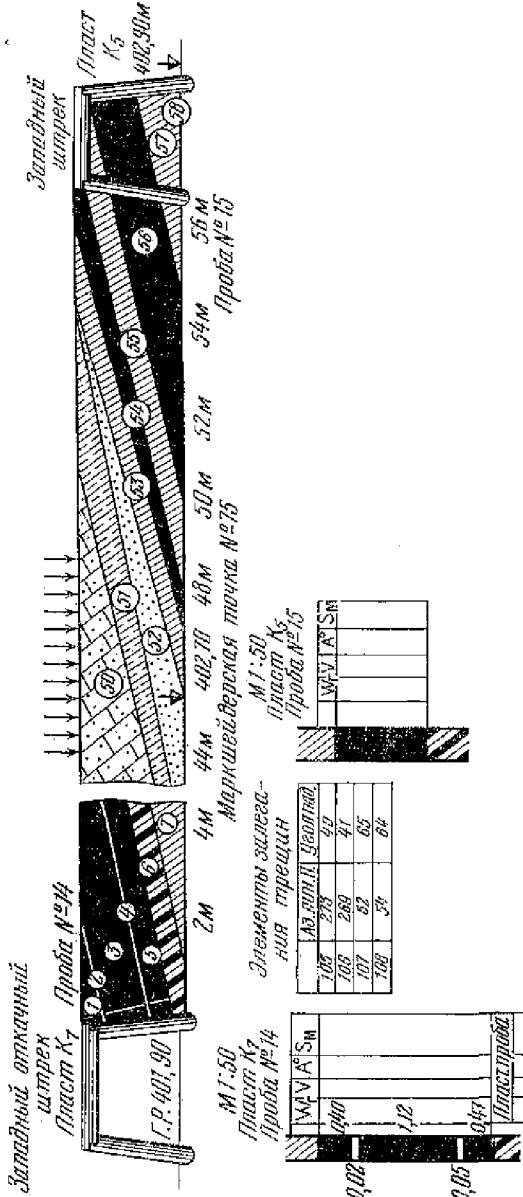


Рис. 94. Геологическая документация стекки квершилага, пройденного с пласта K_7 на пласт K_5 (шахта № 55 Карагандинской бассейна), по А. А. Трофимову.

1 — уголь матовый с прослойками витропласта и линзами флюзена. Мощн. 0,40 м.

2 — аргиллит, полосчатый, полосатый. Мощн. 0,02 м.

3 — уголь полуматовый, полосатый. Мощн. 1,12 м.

4 — уголь полуматовый, полосчатый крашеный. Мощн. 0,47 м.

5 — уголь темно-серый, плотный с отпечатками флоры.

6 — песчаник серого цвета, мелкозернистый с мелкими прослоjkами глинистого вещества. Аз. линий падения прослоек 96°, угол падения 50° (средний). Песчаник разбит системой трещин (см. табл. на рис.). При пересечении песчаника квершилагом в кровле появился капех воды. Взета проба воды на хим. анализ.

51 — алевролит плотный.

52 — песчаник плотный.

53 — аргиллит плотный.

54 — пропласток блестящий.

55 — аргиллит плотный.

56 — уголь полуматовый, с линзами флюзена, с тонкими прослойками (0,10 м.) аргиллита. Мощн. 1,1 м. В угле наблюдаются эндогенные трещины, заполненные каолинитом.

57 — углистый аргиллит. Мощн. 0,5 м.

58 — слабоглинистый аргиллит.

учета потерь угля при эксплуатации, водоотлива, управления кровлей, откатки угля и др.

Все полевые записи наблюдений и зарисовки в штреках делаются в черновых книжках, которые затем обрабатываются и оформляются, причем геологические зарисовки стенок и забоев штрека вычерчиваются в альбомах в м-бе 1 : 100 или 1 : 200. Иногда геологические разрезы вдоль штрека составляют на

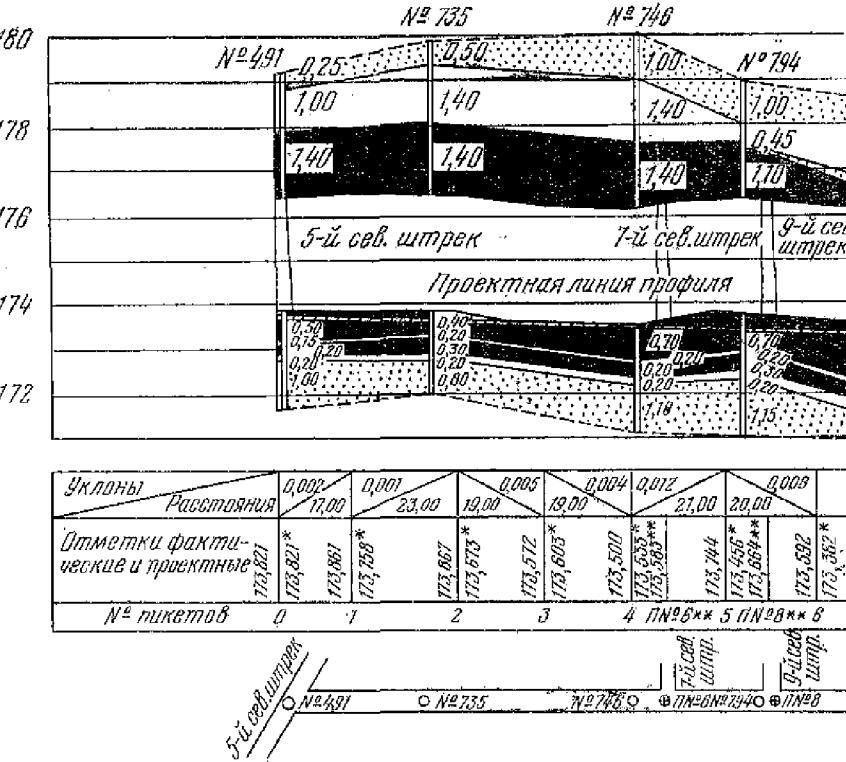


Рис. 95. Профиль геологического нивелирования и геологический разрез вдоль штрека, по А. А. Трофимову.

* проектные отметки (красный цвет); ** номера реперов и их отметки (синий цвет)

отдельных листах ватмана, принимая вертикальный масштаб 1 : 100 или 1 : 200, а горизонтальный — соответственно 1 : 500 или 1 : 1000.

Данные геологической документации штреков при пологом падении пластов следует наносить на маркшейдерские планы, а при крутом падении пластов, кроме того, отображать на вертикальной проекции горных выработок.

Документация наклонных выработок. К наклонным выработкам на угольных месторождениях относят бремсберги, уклионы и ходки, которые часто имеют значительную протяженность, что используют для выяснения характера залегания и

строения угольного пласта. В указанных выработках производят прерывистую зарисовку стенок и делают сокращенное описание пород и угольных пластов.

Геологические разрезы по наклонным выработкам составляют в проекции на вертикальную плоскость вдоль оси выработки в м-бе 1:100 и 1:200. В отдельных местах выработки наблюдают структуру пласта, замеряют мощность угольных пачек и на основе этого вычерчивают структурные колонки пласта.

При чистовом оформлении на них указываются контакты и состав пород, разрывные и складчатые нарушения пласта, а в описании приводятся литологический состав и физико-механические свойства пород.

Документация очистных выработок. К очистным выработкам относят такие, в которых производится массовая добыча угля. Характер очистных выработок зависит от принятой системы разработок. При подземном способе добычи угля наиболее распространенной очистной выработкой является лава. Обычно забой лавы последовательно перемещается по простиранию пласта. Геологические наблюдения проводят систематически в забоях (по забою) лавы и на определенный момент времени делают геологическую зарисовку забоя вдоль лавы. Густота сети геологических наблюдений в лавах различна. На месторождениях сложного строения сеть наблюдений при съемке лав принимают по падению и по простиранию через 25 м, а для простого строения — по падению через 25 и по простиранию через 50 м. При оформлении зарисовки забоев лав вычерчивают в альбомах в м-бе 1:100 или 1:200, при этом структурные колонки пласта показывают на самом разрезе в м-бе 1:50. Для характеристики встреченных лавой тектонических разрывных нарушений часто составляют геологические разрезы перпендикулярно забою лавы. На рис. 96 приведен так называемый геологический паспорт лавы. Паспорт лавы является необходимым геологическим обобщающим документом при подземной разработке угля.

Геологическая документация угольных карьеров проводится систематически путем наблюдений в бортах карьера и в подземных дренажных выработках. Эти наблюдения сопровождаются описанием пород и угольных пластов, зарисовками бортов и забоев карьера, замерами мощности пласта и замерами элементов залегания, отбором образцов.

После обработки материалы наблюдений наносят на маркшейдерские погоризонтные (поуступные) планы, а также составляют вертикальные геологические разрезы по месторождению. Все геологические наблюдения, проводимые в карьерах, заносят в черновые записные книжки, а места наблюдений привязывают к пунктам маркшейдерской опорной сети карьера.

Зарисовки бортов и забоев уступов карьера производят визуально или используют узкопленочные фотоаппараты. Масштаб зарисовки обычно принимают 1:100 или 1:200, реже 1:50 и 1:500. Документация уступов может быть сплошной и прерывистой (в случае простого строения месторождения).

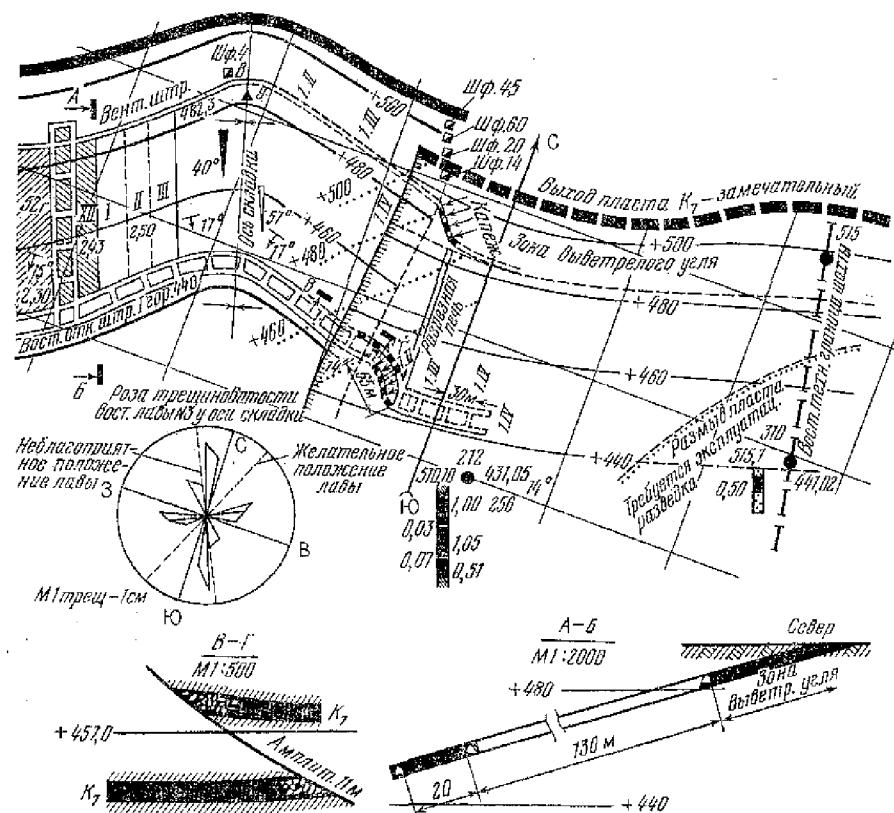


Рис. 96. Горно-геологический паспорт действующей лавы (шахта № 55, Карагандинский бассейн), по И. А. Очеретенко

Изучение качества углей при разработке месторождения проводится с целью уточнения качества углей, установления стандартов, кондиций и технологии обогащения.

Качество угля устанавливается по техническим анализам, а для коксующихся углей с учетом пластометрических показателей по более редкой сетке опробования делаются полные элементарные анализы. Особое внимание обращается на пласти угля, отнесенные к разряду некондиционных по качеству, или на отдельные площади пласта, где добываемый кондиционный уголь переходит в некондиционный.

Наблюдение шахтного геолога по выявлению глубины выветривания и окисления угля дают ценный материал, имеющий особенно большое значение при эксплуатации первых горизонтов шахт и карьеров.

Опробование угля при разработке месторождения. Процесс опробования складывается из следующих операций: отбор проб, их обработка, аналитические и технологические исследования угольного вещества и документация опробования.

Методика отбора, обработки и анализа проб в настоящее время регламентируется государственными стандартами (ГОСТ-9815-61 и ГОСТ-9594-61).

Планомерное опробование угля на шахтном поле производится ниже зоны выветривания путем отбора проб из каждого пласта (для мощных пластов из каждого слоя — угольной пачки) в подготовительных и очистных выработках.

В подготовительных выработках пробы отбирают в забое по мере подвигания выработки, причем в зависимости от мощности и изменчивости качества пласта расстояние между пробами изменяется от 30 до 300 м.

Отбор проб в очистных выработках (лавах) проводится ежеквартально (в одной или нескольких точках) вдоль очистного забоя с учетом изменчивости мощности породных прослойков и качества угольных пачек пласта.

Обязательным условием является отбор проб из пластов угля, которые встречены шахтными вертикальными стволами, квершлагами и другими вскрышными выработками.

Сеть опробования в горных выработках устанавливается на каждом угледобывающем предприятии и утверждается директором предприятия.

Бороздовые пробы имеют сечение вруба в пласт 25×25 см, а для пластов мощностью более 3 м сечение борозды принимают 10×10 см. Обработка проб (дробление и сокращение) осуществляется согласно ГОСТ 6105—57.

Качество углей и их технологические свойства устанавливают различными методами, в частности путем лабораторных исследований и на основе специальных технологических испытаний полузаводского или заводского масштабов. Лабораторные исследования угля позволяют определить содержание влаги, зольности, серы, летучих веществ, пластометрические показатели угля, содержание фосфора и др. Для полузаводских и заводских испытаний технологических свойств ископаемых углей (коксумости, обогатимости, брикетируемости) требуются пробы угля массой от 100—500 кг до 10 т.

С целью оценки углей на содержание в них редких и рассеянных элементов (германий, ванадий, уран) рекомендуется шахтной геологической службе отбирать пробы золы (после сжигания углей) и направлять их в специальные лаборатории для спектрального анализа.

§ 35. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ШАХТНОГО ПОЛЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГЛЯ

Задачи и методика гидрогеологических наблюдений на действующих шахтах. Обводнение шахт при эксплуатации угольных месторождений является одной из главных трудностей при ведении горных работ. Борьба с обводнением может быть проведена правильно только в результате постоянных массовых наблюдений за режимом шахтных вод. При этом устанавливаются: зависимость притока от развития очистных работ и горных работ на глубину, роль опережения подготовительных работ, условия подработки рек и балок.

Методика работ. На основании геологических отзывов, паспортов и маркшейдерских данных устанавливаются условия разработки участка и шахты. При этом обязательно устанавливается мощность разрабатываемых угольных пластов, литологический состав вышележащей толщи и непосредственно подстилающих горизонтов, тектоника участка, абсолютная отметка устья ствола и нижних горизонтов разработки по шахте, примерная площадь выработанного пространства и состояние его, длина линий забоя, опережение очистных работ подготовительными, перспектива работ по шахте и др.

По литологическому составу пород, перекрывающих и подстилающих рабочий пласт, и имеющимся гидрогеологическим данным устанавливаются источники и причины обводнения отдельных выработок и уточняется характеристика притока.

По совокупности сведений и наблюдениям устанавливается и фиксируется в журнале наблюдений характер притоков, а именно: внезапность появления сосредоточенных притоков, продолжительность их действия, постепенный дренаж*, характер струй (восходящие, нисходящие, капеж, постепенное увеличение и др.).

Интенсивность общего притока по шахте устанавливается на основании учета времени работы и производительности водоотливных установок шахты; путем применения водомера на водоотливных установках; путем откачки воды из общей помойницы; восстановлением уровня воды по притоку после остановки насоса. Для этого на определенном участке помойницы производят замер объема, подлежащего заполнению водой, и засекают время начала и конца заполнения данного объема. Расчет притока воды производят путем деления объема на время заполнения.

Основными показателями количественной характеристики притока воды должны быть замеры притоков при помощи водосливов на отдельных выработках и на общем водотоке. Уста-

* Дренаж — осушение местности путем естественного стока поверхностных вод в понижения: долины, впадины и т. п.

Основные гидрогеологические факторы, осложняющие проведение горных работ

Инженерно-геологическая характеристика разреза	Инженерно-геологические классы			
	особо сложные А	сложные В	средней сложности В	простые
Плытвучие пески мощностью более 5 м, непосредственно вмещающие угольные пласты; плытвуны мощностью более 10 м, в зоне деформации надугольной толщи; плытвуны подугольной толщи на расстоянии, не превышающем 4 м от почвы выработок, при гидростатическом напоре более 20 м; пучащие породы, непосредственно вмещающие рабочий пласт угля				
Плытвунные пески мощностью до 10 м в зоне деформации надугольной толщи на расстоянии, не превышающем 4 м от почвы рабочего пласта, при гидростатических напорах менее 20 м; пучащие породы в пределах зоны деформации:				
а) мощность более трехкратной мощности рабочего пласта угля, отделенные от последнего выдержанной пачкой устойчивых пород,				
б) при гидростатических напорах над рабочим пластом свыше 75 м.				
Глинистые гидрофильтры или песчано-углистые породы, не контактирующие с рабочим пластом угля, но в пределах зоны деформации подугольной толщи при гидростатических напорах над рабочим пластом менее 75 м; обводненные тектонические или карстовые зоны в разрезе полносцементированных пород с гидростатическими напорами над рабочим пластом более 50 м, а также подземные воды в жидкой фазе в области распространения многолетней мерзлоты.				
Обводненные тектонические или карстовые зоны в разрезе плотно-цементированных пород с гидростатическим напором над рабочим пластом не менее 50 м, а также если разрез представлен устойчивыми скальными или песчано-глинистыми породами независимо от гидростатических напоров или любыми породами в зоне сплошной мерзлоты				

новка водосливов и замер расходов производятся соответственно по существующим правилам.

Для установления качественной характеристики шахтных вод производят отбор проб воды для полного химического анализа в количестве 2 л из сосредоточенных притоков определенных водоносных горизонтов в общей помойнице шахты. На пробе воды отмечают время отбора, номер шахты, место отбора и фамилию исполнителя.

Задачи и методика гидрогеологических наблюдений на шахтах-новостройках. Гидрогеологические наблюдения, проводимые на шахтах-новостройках, имеют целью установить режим отдельных водоносных горизонтов. К основным показателям режима вод для облегчения задач проектирующих и строительных организаций относятся следующие: а) наличие или отсутствие водоносных горизонтов, б) характер притока (внезапность, дренаж, сосредоточенность, ориентировка струй и др.), в) интенсивность притоков по горизонтам в единицу времени, г) качественная характеристика вод по отдельным горизонтам, д) характер трещиноватости.

В результате массовых наблюдений, обработки и обобщений можно установить закономерность в режиме вод.

Для проведения комплекса гидрогеологических работ при проходке шахты выделяется специальный наблюдатель. Он должен иметь проектный гидрогеологический разрез проходимого ствола с гидрогеологической характеристикой горизонтов. В процессе проходки наблюдатель фиксирует появление притоков воды и устанавливает водоносный горизонт, к которому приурочен данный приток. В итоге наблюдений водоносный горизонт должен быть охарактеризован по следующим показателям: характер кровли и почвы; мощность водоносного горизонта; литологический состав и строение; водоносность по зонам и др. Установление водоносных горизонтов документируется в специальном журнале. Установление интенсивности притока по каждому водоносному горизонту при проходке ствола и качественной характеристики подземных вод производится так же, как изложено выше.

Все пробы должны отбираться только из отдельных водоносных горизонтов. Все отобранные пробы фиксируются в журнале наблюдений с указанием водоносных горизонтов.

В задачу геологической службы при эксплуатации обводненных месторождений входит наблюдение за правильным и своевременным выполнением разработанных мероприятий по осушению с осуществлением дополнительных осушительных мероприятий, необходимых по ходу работ. При наблюдениях за работой дренажных устройств и режимом подземных вод геологическая служба должна своевременно вносить необходимые корректировки в проект осушения на основе соответствующих расчетов. Для каждой дренажной выработки и гидронаблюдательной

Таблица 20
Классификация гидрогеологических типов месторождений

Гидрогеологические типы месторождений (районов)	Подтипы обводненных шахтных полей				Инженерно-геологические классы			
	несольные обводненные	обводненные	умеренно обводненные	слабо обводненные и практически безводные	сильно сложные	сложные	средней сложности	простые
Тип I. Приуроченные к дислоцированному скальному комплексу пород (Донбасс, Кузбасс, Караганда, Восточно-Ферганский бассейн, Кок-Лигакское, Байсунское и другие месторождения)		*						
Тип II. Приуроченные к глинисто-песчаному комплексу слабо водоносных пород в спокойных тектонических условиях (Восточно-Уральский буроугольный бассейн, Кызыл-Кийское, Ахалчикское и другие буроугольные месторождения)		+	+	+		+	+	
Тип III. Приуроченные к песчано-глинистому комплексу водоносных пород в слабодислоцированных районах с основным напорным подугольным горизонтом (Подмосковный бассейн, Украинские буроугольные месторождения и др.)		+	+	+	+	+		
Тип IV. Приуроченные к карстующимся породам (Кизеловский бассейн, Гдовское месторождение сланцев)	+	+	+	+	+	+		
Тип V. Перекрыты с поверхности обильно водоносными аллювиальными и трещиноватыми породами (Ангренское месторождение, месторождение в долинах рек Томи и Ини в Кузбассе, участки под «горелыми» породами и др.)	+				+	+		
Тип VI. Связанные с мощным надпродуктивным водоносным комплексом песчаных пород (Ленгерское, Кушмурунское, Черновское и другие месторождения)	+	+	+	+	+	+		
Тип VII. В области распространения сплошной многолетней мерзлоты (Печорский, Таймырский угольные бассейны и др.)		+	+	+	+	+		

скважины ведется соответствующий журнал. К журналам прилагаются графики режимов.

Инженерно-геологическое изучение месторождения. Инженерная геология изучает горные породы и массивы горных пород как основания сооружений и среду производства инженерных работ. Качество пород массивов, определенное для инженерных целей, устанавливается путем изучения вещественного состава, строения, условий залегания, физико-геологического состояния (выветрелости, трещиноватости, закарствованности и др.), водно-физических и деформационных свойств и поведения горных пород в отсеках, под сооружениями, в горных выработках и др.

Для инженерно-геологической оценки массивов горных пород особое значение приобретает картирование трещин различного происхождения и характера, наиболее слабых пород, породных прослойков, тектонических и стратиграфических контактов, а также изучение сил внутреннего трения и сцепления.

Изучение пород и массивов необходимо для прогноза многочисленных инженерно-геологических, в том числе горно-геологических явлений, возникающих под влиянием строительных работ и эксплуатационных сооружений.

Основные инженерно-геологические факторы, осложняющие проведение горных работ, положены в основу инженерно-геологической классификации шахтных полей. В зависимости от преобладания одного или нескольких факторов поле относится к соответствующему классу, отмеченному в табл. 19 знаком (+).

В зависимости от инженерно-геологических особенностей горных пород, слагающих угленосные толщи, угольные месторождения расклассифицированы на гидрогеологические типы (табл. 20).

При открытых разработках в задачи геологической службы входит изучение устойчивости откосов. При наблюдении за откосами необходимо фиксировать все горно-геологические явления и гидрогеологическую обстановку (оплыивание, оползни, положение фильтрационных вод в откосах, расходы воды и пр.), возникающие в период работ. Все наблюдения сопровождаются рисунками и фотоснимками. На открытых работах ведется специальный инженерно-геологический журнал, в котором приводятся осуществляемые мероприятия по осушению и данные о горно-геологических явлениях.

§ 36. ГАЗОНОСНОСТЬ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ, ГАЗООБИЛЬНОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК и ВНЕЗАПНЫЕ ВЫБРОСЫ УГЛЯ, ПОРОД И ГАЗА*

Общие положения. Служба шахтной геологии должна производить сбор и систематизацию материалов по газоносности

* В данной главе использован материал «Временных методических указаний», 1971, под редакцией профессора А. И. Кравцова.

угольных пластов и газообильности горных выработок, выясняя общие закономерности распределения природных газов в угленосных отложениях*.

Природной газоносностью угляного пласта принято называть объем газа, содержащийся в единице массы угля в естественных условиях, $\text{м}^3/\text{т}$.

Остаточная газоносность — объем газа, содержащийся в единице массы угля, поднятого на поверхность без применения мероприятий по сохранению его природной газоносности, $\text{м}^3/\text{т}$.

Газоемкость угля — способность угля поглощать газ в определенных термодинамических условиях, $\text{см}^3/\text{г}$, или $\text{м}^3/\text{т}$.

Газосодержание пород — объем газа, содержащийся в единице массы или объема породы, $\text{м}^3/\text{т}$, или $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Формы нахождения газов в угольных пластах и вмещающих породах:

а) в свободном состоянии в трещинах и порах угля и пород. В этом случае количество газа зависит от пористости, трещиноватости и давления, под которым газ находится. Свободный газ в углях примерно до глубины 800—1000 м занимает подчиненное положение по сравнению с сорбированным; во вмещающих породах, наоборот, преобладает газ свободный. На современных глубинах разработки основная масса газа, содержащегося в угле, находится в сорбированном состоянии;

б) в состоянии твердого молекулярного раствора. Это состояние, когда газы равномерно поглощены всем объемом твердого тела, называется адсорбицией;

в) на поверхности твердого вещества в сконденсированном состоянии. Состояние, когда газы удерживаются только на поверхности твердого тела, называется физической адсорбицией;

г) в состоянии химической взаимосвязи с молекулами твердого тела, называемым химической адсорбицией или хемосорбицией;

д) в угле в виде непрочных химических соединений, которые могут существовать лишь при больших давлениях.

Все виды сорбции существуют одновременно, и только специальными лабораторными экспериментами можно определить долю соответствующего вида сорбции в общем содержании количества сорбированного газа.

Наиболее существенную роль в угольных пластах играют адсорбированный и свободный газы. По росту сорбционной способности углей газы образуют следующий ряд (в возрастающем порядке): гелий, водород, аргон, азот, кислород, метан,

углекислый газ, тяжелые углеводороды. Количество газов, сорбируемых углем, возрастает с повышением давления и понижением температуры.

Распределение природных газов в угленосной толще. Природные газы в отложениях угольных месторождений распределены весьма неравномерно. Миграция газов при метаморфизме угля и пород, а также газов радиоактивного распада к земной поверхности и проникновение газов атмосферного происхождения и биохимических процессов в обратном направлении создают в верхней части угленосной толщи газовую зональность, отражающую преобладание того или иного компонента газа на определенных глубинах. Газовая зональность угленосных отложений, приведенная в табл. 21, позволяет оценивать природную газоносность угольных пластов и ожидаемую газообильность горных выработок.

Мощность газовых зон на угольных месторождениях колеблется от нуля до сотен метров, что объясняется спецификой геологических условий этих месторождений.

Обычно четыре верхние газовые зоны объединяются в зону газового выветривания и практически задача по выявлению газовой зональности на участках, месторождениях, в бассейнах заключается в определении глубины полной деметанизаций угольных пластов, установлении мощности зоны газового выветривания, т. е. глубины залегания верхней границы зоны метановых газов.

На всех видах геологической документации горных выработок (стволы, квершилаги, штреки, лавы) следует фиксировать глубину первого появления метана. В зоне газового выветривания горные выработки по газовому режиму обычно относятся к первой категории. Глубже, в метановой зоне, начиная от ее поверхности, происходит закономерное нарастание природной газоносности угольных пластов и газообильности горных выработок. Поэтому определение глубины залегания верхней границы зоны метановых газов, или поверхности метановой зоны, где содержание метана в угольных пластах составляет 70—80%, является обязательным для дальнейшего прогноза газообильности горных выработок.

Газообильность шахты, участка — это объем газа, выделенный в горные выработки в единицу времени (абсолютная — $\text{м}^3/\text{мин}$ или $\text{м}^3/\text{сутки}$) и отнесенный к тонне среднесуточной добывчи угля (относительная — $\text{м}^3/\text{т с. д. угля}$). Газообильность горных выработок определяется службой ВТВ (вентиляции и техники безопасности) шахты и ВГСЧ (военизированная горноспасательная часть) опытным путем на основании результатов анализа проб воздуха, взятых на исходящих струях шахт отдельных пластов и участков согласно «Инструкции» [6].

Газовые шахты в зависимости от газообильности разделяются на четыре категории по метану (табл. 22).

* Краткие сведения о газах угольных месторождений приведены в § 23.

Газовая зональность угленосных отложений

Газовые зоны (сверху вниз)	Химический состав и содержание основных компонентов газа в угольных пластах				Степень метано-обильности выработок, м ³ /т с. д.	Химический состав подземных вод
	Азот, %	Метан и тяжелые углеводороды, %	Углекислый газ, м ³ /т угля	%		
Азотно-углекислых газов	0—50	0,0	0,0	50—100	До 2,0	Негазовая
Углекисло-азотных газов	50—100	1	Сл.	0—50	До 1,0	Гидрокарбонатно-кальциевый и сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-магниево-кальциевый
Метаново-азотных газов	50—90	1—50	До 1	0—20	До 0,5	Гидрокарбонатно-сульфатно-натриевый и гидрокарбонатно-натриево-кальциевый
Азотно-метановых газов	0—50	50—70	До 2—5	0—20	До 0,5	Гидрокарбонатно-кальциево-натриевый и гидрокарбонатно-натриевый
Метановых газов	0—20	70—80	Более 2—5	0,5	До 0,5	Гидрокарбонатно-натриевый, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый и хлоридно-натриевый

Примечание. В названии зон преобладающий газовый компонент ставится на последнее место.

Категорийность шахт по метану

Категории по газу (метану)	Количество метана, выделяющегося в сутки на 1 т среднесуточной добчи угля (относительная газообильность), м ³ /т с. д. угля
I	До 5
II	От 5 до 10
III	От 10 до 15
Сверхкатегориальная	Выше 15 м ³ , а также шахты, разрабатывающие пласти, опасные по выбросам и сухлярам

Расчет относительной метанообильности горных выработок производится согласно инструкции. Шахты, в которых метан никогда не обнаруживался, называются негазовыми, или некатегорийными.

Влияние геологических факторов на современное распределение природных газов в угленосной толще. Современная газоносность угленосных отложений определяется газоемкостью углей и пород и многообразием геологических факторов. Газоемкость углей обусловливается их физико-химическими свойствами, которые в свою очередь являются производными степени метаморфизма и вещественного состава углей. При метаморфизме угля образуются колоссальные количества метана, причем тем больше, чем выше степень метаморфизма, что вытекает из самого механизма превращения угольного вещества. Исключительное положение занимают угли самой высокой степени метаморфизма — антрациты, в которых за счет молекулярной перестройки структуры угольного вещества происходит уменьшение внутренней поверхности пористости углей и, следовательно, уменьшение их сорбционной газоемкости. Из петрографических составных частей угля фузенизированные компоненты характеризуются повышенной скоростью сорбции и газоемкости.

Основными факторами, определяющими распределение газов в угленосной толще, являются история геологического развития бассейна, тектоническое строение и гидрогеологические условия месторождения, угленасыщенность, литологический состав вмещающих пород, характер покровных отложений, многолетняя мерзлота.

История геологического развития как фактор, определяющий современное распределение газов в отложениях угольных месторождений, имеет общий характер. В процессе формирования бассейна в разное время складываются условия как для генерации газов в угленосной толще, так и для ее последующей дегазации.

Тектоническое строение месторождений имеет важное значение в перераспределении природных газов в угленосной толще. Газоносность отложения угольных месторождений в значительной степени зависит от их структурной формы. Как правило, в осевых частях синклиналей содержание метана ниже, чем в замках антиклиналей в пределах одних и тех же глубин. В антиклинальных складках газоносность пластов, не обнажающихся на поверхности, значительно выше, чем газоносность пластов, которые имеют выход на поверхность. При пологом залегании пластов в крыльях синклинальных структур миграция метана происходит медленнее, чем при крутом, поэтому в первом случае поверхность метановой зоны располагается обычно ближе к дневной поверхности.

Большое значение в распределении природных газов имеют разрывные нарушения. По степени газопроницаемости разрывные нарушения подразделяются на плохо проницаемые (закрытые) и хорошо проницаемые (открытые). Последние являются дегазирующими каналами, если они выходят на поверхность, или газоподводящими каналами, когда они перекрыты газопроницаемыми породами. Наличие в угленосной толще хорошо проницаемых нарушений, изолированных от дневной поверхности, обусловливает накопление свободного газа; вскрытие таких разрывов горными выработками будет сопровождаться интенсивными суфлярными проявлениями. Следует учитывать, что характер того или иного нарушения и его значение в изменении газоносности угленосной толщи не остаются постоянными на площади. Перемещение природных газов в угленосной толще осуществляется в значительной мере с помощью подземных вод. Поэтому газовой зональности соответствует гидрохимическая зональность (см. табл. 21), указывающая на существование взаимосвязи в зоне активного водогазообмена между подземными водами и природными газами. Обводненные угольные пласти обычно имеют пониженную газоносность.

Угленасыщенность осадочной толщи приобретает значение при сравнении отдельных свит, так как газонасыщенность пород находится в прямой зависимости от мощности, количества, расположения и газонасыщенности угольных пластов.

Литологический состав пород и их физические свойства определяют газопроницаемость и газонасыщенность вмещающих угли отложений. Литологический состав пород кровли и почвы пласта в какой-то степени определяет его газоносность. Так, преобладание в толще пород глинистых разностей способствует повышенному содержанию газов в угленосных пластах. Литологический состав пород в совокупности с тектонической нарушенностью определяют характер свободных выделений газов в виде суфляров и внезапных выбросов породы и газа.

Покровные отложения затрудняют дегазацию пере-

крываемых угленосных отложений. В связи с этим месторождения закрытого типа при прочих равных условиях обладают большей газоносностью, чем месторождения открытого типа. Газонепроницаемые осадки покровных отложений могут способствовать локальному скоплению природных газов непосредственно с угольными пластами.

Многолетняя мерзлота, как и покровные отложения, затрудняет дегазацию угленосной толщи, и под ней нередко образуются скопления газов.

Виды газопоявлений в шахтах. Разработка угольных месторождений приводит к нарушению газового баланса угленосной толщи на эксплуатируемом участке и влечет за собой выделение природных газов в горные выработки.

Газовыделения в шахтах могут быть следующими: 1) свободными, с равномерным выделением газа из обнаженной поверхности угольных пластов и вмещающих пород; 2) газопоявлениями в виде суфляров; 3) внезапными выбросами угля и газа; 4) внезапными выбросами породы и газа.

Свободные, равномерные выделения газа происходят постоянно из пор и трещин вскрытых угольных пластов и вмещающих пород. Обычные выделения газов определяют газовый баланс шахт, категорию их по газообильности. Источниками данных газовыделений являются непосредственно разрабатываемый угольный пласт, породы кровли и почвы.

Суфлярное газовыделение — локальное истечение природного газа из трещин и пустот угленосной толщи через видимые невооруженным глазом трещины и отверстия, сопровождающееся шипением и другими звуковыми эффектами, а иногда выделением воды («мокрый суфляр»). Продолжительность суфлярных выделений может колебаться от нескольких часов до десятков лет; дебит их может достигать тысяч кубометров. По происхождению выделяют суфляры I рода, газ которых выделяется по трещинам, образовавшимся вследствие природных геологических процессов, независимо от ведения горных работ, и II рода — эксплуатационного происхождения.

Как правило, суфляры I рода возникают непосредственно в забоях выработок, вскрывающих тектонические нарушения, которые могут прослеживаться на большие расстояния и дренировать ряд угольных пластов и природных коллекторов газа. Масштабы и длительность этих суфляров могут колебаться в больших пределах в зависимости от проницаемости пород. В зонах крупных нарушений, где обычно много сообщающихся между собой трещин, возможны интенсивные и продолжительные суфлярные газовыделения. Основным газовым компонентом суфляров I рода является метан, но иногда в выделяющемся газе обнаруживались примеси этана, пропана, этилена, водорода, сероводорода, в больших количествах углекислого газа и азота.

При супфлярах II рода метан поступает из смежных пластов по природным или вновь образующимся трещинам, открывающимся в результате разгрузки массива или сдвижения пород в процессе проведения выработок. Такие супфляры возникают обычно на расстоянии нескольких метров от забоя. К супфлярам эксплуатационного характера относятся также прорывы газа через горные породы под действием давления самого газа. Чаще прорывы газа наблюдаются из почвы очистной выработки. При достаточно высоком давлении газа, небольшой мощности и малой газопроницаемости пород почвы в рабочем пространстве лавы почва всучивается, и через образующиеся трещины прорывается газ. Газ супфляров II рода — в основном метан. Наиболее мощные и длительно действующие супфляры обычно приурочены к угольным пластам и песчаникам (до 60%), мало мощные и кратковременные — к песчанистым сланцам (до 10%).

Внезапные выбросы угля и газа — динамические явления, которые зависят от четырех факторов: горного давления, упругой энергии газа, массы угля (при крутом падении пластов) и структуры угольных пластов. В результате выброса в угольном массиве образуются полости различных размеров (в зависимости от количества выброшенного угля). Внезапные выбросы обычно сопровождаются отбросом угля на расстояние до 40—500 м и более от места выброса и значительным выделением газа в течение короткого промежутка времени.

Предупредительными признаками выбросов угля и газа, согласно «Правилам безопасности» (1967 г.), являются: выжимание угля (породы) из забоя, усиленное давление на крепь, улары и треск различной силы и частоты в массиве, отскакивание кусочков угля (породы) и шелушение забоя, появление пылевого облака, резкое увеличение газоизделия.

Внезапные выбросы угля и газа в СССР имеют место в Донецком, Кузнецком, Карагандинском, Печорском бассейнах, на отдельных шахтах Урала, Дальнего Востока. С увеличением глубины разработки частота и сила внезапных выбросов возрастают.

Наиболее широкое распространение в настоящее время на шахтах получили следующие способы предупреждения внезапных выбросов угля и газа при вскрытии пластов: сотрясательное взрывание, местная дегазация угольного массива, первоочередная отработка защитного пласта в месте вскрытия, предварительное увлажнение массива, возведение металлического каркаса и другие.

Выбросы породы и газа представляют собой перемещение пород под действием горного давления, сопровождающееся разрушением газонасыщенной породы до состояния чешуеобразных пластин и песка, выделением газа и образованием полости в породном массиве.

Первые внезапные выбросы породы и газа были зафиксированы в Донбассе в 1955—1956 гг. на глубине свыше 700 м. По современным представлениям, выбросы породы и газа связаны с определенными выбросоопасными зонами в слоях песчаников угленосной толщи. Выбросоопасность песчаников обусловлена их определенной литолого-фациальной характеристикой, физико-механическими свойствами, повышенной газонасностью и газовым давлением, напряженным состоянием породного массива.

Способы изучения газонасности угольных пластов в процессе геологоразведочных работ проводятся в соответствии с «Инструкцией» [6]. Согласно Инструкции, для определения величины природной газонасности необходимо: изучение качественного состава газа с помощью специальных вакуумных стаканов; определение природной газонасности угольных пластов с помощью герметических керногазонаборников; непрерывный газовый каротаж (комплексный метод МГРИ) для установления газонасности углей и газонасыщенности вмещающих пород; установление природной газонасности угольных пластов по данным газовых съемок в горных выработках; расчетные методы определения потенциальной газонасности углей по величине замеренного давления газа, температуры, влажности и расчет природной газонасыщенности угольных пластов по данным газообильности.

Для изучения качественного состава газа с помощью вакуумного стакана (рис. 97) из свежеочищенного рабочего забоя быстро* отбирают кусочки угля в стакан, проба сопровождается этикеткой и направляется в лабораторию для дегазации и анализа извлеченного газа.

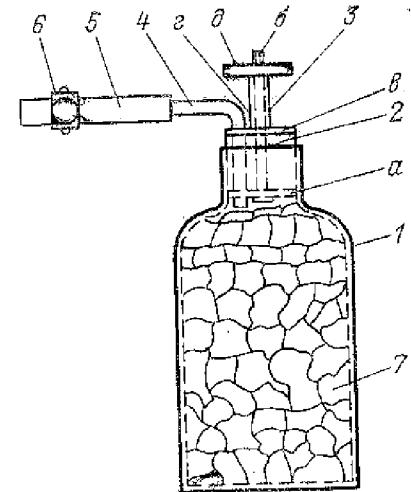


Рис. 97. «Вакуумный стакан» — герметический сосуд для отбора проб угля или породы на определение компонентного состава природного газа.

1 — стандартная стеклянная или металлическая банка емкостью 250—300 мл с коническим горлышком (внутренний диаметр 30—33 мм); 2 — герметизирующая пробка, разжимаемая в горлышке банки; 3 — винт (а — нижний диск, б — головка винта, припаянная к нижнему диску, в — верхний диск, г — отрезок металлической трубы, д — барабаш); 4 — патрубок; 5 — вакуумная трубка; 6 — винтовой замок; 7 — проба угля или породы

по данным газообильности.

* Пробу можно также отбирать при работе комбайна, врубмашины или в виде штыба из-под сверла. Способ отбора необходимо указать в этикетке.

Для изучения качественного состава газа в комплексе с вакуумными стаканами может быть использован шпуровый способ опробования газа, который заключается в отборе пробы газа в забоях горных выработок посредством бурения шпуров по углю или породе. Пробы газа извлекаются с помощью легко монтируемой установки. Принципиальные варианты схем установок приведены на рис. 98.

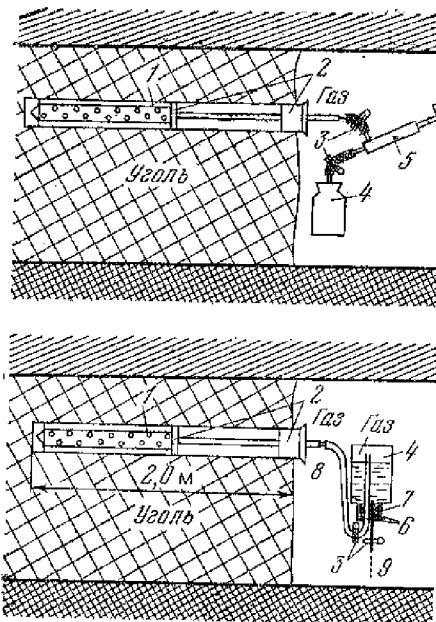


Рис. 98. Два варианта шпуровых газовых пробоотборников.

1 — пробоотборник; 2 — герметизирующие пробки; 3 — винтовые зажимы; 4 — сосуд для сбора газа; 5 — насос; 6 — патрубки; 7 — резиновая пробка; 8 — резиновый шланг; 9 — запорная жидкость — соляной раствор

массовый отбор проб в вакуумные стаканы на изучение качественного состава газа прекращается, если в составе газа не появляются в значительных количествах другие газы, кроме метана.

В зоне метановых газов необходимо определять количественные показатели природной газоносности с помощью шахтных кернонаборников, разработанных Днепропетровским горным институтом (1966 г.) и ВостНИИ (1967 г.).

Замер газового давления в угольном пласте связан с бурением специальных скважин. Целесообразно измерять газовое давление при вскрытии пласта, не затронутого горными работами, из забоев квершлагов или из подготовительных выработок одного пласта через между пластие от другого невскрытого

пласта угля. Бурить скважины, предназначенные для замера давления газа, непосредственно по угльному пласту не рекомендуется. В такой скважине даже после тщательной герметизации не всегда возможно получить истинное давление газа в пласте, так как уголь нередко разбит трещинами, через которые газ уходит в выработки. Перед вскрытием угольных пластов замер давления газа проводят через породную толщу не менее 5 м, оставляемую между пластом и забоем квершлага.

Принцип замера газового давления из горных выработок заключается в следующем (рис. 99): в пробуренную скважину вводится металлическая трубка, один конец которой перфорирован, на другой конец непосредственно перед замером навинчен

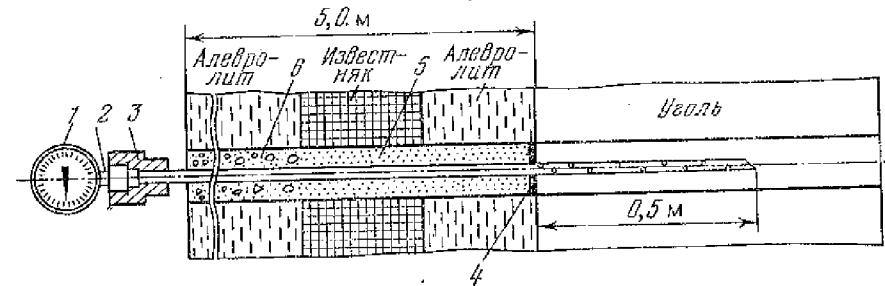


Рис. 99. Схема замера давления газа в угольном пласте.

1 — манометр; 2 — замерная трубка, перфорированная на конце; 3 — штуцер; 4 — герметизирующий диск; 5 — цементный раствор; 6 — то же, солидифицированный

чивается манометр. Обычно вся скважина, за исключением газовой камеры у забоя, герметизируется резиновой надувной камерой или заполняется герметизирующим материалом, в качестве которого следует применять цементный раствор из расширяющегося цемента.

Чтобы установить закономерность изменения давления газа в угольных пластах по простианию и падению, замеры давления газа следует проводить на всех эксплуатационных горизонтах одного и того же пласта, начиная от поверхности метановой зоны.

Замер газового давления необходимо проводить через каждые 300—600 м по простианию пласта и 100—300 м по его падению.

С приближением к геологическим нарушениям сетку замеров газового давления следует участить применительно к конкретным условиям.

Опробование супфлярных газопоявлений. При небольшой интенсивности супфлярного газопоявления отбор пробы можно совместить с замером его дебита.

В случае выделения «мокрого» супфляра из почвы выработки, для отбора газовой пробы следует углубить и расчистить место выделения газовых пузырьков, подготовить бутыль из-

Журнал замеров давления газа

Дата	Угольный пласт	Наименование выработки	Глубина замера, м	Давление в скважине (шпуре), атм (10^5 Па)	Разрез замерной скважины

проб, замер дебита супфляра сопровождаются детальной геологической документацией места его появления, заключающейся в геологической зарисовке, привязке (отмечается условным знаком), описании геологического строения и горно-геологических условий данного участка.

При геологической зарисовке супфляров должны быть отмечены все наиболее характерные и устойчивые особенности документируемого объекта, а именно: 1) строение пласта, если супфлярные выделения газа приурочены к пласту сложного строения (зарисовка производится по отдельным пачкам, включая и породные прослои; особое место в зарисовке отводится пачкам, характеризующимся максимальными выделениями газа); 2) мощность пласта; 3) литологический состав; супфлярные выделения газа в горных выработках в основном происходят из пород и, главным образом, из песчаников, поэтому при зарисовке супфляра, выделяющегося из пород, следует отметить особенности строения и сложения пород; 4) контакты угольных пластов и вмещающих пород — при зарисовке необходимо обращать внимание на характер контакта: особенности перехода одних пород в другие, т. е. смену пород по литологическому составу, текстуре и гранулометрическому составу зерен обоих соприкасающихся слоев; 5) скопление газов и бурное выделение их в виде супфляров, во многом определяемые структурной и тектонической нарушенностью участков. При геологической документации супфляров из пород, не имеющих видимой связи с тектоническими нарушениями, следует обращать внимание на резкое изменение элементов залегания пород и угольных пластов, нарушение параллельности кровли и почвы (наличие волнистости и выступов), развитие трещиноватости в породах — признаков близости тектонических нарушений. Участки, осложненные пликативными нарушениями, тщательно зарисовываются, замеряются элементы залегания пород и угольных пластов, слагающих складки; 6) эндогенные и экзогенные трещины, ориентировка и количество их.

По результатам проведения геологической документации супфляров делается вывод отнесении их к природному (I) или

вестной емкости (щадительно ее вымыть, заполнить водой, закрыть резиновой пробкой и опустить горлышком в ведро с водой) и, накрывая воронкой все выделяющиеся пузырьки, подвесить от нее шланг под водой в горлышко бутылки; одновременно включить секундомер. Для отправления на газовый анализ удобнее отбирать пробы в бутылки емкостью 0,5 л, причем в бутылке следует всегда оставлять водный затвор и транспортировать бутылки в опрокинутом положении. В случае супфляра из стен или кровли выработки (при наличии возможности замера его дебита) следует закрепить воронку со шлангом непосредственно у супфляра, загерметизировать воронку глиной, алебастром или цементом и отобрать пробу аналогичным методом. При выделении воды следует отобрать также пробу воды в бутылку на химанализ. Пробы, сопровождаемые этикетками и ведомостями, отправляются в лабораторию.

Геологическая документация газопоявлений в горных выработках. При отборе проб газа геологической документации подлежат все места опробования угольных пластов с целью изучения их газоносности и различных видов газопоявлений. Точки опробования наносят на маркшейдерские планы горных выработок в соответствии с принятыми условными обозначениями по газоносности. Все данные наблюдений по газоносности записывают в особый журнал, который является основным документом по отбору проб угля и газа в горных выработках. Учитывая специальное направление этих работ, в журнале отбора проб должны содержаться следующие необходимые сведения: 1) номер пробы; 2) цель отбора пробы; 3) точное местоположение взятия проб в горной выработке; 4) положение пробы в разрезе угольного пласта (если пробы берутся по отдельным пачкам); 5) методика отбора проб; 6) вид и результаты анализа; 7) макроскопическое описание опробованной части угольного пласта с выделением петрографических типов, минеральных включений и породных прослоев; 8) мощность опробованной части; 9) краткая характеристика пород кровли и почвы пласта.

Результаты химических анализов газа, поступающие из лаборатории на шахту, заносят в особую ведомость, в которой записывают все данные, включая наименование лаборатории, номер и местоположение взятой пробы в шахте.

Если имеются данные по природной газоносности угольных пластов, которые опробовались в процессе разведочных работ, то они также отмечаются на геологическом плане.

При замерах газового давления результаты замеров газового давления в угольных пластах вносятся в журнал замеров давления газа по показанной форме (в табл. 23), а места наблюдений отмечаются на плане горных работ.

При супфлярных выделениях газа геологической документации подлежат супфляры как I, так и II рода. Отбор

эксплуатационному (II) типам. При документации эксплуатационных супфляров следует обращать внимание на следующее: 1) порядок раскрытия и образования трещин (вначале происходит раскрытие природных трещин, а уже затем образование новых); 2) место образования трещин (трещины образуются вблизи подготовительных и очистных забоев); 3) общее направление главных трещин (чаще всего параллельно груди забоя; при изменении направления плоскости забоя изменяется и направление трещин, причем они искривляются, огибая выступы забоя и следуя направлению его стенок; в узких выработках, печах, штреках и др. трещины в кровле искривляются в сторону движения забоя). Трещины, образующиеся от ведения горных работ, имеют всегда матовые и ровные поверхности, без всяких следов притирания, и кроме того, поверхности трещин, проходящие по углю, часто бывают покрыты угольной пылью.

При документации супфляров необходимо уметь правильно различать природу трещиноватости, потому что каждому типу трещин свойственны свои закономерности расположения и проявления, в значительной степени определяющие продолжительность и интенсивность супфлярных газовыделений.

Довольно часто супфлярные выделения сопровождаются выделениями воды («мокрый супфляр»). В этом случае производится замер дебита притока воды, отбор пробы воды — для установления химического состава, а также количества и состава растворенного в ней газа.

Результаты документации и опробования супфлярных газовыделений рекомендуется заносить в специальный журнал «Регистрация супфлярных выделений». Подобный журнал должен содержать следующие сведения: 1) номер супфляра (супфляр № 1-С, 2-С и т. д.); 2) наименование выработки, пласта; 3) глубину проявления супфляра от дневной поверхности, м и abs. отм. (\pm м); 4) дату возникновения супфляра; 5) продолжительность действия супфлярного выделения газа (сутки, месяцы, годы); 6) интенсивность супфлярного выделения газа, $\text{м}^3/\text{мин}$; 7) номер пробы газа, причем номера также должны совпадать с порядковым номером супфляра и номером пробы газа (пробы № 1-СВ, № 2-СВ и т. д.); 9) результаты анализа газа, %; 10) результаты анализа химического состава воды, выраженные формулой Курлова.

Сводной графической основой, на которой условным знаком отмечаются места супфлярных выделений газа по шахте, является план горных работ.

При внезапных выбросах угля (пород) и газа на шахтах, разрабатывающих пласты, опасные по выбросам, в обязательном порядке ведется «Книга учета внезапных выбросов угля и газа» с подробным описанием каждого выброса и указанием предшествовавших выбросу признаков.

Задачей шахтной геологической службы является непосредственное участие и контроль за правильной геологической документацией выбросов угля (пород) и газа, выбросоопасности пластов, различных газодинамических явлений, смежных с внезапными выбросами (высыпание или отжим угля с выделением газа, микровыбросы угля при бурении скважин, зажатие или выбросы буровых штанг и др.).

Многочисленные наблюдения указывают на существование определенных признаков выбросоопасности пластов и предупредительных признаков внезапных выбросов. Признаками опасности пласта или участка пласта являются: 1) резкое уменьшение прочности угля; 2) появление пачек непрочного угля или увеличение их мощностей; 3) потеря углем блеска (смена блестящего угля матовым); 4) появление тектонических нарушений; 5) увеличение сухости и пылеватости угля. Однако внезапные выбросы происходят и на участках, где эти признаки не проявляются. При документации внезапных выбросов следует фиксировать все признаки, определяющие выбросоопасность пластов и места произошедших внезапных выбросов угля и газа. Геологическая документация должна состоять из: а) осмотра выработки и подготовки ее документации; б) выполнения зарисовки и описания геологического строения участка выброса.

При характеристике выброса необходимо:

1. Присвоить выбросу номер в порядке календарного проявления его на шахте.
2. Отметить дату выброса.
3. Отобрать пробу на газовый анализ, определить состав газа и указать время пробы газа, прошедшее после выброса.
4. Определить количество выброшенного угля.
5. Отметить наименование выработки, в которой произошел выброс.
6. Отметить глубину произошедшего выброса от дневной поверхности (в м) и в abs. отм. (\pm м).
7. Выявить и задокументировать тектонические нарушения. Особое внимание должно обращаться на места их затухания и на предельные пологие разрывы, которые обладают повышенной выбросоопасностью. Обратить внимание на антиклинальные и синклинальные перегибы пластов.
8. Установить и оконтурить изменения мощности пластов — пережимы, раздувы, трещиноватые зоны и др., которые являются очагами внезапных выбросов. При оценке выбросоопасности угольных пластов дать их послойное описание: а) крепкие ненарушенные угли, когда уголь с трудом ломают рукой; б) слабые нарушенные угли, когда уголь без особых усилий раздавливается на мелкие кусочки; в) рыхлые зернисто-землистые и перемятые угли, легко растирающиеся в порошок. При этом следует отмечать блеск угля.

Выделенные пачки препарированных углей (перемятых, перетертых и трещиноватых) и перемятые породные прослои необходимо проследить по падению и простиранию пластов, чтобы выяснить их площадную устойчивость. Степень препарации (отношение мощности препарирования — перемятых, перетертых и трещиноватых пачек пласта — к общей его мощности) требуется определять для каждого угольного пласта.

9. Исследовать почву и кровлю угольного пласта. При этом следует обращать внимание на прочность песчаников, алевролитов и других литологических разностей пород, которые могут зависать на больших площадях выработанного пространства. Следует помнить, что чем больше мощность и устойчивость вмещающих пород, тем выше опасность выброса угля. Прочный устойчивый песчаник мощностью более 15 м в кровле угольного пласта создает потенциальную опасность горных ударов, которые в газоносных пластах могут вызвать внезапные выбросы угля и газа.

10. Отобрать пробы на определение скорости газоотдачи и сорбции.

11. По возможности зарисовать форму полости выброса; определить массу выброшенного угля и породы и дальность действия выброса.

12. Сделать сравнение раздробленности выброшенного угля с углем, оставшимся «нетронутым» в массиве в стенах очага.

Для систематизации данных по выбросоопасности пластов на шахте рекомендуется завести журнал «Регистрации основных геологических показателей выбросоопасности пластов», который должен содержать следующие графы: 1) наименование выбросоопасного пласта и наименование выработки; 2) глубина залегания участка выбросоопасного пласта; горизонт (\pm м), глубина от поверхности земли (м); 3) угол падения (в градусах); 4) средняя мощность пласта (м); 5) количество и мощность перемятых, перетертых и трещиноватых пачек угля; 6) коэффициент крепости угля (%); 7) технический анализ угля (%).

Сводной документацией внезапных выбросов являются планы горных работ. Места, где производились определения относительной газообильности (метанообильности), на планах горных работ отмечаются не в точках, где фактически производился замер (т. е. не в исходящих струях участков и т. п.), а в тех местах, где в период определения имела место наибольшая концентрация очистных работ.

Обработка материалов и графическая документация газопроявлений, наблюдаемых в горных выработках. Первичной геологической документацией являются: 1) полевые книжки записей и зарисовок с результатами исследований в горных выработках (стволах, квершлагах, штреках и других выработках) природных явлений, связанных с проявлениями; 2) журналы чистовых

зарисовок первичной геологической документации газопроявлений в шахте; опробования угольных пластов на качественное содержание газа в углях и газоносность; замеров газового давления; регистрации супфлярных выделений газа; регистрации основных геологических показателей выбросоопасности пластов: результатов ежегодных определений относительной метанообильности горных выработок по категорийным замерам газа на шахте.

В полевых книжках производят зарисовки и записи личных наблюдений о газопроявлениях в шахтах; сведения, получаемые от технического персонала шахты о замеченных повышенных и усиленных газовыделениях в горные выработки, о резких изменениях условий залегания пластов, способствующих увеличению газовыделений в выработки, и др. В них делаются пометки о необходимости срочного исследования и консультаций по отдельным вопросам, связанным с газопроявлениями, намечаются участки внеочередного газового опробования на каком-либо горизонте и др.

В журнал чистовых зарисовок переносят все зарисовки из полевых книжек, вычерченные начисто в м-бе 1:20—1:100 в туши в соответствии с условными обозначениями. Зарисовки, произведенные сплошь по выработке, вычерчиваются на специальных листах в м-бе 1:100—1:500 и сопровождаются геологическим описанием. На планах горных работ с нанесением фактических данных по газоносности условными знаками отмечаются первые проявления метана в рудничной атмосфере горных выработок, супфлярные выделения газа, внезапные выбросы угля, газа и пород, результаты изучения природной газоносности угольных пластов и боковых пород, данные относительной метанообильности горных выработок и др.

При обобщении геологических материалов по газопроявлениям анализируются следующие вопросы: 1) глубины первого появления метана в рудничной атмосфере; 2) нижняя граница газового выветривания, т. е. верхняя граница зоны метановых газов; 3) химический состав и распределение газов по простиранию и падению пластов; 4) газоносность угольных пластов; 5) интенсивность выделений газа при встрече и пересечении разрывных нарушений горными выработками; 6) изменение газообильности шахт с глубиной разработки; 7) приуроченность и продолжительность супфлярных выделений; 8) геологические условия возникновения внезапных выбросов угля и газа.

По зафиксированным газовыделениям (в расчете $\text{м}^3/\text{т}$ угля среди неустойчивой добычи) на шахте устанавливаются участки с различной степенью загазованности по следующей, примерно, схеме: а) негазовые участки — метан в рудничной атмосфере отсутствует; б) участки I категории по газовыделению — при выделении газа менее $5 \text{ м}^3/\text{т}$; в) участки II категории по газовыделению — при выделении газа от 5 до $10 \text{ м}^3/\text{т}$; г) участки

III категории по газовыделению — при выделении газа от 10 до 15 м³/т; д) участки сверхкатегорийные по газовыделению (группа А) — при выделении газа от 15 до 25 м³/т; проветривание обеспечивается средствами вентиляции; е) участки, сверхкатегорийные по газовыделению (группа В) — при выделении газа более 25 м³/т; для борьбы с газовыделением недостаточно полного проветривания, необходимы дополнительные мероприятия в соответствии с «Временным руководством».

В результате можно рекомендовать систему разработки и порядок отработки угольных пластов, обеспечивающих наименьшее поступление газов из соседних пластов и пород.

Материалы геологической документации газоносности, газообильности и газопоявлений в горных выработках должны храниться в течение всего срока существования шахты. При ликвидации шахты материалы передаются в архив комбината и хранятся там до отработки тех же пластов на соседних участках, примыкающих к отработанному шахтному полю по его падению и простиранию.

При проведении геологической документации газопоявлений и их опробования необходимо выполнять все мероприятия, обеспечивающие безопасность ведения горных работ в соответствии с требованиями действующих в настоящее время «Правил безопасности в сланцевых шахтах».

ПРЕОБРАЗУЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Стремительный прогресс во всех сферах материального производства обусловливает интенсивную эксплуатацию природных ресурсов, существенно нарушая природное равновесие.

При ведении различного рода горных работ человек глубоко проникает в земную кору и извлекает огромное количество горной массы. Так, только в СССР ежегодно добывается свыше 1,7 млрд. т угля и торфа, более 1,5 млрд. т нефти и газа, более 350 млн. т железной руды, около 600 млн. т различных нерудных полезных ископаемых и извлекается до 420 м³ воды в 1 с. При этом следует иметь в виду, что для добычи 1 т полезного ископаемого необходимо добыть несколько тонн горной породы. Несколько сотен миллионов кубических метров грунта перемещается ежегодно при строительстве различных гидросооружений.

За счет создания искусственных пустот ниже поверхности Земли — в шахтах, при усиленной откачке нефти и воды, на обширных площадях земной поверхности часто образуются провалы и просадки. В угольных и горнорудных бассейнах на поверхности накапливается огромное количество механически раздробленных «пустых» пород. В ряде случаев эти отвалы

горят, рыхлый материал переносится ветром, водой, загрязняя окружающую местность.

Выемка горной массы, а также откачка воды из шахт приводят к изменению гидрогеологического режима подземных и поверхностных вод целых регионов. Вредное влияние на чистоту поверхностных и подземных вод оказывают промышленные и коммунальные сточные воды, использование минеральных удобрений в сельском хозяйстве, обработка полей ядохимикатами. Загрязнение вод приводит к отравлению растительных и животных микроорганизмов, рыб и развитию в водоемах болезнетворных микробов. Уже сейчас проблема обеспечения населения пресной водой становится одной из главных проблем.

Создание гигантских водохранилищ, каналов, т. е. процессы перераспределения воды на Земле, приводят в ряде случаев к изменению гидрологического режима обширных площадей, вызывая подтопление, заболачивание, засоление почв и т. д.

Существенное влияние на скорость денудации земной поверхности оказывает разрыхление почвы в связи с перепашкой полей, так как рыхлые массы легко подвержены раззвеванию, что приводит к уничтожению почвенного покрова.

В нашей стране уделяется огромное внимание мероприятиям, устраняющим отрицательное воздействие человека, вооруженного мощной техникой, на ход геологических процессов. Проблема дальнейшего усиления охраны недр и улучшения использования полезных ископаемых была объектом обсуждения на третьей сессии Верховного Совета СССР девятого созыва в Москве в июле 1975 г.

Особую важность в охране природы приобретает рекультивация земель после проведения на них геологосъемочных и геофизических работ, бурения всех видов скважин, особенно глубоких. Благодаря своевременной рекультивации земель прекращаются загрязнение воздуха и вод, усыхание и гибель растительности, снижение урожайности сельскохозяйственных культур, улучшаются микроклимат и санитарно-гигиенические условия.

1. Ажгирей Г. Д., Горшков Г. П., Шанцер Е. В. Общая геология. М., Прогресс, 1974.
2. Аммосов И. И., Еремин И. В. Трещиноватость углей. М., Изд-во АН СССР, 1960.
3. Бека К., Высоцкий И. В. Геология нефти и газа. М., Недра, 1976.
4. Вахромеев С. А., Антипин В. Н. и др. Краткий курс месторождений полезных ископаемых. М., Высшая школа, 1967.
5. Горшков Г. П., Якушева А. Ф. Общая геология. М., изд. МГУ, 1973.
6. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов при проведении геологоразведочных работ. М., Недра, 1977.
7. Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., Высшая школа, 1971.
8. Кравцов А. И. Основы геологии горючих ископаемых. М., Высшая школа, 1966.
9. Кравцов А. И. Горючие полезные ископаемые, их поиски и разведка. М., Высшая школа, 1970.
10. Кравцов А. И., Трофимов А. Л. Шахтная геология. М., Высшая школа, 1977.
11. Миловский А. В. Минералогия и петрография. М., Недра, 1973.
12. Миронов К. В. Разведка и геолого-промышленная оценка угольных месторождений. М., Недра, 1977.
13. Михайлов А. Е. Структурная геология и геологическое картирование. М., Недра, 1973.
14. Смольянинов Н. А. Практическое руководство по минералогии. М., Недра, 1972.
15. Тагаринов П. М., Калягин А. Е. и др. Курс месторождений твердых полезных ископаемых. М., Недра, 1975.

Предисловие	3
Часть первая	
Гла́ва I. Общая геология	5
§ 1. Положение Земли в Солнечной системе	5
§ 2. Современные представления о форме, размерах, составе и строении Земли	11
§ 3. Основные сведения о геологических процессах	21
Гла́ва II. Основы кристаллографии, минералогии и петрографии	57
§ 4. Основные сведения о кристаллографии	57
§ 5. Основы минералогии	63
§ 6. Предмет и задачи петрографии	83
Гла́ва III. Основы исторической и структурной геологии, геотектоники и общие представления о геологическом строении территории СССР	113
§ 7. Основы исторической геологии	113
§ 8. Главнейшие этапы геологической истории Земли	121
§ 9. Основные формы залегания осадочных горных пород	127
§ 10. Разрывные нарушения и их типы	142
§ 11. Основные структурные элементы земной коры	150
§ 12. Принципы тектонического районирования территории СССР	154
§ 13. Геологическое строение территории СССР	158
Часть вторая	
Гла́ва IV. Общие сведения о полезных ископаемых	170
§ 14. Основные понятия	170
§ 15. Условия образования месторождений полезных ископаемых	172
Гла́ва V. Месторождения твердых горючих ископаемых	176
§ 16. Основы учения о твердых горючих ископаемых	176
§ 17. Основные представления об образовании углей и угленосных отложений	179
§ 18. Угленосная толща, ее состав и строение	185
§ 19. Основные понятия об угольном пласте	188
§ 20. Вещественный состав и качество углей	193
§ 21. Районирование и генетические типы угленосных отложений	203
§ 22. Закономерности размещения угольных месторождений и бассейнов	206
§ 23. Краткие сведения о газах угольных месторождений	210
§ 24. Горючие сланцы	213
§ 25. Геология основных бассейнов и месторождений угля и горючих сланцев СССР	215
Гла́ва VI. Месторождения нефти и газа	247
§ 26. Нефть, горючие газы и твердые битумы	247
Гла́ва VII. Месторождения металлических полезных ископаемых	258
§ 27. Краткая характеристика основных типов месторождений	258
Гла́ва VIII. Месторождения неметаллических полезных ископаемых	271
§ 28. Краткая характеристика основных типов полезных ископаемых	271

Глава IX. Поиски, разведка, опробование и подсчет запасов полезных ископаемых	285
§ 29. Основы геологического картирования	285
§ 30. Методика поисков и разведки месторождений полезных ископаемых	287
§ 31. Опробование и подсчет запасов полезных ископаемых	293

Часть третья

Глава X. Шахтная геология	296
§ 32. Основные задачи шахтной геологической службы	296
§ 33. Тектоника шахтных полей. Трещиноватость пород угленосной толщи	297
§ 34. Геологическая документация выработок и опробование углей при разработке угольных месторождений	307
§ 35. Гидрогеологическое и инженерно-геологическое изучение месторождения и шахтного поля при разработке угля	317
§ 36. Газонесущесть угольных пластов, газообильность горных выработок и внезапные выбросы угля, пород и газа	321
Преобразующая деятельность человека и охрана окружающей среды	338
Список литературы	340

ИБ № 1976

Алексей Иванович Кравцов,
Александра Петровна Бакалдина

ГЕОЛОГИЯ

Редактор издательства *В. И. Макеев*
Переплет художника *А. Е. Григорьев*
Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*
Технический редактор *А. В. Матвеева*
Корректор *С. А. Аникина*

Сдано в набор 10.04.79. Подписано в печать 09.10.79. Т-14374. Формат 60×90^{1/16}. Бумага № 2. Гарнитура литер. Печ. л. 21,5. Уч.-изд. л. 23,23. Тираж 20700 экз. Заказ 1044/6669—1. Цена 35 коп.

Издательство «Недра», 106633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 4 Ленинградского производственного объединения «Техническая книга» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, Ленинград, Д-126, Социалистическая, 14.