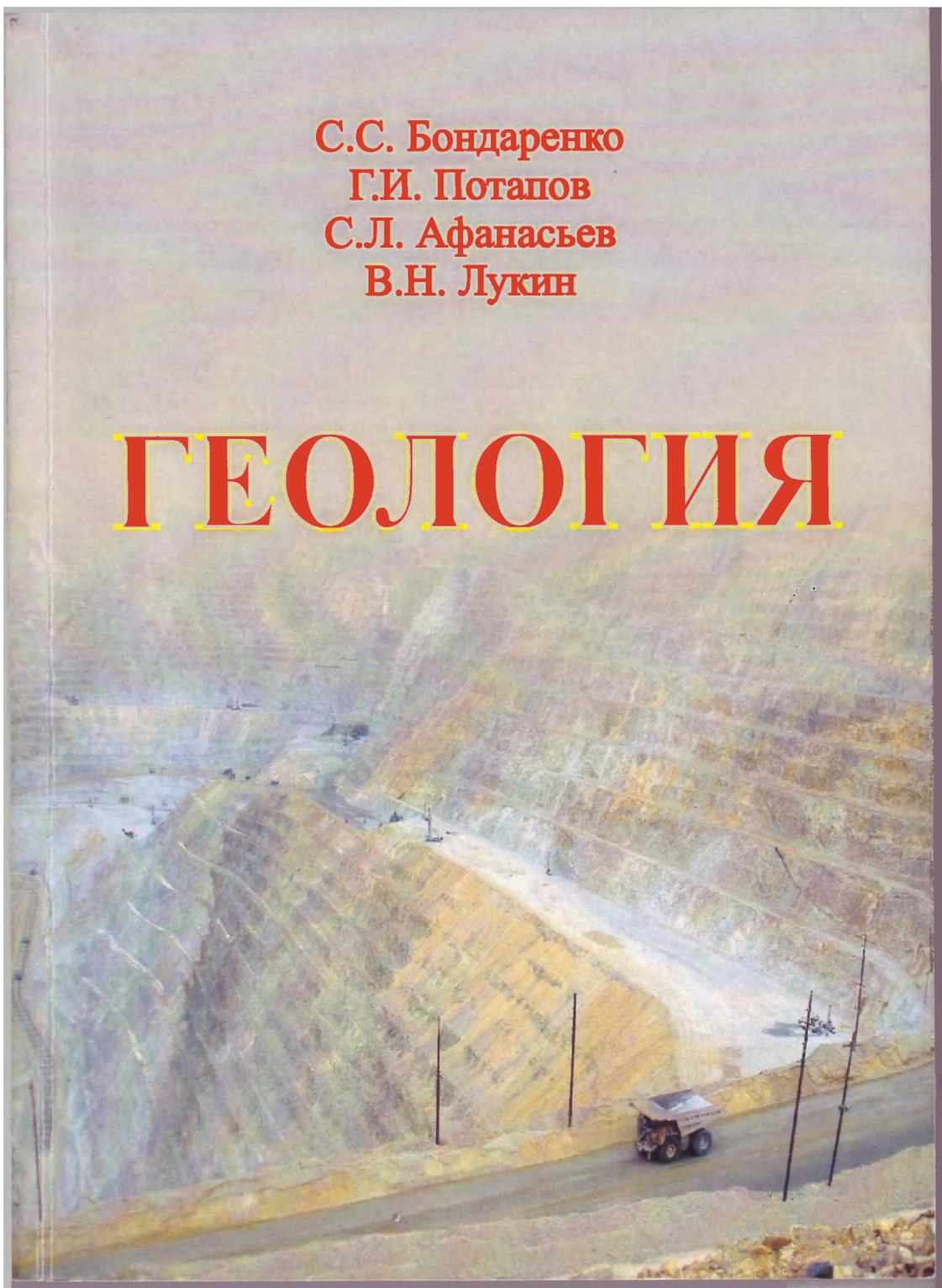


С.С. Бондаренко
Г.И. Потапов
С.Л. Афанасьев
В.Н. Лукин

ГЕОЛОГИЯ



**С. С. Бондаренко, Г. И. Потапов,
С. Л. Афанасьев, В. Н. Лукин**

ГЕОЛОГИЯ

Допущено Учебно-методическим
объединением вузов Российской Федерации
по образованию в области горного дела
в качестве учебного пособия для студентов
по направлению подготовки дипломированных
специалистов «Горное дело»



Москва
Издательство МГОУ
2004

ББК 26.3
Г 35

Рецензенты:

Гальперин А.М., доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ (Московский государственный горный университет);

Соловьев Н. Н., доктор геолого-минералогических наук, профессор, Заслуженный геолог РФ (Московский государственный геологоразведочный университет).

Бондаренко С.С., Потапов Г.И., Афанасьев С.Л., Лукин В.Н.

Г 35 Геология: Учеб. пособие/ Под ред. С.С. Бондаренко. – М.: Изд-во МГОУ, 2004.

ISBN 5-7045-0564-3

Учебное пособие предназначено для студентов горных специальностей по направлению 605600 – Горное дело.

Некоторые разделы в пособии изложены в самом общем виде, а ряд вопросов просто обозначен. В то же время более подробно освещены темы, связанные с изменившимися требованиями к изученности месторождений на разных этапах их разведки. Авторы надеются, что для углубления знаний студенты воспользуются специальной литературой, список которой приводится в заключении.

ББК 26.3
Г 35

ISBN 5-7045-0564-3



© С.С. Бондаренко, 2004
© Г. И. Потапов, 2004
© С. Л. Афанасьев, 2004
© В. Н. Лукин, 2004
© Издательство МГОУ, 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ	7
1.1. Общие сведения о Земле	7
1.1.1. <i>Земля и космос</i>	7
1.1.2. <i>Форма и размеры Земли</i>	7
1.1.3. <i>Оболочки Земли</i>	8
1.2. Строение и состав земной коры	11
1.2.1. <i>Химические элементы</i>	11
1.2.2. <i>Минералы</i>	11
1.2.3. <i>Горные породы</i>	13
1.2.4. <i>Геологические тела</i>	16
1.2.4.1. <i>Слои</i>	16
1.2.5. <i>Пачки (циклотемы)</i>	16
1.2.6. <i>Осадочные формации</i>	17
1.2.7. <i>Оболочки земной коры</i>	18
1.3. Геологические процессы	20
1.3.1. <i>Эндогенные геологические процессы</i>	20
1.3.1.1. <i>Магматизм</i>	20
1.3.1.2. <i>Метаморфизм</i>	21
1.3.1.3. <i>Землетрясения</i>	22
1.3.1.4. <i>Тектонические нарушения</i>	22
1.3.2. <i>Экзогенные процессы</i>	24
1.3.2.1. <i>Выветривание</i>	24
1.3.2.2. <i>Геологическая деятельность ветра</i>	24
1.3.2.3. <i>Геологическая деятельность поверхностных текучих вод</i>	25
1.3.2.4. <i>Геологическая деятельность подземных вод</i>	25
1.3.2.5. <i>Геологическая деятельность ледников</i>	26
1.3.2.6. <i>Геологические процессы в областях распространения многолетнемерзлых горных пород</i>	27

1.3.2.7. Геологическая деятельность океанов и морей.....	27
1.4. Закономерности развития земной коры.....	28
1.4.1. Относительная и изотопная геохронология.....	28
1.4.2. Геологические циклы.....	28
1.4.3. Основные структурные элементы земной коры.....	29
1.4.4. Пульсационная и плитная гипотезы развития Земли.....	29
1.5. Техногенное изменение геологической среды.....	30
Глава II. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ..	31
2.1. Общие сведения о месторождениях.....	31
2.2. Морфологические типы тел полезных ископаемых.....	32
2.3. Вещественный состав полезных ископаемых и их текстурно-структурные особенности.....	34
2.4. Генетическая классификация месторождений.....	35
2.4.1. Эндогенные месторождения.....	36
2.4.2. Экзогенные месторождения.....	39
2.4.3. Метаморфогенные месторождения.....	42
2.4.4. Техногенные месторождения.....	43
2.5. Промышленные типы месторождений.....	43
2.5.1. Месторождения металлических полезных ископаемых.....	43
2.5.1.1. Черные и легирующие металлы.....	44
2.5.1.2. Цветные металлы.....	48
2.5.1.3. Радиоактивные элементы.....	51
2.5.1.4. Редкие и рассеянные элементы.....	51
2.5.2. Месторождения неметаллических полезных ископаемых.....	52
2.5.2.1. Индустриальное сырье.....	52
2.5.2.2. Химическое и агрохимическое сырье.....	54
2.5.2.3. Месторождение строительных материалов.....	56
2.5.2.4. Изверженные и метаморфические породы как полезные ископаемые.....	60
2.5.5. Месторождение твердых горючих полезных ископаемых.....	60
2.6. Разведка месторождений полезных ископаемых.....	63

27	2.6.1. Принципы разведки.....	63
28	2.6.1.1. Кондиции.....	67
28	2.6.1.2. Требование к оконтуриванию.....	69
28	2.6.2. Подсчет запасов.....	70
29	2.6.3. Геолого-промышленная оценка месторождений.....	72
29	Глава III. ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ	
29	МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	74
30	3.1. Физические, водные и механические свойства	
31	горных пород и техногенных отложений.....	74
31	3.2. Инженерно-геологическая типизация массивов горных пород...80	
32	3.3. Геодинамическая обстановка производства горных работ....84	
34	3.4. Горно-геологические явления на месторождениях	
15	твердых полезных ископаемых.....	86
16	3.4.1 Оползни.....	87
19	3.4.2. Плывуны.....	90
2	3.4.3. Пучение.....	92
3	3.4.4. Горные удары.....	93
3	3.4.5. Выбросы пород, угля и газа.....	94
3	Глава IV. ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
3	ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	96
4	4.1 Вода. Условия залегания подземных вод.....	96
8	4.2. Водоносные горизонты и комплексы.....	98
1	4.3. Состав и свойства подземных вод.....	101
1	4.4. Законы фильтрации (основы динамики подземных вод).....104	
1	4.4.1. Расчет водопритоков к вертикальным горным выработкам.. 113	
1	4.4.2. Расчет установки для понижения уровня в карьере.....114	
1	4.4.3. Расчет водопритоков в горизонтальные горные выработки.116	
1	4.5. Притоки воды к горным выработкам.....	116
1	4.6. Схемы осушения карьерных и шахтных полей.....	119
1	4.7. Охрана и рациональное использование подземных вод	
1	на горных предприятиях.....	121

Глава V. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	124
5.1. О геологической службе горного предприятия	124
5.2. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования при изучении месторождений	125
5.3. Виды и методы инженерно-геологических исследований ...130	
5.3.1. Инженерно-геологическое опробование пород	135
5.3.2. Интерпретация результатов лабораторных и полевых исследований	136
5.3.3. Инженерно-геологическое прогнозирование	136
5.4. Виды и методы гидрогеологических исследований	137
Список рекомендуемой литературы	142

Глава I. ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ

1.1. Общие сведения о Земле

1.1.1. Земля и космос

Примерно 15 миллиардов лет тому назад из объёма, равного одному протону, вследствие Большого Взрыва образовались миллиарды галактик (Хаббл, 1924). Галактики стремительно разлетаются от места, где произошел Большой взрыв с огромной скоростью. Самые удаленные галактики расположены от Земли на расстоянии свыше 10 миллиардов световых лет. Каждая галактика состоит из сотен миллионов звезд, часть которых расположена в центре галактики (балдже), часть – в ветвях галактик, спиралевидных или закручивающихся. Галактики со спиральными ветвями, а такое строение имеет и наша Галактика, находятся в стадии своей эволюции после происшедшего взрыва в их ядре (балдже). Галактики с закручивающимися ветвями находятся в стадии своей эволюции, когда происходит «возвращение» звезд из рукавов галактики в балдж, т.е. в стадии коллапса. Галактики, представленные только своим балджем, находятся в стадии полного коллапса перед очередным взрывом. Период между очередными взрывами галактик оценивается примерно в миллиард лет.

Звезды, как наше Солнце, по-видимому, периодически взрываются. Как это видно на примере сверхновых звезд. Одна из таких сверхновых звезд отмечена в китайских летописях XI века. А в том месте, где была Сверхновая, в настоящее время астрономы находят Крабовидную туманность, образовавшуюся вследствие взрыва Сверхновой. Наше Солнце взорвалось примерно 4580 миллионов лет тому назад. Вследствие этого взрыва образовалось «облако», из которого сформировались планеты Солнечной системы: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон со своими многочисленными спутниками. Между Марсом и Юпитером, возможно, существовала еще одна, десятая, планета – Фазтон, которая взорвалась под воздействием гравитационных сил Солнца и Юпитера.

1.1.2. Форма и размеры Земли

Первые представления о форме и размерах Земли появились еще в глубокой древности. Античные мыслители (Пифагор – V в. до н.э., Аристотель – III в. до н.э. и др.) высказывали мысль о том, что наша планета имеет шарообразную форму.

Геодезические и астрономические исследования последующих столетий дали возможность судить о действительной форме Земли и ее размерах. Известно, что формирование Земли происходило под действием двух сил – силы взаимного притяжения частиц ее массы и центробежной силы, обусловленной вращением планеты вокруг своей оси. Равнодействующей обеих названных сил является сила тяжести, выражаемая в ускорении, которое приобретает каждое тело, находящееся у поверхности Земли. На рубеже XVII и XVIII веков впервые Ньютон теоретически обосновал положение о том, что под воздействием силы тяжести Земля должна иметь сжатие в направлении оси вращения и, следовательно, ее форма представляет эллипсоид вращения или сфероид. Разница полярного и экваториального радиусов составляет 21 км. Последующими детальными измерениями, особенно новыми методами исследования с искусственных спутников, было показано, что Земля сжата не только на полюсах, но также несколько по экватору (наибольший и наименьший радиусы по экватору отличаются на 210 м), т.е. Земля является не двухосным, а трехосным эллипсоидом. Кроме того, южный полюс расположен ближе к экватору, чем северный.

Наиболее высокая точка на Земле – гора Эверест в Гималаях – достигает 8848 м. Наибольшая глубина (11934 м) обнаружена в Марианской впадине Тихого океана. Таким образом, наибольшая амплитуда рельефа земной поверхности составляет немногим более 20 км. Учитывая эти особенности, немецкий физик Листинг в 1873 г. фигуру Земли назвал геоидом.

Экваториальный радиус Земли равен 6378,245 км, полярный радиус – 6356,863 км, полярное сжатие – 1/298,25. Объем Земли составляет $1,083 \cdot 10^{12}$ км³, а масса – $6 \cdot 10^{27}$ г. Ускорение силы тяжести на полюсах 983 см/с², на экваторе 978 см/с². Площадь поверхности Земли около 510 млн км², из которых 70,8 % представляет Мировой океан и 29,2 % – суша.

1.1.3. Оболочки Земли

Изучение внутреннего строения Земли производится различными методами. Геологические методы, основанные на изучении естественных обнажений горных пород, разрезов шахт и рудников, кернов глубоких буровых скважин, дают возможность судить о строении приповерхностной части земной коры. Глубина известных пробуренных скважин достигает 8-10 км, и только одна в мире опытная скважина, заложенная на Кольском полуострове, достигла глубины более 12 км. В вулканических областях по продуктам извержения вулканов можно судить о составе вещества на глубинах 50-100 км. В целом же глубинное внутреннее строение Земли изучается главным образом геофизическими мето-

дами: сейсмическим, магнитометрическим и др. Одним из важнейших методов является сейсмический метод, основанный на изучении естественных землетрясений и «искусственных землетрясений», вызываемых взрывами.

Очаги землетрясений располагаются на различных приповерхностных глубинах от до 700 км. Реальные скорости распространения сейсмических волн зависят от упругих свойств и плотности горных пород, через которые они проходят. На основании анализа скорости распространения сейсмических волн австралийский сейсмолог К. Буллен разделил Землю на ряд оболочек, дал буквенные обозначения определенных усредненных интервалов глубин, которые используются до настоящего времени. Выделяют три главные оболочки Земли:

1. Земная кора (оболочка А) – верхняя оболочка Земли, толщина которой изменяется от 6-7 км под глубокими частями океанов, до 35-49 км – под равнинными платформенными территориями континентов, до 50-75 км – под горными сооружениями (наибольшие под Гималаями и Андами).

2. Мантия Земли, распространяющаяся до глубин 2900 км. В ее пределах по сейсмическим данным выделяются: верхняя мантия – оболочка В глубиной до 400 км, средняя мантия (оболочка С) – до 800-1000 км, нижняя мантия (оболочка D) – до глубины 2700 км с переходным слоем D¹ от 2700 до 2900 км.

3. Ядро Земли, подразделяемое на внешнее ядро (оболочку E) в пределах глубин 2900-4980 км, переходную оболочку (слой F) – от 4980 до 5120 км и внутреннее ядро (слой G) – до 6971 км.

Земная кора отличается от мантии по резкому изменению скорости распространения сейсмических волн, как продольных, так и поперечных. В 1909 году югославский сейсмолог А. Мохоровичич впервые установил наличие этого раздела, носящего его имя и принятого за нижнюю границу земной коры. Часто эту границу сокращенно называют границей Мохо или М.

Второй резкий раздел совпадает с переходом от мантии к ядру, где наблюдается скачкообразное падение скорости продольных волн с 13,6 до 8,1 км/с, а поперечные волны гасятся. Внезапное резкое уменьшение скорости продольных волн и исчезновение поперечных волн во внешнем ядре свидетельствует о необычайном квазизидком состоянии вещества, отличающемся от твердой кристаллической мантии. Эта граница названа именем Б. Гутенберга. Как показали новейшие исследования, она очень неровная, имеет поднятия и впадины с амплитудой до 20 км. Именно здесь происходят основные тектонические процессы.

В соответствии с гипотезой О.Ю. Шмидта, в момент своего образования Земля имела квазиоднородное строение по своему химическому

составу. В это время температура внутри Земли достигала нескольких тысяч градусов, что является следствием массы планеты. В астероидах и малых спутниках планет, таких, как Фобос, спутник Марса, температура в центре не превышает единиц градусов по Кельвину. В планете-гиганте Юпитере – она достигает 150 000 К, вследствие чего Юпитер светит частично своим светом, а не только отраженными лучами Солнца. Некоторые астрономы считают даже Солнце и Юпитер двойной звездой. В центре любой звезды температура достигает десятков миллионов градусов и там происходят ядерные реакции только потому, что в них сосредоточена огромная масса вещества.

Температура и давление внутри Земли на глубине примерно 2900 км почти сразу же после ее образования создали важнейший раздел, отделяющий кристаллическое вещество внешней оболочки Земли – мантии от ее квазизжидкого ядра. При этом плотность кристаллической мантии на границе с ядром примерно равнялась пяти, а плотность внешней части ядра на границе с мантией – около десяти.

Глубина расположения границы мантии и ядра зависит от меняющейся гравитационной постоянной g под воздействием окружающих Солнечную систему звезд в разные фазы развития Галактики, ее очередного взрыва и коллапса. При перемещении границы мантии и ядра в сторону центра Земли происходит кристаллизация квазизжидкого вещества внешнего ядра с плотностью 10 с превращением его в кристаллическую мантию с плотностью 5. Вследствие этого Земля расширяется. Одновременно происходит предсказанный О.Ю. Шмидтом процесс дифференциации квазиоднородного вещества Земли с отделением легких компонентов (водорода, кислорода, углерода и др.) и перемещением их в сторону поверхности Земли. Одновременно отделяются тяжелые компоненты (железо, никель и др.), которые перемещаются в сторону центра Земли.

При перемещении границы мантии и ядра в сторону поверхности Земли происходит «расплавление» вещества кристаллической мантии с плотностью 5 с превращением его в квазизжидкое вещество внешнего ядра с плотностью 10. Одновременно происходит процесс уменьшения радиуса Земли, ее сжатие.

За 4680 миллионов лет развития Земли вследствие процесса дифференциации ее состава образовались еще две новые оболочки Земли: земная кора толщиной от 5 до 75 км и внутреннее ядро на глубине свыше 5120 км. При этом объем каждой из новых оболочек составляет около одного процента.

1.2. Структура и состав земной коры

По уровню организации в земной коре выделяют атомы (химические элементы) → минералы → горные породы → геологические тела: → пачки (циклотемы) → осадочные формации → оболочки земной коры.

1.2.1. Химические элементы

Химический состав земной коры (в мас. %), по А.А. Ярошевскому (1988): О – 47,90, Si – 29,50, Al – 8,14, Fe – 4,37, Ca – 2,71, K – 2,40, Na – 2,01, Mg – 1,79, Ti – 0,52, C – 0,27, H – 0,16, Mn – 0,12, S – 0,10.

1.2.2. Минералы

Минералами называются природные химические соединения или отдельные химические элементы, возникшие в результате физико-химических процессов, происходящих в земной коре. Элементарной единицей минерала является атом, химический элемент. В земной коре минералы находятся преимущественно в кристаллическом состоянии и лишь незначительная часть – в аморфном. Свойства кристаллических веществ обуславливаются как их составом, так и внутренним строением, т.е. кристаллической структурой. В кристаллических решетках расстояния между элементарными частицами и характер связей между ними в разных направлениях неодинаковы, что обуславливает и различие свойств. Такое явление называется анизотропией или неравносвойственностью кристаллического вещества. Анизотропия кристаллических веществ проявляется во многих их особенностях. Например, в способности кристаллического вещества самоограняться, т.е. образовывать многогранники – кристаллы. Форма кристаллов разнообразна и зависит от внутреннего строения данного соединения.

В аморфных веществах закономерность в расположении частиц отсутствует. Аморфные вещества изотропны.

Формы нахождения минералов в природе разнообразны и зависят главным образом от условий образования. Это либо отдельные кристаллы или их закономерные сростки (двойники), либо четко обособленные минеральные скопления, либо, чаще, скопления минеральных зерен – минеральные агрегаты.

Среди обособленных минеральных скоплений наиболее часто встречаются друзы. Секреции – результат постепенного заполнения ограниченных пустот минеральным веществом. Мелкие секреции называ-

ются миндалинами, крупные – жеодами. Конкреции – более или менее округлые образования. Мелкие округлые образования обычно концентрического строения называются оолитами. Натёки, свисающие со сводов пещер, называются сталактитами, растущие вверх на дне пещер – сталагмитами.

Оптические свойства минералов: цвет, прозрачность, блеск.

Механические свойства минералов: излом, спайность, твердость.

Шкала твердости минералов, или шкала (м) Мооса, дополненная числами (т) твердости (кг мм²) по Хрущеву, приведена ниже:

№	Минерал	Т
1	Тальк	2,4
2	Гипс	36
3	Кальцит	109
4	Флюорит	189
5	Апатит	536
6	Ортоклаз	795
7	Кварц	1120
8	Топаз	1427
9	Корунд	2060
10	Алмаз	10060

Для определения твердости минералов можно пользоваться некоторыми распространенными предметами, твердость которых близка к твердости минералов-эталонов. Так, твердостью равной 1 обладает графит мягкого карандаша; около 2-2,5 – ноготь; 4 – железный гвоздь; 5 – стекло; 5,5-6 – стальной нож, игла; более твердые минералы встречаются редко.

Классификация минералов

Самородные элементы: – сера, графит, алмаз.

Сульфиды: – галенит, сфалерит, пирит.

Галоиды: – галит, сильвин, флюорит.

Оксиды и гидроксиды: – кварц, халцедон, опал, гематит, магнетит, лимонит, боксит.

Карбонаты: – кальцит, доломит, сидерит.

Сульфаты: – ангидрит, гипс.

Фосфаты: – апатит, фосфорит.

Островные силикаты: – оливин, форстерит, фаялит.

Цепочечные и ленточные силикаты и алюмосиликаты – амфибол, пироксен, гиперстен, авгит, роговая обманка.

нее
(ен-
:во-
р –
б.
ная

Листовые (слоевые) силикаты: – биотит, мусковит, тальк, серпентин, хлорит, каолинит, глауконит.

Каркасные алюмосиликаты: – полевые шпаты, ортоклаз, микроклин, амазонит, альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит, анортит, нефелин.

1.2.3. Горные породы

Горные породы представляют естественные минеральные агрегаты, образующиеся в земной коре или на ее поверхности в ходе различных геологических процессов. Элементарной единицей горной породы является минерал. Основную массу горных пород слагают породообразующие минералы, состав и строение которых отражают условия образования пород. Кроме этих минералов, в породах могут присутствовать и другие, более редкие (акцессорные) минералы, состав и количество которых в породах непостоянны.

Если горная порода представляет агрегат одного минерала, она называется мономинеральной. К таким породам относятся, например, мраморы, кварциты. Первые представляют агрегат кристаллических зерен кальцита, вторые – кварца. Если в породе входит несколько минералов, она называется полиминеральной. В качестве примера таких пород можно назвать граниты, состоящие из кварца, калиевого полевого шпата, кислого плагиоклаза, а также темноцветных – биотита, роговой обманки, реже авгита.

Строение горных пород характеризуется структурой и текстурой. Структура определяется состоянием минерального вещества, слагающего породу (кристаллическое, аморфное, обломочное), размером и формой кристаллических зерен или обломков, входящих в ее состав, их взаимоотношениями. Под текстурой понимают сложение породы, т.е. расположение в пространстве слагающих ее частиц (кристаллических зерен, обломков и др.). Такое определение терминов (структура и текстура) не совпадает с общепринятой точкой зрения, что является исторической ошибкой перевода иностранных терминов.

В основу классификации горных пород положен генетический признак. По происхождению выделяют: 1) магматические, или изверженные, горные породы, связанные с застыванием в различных условиях силикатного расплава – магмы и лавы; 2) осадочные горные породы, образующиеся на поверхности в результате деятельности экзогенных факторов; 3) метаморфические горные породы, возникающие при переработке магматических, осадочных, а также ранее образованных метаморфических пород в глубинных условиях при воздействии высоких температур и давления, а также

различных жидких и газообразных веществ (флюидов), поднимающихся с глубины, в конечном счете, из внешнего ядра с границы Гутенберга.

В основе классификации магматических горных пород лежит их химический состав. Учитывается, прежде всего, содержание кремния, по которому магматические породы условно делятся на четыре группы кислотности: ультраосновные породы, содержащие менее 45 % кремнезема (SiO_2), основные – 45-52, средние – 52-65 и кислые – более 65 %. Химический состав может быть определен лишь при лабораторных исследованиях. Однако минеральный состав отражает химический и может быть использован при выяснении группы кислотности. Породообразующими минералами магматических пород являются минералы класса силикатов: кварц, полевые шпаты, слюды, амфиболы, пироксены, которые в сумме составляют около 93 % всех входящих в магматические породы минералов, затем оливин, фельдшпатоиды, некоторые другие силикаты и около 1 % минералов других классов. Вспомнив химический состав этих минералов, нетрудно убедиться, что в более основных породах должны преобладать цветные, менее богатые кремнеземом железисто-магнезиальные минералы, а в кислых – преимущественно светлые. С этим же связано уменьшение плотности пород от ультраосновных (до 3,4) к кислым (2,6).

В зависимости от условий, в которых происходило застывание магмы, магматические породы делят на ряд групп: породы глубинные, или интрузивные, образовавшиеся при застывании магмы на глубине, и породы излившиеся, или эффузивные, связанные с застыванием магмы, излившейся на поверхность, т.е. лавы. Среди интрузивных пород выделяют ряд разновидностей по глубине застывания магмы, а также жильные породы, связанные с застыванием магмы в трещинах. К вулканическим породам, кроме излившихся, относятся пирокластические, представленные скоплением выброшенного при вулканических взрывах и осевшего на поверхности материала (туфа и пепла), которые составляют, соответственно около 80 и 5 % всего эффузивного материала.

Ряд интрузивных пород от кислых до ультраосновных составляют: граниты → гранодиориты → диориты → габбро → дунит (перидотит, пироксенит).

Ряд эффузивных пород от кислых до основных составляют: липарит → дацит → андезит → базальт (долерит). Ультраосновные аналоги эффузивных пород отсутствуют.

В основе классификации *осадочных пород* лежит генетический признак. Выделяются обломочные, биогенные, вулканогенные, хемогенные и космогенные породы. При этом образуются слои горных пород с первично горизонтальным залеганием.

Обломочные породы образуются при денудации под действием экзогенных процессов. Разрушаются прежде всего горные сооружения (Ги-

малаи, Кордильеры, Альпы и др.). У подножия гор обломочные породы образуют первый уровень седиментации: отложения обвалов (колювий), конусы выноса пролювиальных отложений. Под воздействием водных потоков рек размываются колювиальные и пролювиальные образования, песчано-глинистый материал выносится реками в их устья, где формируются дельты – второй уровень седиментации. Под воздействием мутевых потоков неконсолидированный обломочный материал сбрасывается с шельфа на дно океанов, где формируются отложения третьего уровня седиментации. Под воздействием океанских течений обломочный материал третьего уровня седиментации перемещается на тысячи километров, где на дне океанов формируются обломочные отложения четвертого уровня седиментации.

Среди обломочных пород выделяются группы по размеру обломков: грубообломочные, (сакситы) со средним размером обломков от 100 до 1000 м (отгорженцы) и от 10 до 100 м (утёсы); крупнообломочные, олистостромы

– валунные конгломераты с обломками размером от 1 до 10 м (глыбы, олистолиты) и от 0,1 до 1 м (валуны, отломы, олистолиты); среднеобломочные олистостромы

– гравелиты, галечные и гравийные конгломераты с размером обломков от 10 до 100 мм (галька, щебень) и от 1 до 10 мм (гравий, дресва); мелкообломочные песчаники, граувакки с размером зерен от 0,1 до 1 мм и алевролиты с размером зерен от 20 до 100 мкм; тонкообломочные: сiltолиты, аргиллиты с размером частиц от 2 до 20 мкм и глины (0,1-2 мкм).

По текстурным особенностям распознаются генетические группы обломочных пород: градационная слоистость характерна для флишевых отложений мутевых потоков третьего и четвертого уровня седиментации, косая слоистость чаще встречается среди аллювиальных и прибрежно-морских отложений.

Биогенные породы сложены в основном известковыми, реже – кремнистыми раковинами животных и растений. К биогенным породам относятся также каустобиолиты. Наибольший интерес представляют раковинки кокколитофорид размером меньше одного микрометра, скопления которых формируют слои практически всех фанерозойских известняков. Карбонатные породы характерны для отложений морей и океанов на глубинах менее 4 км. На глубинах свыше 4 км кальцит растворяется.

Кремнистые биогенные породы состоят в основном из опала и халцедона и представлены диатомитами, радиоляритами, трепелами и опоками, реже конкрециями кремней.

Вулканогенные породы представлены туфами, лавами, пеплами.

Каустобиолиты образуются из растительных и животных остатков, преобразованных под влиянием различных геологических факто-

ров. Они представлены торфом, бурым и каменным углями, антрацитами. Плотность углей возрастает от 0,7 у торфа до 1,6 у антрацита.

Хемогенные породы представлены галоидами (каменная соль, сильвинит и др.) и сульфатами (гипс, ангидрит).

Метаморфические горные породы образуются из пород разного генезиса под влиянием повышенной температуры и давления. Различают региональный и локальный метаморфизм.

При региональном метаморфизме кварцевые песчаники превращаются в кварциты, известняки – в мраморы, глины и аргиллиты – в филлиты, кристаллические сланцы, гнейсы и гранулиты, эффузивные породы – в амфиболиты, ультраосновные породы – в серпентиниты. При большом давлении образуются эклогиты с плотностью от 3 до 4 г/см³, состоящие в основном из граната и пироксена.

При локальном метаморфизме возникают роговики.

1.2.4. Геологические тела

Геологическое тело – это геологическое пространство, заполненное горной породой определенного состава, ограниченное другими горными породами с иным составом, атмосферой или гидросферой. Элементарной единицей геологического тела является горная порода. Геологические тела имеют изометрическую (интрузии), плоскую, линзовидную или клиновидную форму (слои осадочных и эффузивных образований).

1.2.4.1. Слои

Слой. Низшая (элементарная) единица слоистой текстуры толщ... Каждый слой образован более или менее однотипной породой, отличающейся петрографическими, гранулометрическими и др. литологическими особенностями от остальных слоев [Геологический словарь. Т II, с. 242].

1.2.5. Пачки (циклотемы)

Пачка или циклотема – комплекс слоев небольшой толщины, характеризующийся литологическими, а иногда и палеонтологическими особенностями, отличающими данную пачку от смежных образований. Циклотема – серия пластов, отложившихся в течение одного осадочного цикла. Элементарной единицей пачки (циклотемы) является слой. И пачка и циклотема характеризуются также тем, что они сами по себе являются элементарными единицами формаций.

Циклотемы, в особенности, характерны для угленосных моласс, например, для каменноугольных отложений Донбасса, Кузбасса, Пенсильвании и т.д. В. Соколов и Л. Лутугин в 1910 году в Донбассе детально изучили каменноугольные отложения, составили стратиграфическую схему, геологические карты, на которых выделили пачки (циклотемы) с маркирующими пластами углей и известняков. Эта стратиграфическая схема и эти карты не были изменены за прошедшие почти сто лет. Каждая циклотема содержит пласт угля и почти каждая из них – маркирующий пласт известняка. Циклотемы начинаются и заканчиваются песчано-глинистыми отложениями. Часто в основании циклотем наблюдаются следы размывов. Развитие циклотем связано с колебанием уровня океана и циклами Миланковича, длительность которых оценивается в десятки тысяч лет.

1.2.6. Осадочные формации

Осадочная формация – комплекс циклотем сходного состава, который отличается от комплекса циклотем иного состава смежных формаций. Элементарной единицей формации является пачка или циклотема.

Формация изверженных пород – комплекс интрузий сходного состава, который отличается от интрузий иного состава. Элементарной единицей формации изверженных пород является интрузия.

Осадочные формации подразделяются, в первую очередь, по своему генезису. Выделяются обломочные, биогенные, вулканогенные, хемогенные и космогенные формации. Обломочные формации различаются также по среднему размеру обломков (зерен, частиц) на три группы: песчаные (в том числе молассовые), сложенные в основном песчаниками и алевролитами; глинистые; (аргиллитовые, сланцевые, аспидные), представленные главным образом глинами и аргиллитами; флишевые, где наблюдается переслаивание песчаников и алевролитов, с одной стороны, и глин, мергелей, известняков, – с другой.

Биогенные формации сложены в основном либо известняками, либо диатомитами и радиоляриями.

Хемогенные формации сложены солями (галитом, сильвином, мирабилитом и др.), частично гипсами, ангидритами, доломитами – продуктами, образующимися при выпаривании морской воды в изолированных бассейнах в аридных зонах.

Космогенные формации, столь многочисленные в начальные стадии развития Земли, весьма малочисленны в настоящее время. К ним относятся красные глубоководные глины с криоконитом (космическими сферами), образования редких астроблем.

Среди эффузивных формаций выделяются кислые (липаритовые, дацитовые), средние (андезитовые) и основные (базальтовые) разновидности.

1.2.7. Оболочки земной коры

Выделяются четыре оболочки земной коры, которые отличаются по своей плотности и скорости прохождения как продольных, так и поперечных сейсмических волн. На материках это гранулитобазитовая, гранито-гнейсовая, консолидированная и неконсолидированная осадочные оболочки с общей толщиной от 15 до 75 км. В океанах развита лишь одна – верхняя, самая молодая неконсолидированная осадочная оболочка толщиной от 0 до 1 км. Под ней расположена базальтовая оболочка толщиной от 5 до 15 км, которая условно также относится к земной коре.

Гранулитобазитовая (протогейская) оболочка сложена метаморфическими породами (гнейсами, кристаллическими сланцами), пронизана многочисленными интрузиями гранитов, чарнокитов, других изверженных пород, она обнажается на земной поверхности в пределах ядер древних платформ на щитах кратонов: Балтийском и Украинском на Русской платформе, Алданском и Анабарском на Сибирской платформе и др. При бурении Кольской сверхглубокой скважины она обнаружена на глубине около 7 км. Кровля гранулитобазитовой оболочки отбивается сейсмологами по небольшому снижению скорости прохождения сейсмических волн. Эта граница носит название раздела Конрада. Гранулитобазитовая оболочка образовалась в период глобального сжатия Земли примерно 3 миллиарда лет тому назад на рубеже киватиния и лаврентия, мезо- и неоархея. Этот рубеж назван также революцией Павлова, который первым обратил на него внимание и определил его как окончание лунной фазы развития Земли.

Гранито-гнейсовая (дейтерогейская) оболочка земной коры сложена метаморфическими горными породами (гнейсами, кристаллическими сланцами), пронизана многочисленными интрузиями гранитов, гранодиоритов, других изверженных пород, она обнажена на поверхности щитов всех древних платформ: Русской, Сибирской, Китайской, Индийской, Африканской, Лаврентийской (Северо-Американской), Бразильской, Австралийской и Антарктидной. Кровля гранито-гнейсовой оболочки на плитах древних платформ четко отбивается по смене метаморфических пород осадочными, по резкому уменьшению скорости прохождения сейсмических волн. Гранито-гнейсовая оболочка сформировалась в период глобального сжатия Земли 1640 миллионов лет тому

назад во время революции Лоусона на рубеже раннего (карелий) и позднего (рифей) протерозоя.

Консолидированная осадочная (неогейская) оболочка земной коры представлена уплотненными осадочными породами (песчаниками, алевролитами, известняками, диатомитами, галитом), эффузивными образованиями (липаритами, дацитами, андезитами, базальтами), интрузивными формациями. Она развивалась в течение рифея, палеозоя и триаса. Её формирование закончилось во время каледонско-герцинской революции Ардуино 207 миллионов лет тому назад. Она слагает цоколи всех молодых платформ.

Неконсолидированная (кайногейская) оболочка земной коры представлена слабо консолидированными пористыми породами: песками, песчаниками, алевролитами, известняками, мергелями, глинами, галитом, эффузивными образованиями, которые образуют чехол земной коры на континентах и в океанах. Она формировалась в юрском, меловом периодах и в кайнозое. Неконсолидированная осадочная оболочка земной коры являетсяместилищем основных месторождений нефти и газа, а также воды, которые сегодня являются важнейшими полезными ископаемыми.

Базальтовая оболочка в океанах сложена молодыми кайногейскими базальтами.

По набору оболочек различают два типа земной коры: *материковый* с гранулитобазитовой, гранито-гнейсовой, консолидированной и неконсолидированной осадочными оболочками и *океанский* с базальтовой и неконсолидированной осадочной оболочками.

Обе оболочки земной коры расположены фрагментарно. В Тихом океане развита только океанская оболочка, составляющая по площади 142,2 млн. км². Два других океана, Атлантический и Индийский, по своей периферии содержат обрывки бывшей Гондваны, представленные материками: Южной Америкой, Антарктидой и Австралией, в целом образующих Индо-Атлантический материково-океанский геосегмент земной коры с площадью 208,5 млн. км². Лавразийский материковый тихоокеанский океанический сегмент земной коры включает материк: Евразию, Африку и Северную Америку. Его площадь равна 159,3 млн. км². Эти три сегмента являются самыми крупными структурными элементами земной коры. В двух регионах Земли, где сходятся все три геосегмента, в Остиндии (Индонезия) и Вестиндии (Карибский регион) наблюдается наибольшая раздробленность земной коры. Там расположены «конгломераты», состоящие из обрывков коры как материкового, так и океанского типа, находится наиболее плотная сеть глубинных разломов, и имеются крупнейшие месторождения нефти и газа.

Полусегменты или гемисегменты сочленяются друг с другом по Императорскому и Гавайскому хребтам в Тихом океане, по 20-му меридиану к югу от Африки и по глубинному разлому между устьями рек Яны и Анадыря на Северо-востоке России. Граница Атлантического и Индийского гемисегментов подходит к берегу Африки в районе ЮАР – стране, сказочно богатой золотом, алмазами, ураном, другими полезными ископаемыми, по-видимому, потому, что по глубинному разлому на границе гемисегментов происходило обогащение этого региона и полезными ископаемыми.

1.3. Геологические процессы

Геологические процессы делятся на эндогенные и экзогенные.

1.3.1. Эндогенные геологические процессы

Эндогенные геологические процессы включают магматизм, метаморфизм, землетрясения, тектонические нарушения.

1.3.1.1. Магматизм

Магматические горные породы, образовавшиеся из жидкого расплава (магмы) играют огромную роль в строении земной коры. Эти породы сформировались разными путями. Крупные их объемы застывали на различной глубине, не дойдя до поверхности, и оказывали сильное воздействие на вмещающие породы высокой температурой, горячими растворами и газами. Так образовались интрузивные тела. Если магматические расплавы вырывались на поверхность, то происходили извержения вулканов, носившие, в зависимости от состава магмы, спокойный либо катастрофический характер. Такой тип магматизма называют эффузивным, что не совсем точно. Нередко извержения вулканов носят взрывной характер, при котором магма не изливается, а взрывается и на земную поверхность выпадают тонко раздробленные кристаллы и застывшие капельки стекла (раплава). Подобные извержения называются эксплозивными. Поэтому, говоря о магматизме, следует различать интрузивные процессы, связанные с образованием и движением магмы ниже поверхности земли, и вулканические процессы, обусловленные выходом магмы на земную поверхность. Оба эти процесса неразрывно связаны между собой, а проявление того или другого из них зависит от глубины и способа образования магмы, ее температуры, количества рас-

творенных газов, геологического строения района, характера и скорости движений земной коры и т.д.

Как интрузивные, так и вулканические горные породы содержат залежи полезных ископаемых и, кроме того, они являются надежными индикаторами тектонических и палеогеографических условий геологического прошлого, что позволяет нам их реконструировать.

1.3.1.2. Метаморфизм

Горные породы после формирования могут попасть в такую геологическую обстановку, которая будет существенно отличаться от обстановки образования породы и на нее будут оказывать влияние различные эндогенные силы: тепло, давление (нагрузка) вышележащих толщ, глубинные флюиды, растворы и газы, воды, водород, углекислота и др. Изменение магматических и осадочных пород в твердом состоянии под воздействием эндогенных факторов и называется метаморфизмом.

Все метаморфические процессы можно разделить на две группы. В одной из них химический состав метаморфизируемых пород не изменяется, т.е. преобразование происходит изохимически. Во второй группе наблюдается изменение состава пород за счет привноса или выноса компонентов. Такой процесс называется аллохимическим. Под воздействием процессов метаморфизма происходит перекристаллизация исходных пород, изменение минерального, а нередко и химического состава. Метаморфические процессы могут быть разной интенсивности, поэтому в природе наблюдаются все постепенные переходы от практически неизменных или слабо измененных пород, первичная текстура, структура и состав которых сохранились, до пород, измененных настолько сильно, что восстановить их первичную природу невозможно. Усиление степени метаморфизма, т.е. увеличение температуры, давления и концентрации флюидов, приводит к изменению или распаду неустойчивых минералов на более устойчивые ассоциации. При изучении метаморфических пород необходимо восстановить их первичную природу и условия образования, а также дать реконструкцию обстановки метаморфизма – давление, температуру и роль летучих компонентов. Это позволяет разобраться в мощнейших толщах хедских, архейских и протерозойских пород, слагающих главным образом фундамент древних платформ и отвечающих по возрастному интервалу большей части истории Земли – 2,5-4,6 млрд. лет. С этими же породами связаны очень важные в практическом отношении метаморфогенные месторождения, содержащие железные руды, графит, золото, уран, медь, кварциты, мраморы и др.

1.3.1.3. Землетрясения

Ежегодно на Земле регистрируется более 100 000 землетрясений. Большинство из них мы вообще не ощущаем, некоторые отзываются лишь дребезжанием посуды в шкафах и раскачиванием люстр, зато другие, к счастью, гораздо более редкие, во мгновение ока превращают города в груды дымящихся обломков. На побережьях море отступает, обнажая дно, а затем на берег обрушивается гигантская волна, сметая все на своем пути, унося остатки строений в море. Крупные землетрясения сопровождаются многочисленными жертвами среди населения, которое гибнет под развалинами зданий, от пожаров, наконец, просто от возникающей паники. Землетрясения – это бедствие, катастрофа, поэтому огромные усилия затрачиваются на предсказания возможных сейсмических толчков, на определение сейсмоопасных районов, на мероприятия, которые призваны сделать промышленные и гражданские здания сейсмостойкими.

За последнее время катастрофические землетрясения произошли в Чили (1960), на Аляске (1969), в Гватемале (1976), в Китае (1976), когда погибло 100 000 человек. На территории СССР не раз отмечались очень сильные землетрясения: андижанское (1902), кеминское (1911), хайтское (1949), ашхабадское (1929 и 1948), ташкентское (1966), газлийские (1970, 1976, 1984) и, наконец, страшное спитакское землетрясение в Армении (1988).

Любое землетрясение – это тектонические деформации земной коры или верхней мантии, происходящие вследствие того, что накопившиеся напряжения в какой-то момент превысили прочность горных пород в данном месте. Разрядка этих напряжений и вызывает сейсмические колебания в виде волн, которые, достигнув земной поверхности, производят разрушения.

Очагом или гипоцентром землетрясения является определенный объем горных пород, внутри которого осуществляются неупругие деформации и происходит разрушение пород. Эпицентр – проекция гипоцентра на земную поверхность. На карте распространения эпицентров современных землетрясений отчетливо видна их связь с периферией Тихого океана, Средиземноморским подвижным поясом (Альпы, Карпаты, Кавказ, Гималаи), а также со срединно-океаническими хребтами во всех океанах.

1.3.1.4. Тектонические нарушения

В большинстве случаев осадки, формирующиеся в озерах, морях и океанах, обладают первично горизонтальным залеганием, которое не-

редко нарушается тектоническими движениями, что приводит к образованию складок, с одной стороны, и разрывных нарушений, с другой.

Складки. Складка – это изгиб слоев. Различают ядро складки и ее крылья. Складки бывают антиклинальные и синклинальные. Ядра антиклинальных складок сложены более древними слоями, ядра синклинальных – более молодыми. Перегибы слоев образуют замки складок.

Чаще всего складки образуются при содвиге континентальных плит, когда происходит раздавливание неконсолидированных горизонтально залегающих слоев между сдвигающимися кратонами. При этом образуются линейные складки с примерно одинаковыми замками антиклинальных и синклинальных разновидностей. Под воздействием преимущественно вертикальных движений в подвижных поясах образуются брахискладки, где форма замков антиклинальных и синклинальных складок различная. На платформах формируются куполовидные складки изометричной формы с очень пологими крыльями.

Разрывные нарушения. Разрывным нарушением называется деформация пластов горных пород с нарушением их сплошности, возникающая в случае превышения предела прочности пород тектоническими напряжениями. В любом разрывном нарушении всегда выделяется плоскость разрыва или сместителя и крылья разрыва, т.е. два блока пород по обе стороны сместителя, которые подверглись перемещению. Крыло или блок, находящийся выше сместителя, называется висячим, а ниже – лежачим. Важным параметром разрыва является его амплитуда. Расстояние от пласта в лежачем крыле до того же пласта в висячем крыле называется амплитудой по сместителю. Кроме того, различают стратиграфическую амплитуду, которая измеряется по нормали к плоскости напластования в любом крыле разрыва до проекции пласта; вертикальную амплитуду – проекцию амплитуды по сместителю на вертикальную плоскость; горизонтальную амплитуду – проекцию амплитуды по сместителю на горизонтальную плоскость. Положение сместителя в пространстве определяется, как и ориентировка любой другой плоскости, с помощью линий падения, простирания и угла падения.

Основные типы разрывных нарушений: сброс (сместитель наклонен в сторону опущенного крыла, угол наклона сместителя больше 45°); взброс (сместитель наклонен в сторону поднятого крыла), надвиг (взброс с углом наклона сместителя менее 45°); сдвиг (перемещение крыльев по простиранию сместителя); шарьяж (надвиг с почти горизонтальным положением сместителя); раздвиг (горизонтальное смещение блоков разрывного нарушения в противоположные стороны); содвиг (горизонтальное смещение блоков разрывного нарушения навстречу друг другу).

Амплитуды смещения достигают 4000 км при раздвиге (спрединге) континентальных плит. Примерно такие же амплитуды были при сдвиге континентальных плит, в результате чего формировались шарьяжи с амплитудой перемещения в сотни километров.

1.3.2. Экзогенные процессы

К экзогенным процессам относятся: выветривание, геологическая деятельность ветра, поверхностных текучих вод, подземных вод, ледников, геологические процессы в областях распространения многолетнемерзлых горных пород, геологическая деятельность океанов и морей.

1.3.2.1. Выветривание

Под выветриванием понимается совокупность физических, химических и биохимических процессов преобразования горных пород и слагающих их минералов в приповерхностной части земной коры. Это преобразование зависит от многих факторов: колебания температуры, химического воздействия воды и газов (углекислоты и кислорода), воздействия органических веществ, образующихся при жизни растений и животных и при их отмирании и разложении. Сказанное свидетельствует о том, что процессы выветривания тесно связаны с взаимодействием приповерхностной части земной коры с атмосферой, гидросферой и биосферой. Часть земной коры, где происходит преобразование минерального вещества, называется зоной выветривания или зоной гипергенеза. Условно выделяются два взаимосвязанных фактора: физическое и химическое выветривание.

1.3.2.2. Геологическая деятельность ветра

Геологическая деятельность ветра состоит из следующих видов: дефляции (выдувания и развевания), корразии (обтачивания, соскабливания), переноса и аккумуляции. Все процессы, обусловленные деятельностью ветра, создаваемые им формы рельефа и отложения называют эоловыми.

Наиболее ярко деятельность ветра проявляется в пустынях, занимающих около 20 % поверхности континентов, где сильные ветры сочетаются с малым количеством выпадающих атмосферных осадков, резкими колебаниями температуры, отсутствием растительного покрова в связи с аридным климатом.

дин-
со-
рья-
ка
ни-
не-
си-
и
то
ы,
э-
и
у-
м
и
е-
е-
и

1.3.2.3. Геологическая деятельность поверхностных текучих вод

Под текучими водами понимаются все виды поверхностного стока на суше от струй, возникающих при выпадении дождя и таяния снега, до самых крупных рек. Все воды, стекающие по поверхности Земли, производят различного вида работу. Хорошо известно, что поверхностная текучая вода – один из важнейших факторов денудации суши и преобразования лика Земли.

Как и в других экзогенных процессах, в деятельности текучих вод могут быть выделены три составляющие: разрушение, перенос и отложение (аккумуляция) переносимого материала в конечном итоге на первом (у подножия гор) и втором (в дельтах рек) уровнях аккумуляции. По характеру и результатам деятельности можно выделить три вида поверхностного стока вод: плоскостной безрусловой склоновый сток, сток временных русловых потоков и сток постоянных водотоков – рек.

Разрушение горных пород происходит главным образом в горах. На равнинах преобладает перенос и аккумуляция. Ежегодно реками выносятся в их устье около 20 км³ песчано-глинистого материала. Крупнейшим местом временной аккумуляции обломочного материала, выносимого реками, является устье рек Ганга и Брахмапутры (около 2 км³ или 10 % всего перенесенного и отложенного материала). Это связано с денудацией высочайшей горной системы – Гималаев.

1.3.2.4. Геологическая деятельность подземных вод

К подземным водам относятся все природные воды, находящиеся под поверхностью Земли в подвижном состоянии. Вопросы происхождения, движения, развития и распространенности подземных вод являются предметом изучения специальной отрасли геологической науки – гидрогеологии. Подземные воды тесно связаны с водой атмосферы и наземной гидросферы – океанами, морями, озерами, реками. В природных условиях происходит непрерывное взаимодействие этих вод, так называемый гидрологический круговорот.

Одним из важнейших факторов, определяющих условное начало круговорота, является испарение воды с поверхности океанов, морей и поступление влаги в атмосферу. При благоприятных условиях вода атмосферы конденсируется и выпадает в виде атмосферных осадков. Распределение последних может быть представлено следующей схемой: испарение, поверхностный сток, инфильтрация (просачивание), подземный сток.

Водноколлекторские свойства горных пород определяются их пористостью и трещиноватостью. Наибольшая водопроницаемость наблюдается в галечниках, гравии, в крупных песках, сильно закарстованных известняках и сильно трещиноватых породах различного генезиса. Относительно слабая проницаемость отмечается в тонкозернистых песках, супесях, еще меньшая – в лёссах, легких суглинках, слаботрещиноватых породах. Почти непроницаемыми (водоупорными) являются глины, тяжелые суглинки, цементированные и другие массивные породы с ничтожной трещиноватостью.

Горные породы содержат различные виды воды:

- 1) вода в виде пара;
- 2) физически связанная вода, гигроскопическая и пленочная;
- 3) свободная вода, капиллярная и гравитационная;
- 4) вода в твердом состоянии;
- 5) кристаллизационная и химически связанная вода.

В современной гидрогеологической литературе выделяют принадлежность разных видов подземных вод к конкретным зонам: зоне аэрации и зоне насыщения.

Почвенные воды и верховодка образуются в зоне аэрации. В зоне насыщения выделяют воды: грунтовые, межпластовые безнапорные и межпластовые напорные или артезианские.

1.3.2.5. Геологическая деятельность ледников

Ледники – это естественные массы кристаллического льда, находящиеся на поверхности Земли в результате накопления и последующего преобразования твердых атмосферных осадков (снега). Необходимым условием образования ледников является сочетание низких температур с большим количеством твердых атмосферных осадков, что имеет место в холодных странах высоких широт и в вершинных частях гор.

Выделяются три основных типа ледников: 1) материковые или покровные; 2) горные; 3) промежуточные или смешанные. Классическими примерами ныне существующих материковых ледников служат покровы Антарктиды и Гренландии. Антарктида занимает площадь около 15 млн. км², из них около 13,2 млн. км² покрыто льдом. Ледяной покров образует огромное плато высотой до 4 км.

В четвертичном периоде значительная часть Европы и Северной Америки также были покрыты материковым ледяным покровом.

При своем движении ледники производят разрушение горных пород, перенос обломков и их аккумуляцию в виде морен. Одна из таких

конечных морен расположена в Москве около здания МГОУ (за рекой Ячмой на территории Лосиногостовского острова).

1.3.2.6. Геологические процессы в областях распространения многолетнемерзлых горных пород

Хорошо известно, что поверхностные слои почв и грунтов подвергаются сезонному промерзанию зимой и оттаиванию в весенне-летнее время. Наибольшая глубина промерзания в северном полушарии наблюдается в северных приполярных районах, наименьшая — в южных. Этот верхний слой периодического промерзания и оттаивания отличается большой динамичностью и называется деятельным слоем. Ниже него на обширных пространствах Северной Евразии и Северной Америки развиты многолетнемерзлые горные породы (ММП). В России они занимают больше половины площади.

Зону распространения ММП называют мерзлой зоной земной коры или криолитозоной. Соответственно и наука, изучающая криолитозону и процессы, связанные с ней, называется геокриологией или мерзлотоведением.

В зоне ММП наблюдается целый ряд геологических процессов. Повторно-жильные льды формируются в северной геокриологической зоне. Их развитие связано с морозобойными трещинами, образующими системы полигонов. Морозное пучение характерно для различных районов криолитозоны. Инъекционные бугры пучения образуются в условиях закрытой системы. К склоновым процессам относятся солифлюкция и курумы.

1.3.2.7. Геологическая деятельность океанов и морей

Вся совокупность водных пространств океанов и морей, занимающих 70,8 % поверхности Земли, называется Мировым океаном, или океаносферой. Мировой океан включает четыре океана: Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый, все окраинные (Берингово, Охотское, Японское и др.) и внутриконтинентальные моря (Средиземное, Черное, Балтийское и др.).

В рельефе дна океанов и морей выделяются шельф, материковый склон, ложе Мирового океана с поднятиями (срединно-океаническими хребтами, валами, вулканическими островами и гайотами) и глубоководные котловины.

водными впадинами (Тонга-Кермадекской, Курило-Камчатской, Идзу-Бонинской и др.).

В Мировом океане у подножия материкового склона формируется на третьем уровне седиментации основная часть обломочного материала, образующегося при денудации, часть последнего разносится геострофическими течениями по дну Мирового океана. На глубинах менее 4 км, чаще во внутренних частях Мирового океана, образуются карбонатные илы, впоследствии превращающиеся в известняки. В глубоководных частях океанов формируются диатомовые и радиоляритовые илы, а также красные глубоководные глины с криоконитом. В пределах срединноокеанических хребтов под действием «черных ведьм» «черных курильщиков» образуются месторождения меди, полиметаллов и золота.

1.4. Закономерности развития земной коры

Рассмотрим некоторые закономерности развития земной коры: относительную и изотопную геохронологию, геологические циклы, основные структурные элементы земной коры, пульсационную и плитную гипотезы развития Земли.

1.4.1. Относительная и изотопная геохронология

На основе изучения остатков фауны и флоры были выделены: шесть геологических эр (хедская, архейская, протерозойская, палеозойская, мезозойская и кайнозойская), десять геологических периодов (кембрийский, ордовикский, силурийский, девонский, каменноугольный, пермский, триасовый, юрский, меловой, палеогеновый, неогеновый и четвертичный), ряд геологических эпох, веков и фаз.

На основе изучения нестабильных элементов определен изотопный возраст всех геохронологических подразделений.

На базе изучения остаточной намагниченности составлена палеомагнитная геохронологическая шкала.

1.4.2. Геологические циклы

По длительности своего развития выделяется система геологических циклов: мегациклы (развивавшиеся сотни миллионов и миллиарды лет, геологические акроны, зоны и эры), макроциклы (миллионы и десятки миллионов лет, геологические эпохи и века), мезоциклы (десятки и сотни тысяч лет, геологические зоны, пачки, циклотемы), микроциклы

(сотни и тысячи лет, слои), наноциклы (годы и десятилетия, слойки), пикоциклы (дни и месяцы, сизигиты и сезониты).

1.4.3. Основные структурные элементы земной коры

По площади развития выделяются геосегменты, гемигеосегменты, мега-, макро-, мезо- и микрогеоблоки, структурно-формационные зоны и локальные структуры.

По истории своего развития выделяют древние и молодые платформы, складчатые зоны, срединные массивы, краевые и межгорные прогибы, вулканические пояса.

По структуре выделяются щиты, плиты, синеклизы, антеклизы, влакогены на платформах, антиклинории, синклинории, антиклинальные и синклинальные складки, шарьяжи и надвиги в складчатых зонах.

1.4.4. Пульсационная и плитная гипотезы развития Земли

В настоящее время развиваются две конкурирующие гипотезы развития Земли: гипотеза литосферных плит и пульсационная гипотеза развития Земли.

Гипотеза литосферных плит. Строение срединно-океанических хребтов и результаты глубоководного бурения в океанах установили наличие спрединга – раздвига литосферных плит. По этой гипотезе в области глубоководных желобов происходит субдукция – погружение океанских плит под материковые.

В целом рассматривается процесс конвекции в мантии Земли. Эта гипотеза поддерживается большинством геологов. Наиболее уязвимым элементом гипотезы литосферных плит является конвекция в мантии Земли.

Пульсационная гипотеза развития Земли. Пульсационная гипотеза развития Земли основана на наличии спрединга, но не только в пределах Атлантического, Индоокеанского и Восточно-Тихоокеанского срединноокеанических хребтов, но и в пределах Западно-Тихоокеанского на границе Азии и Тихого океана, смены панталасс панплатформами, раздвигов и содвигов литосферных плит, стадий деструкций и глобального седиментогенеза и стадий аккреций и глобальной складчатости и шарьяжеобразования.

Эта гипотеза (пока?) имеет меньшее число сторонников, она развивается в стенах МГУ (академик Милановский и др.) и МГОУ.

1.5. Техногенное изменение геологической среды

Техногенное изменение геологической среды связано с деятельностью человека. Это, прежде всего, связано с проходкой горных выработок (шахт, штолен, карьеров) и буровых скважин, накоплением отходов горного производства (отвалов и «хвостов»).

Техногенное изменение геологической среды происходит в связи со строительными работами (возведением плотин, поворотом рек и пр.), а также с ядерными взрывами, наземными и подземными.

Глава II. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

2.1. Общие сведения о месторождениях

Под полезными ископаемыми понимают *«минеральные образования земной коры, химический состав и физические свойства которых, позволяют эффективно использовать их в сфере материального производства»* (СБС, 1987).

Полезное ископаемое может находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии.

«Небольшое природное скопление минерального вещества, которое почти удовлетворяет по качеству кондиционным требованиям, но в количественном отношении не может считаться предметом разработки в данных экономических условиях», называют **рудопроявлением**.

Месторождение – это *«такое природное скопление полезного ископаемого, которое в количественном и качественном отношении может быть предметом промышленной разработки при данном состоянии техники и в данных экономических условиях (промышленное месторождение)»*. Другие скопления, которые по своим данным могли бы разрабатываться лишь при изменившихся технико-экономических условиях, относят к непромышленным (СБС, 1987).

Месторождения полезных ископаемых формируются в результате различных геологических процессов.

При образовании осадочных горных пород при наличии определенных условий могут возникнуть осадочные месторождения железа, марганца, минеральных солей, фосфора и др. Большую роль в формировании месторождений играют физико-химические факторы, изменение температуры, давления, кислотность геологической среды и др.

В ряде случаев на концентрацию полезных компонентов существенное влияние оказывают живые организмы или их остатки. Так, некоторые организмы могут концентрировать железо, марганец, ванадий, разлагать те или иные минералы (например, ангидрит с выделением из него сероводорода, который затем преобразуется в серу). Таким же путем образуются фосфоритовые руды.

Существенную роль в формировании месторождений играют горные породы, вмещающие залежи полезных ископаемых. Полезные компоненты из вмещающих пород могут концентрироваться в рудных залежах. На происхождение руд большое влияние могут оказывать климатические и палеотектонические факторы. Они могут обуславливать приуроченность некоторых видов сырья к определенным стратиграфиче-

ским подразделениям. При изучении месторождений следует учитывать палеогеографический фактор, так как от него зависит зональность в распределении минеральных фаций. Так, менее ценные карбонатные руды марганца по мере приближения к древней прибрежной зоне сменяются более ценными окисленными рудами.

Большая роль в условиях образования месторождений полезных ископаемых принадлежит структурно-тектоническим факторам: наличие зон повышенной проницаемости для растворов, в т.ч. разломов и зон расланцевания и дробления, складчатые и разрывные нарушения, тектонические контакты, структурные ловушки, участки выклинивания и др.

Месторождения полезных ископаемых могут возникать практически одновременно с формированием тех или иных горных пород, вмещающих промышленные залежи. Такие месторождения называют сингенетическими (залежи каменного угля в глинистых сланцах или алевролитах, алмазы в кимберлитовых трубках и др.). Во многих случаях залежи полезных ископаемых образуются значительно позже, чем горные породы, вмещающие залежи. Такие месторождения называют эпигенетическими (сульфиды металлов, возникшие из горячих вод и находящиеся в жилах, секущих слои вмещающих пород и др.).

2.2. Морфологические типы тел полезных ископаемых

По особенностям формы тел выделяют три группы полезных ископаемых:

- 1 – изометричной формы, одинаково вытянутые в трех направлениях;
- 2 – тела плитообразной формы, вытянутые в двух направлениях;
- 3 – тела трубообразной формы, вытянутые в одном направлении.

К первой группе относятся т.н. гнезда и штоки. Гнезда – это небольшие тела неправильной (округлой или овальной) формы. Диаметр гнезд обычно равен нескольким метрам, иногда десяткам сантиметров. **Штоки** имеют большие размеры, их диаметр изменяется от десятков, а иногда до тысячи метров. Штокообразные тела неправильной формы, в которых промышленные компоненты расположены в мелких жилах или в виде вкрапленности называются **штокверками**.

К телам, вытянутым в двух направлениях (плоским) относятся пласты, пластообразные тела и жилы. **Пласт** – плитообразное тело осадочного происхождения (сингенетическое), отделенное от вмещающих его пород плоскостью напластования (кровля и почва пласта). Основным параметром пласта – его мощность (толщина). **Пластообразные** тела – залежи, напоминающие по форме пласты, но образовавшиеся в результате магматических или постмагматических процессов, а также явлений по-

следующего процесса в осадочных толщах. *Жилы* – это разнообразные формы простых тел, вытянутых в двух направлениях или расположенных вдоль трещин или других проницаемых зон. Мощность жил колеблется от сантиметров до десятков метров. Иногда жилы ветвятся, т.е. разделяются на несколько жил (эпигенетические образования).

Линзы занимают промежуточное положение между изометричными и плоскими телами. По форме они напоминают чечевицу. Они отмечаются и в осадочных, и в эндогенных месторождениях. *Трубы*, или трубообразные залежи, относятся к телам полезных ископаемых, вытянутых в одном направлении (кимберлитовые трубки взрыва).

При равномерном распределении полезных компонентов внутри тел обогащенные участки последних называются рудными столбами. Их форма может быть гнездовой, линзовидной и др. От тел полезных ископаемых могут ответвляться отростки, получившие название апофиз. Постепенное уменьшение мощности тел полезных ископаемых, вплоть до полного исчезновения, называется *выклиниванием*. Тела полезных ископаемых, контакты которых залегают согласно с залеганием вмещающих пород, называются *согласными*, а если тела пересекают слои осадочных или иных вмещающих пород под углом – *секущими*.

Для оценки ориентирования в пространстве определяют (в градусах) простирание и падение тел полезных ископаемых.

Для некоторых тел определения только азимута падения и простирания недостаточно и тогда вводят понятие о *склонении*. Под углом склонения понимают угол, составленный линией простирания рудного тела и направлением наибольшей вытянутости тела в плоскости его падения. Угол, образованный осью тела полезного ископаемого и ее проекцией на горизонтальную плоскость, называют углом *ныряния* или *скатывания* (характерно для трубчатых тел).

Для месторождений полезных ископаемых, формирование которых связано с поступлением рудоносных растворов и расплавов, большую роль играют пути их проникновения в рудные тела. Выделяют рудоподводящие, рудораспределяющие и рудовмещающие структуры. Рудные залежи приурочены непосредственно к рудовмещающим структурам, в которые рудоносные растворы из глубинных зон проникают по рудоподводящим и далее по рудораспределяющим структурам, представляющим собой локальные разрывные нарушения магматогенного и тектонического происхождения.

Благоприятные условия для рудообразования создаются при наличии различного рода трещин (трещины отрыва, скола, оперяющие и др.), образующихся при деформации горных пород.

2.3. Вещественный состав полезных ископаемых и их текстурно-структурные особенности

Все полезные ископаемые обладают определенным вещественным (минеральным и химическим) составом, строением или текстурно-структурными особенностями, а также некоторым комплексом физических, физико-химических и технологических свойств.

Вещественный состав металлических и неметаллических руд определяется соотношением рудных и сопутствующих им нерудных или жильных минералов. В металлических рудах рудные минералы являются носителями ценных металлов, в неметаллических – ценные минералы служат носителями элементов-металлоидов или сами по себе представляют практический интерес. По составу преобладающей части минералов выделяются следующие типы руд: *самородные* (медь, золото, платина); *сернистые* и им подобные (сульфаты, арсениды и антимониты тяжелых металлов – меди, цинка, свинца, никеля и др.); *оксиды* (оксиды и гидроксиды железа, марганца, хрома, олова, урана, алюминия); *карбонатные* (карбонаты железа, марганца, магния, свинца, цинка); *сульфатные* (сульфаты бария, стронция, кальция); *фосфатные* (апатитовые и фосфоритовые неметаллические руды и др.); *силикатные* (редкие руды железа, марганца, меди, неметаллические полезные ископаемые – слюда, асбест, тальк); *галогидные* (минеральные соли и флюорит).

Типами полезных ископаемых называют их природные разновидности, выделяемые в зависимости от минерального состава, текстурных и структурных особенностей. *Промышленные сорта* включают один или несколько природных типов, разработка которых рентабельна. По степени концентрации ценных минералов различают богатые, рядовые и бедные руды. По генезису руды делят на первичные (неизменные) и вторичные.

Важным показателем вещественного состава руд, влияющих на оценку их качества, служит содержание вредных примесей. Вредные примеси могут снижать качество руд, а в ряде случаев затрудняют их переработку. Сопутствующие ценные компоненты повышают общую ценность руд. Текстурно-структурные особенности полезных ископаемых являются важными показателями оценки качества минерального сырья для технологических целей.

Текстура полезных ископаемых характеризуется формой, размером и пространственным расположением различных минеральных агрегатов. В горной породе выделяются следующие типы текстур: массивная, пятнистая, полосчатая, прожилковая, сферондальная, почковидная, дробленая, пустотная, каркасная, рыхлая.

Структура полезных ископаемых определяется строением и способом сочетания отдельных минеральных зерен или их обломков в пространственно обособленных минеральных агрегатах. Среди структур полезных ископаемых выделяются следующие типы: равномернозернистая, неравномернозернистая, пластинчатая, волокнистая, зональная, замещенное дробление, коломорфная, сферолитовая, обломочная и др. [4,14].

Структурно-текстурным анализом можно выделить последовательность формирования тел полезных ископаемых. Более мелкие отрезки времени, связанные с однотипным характером процесса рудогенеза, названы *стадиями*, а более крупные – *этапами* рудообразования. Образование отдельных месторождений происходит в несколько этапов.

2.4. Генетическая классификация месторождений

Существует множество вариантов классификаций месторождений различных авторов. Вариант предлагаемой классификации, в основу которой положен генетический принцип, разработан В.И. Смирновым (1976). С некоторыми изменениями она является наиболее распространенным вариантом (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Сводная генетическая классификация месторождений полезных ископаемых по В.И. Смирнову

Серия	Группа	Класс
Эндогенная	Магматическая	Полномагматический Ликвационный Раннемагматический Позднемагматический
	Пегматитовая Карбонатитовая Скарновая Гидротермальная	Плутоногенный Вулканогенный Телетермальный
Экзогенная	Выветривания Россыпная	Остаточный Инфильтрационный Элювиальный Делювиальный Проллювиальный Аллювиальный Морской и озерный Гляциальный (моренный и флювиогляциальный)

Серия	Группа	Класс
	Осадочная	Механический Химический Биохимический Вулканогенно-осадочный
	Подземноводная и газонефтяная	
Метаморфогенная	Метаморфизованная	Регионального метаморфизма Контактного метаморфизма
	Метаморфическая	Амобильный Ограниченно-мобильный Мобильный
	Регенерированные	

Например, в серии экзогенных месторождений выделена группа подземноводных, группа магматических месторождений дополнена полномагматическими, а грейзеновые, альбитовые и колчеданные месторождения включены в группу гидротермальных [14].

В формировании месторождений полезных ископаемых принимают участие как *эндогенные* процессы (обусловленные внутренней тепловой энергией Земли, в т.ч. магмой), так и *экзогенные* процессы (связанные с внешней по отношению к Земле солнечной энергией). После завершения формирования месторождений они могут подвергаться различным изменениям. Эти изменения, обусловленные эндогенными процессами, названы метаморфогенными.

2.4.1. Эндогенные месторождения

В серии эндогенных месторождений выделяются следующие группы: магматическая, пегматитовая, карбонатитовая, скарновая, гидротермальная.

Магматические месторождения образуются в процессе становления интрузивных массивов, когда магма жидкая или кашеобразная, когда она еще не закристаллизовалась и присутствует в виде расплава. Формируются месторождения при высоких температурах (700-1500°C). Месторождениями могут быть части интрузивов или отдельные интрузивы целиком (например, строительные граниты).

Если магматическая дифференциация существенно не влияет на форму тел таких полезных ископаемых, и их образование шло в течение всего процесса становления интрузивов, их называют **полномагматическими**. Форма залежей таких месторождений – штоки, дайки и другие тела, присущие интрузивам. Большую роль играют процессы дифференциации на стадии расплава или в процессе кристаллизации. Процесс

дифференциации – разделение единой жидкой магмы на две различные несмешивающиеся жидкие магмы называют *ликвацией*, а месторождения называют *ликвационными*. К ним относят, например, медно-никелевые месторождения, связанные с основными породами. При высоких температурах магматический расплав представляет собой единую сульфидно-силикатную магму. По мере ее остывания сульфидный расплав выделяется из силикатного, образуя под действием гравитации и давления в различных частях магматической камеры сульфидные рудные залежи. Таким образом, формируются секущие инъекционные жилы ликвационных месторождений. Другие формы ликвационных месторождений – гнезда, линзы, штоки.

Промышленные минералы могут выделиться из расплава раньше, чем сопутствующие. Такие месторождения называют *раннемагматическими* (месторождение хромита в Южной Африке). Форма тел полезных ископаемых таких месторождений – пластообразные залежи, линзы, гнезда и др.

К *позднемагматическим* относят месторождения, промышленно-ценные минералы которых образовались позднее основной массы сопутствующих минералов, слагающих магматическую породу (титаномагнетитовые, титановые месторождения, вкрапления руд ильменита на Урале). Форма рудных тел позднемагматических месторождений – жилы, штоки, линзы, реже пластообразные залежи.

Пегматитовые месторождения также тесно связаны с магматическим процессом. Часто месторождения образуются на завершающих стадиях магматического и постмагматического процесса. Наиболее характерны пегматитовые образования по составу породообразующих минералов, отвечающие гранитам, (простые гранитные пегматиты). Но существуют и простые щелочные пегматиты, а также отвечающие ультраосновным магматическим породам. Строение магматических тел во многих случаях зональное. Для пегматитов типично присутствие минералов, содержащих летучие вещества – фтор, хлор, бор, водород и др. Среди гранитных пегматитов А.Е. Ферсман выделил пегматиты чистой линии, расположенные среди гранитов и близких к ним по составу пород, и пегматиты линии *скрещения* или *десилицированные*, связанные с гранитной магмой, но залегающие в породах, резко отличающихся от гранитов по составу – гипербазитах, базитах и карбонатных породах.

В последние годы в геологии развиваются взгляды на метаморфическое происхождение пегматитов. По-видимому, в различной геологической обстановке пегматитообразование может протекать разным путем. Форма тел полезных ископаемых в пегматитах – линзы, штоки, гнезда, жилы, а также пластообразные тела.

Карбонатитовые месторождения связаны с особыми комплексами горных пород, где существенную роль играют ультраосновные, щелочные и эндогенные карбонатные породы – карбонатиты. Эти комплексы характерны для древних платформ. В формировании комплексов прослеживается определенная последовательность. Сначала выделяются более ранние – ультраосновные породы, затем выделяется щелочная магма и формируются щелочные породы. Вмещающие породы преобразуются и по составу приближаются к щелочным. Возникают они за счет гнейсов и других пород (фенитизация). Воздействие щелочной магмы на ультраосновные породы приводит их к замещению амфибол-биотитовыми, флогопитовыми, апатит-магнетитовыми и другими породами и рудами. Затем формируются существенно карбонатные породы – карбонатиты, в которые отмечаются промышленные минералы: магнетит, апатит, пироклор, барит, флюорит, гепатит и др. Морфология тел полезных ископаемых сложнее, здесь формируются трубо- и линзообразные тела, сложные жилы.

Скарновые месторождения формируются в зонах контактов магматических пород с вмещающими их осадочными или эффузивно-осадочными породами. Иногда их отождествляют с контактово-метасоматическими, возникающими в процессе метаморфизма на контактах различных пород. Скарны развиваются как на вмещающих породах, так и по прорывающим их интрузиям. Большинство скарнов возникает на сравнительно небольших глубинах (1-3,5 км) при начальной температуре не менее 600°C. Со скарнами связано формирование ряда видов минерального сырья, в т.ч. месторождения железа, вольфрама, молибдена, меди, олова, свинца и цинка, бора, берилла и др. Форма тел полезных ископаемых скарновых месторождений – линзо- и гнездовидная, штоко- и пластообразная.

Гидротермальные месторождения возникают из горячих водных растворов, циркулирующих в земной коре, а иногда выходящих на поверхность земли. Иногда под гидротермальными месторождениями понимают только те, которые формируются постмагматическими растворами. Однако происхождение растворов может быть различным. Одни растворы возникают на последней стадии кристаллизации магм (ювенильные воды), другие – из циркулирующих вблизи поверхности (вадозные воды) или *элизмических* вод, возникающих при отжатии из горных пород. Наряду с гидротермальными иногда выделяют пневматолитовые месторождения, которые могут формироваться из горючих газов, поступающих из магматических очагов. Гидротермальные растворы переносят различные элементы, из которых формируются те или иные месторождения (уран, золото, вольфрам, олово, сурьма, молибден, свинец и др.).

Глубину образования гидротермальных месторождений обуславливает давление, при котором они создаются. Гидротермальные растворы могут формироваться в приповерхностных частях земной коры (известны растворы, выходящие на поверхность с высокими содержаниями свинца, цинка, серебра, йода, брома – о. Челекен).

Гидротермальные месторождения, связанные с магматическими процессами, разделяют на *плутогенные* (интрузивный магматизм), *вулканогенные* (постмагматическая деятельность вулканов) и телетермальные (иногда их относят к осадочным). При гидротермальном изменении кислых и средних вулканических пород возникают т.н. вторичные кварциты. В их состав входят кварц, серицит, алунит, опал, диаспор и др. В более молодых разновидностях кварцитов встречается самородная сера. Большим разнообразием отличаются формы рудных тел гидротермальных месторождений. Наиболее типичны: жильная, линзовидная и гнездовая. Широко представлены штокообразная и пластообразная формы.

Стратиформные (телетермальные) месторождения – преимущественно пластовые, залегающие в осадочных толщах и не имеющие видимой связи с магматическими образованиями. Обычно они формируются на заключительных стадиях геосинклинального развития и в платформенных условиях. Рудные тела, как правило, представлены пологими пластовыми и линзовидными залежами.

Одни геологи считают их сингенетическими первично осадочными метаморфизованными образованиями, другие относят их к эпигенетическим инфильтрационным.

С месторождениями стратиформного типа связаны значительные залежи полиметаллических месторождений.

2.4.2. Экзогенные месторождения

Месторождения выветривания разделяют на месторождения химического и механического выветривания. Под выветриванием понимают процессы преобразования горных пород под воздействием ряда факторов (в первую очередь физико-химических) в поверхностных или приповерхностных условиях. Под *механическим выветриванием* понимают процесс, который осуществляется без химических преобразований вещества, а в процессе *химического выветривания* возникают новые экзогенные минералы, выносятся ряд компонентов из исходных пород или залежей полезных ископаемых. В большинстве случаев механическое выветривание сопровождается химическим, и процессы определяются по преобладающим факторам. Главным агентом химического выветривания является вода и растворенные в ней вещества. Большую

роль играют растения и животные. Вода не только растворяет те или иные минералы, но и поставляет в область выветривания различные химические реагенты, а также выносит ряд продуктов выветривания из зоны взаимодействия.

Элементы, характеризующиеся малой миграционной способностью, могут накапливаться в верхних частях зоны выветривания и формировать там промышленные месторождения, которые называют *остаточными (механические, химические)*.

Элементы со средней миграционной способностью могут концентрироваться в нижней части коры выветривания, образуя *инфильтрационные* месторождения. В процессе выветривания образуются рыхлые продукты разрушения – *кора выветривания*, сформированные в прежние эпохи – *древние коры выветривания*. Коры выветривания могут быть *линейными и площадными*. В области миграции поверхностных вод выделяют три зоны: *просачивания* (или окисления), *истечения* (под уровнем грунтовых вод) и *зону застойных вод* (пассивного водообмена).

Примеры остаточных месторождений – месторождения латеритных бокситов, железорудные, марганцевые. При выветривании соляных куполов образуются гипсовые шляпы, залежи боратов, самородная сера, нефтяные залежи. При выветривании известны образования инфильтрационных месторождений железа, меди, ванадия, фосфора. Залежи таких месторождений имеют форму линз, пластообразную, гнезд, жил. Скопления эндогенных руд в условиях выветривания испытывают различные изменения. На месторождениях сульфидов могут формироваться гидроксиды железа (лимониты). В сульфидных рудах присутствуют золото, серебро, уранит и др. На медно-колчеданных месторождениях – мелкие месторождения железа, вторичные сульфиды меди и др.

Россыпные месторождения. В процессе физического и частично химического выветривания зерна ряда устойчивых минералов высвобождаются и могут принять участие в формировании промышленных *россыпных* месторождений. Алмазонасные кимберлиты в процессе выветривания являются одной из причин алмазонасных элювиальных россыпей. При разрушении коренных эндогенных месторождений могут образовываться промышленные россыпи золота. Источником полезных компонентов молодых россыпей могут служить более древние россыпи. В результате перемещения материала по склонам гор, в речном потоке воды, в прибрежно-морских и озерных условиях, переноса зерен ветром происходит гравитационная механическая дифференциация вещества.

Среди россыпных месторождений по особенностям их генезиса часто выделяют следующие классы: 1) элювиально-делювиальный; 2) аллювиальный; 3) гляциальный; 4) морской; 5) озерный; 6) золовый и др.

Если сформировавшиеся россыпи перекрыты более молодыми отложениями, их называют *погребенными*. Аллювиальные россыпи - самые распространенные и значительные по размерам. Коренные породы, на которых залегают песчано-глинистые аллювиальные образования с полезными компонентами, принято называть *плотиком* (основание россыпи).

Россыпные месторождения механически постепенно переходят в осадочные (механические осадки).

Осадочные месторождения возникают в водной и воздушной средах. Материал для формирования таких месторождений привносится механическим путем потоками жидкой воды, льда, воздуха или выпадает из воды, содержащей ряд растворенных продуктов. В ряде случаев большую роль в образовании месторождений играют животные и растения, накопившие в себе те или иные вещества. Существенное значение в возникновении месторождений могут иметь материалы, поступающие из вулканических очагов или другим путем, например, в растворах. Большое влияние на формирование осадочных месторождений оказывает климат. Учитывая климат, выделяют три типа осадконакопления: 1) гумидный; 2) аридный; 3) ледовый (Н.М. Страхов). Кроме того, выделяют также эффузивно-осадочный тип литогенеза. В гумидных условиях (повышенная влажность) возникают осадочные месторождения алюминия, железа, марганца, каменного угля и др. В аридных (повышенная температура) образуются месторождения калийно-магниевых солей, поваренной соли, гипса, доломита, фосфора и др. В условиях ледового типа - моренные глины и суглинки, валунно-гравийный материал. Эффузивно-осадочные месторождения - озерная самородная сера, рапа озер, содержащая бор, калий, литий, магний.

Среди осадочных месторождений с учетом характера процесса выделяют классы: 1) - механический; 2) - химический; 3) - биохимический; 4) - вулканогенно-осадочный.

К механическому классу относятся ледниковые образования моренных глин, флювио-гляциальных песков, песчано-глинистые и другие образования, золотые пески, аллювиальные пески и глины, галечники, морские глины, пролювиальные и делювиальные суглинки, глины и др.

В класс химических месторождений входят: калийно-магниевые соли, поваренная соль, гипсы, некоторые месторождения марганца, железа. Одни возникли из истинных растворов (месторождения солей, гипса, ангидритов) другие - из коллоидных растворов (месторождения алюминия, железа, и др.).

Отложения солей формируются в бассейнах с повышенной соленостью. Концентрированный рассол, из которого выделяются твердые соли, называют *рапой*. Последняя может быть поверхностная и погребенная.

бенная (межкристалльная и иловая). Из маточного рассола благодаря испарению последовательно выпадают (по Н.С.Курнакову): 1) – гипс; 2) – галит; 3) – эпсомит; 4) – гексогидрит (сульфат магния); 5) – карналит; 6 – бишофит. В условиях аридного климата известен ряд соляных озер следующих типов: 1) – карбонатный; 2) – сульфатный; 3) – хлоридный. Озера, в которых происходит садка солей, называются «самосадочными».

Миграционная способность компонентов отражается в закономерностях размещения залежей полезных ископаемых по отношению к существовавшей в момент рудоотложения береговой линии. Так, ближе к берегу сформировались руды алюминия, далее – железа, еще дальше – марганца.

Биохимические осадочные месторождения возникают в результате деятельности различных организмов, в т.ч. растений и животных (залежи диатомитов, известняков-ракушечников, каменного и бурого угля, фосфора). Нет единого взгляда на происхождение месторождений нефти и газа. Большинство ученых придерживается *органогенного* происхождения нефти. Однако есть и другие взгляды: в частности, Д.И. Менделеев предложил так называемую карбидную гипотезу (неорганическую).

Вулканогенно-осадочные месторождения возникают при поступлении промышленных компонентов из вулканов (месторождения пемзы, самородной серы, бора, лития, калия). К эффузивно-осадочным относят некоторые месторождения железного и медного колчедана, марганца, свинца, цинка, сформировавшиеся в морских условиях из подводных вулканов.

2.4.3. *Метаморфогенные месторождения*

Метаморфогенные месторождения разделяются на три группы: метаморфические, метаморфизованные и регенерированные. К метаморфическим относят месторождения, возникшие в процессе метаморфизма. Метаморфизованные – это месторождения, изменившиеся в процессе метаморфизма. Регенерированные месторождения формируются в процессе метаморфизма при переотложении вещества за пределами ранее существовавших их концентраций.

Метаморфические месторождения возникают как при контактовом, так и при региональном метаморфизме.

Метаморфизованные месторождения испытали заметные изменения в составе, структуре и текстуре, а также частично в морфологии залежей. Они могут быть *видоустойчивыми* и *трансформационными*. К первым относят месторождения, в которых не изменился вид сырья. Например, при метаморфизме первично-осадочных или вулканогенно-

осадочных железных руд изменяется минеральный состав, минералы переходят в магнетит, но вид сырья не изменяется. Ко вторым относят такие месторождения, в которых в процессе метаморфизма изменился вид сырья (каменный уголь переходит в графит, боксит – в корунд, известняк и др.). Метаморфизм в этих месторождениях может быть контактовый и региональный, как и в видоустойчивых месторождениях.

К регенирированным относят месторождения, тела которых целиком переотложились в процессе метаморфизма под воздействием растворов. Регенирированные месторождения практически неотличимы от гидротермальных.

Формы тел полезных ископаемых метаморфогенных месторождений разнообразны: пластовые залежи, линзы, гнезда, жилы и штоковидные тела.

2.4.4. Техногенные месторождения

Все рассмотренные выше месторождения возникают естественным путем без вмешательства человека. В связи с хозяйственной деятельностью человека формируется ряд образований, которые впоследствии могут представлять промышленный интерес. Например, отвалы горных пород могут в будущем представлять интерес как строительное сырье. *Техногенные месторождения* можно подразделить на *стихийные* и *целевые*. К первым следует отнести отходы обогатительных фабрик, некоторых химических предприятий (например, т.н. «огарки» серного колчедана при производстве серной кислоты). В качестве целевых – вторичные месторождения из межкристалльной рапы в районе Кара-Богаз-Гола и др.

2.5. Промышленные типы месторождений

Принято разделять месторождения полезных ископаемых на три вида: металлические, неметаллические и горючих полезных ископаемых.

2.5.1. Месторождения металлических полезных ископаемых

Из руд месторождений извлекаются и используются в настоящее время более 70 металлов. В зависимости от свойств металлов, определяющих направление промышленного использования, степени распространенности месторождений, их разделяют на следующие группы:

1. Черные и легирующие металлы: железо, марганец, хром, титан, ванадий, никель, кобальт, вольфрам;

2. Цветные металлы: алюминий, медь, цинк, свинец, олово, сурьма, висмут, ртуть;
3. Благородные металлы: золото, серебро, металлы платиновой группы (платина, палладий, иридий, родий, рутений, осмий);
4. Радиоактивные металлы: уран, радий, торий;
5. Редкие и рассеянные металлы: литий, бериллий, рубидий, цезий и др. (см. ниже);
6. Редкоземельные металлы: лантан, церий, празеодим и др.

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

1. Вещественный состав руд;
2. Пространственно-морфологические параметры рудных тел;
3. Масштаб месторождений, т.е. количество запасов руд основных металлов и сопутствующих компонентов.

2.5.1.1. Черные и легирующие металлы

Железо образует свыше 450 минералов, но промышленное значение имеют немногие оксиды: мартит и гематит Fe_2O_3 ; магнетит Fe_3O_4 ; сидерит $FeCO_3$; гидрогетит (лимонит) $HFeO_2$ и некоторые другие. Содержание железа в промышленных рудах изменяется от 15 до 70%. Руды, содержащие 45% железа, считаются богатыми, менее 45% – бедными, нуждающимися в обогащении.

Железные руды – основа черной металлургии. Главные продукты металлургического производства – чугуны, сталь и железо, которые отличаются друг от друга содержанием углерода и различными технологическими свойствами. Около 90% чугуна является «передельным» и переплавляется в сталь в мартеновских печах или конвертерах.

Месторождения железных руд встречаются практически во всех генетических группах. Основной промышленный тип – метаморфогенные месторождения. Второе место занимают скарновые месторождения (эндогенные), третье – осадочные (экзогенные).

Метаморфогенные месторождения представлены залежами железистых кварцитов и богатых магнетитовых руд, образовавшихся в коре выветривания железистых кварцитов. Месторождения залегают в метаморфизованных морских осадочных толщах докембрийских геосинклиналией, составляющих кристаллические щиты и складчатый фундамент древних платформ. Типичным представителем является железорудный бассейн Курской магнитной аномалии, включающий несколько месторождений железистых кварцитов – Михайловское, Лебединское, Стойленское, Яковлевское и др. Главными рудными минералами в

кварцитах являются магнетит, гематит, кварц. Среднее содержание железа в кварцитах – 32-36 %. Богатые маритовые и железно-слюдково-маритовые железные руды коры выветривания содержат 64-69 % железа.

Кроме месторождений КМА, известны метаморфогенные месторождения железа в Карелии (Оленегорское и др.), на Южном Урале (Тарабашское) и за рубежом — Криворожский бассейн на Украине, Кормакпайское – в Казахстане, Минас-Жерайс – в Бразилии, Хамерсли – в Австралии.

Скарновые (эндогенные) месторождения возникают на контакте карбонатных пород с гранитоидами и другими породами. Содержание железа в магнетитовых рудах достигает 20-70%. Такие месторождения имеются на Урале (Магнитогорское), Хакасии (Абаканское), в Кустанайской области (Сарбайское, Качарское и др.).

К **осадочным месторождениям железных руд** относятся морские и континентальные. Морские месторождения – объекты крупные, на их долю приходится до 30% мировой добычи железных руд. Они приурочены к мелководным прибрежным участкам древних морских бассейнов. Выделяются пластовые тела гематитовых, гидрогетитовых и сидеритовых руд с содержанием железа 20-50%. Известны Бакальское месторождения на Южном Урале (в протерозойских сланцево-карбонатных отложениях), Керченский железорудный бассейн (Украина). Оолитовые руды приурочены здесь к крупным мульдам и прогибам в зоне развития грязевого вулканизма. На Западе – это Лотарингский железорудный бассейн, локализованный в пяти мульдах.

Осадочные континентальные месторождения железа озерно-болотного типа, в древних речных отложениях, из-за низких содержаний железа (30-40 %) не имеют большого промышленного значения.

Кроме перечисленных, известны и другие типы месторождений железа.

Марганец. Известно более 150 минералов, содержащих марганец. Промышленные минералы: пиролюзит, MnO_2 ; браунит, Mn_2O_3 ; гаусманит, Mn_3O_4 ; манганит, $MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$ и др. Содержание марганца в них достигает 72 %. В металлургии используют руды с содержанием 30-36 % марганца. Основным потребителем марганцевых руд является металлургическая промышленность (производство ферромарганцев). Около 5 % руд используется в цветной, электротехнической, керамической промышленности.

Промышленные типы месторождений представлены: 1) осадочными; 2) вулканогенно-осадочными; 3) выветривания; 4) метаморфогенными. Практическое значение имеют, в основном, осадочные месторождения.

Эти месторождения образуются в мелководных зонах морских бассейнов. По мере углубления бассейна происходят фациальные изменения в составе марганценовых осадков: вблизи береговой линии образуются богатые руды, а по мере углубления содержание марганца уменьшается. Промышленное значение имеют окисленные карбонатные руды, содержащие 30-40 % Mn. Наиболее богата кварц-глауконитовая песчано-глинистая формация – Никопольское (Украина), Чиатурское (Грузия), Мангышлакское (Казахстан) и другие месторождения.

Метаморфогенные месторождения возникают в результате регионального и контактного метаморфизма на первично-осадочные и вулканогенно-осадочные месторождения марганца. Это богатые руды марганца (30-52 %) в Казахстане (Джездинское), Индии, Бразилии, на Урале (Кусимовское) и др.

Хром. Известны более 25 минералов, содержащих хром. Наиболее распространенные разновидности хромита: магнохромит – $(Mg,Fe)Cr_2O_4$, хромпикатит – $(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$, алюмохромит – $(Fe,Mg)(Cr,Al)_2O_4$. Содержание хрома в них составляет до 65 %.

Среди руд хрома выделяются богатые (37-47 % Cr_2O_3) и бедные (12 % и выше). Половина хромитов используется в черной металлургии. Наибольшую ценность среди руд хрома представляет магнохромит.

Среди месторождений хрома выделяются следующие типы: 1) магматические; 2) россыпные. Магматические месторождения связаны с комплексами ультрамафитов и мафитов.

К магматическим относят раннемагматические месторождения: Бушveldский массив в ЮАР и месторождения в Зимбабве; позднемагматические на Кавказе, в Сибири, на Чукотке и, главным образом, на Урале.

Элювиально-делювиальные россыпи хромитов образуются вследствие выветривания коренных магматических месторождений, например, валунчатые руды Сарановского месторождения (Средний Урал), элювиальные месторождения Алапаевского и Варшавского месторождений Урала и др.

Титан. Титановые руды служат источником получения титана, которые используются как непосредственно, так и в качестве легирующего металла. Промышленные минералы титана: ильменит $FeTiO_3$, рутил и анатаз TiO_2 , лейкоксен (продукт изменения ильменита). Минерал титана – титаномагнетит – существует только при высоких температурах, а затем распадается на магнетит и ильменит.

Среди основных месторождений титана выделяют следующие типы: 1) магматические в основных (реже в щелочных) породах; 2) россыпные; 3) метаморфогенные.

К магматическим относятся ильменит-титаномагнетитовые руды Малотогольского месторождения (Иркутская обл.), месторождения в США (Лак-Тио, Тегавус). На Качканарском месторождении титаномагнетит используют как железную руду с попутным извлечением ванадия.

Среди россыпных месторождений титана известны прибрежно-морские россыпи (рутил и ильменит) в Австралии, Индии, США, и в России – Ставропольское поднятие, Западная Сибирь, Иркутский угленосный бассейн и др.

Ванадий. Главным сырьем для производства ванадия в России служат титано-магнетитовые руды. Известны около 70 минералов, содержащих ванадий. Промышленный интерес представляют минералы: роскоэлит $KV_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$, карнотит $K_2U_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ и др. В основном ванадий используется в металлургической промышленности для легирования чугуна и стали.

К промышленным месторождениям ванадия принадлежат: 1) магматические; 2) скарновые; 3) осадочные; 4) метаморфогенные образования. Примером магматических месторождений является Качканарское железорудное месторождение (на Урале). Скарновые месторождения известны в Чили. В России это Осокино-Александровское (на Урале). Ванадиевоносные зоны окисления полиметаллических месторождений известны в Африке, США, Австралии, Каратау (Казахстан).

К осадочным принадлежат ванадийсодержащие сланцы Прибалтики, небольшие россыпи на Курилах. Метаморфизованные месторождения – ильменит-магнетитовые руды Финляндии, США, Кусинское месторождение на Урале, Кольском полуострове (Цагинское месторождение).

Никель и кобальт. Потребителем никеля и кобальта является металлургическая промышленность. Оба элемента имеют близкие геохимические свойства. Они встречаются в никель-кобальтовых, кобальт-никель-серебряных и других рудах. На магматическом этапе никель и кобальт концентрируются в генетической связи с ультраосновными и основными магмами. В экзогенных условиях никель накапливается в коре выветривания, а кобальт – в зоне выветривания гипербазитовых массивов. Минералами сульфидных руд никеля являются пентландит $(Fe, Ni)_9S_8$, миллерит NiS и пр., в силикатных рудах – гарниерит $Ni_4(SiO)_6 \cdot H_2O$, непунит $12NiO_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$, в зонах окисления мышьяко-содержащих руд – аннабергит – $Ni_3As_3O_8 \cdot 8H_2O$ и др. Кобальт входит в состав арсенидов, сульфидов, карбонатов. В России преобладают магматические медно-никелевые месторождения, плутоногенные гидротермальные месторождения коры выветривания и др. Крупнейшие – Талнахское и Октябрьское месторождения сульфидно-медно-никелевых руд (ликвационные). Из зарубежных – Содбери, Гомпсон (Канада). Плутон-

ногенные гидротермальные месторождения есть в Туве, Марокко. Месторождения выветривания – это Кемпирсайское на Урале, на о. Новая Каледония, Индонезии, на Кубе и др.

Вольфрам и молибден зачастую встречаются в постмагматических месторождениях совместно. Вольфрам и молибден используются в металлургии. Вольфрам в чистом виде используется в электротехнике для получения твердых сплавов и др. Молибден также используется в металлургии для получения тугоплавких металлов. Основные промышленные минералы вольфрама: вольфрамит $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_4$, шеелит CaWO_4 , ферберит FeWO_4 и др. Минералы молибдена: молибденит MoS_2 , молибденошеелит $\text{Ca}(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4$ и др. Месторождения вольфрама и молибдена относятся к двум генетическим типам: гидротермальному и скарновому. Примером первого типа является Джидинское месторождение в Бурятии, там же имеются аллювиальные россыпи шеелита. Примером скарнового месторождения молибдено-вольфрамовых руд является Тырныауз (на Кавказе).

2.5.1.2. Цветные металлы

Медь. Находит широкое применение как в чистом виде, так и в соединении с цинком (латунь), оловом (бронза) и др. Известно более 200 минералов меди. Главные из них: самородная медь, халькозин Cu_2S , халькопирит Cu-FeS_2 , ковеллин CuS , борнит Cu_5FeS_4 , куприт Cu_2O , малахит $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ и др.

Промышленные месторождения меди относятся к следующим группам: магматические, карбонатитовые, скарновые, гидротермальные, колчеданные, стратиформные. Примером магматического типа может служить Талнах-Октябрьская группа медно-никелевых руд (Норильск). Скарново-медные месторождения находятся на Урале (Турьинская группа). Крупнейшие колчеданные месторождения расположены на Урале (Гай, Сибай) и за рубежом (Турция, Кипр, Югославия, Испания и др.). Известны Удоканское стратиформное месторождение пластового типа медистых песчаников, а также подобное ему в Казахстане (Джезказган).

Свинец и цинк. Эти элементы встречаются совместно с другими металлами (медь, золото, серебро), образуя полиметаллические месторождения. Главные минералы свинца: галенит PbS , джемсонит $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{SO}_4$, церуссит PbCO_3 и др. Для цинка основными минералами служат сфалерит ZnS , вюртцит ZnS , смитсонит ZnCO_3 и др. К промышленным типам месторождений свинца и цинка относят: 1) скарновые; 2) гидротермальные; 3) колчеданные; 4) стратиформные; 5) метаморфизованные. Наиболее известные месторождения скарнового типа распо-

ложены в Приморье, гидротермальные – в Забайкалье (Благодатное), стратиформные – в Казахстане (Миргелимсай), колчеданные – на Рудном Алтае (Зыряновское, Риддер и др.), метаморфизованные – на Енисейском Кряже, в Прибайкалье и др.

Алюминий благодаря своей легкости, антикоррозионности и другим качествам нашел широкое применение в авиапромышленности, электротехнике и др. Главные промышленные минералы: бемит и диаспор HAlO_2 , гидроаргиллит $\text{Al}(\text{OH})_3$, нефелия $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$, алунит $\text{KA1}_3(\text{OH})_6 [\text{SO}_4]_2$ и др. Эти минералы входят в состав алюминиевой руды – бокситов. Это горная порода, состоящая из гидроокислов алюминия, окислов и гидроокислов железа, глинистых минералов, кварца. Все промышленные типы бокситовых месторождений относятся к магматическим и метаморфическим экзогенным образованиям – выветривания и осадочные. Вторые подразделяются на остаточные латеритные (Висловское месторождение КМА) и переотложенные (Арканзас, США) Осадочные платформенные месторождения бокситов приурочены к краевым частям синеклиз, часто связаны с угленосными осадками (Тихвинская группа – периферия Московской синеклизы). К осадочным геосинклинальным приурочен крупнейший бокситовый регион – Северо-Уральский район (Красная Шапочка).

Олово является основным материалом при изготовлении белой жести. По выражению А.Е. Ферсмана, олово – «металл консервной банки». Главный промышленный минерал олова – касситерит SnO_2 , реже встречается станин $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ и др. Все коренные месторождения олова разделяются на три формации – пегматитовую, касситерит-кварцевую и касситерит-сульфидную. Пегматитовые месторождения олова известны в Восточной Сибири, в Заире и др. Практическое значение имеют кварцево-рудные жилы касситерит-кварцевой формации (Иультин на Чукотке, Ононское в Забайкалье и др.). Основным источником добычи олова в России являются месторождения касситерит-сульфидной формации (Китильское в Карелии, Депутатское в Якутии, месторождения на Дальнем Востоке и др.). Оловоносные россыпи касситерита известны на Чукотке, в Приморье, Якутии.

Сурьма и ртуть встречаются совместно, образуя сурьмяно-ртутные, ртутно-сурьмяные или самостоятельные сурьмяные и ртутные руды. Основной минерал сурьмы – антимонит (Sb_2S_3), ртути – киноварь (HgS), общий минерал – лингвистанит (HgSb_4S_7). Потребителем сурьмы являются химическая, стекольная, стекольно-керамическая, электронная промышленности; ртути – медицина, химия, сельское хозяйство и др. Все промышленные месторождения сурьмы и ртути относятся к гидротермальному типу. Россыпные месторождения ртути встречаются редко. Известны месторождения ртути в Испании, в Забайкалье, на Чукотке

(Пламенное), Камчатке (Чемкура), в Средней Азии (Хайдаркан), на Украине (Никитовское); стратиформные месторождения сурьмы находятся в Якутии (Сарылахское).

Висмут используется при получении легких сплавов. Висмут образует самостоятельные минералы – самородный висмут и висмутин Bi_2S_3 . Основная ценность висмута как металла – легкоплавкость. Он применяется в приборостроении, для изготовления предохранителей, огнетушителей и др. Типы месторождений: грейзеновые, скарновые, гидротермальные. В скарновых месторождениях висмут встречается вместе с вольфрамом в шеелитовых скарнах (Приморье – Восток II).

Магний. Главным видом магниевой сырья являются: доломит $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$, магнезит MgCO_3 , бишофит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, морская вода. Сплавы магния с алюминием, цинком и марганцем отличаются высокой прочностью и легкостью. Месторождения доломита – осадочного происхождения, скопления магнезита – гидротермального. Уникальное месторождение бишофита (Волгоградское) находится в соляном бассейне Прикаспия, в породах кунгурского яруса нижнеермской системы.

Золото. Главным образом оно составляет золотой запас, оседая в сейфах национальных банков. Остальное золото используется для изготовления ювелирных изделий, в электронной технике, медицине, химии и др. Важнейшим промышленным минералом является самородное золото, остальные золотосодержащие минералы (их около 20) заметной роли в производстве золота не играют (электрум – Au, Ag , аурикуприт, костелит – Ag,Au , сильванит – Au, Ag,Te и др.) Среди промышленных месторождений золота выделяются: 1) гидротермальные; 2) метаморфогенные; 3) россыпные. Золото встречается во всех эндогенных генетических типах рудных месторождений (за исключением пегматитов), в экзогенных – выветривания и россыпной, а также в метаморфизованных месторождениях. Промышленное значение имеют в основном гидротермальные, россыпные и метаморфизованные месторождения. Гидротермальные месторождения золота расположены на Урале (Кочкарское золото-мышьяковистое месторождение), в Забайкалье (Балейское рудное поле), в Узбекистане (Мурунтау), россыпи бассейна р. Бодайбо и др.

Серебро. Главнейшие минералы серебра – самородное серебро Ag , аргентит Ag_2S , прустит Ag,AsS_3 , электрум Ag,Au и др. Серебро используется для изготовления монет и ювелирных сплавов, в электротехнической промышленности и др. Сплавы применяются в ракетостроении, в медицине и др. Около 70-75 % серебра извлекается попутно из руд цветных металлов. Повышенные концентрации серебра находятся в магматических, медно-никелевых, карновых, гидротермальных и осадочных месторождениях. Золоторудные залежи исключительно благо-

приятны для накопления серебра – месторождения Урала, Забайкалья, Северо-Востока России.

Группа платины. В этой группе объединяются платина и пять платиноидов: палладий (Pd), родий (Rh), осмий (Os), рутений (Ru), иридий (Ir). Главные минералы: поликсен – Pt,Fe, палладиастая платина – Pt,Pd, иридиастая платина – Pt,Ir и др. Основной потребитель платины и ее сплавов – химическая и ювелирная промышленность. Главные генетические группы – магматическая и россыпная. Месторождения первого типа расположены на Урале, в Сибири. Россыпи платины, аналогичные золотоносным, имеются на Урале.

2.5.1.3. Радиоактивные элементы

Уран. В природе уран образует большое число минералов. Промышленное значение имеют: уранинит – $n\text{UO}_2 \cdot m\text{UO}_3$, настуран (урановая смолка), коффинит – $\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}\text{OH}_x$, браунерит – UTi_2O_6 и др. Все минералы урана радиоактивны. Уран используется в качестве атомного топлива. Наиболее распространены гидротермальные, инфильтрационные и осадочные образования. Есть месторождения урана магматического и пегматитового происхождения. Известны месторождения урана в Намибии, США, Австралии, Канаде и ЮАР.

Торий. Известны три десятка ториевых и торийсодержащих минералов, главные из которых торианит – ThO_2 , торит – ThSiO_2 , ураноторит – $(\text{Th,U})\text{SiO}_4$ и др. Используется торий в электровакуумной, высокоогнеупорной технике, как катализатор и в ториевых реакторах. Собственно ториевые месторождения не выявлены, и торий извлекается из преимущественно редких и редкоземельных минералов. Такие месторождения известны в эндогенной, экзогенной и метаморфогенной сериях (магматических – в Скандинавии, карбонатитовых – в США, пегматитовых – в Канаде, альбититовых – в Нигерии и др.

2.5.1.4. Редкие и рассеянные элементы

К редким элементам обычно относят литий – Li, цезий – Cs, рубидий – Rb, бериллий – Be, ниобий – Nb, тантал – Ta, цирконий – Zr, гафний – Hf, и т.н. лантаноиды (TR).

Редкие и рассеянные элементы используются в современной промышленности благодаря ряду уникальных свойств: в атомной энергетике, ракетостроении, радиоэлектронике и др. Месторождения редких и рассеянных элементов характеризуются низкими содержаниями в рудах, которые поэтому требуют обязательного обогащения. Эти руды зачастую комплексные, одновременно содержащие несколько компонентов.

Большинство редких элементов и их минералов (лития – сподумен, лепидолит, петалит; цезия – поллуцит; бериллия – бериллы и фенакит; циркония и гафния – циркон и др.) связано с месторождениями гранитных пегматитов и пневматолитово-гидротермальных жил, а также россыпями, не образуя собственных месторождений. Некоторые редкие элементы (литий, цирконий, стронций и др.), находятся в межкристальной рапе высохших озер и подземных водах повышенной минерализации нефтяных и газовых месторождений.

2.5.2. Месторождения неметаллических полезных ископаемых

К неметаллическим относятся 130 промышленных видов полезных ископаемых, которые используются в естественном виде или после предварительной переработки. По принципу промышленного применения с учетом ведущих полезных свойств они делятся на три группы:

1. **Индустриальное сырье:** драгоценные, поделочные и технические камни – алмаз, рубин, сапфир, изумруд, гранаты и др.; пьезооптическое и электротехническое сырье – пьезокварц, исландский шпат, оптический флюорит, мусковит, флогопит; тепло- и звукоизоляционные, кислото- и щелочноупорные, а также огнеупорные материалы и добавочное сырье для металлургии – графит, асбесты, тальк, магнезит и др., природные сорбенты – цеолиты, бентониты и др.

2. **Химическое и агрохимическое сырье:** минеральные соли – калийная, поваренная, природная сода и др., фосфатное сырье – апатиты, фосфориты, серное и борное сырье.

3. **Минеральное сырье для промышленности строительных материалов:** для производства заполнителей, легких бетонов и теплоизоляционных материалов – пемза, различные туфы, диатомиты, трепелы, опоки; строительный и облицовочный камень – изверженные, осадочные и метаморфические горные породы; сырье для получения вяжущих материалов – глина, ангидрит, строительный песок, песчано-гравийные материалы, керамическое сырье – глины, каолины, стекольное сырье.

2.5.2.1. Индустриальное сырье

Алмазы и цветные камни. Алмаз – самый твердый минерал (углерод – С). Алмазы разделяются на ювелирные и технические. К ювелирным алмазам относят кристаллы без дефектов, красивой и равномерной окраски. Алмазы подвергаются огранке и полировке, после чего называются бриллиантами. Технические алмазы делятся по значимости на ряд групп – борт, баллас, карбонадо и конго. Известны синтетические

алмазы. И те, и другие используются для изготовления буровых коронок и в другой технике.

Встречаются алмазы в месторождениях магматического и россыпного типов. Магматические месторождения пространственно и генетически связаны с трубообразными телами кимберлитов. Последние встречаются на всех континентах, образуя в Африке и на Сибирской платформе наиболее мощные узлы. Источниками россыпных месторождений считают те же кимберлиты (Индия, Урал, о. Калимантан).

Драгоценные и поделочные камни могут быть представлены как отдельными кристаллами (рубин, алмаз, изумруд и др.), так и агрегатами (бирюза, хризолит, алунит, нефрит, родонит, обсидиан и др.). Одни из них используются только как ювелирные и поделочные камни (изумруд и др.), другие – в качестве технического камня. Внутри класса драгоценных камней выделяют 4 порядка: I) алмаз, изумруд, рубин, синий сапфир; II) александрит, сапфиры иной окраски, черный опал; III) благородная шпинель, опал, аквамарин, топаз, адуляр, красный турмалин; IV) турмалин иной окраски, сподумен, циркон, бирюза, хризолит, амethyst и др. К поделочным камням относят яшмы, гранит, мраморный оникс, обсидиан, авантюрин и др.

Качество драгоценных и поделочных камней оценивается различными ГОСТами и ТУ. Месторождения драгоценных и поделочных камней известны во многих странах мира. Среди них встречаются: магматический, пегматитовый, карбонатитовый, контактно-метасоматический, гидротермальный, выветривания, осадочный, россыпной и метаморфогенный типы. Разрабатываются месторождения, главным образом, открытым способом.

Графит представляет собой минерал, имеющий в составе чистый углерод С. Он обладает листовой структурой с большим расстоянием между слоями. Графит обладает высокой электропроводимостью и теплопроводностью. Графит используется в атомной энергетике, в литейном деле, при изготовлении смазочных материалов, красок и др.

Среди месторождений графита выделяются следующие генетические типы: магматический, контактно-метаморфический, пегматитовый и метаморфический. Последний является ведущим в добыче графита. Рудные тела – пласты и жилы, мощность которых измеряется метрами. Имеются и линзообразные тела. Примеры месторождений: Тайгинское на Урале, Ногинское в Эвенкийском автономном округе, а также месторождения на Украине, Мадагаскаре, Индии и пр.

Слюда. К слюдам относятся мусковит, флогопит и вермикулит. Используется слюда в электропромышленности, производстве радиодеталей и конденсаторов, электроизоляторов, для тепло- и звукоизоляции. Среди месторождений выделяются следующие генетические типы:

1) магматический; 2) пегматитовый; 3) карбонатитовый; 4) скарновый; 5) выветривания и 6) метаморфогенный. Пегматитовый тип – единственный источник листового мусковита (Майско-Чуйский район). Месторождения флогопита, в основном, карбонатитового (Ковдор) и скарнового (Алданские) типов. Форма рудных тел – пласто- и линзообразные. Подавляющее большинство месторождений слюды расположены в Индии и Бразилии.

Асбест. К асбестам относят минералы, способные расщепляться на тонкие прочные волокна, напоминающие хлопок или шерсть. Это серпентин-асбесты и амфибол-асбесты. Первый часто называют хризотил-асбестом. Используются асбесты (текстильные сорта) для получения асбопряди и ткани, применяемых для изготовления дисков сцепления, прокладок, кровельного материала, асбоцементных изделий, кислотоустойчивых пластмасс. Промышленные типы месторождений асбеста связаны с метаморфическими процессами и гидротермальным метасоматозом. В России известны месторождения на Урале (Баженовское), в Сибири (Аспагашское), Карелии (Вошминский массив). Крупные месторождения асбеста обнаружены в Африке, Китае, США и др.

Кроме того, к нерудным полезным ископаемым относят тальк ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$), флюорит (плавиковый шпат) CaF_2 , источник фтора, барит $BaSO_4$, источник бария, пьезокварц, исландский шпат (кальцит) $CaCO_3$, корунд (Al_2O_3).

2.5.2.2. Химическое и агрохимическое сырье

Фосфор. Наиболее широко встречаемый минерал фосфора – апатит: фторapatит – $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$, хлорapatит – $Ca_{10}(PO_4)_6Cl_2$ и др. В основном фосфор применяется в туковой промышленности, т.е. в производстве минеральных удобрений. Кроме того, соединения фосфора используют при производстве моющих средств, а фосфорные кислоты – в химической промышленности.

Среди месторождений фосфора выделяются следующие генетические типы: 1) магматические, 2) карбонатитовые; 3) контакто-метасоматические; 4) гидротермальные; 5) выветривания; 6) осадочные; 7) метаморфизованные.

Представителем магматических месторождений является группа месторождений в Хибинах и Левозерское, карбонатитовых – Ковдорское, выветривания – Ашинское на Урале, Телекское на Алтае, осадочных – Егорьевское и др. Из зарубежных известно крупное месторождение фосфоритов в Каратау (Казахстан).

Сера. Важнейшие источники серы – самородная сера, сульфиды железа (пирит FeS_2 , пирротин и марказит), сероводород природных горячих газов, сернистые нефть, гилс и др.

Сера широко применяется в химической промышленности (производство серной кислоты), в целлюлозно-бумажном, фармацевтическом производстве, для получения ВВ, инсектофунгицидов и др. Самородную серу добывают в России, Туркменистане, на Украине и других странах.

Среди месторождений серы можно выделить следующие генетические типы: 1) магматический; 2) карбонатитовый; 3) скарновый; 4) гидротермальный и пневматолитовый; 5) вулканогенно-осадочный; 6) подземно-водный; 7) осадочный.

К магматическим относятся ликвационные медно-никелевые месторождения, где сера формирует сульфиды железа, меди, никеля, кобальта и других металлов, например, Талнахское месторождение. К скарновым относятся Турьинские медные рудники Урала и др. На Украине известен Предкарпатский сероносный район.

Бор. Наиболее важные минералы бора: бораты – котоит, сассолин и др; боросиликаты – датолит, данбурит, турмалин и др.

Бор применяется в стекольной и керамической промышленности. В металлургии он используется для получения ряда сплавов, применяемых для изготовления турбин, процессоров и др. Он применяется также при получении твердых сплавов.

Среди месторождений бора выделяются следующие генетические типы: 1) скарновый; 2) гидротермально-пневматолитовый; 3) выветривания; 4) осадочный; 5) эффузивноосадочный; 6) подземно-водный.

К скарновому типу относится Дальнегорское месторождение Приморья, борно-железородные месторождения Якутии. К подземно-водным формациям – боросодержащие подземные воды главным образом нефтеносных районов. Крупные месторождения боратов – Индерское в Казахстане (месторождение выветривания), Крамер (Калифорния).

Минеральные соли. Месторождения природных минеральных солей разрабатываются с целью получения соединений натрия, калия, магния, хлора, брома и других элементов. Основные минералы, из которых получают эти элементы или их соединения, следующие: галит NaCl , сильвин KCl , бишофит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, карналлит $\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ангидрит CaSO_4 , гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и др. Приведенные минералы формируют горные породы: галит – каменную соль, сульфаты калия и магния – лангбейнит. Сильвин-галитовая порода называется сильвинитом и т.д. Рассматриваемые виды минерального сырья довольно широко используются в народном хозяйстве.

Среди месторождений этого вида сырья можно выделить следующие типы: 1) магматические; 2) гидротермальные; 3) современных осадков; 4) бассейно-водные и подземно-водные; 5) осадочные; 6) эффузивно-осадочные.

Первостепенное значение в добыче солей играют осадочные месторождения. Среди них выделяются пластовые и солянокупольные. Главное разделение осадочных месторождений солей принято проводить по видам сырья. По этому признаку выделяют формации: каменной соли, сульфидных солей калия и магния, хлоридных солей магния, сульфатных солей натрия и магния, гипса, ангидрита, а также доломита и магнезита. Примером осадочного типа месторождений каменной соли является месторождение с пластовой формой тел полезного ископаемого – Соликамское, Старобинское месторождение калийных солей (Солигорск), солянокупольное – Илецкое в Казахстане. Разработка таких месторождений ведется подземным способом.

Стронций. Основными стронциевыми минералами, представляющими промышленный интерес являются: целестин – SrSO_4 , стронцианит – SrCO_3 , бербанкит – $\text{Na}_2(\text{Ca,Ce,La,Ba,Sr})_2[\text{CO}_3]_2$. Соли стронция используются при изготовлении телевизоров, постоянных магнитов, в пиротехнике; металлический стронций — в сплавах, повышая твердость и снижая электропроводность. Промышленными являются следующие генетические типы: 1) магматический; 2) карбонатитовый; 3) гидротермальный; 4) вулканогенно-осадочный; 5) фильтрационный. Высокие содержания стронция отмечаются в подземных хлоридно-кальциевых растворах.

2.5.2.3. Месторождения строительных материалов

Глины и каолины (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3) состоят в основном из тонкодисперсных частиц глинистых минералов. Обычно глины содержат зерна кварца, полевых шпатов и других минералов, а также карбонаты, сульфиды, гидроксиды железа и др. К камнеподобным относят уплотненные глинистые породы – аргиллиты. Глины характеризуются рядом свойств, которые учитываются при их промышленном использовании: пластичностью, воздушной и огневой усадкой, пористостью, огнеупорностью, спеканием, гигроскопичностью и набуханием, адсорбционной способностью и др.

Каолин – разновидность глин, он возникает в результате преобразования исходных пород, которое происходило во время выветривания. Глины же формируются при переотложении дисперсного материала, преимущественно в воде. Особое название получила порода лёсс, который формируется в воздушной среде золовым путем.

С учетом свойств и состава глин можно выделить следующие группы: 1) каолины; 2) огнеупорные и тугоплавкие глины; 3) высоко-сорбирующие глины; 4) легкоплавкие глины.

Среди месторождений глин, каолина и аргиллитов выделяются следующие типы: 1) гидротермальный; 2) выветривания; 3) осадочный; 4) эффузивно-осадочный.

Добыча глин ведется в огромных масштабах, их месторождения расположены практически во всех уголках мира.

Из полевых шпатов наиболее распространены микроклин — $K[AlSi_3O_8]$, ортоклаз (тот же состав), плагиоклазы (альбит — анортит), санидин, акортотлаз. Известны ювелирные поделочные разновидности полевых шпатов: лабрадор, лунный камень, солнечный камень. Полевые шпаты используются в керамической промышленности, при получении стекла, сварочных электродов, эмалей. Ведущие страны — США, Россия, ФРГ и др.

Воллостонит $Ca_3(Si_3O_9)$ применяется в производстве керамики (облицовочные плитки, электроизоляторы, сантехика), минеральной ваты, огнеупоров, красок и др. Добыча ведется в США, Финляндии, Индии и др. Среди месторождений известны следующие типы: эндогенный (скарновый) и метаморфический.

Магнезит и брусит. Магнезит — карбонат магния $MgCO_3$; брусит — гидроксид магния $Mg(OH)_2$, используются в виде продуктов термической обработки и реже в естественном виде. Каустический магнезит служит основой магнезиального цемента, применяемого при производстве различных строительных, отделочных, термо- и звукоизоляционных материалов и огнестойких красок. На базе брусита получают высококачественные огнеупоры. Сырой магнезит применяют при производстве радиодеталей. Добыча магнезита сосредоточена в Корее, Австрии и Китае. Брусит добывается в России, США и Канаде. Выделяются следующие типы промышленных месторождений магнезита и брусита: гидротермальные, инфильтрационные, выветривания.

Гипс и ангидрит. Эти названия применяют как к известным минералам — водосодержащему гипсу $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и безводному ангидриту $CaSO_4$, так и к горным породам, сложенным этими минералами. Тонкозернистый гипс известен под названием алебастр. Важнейшее свойство гипса — возможность при нагревании дегидратировать, а при разбавлении водой давать пластичное тесто, способное снова твердеть, превращаясь в искусственный камень. Из строительного гипса (алебастра) делают перегородки, плиты, сухую штукатурку. Гипс высокого качества применяют в формовочно-фаянсовом производстве, для изготовления моделей, в хирургии и стоматологии. Используется гипс в качестве облицовочного камня и пр.

Среди месторождений гипса и ангидрита выделяются следующие типы: 1) карбонатитовый; 2) выветривания; 3) осадочный; 4) флювиационный.

Ведущим является осадочный тип месторождений. Он представлен как гипсами, так и ангидритами, формирующими залежи пластового типа. Примеры таких месторождений: Новомосковское в Тульской области, Заларинское в Сибири. К месторождениям выветривания относится гипсовая залежь Илецкого месторождения в Оренбургской области.

Карбонатные породы. В промышленности используются различные карбонатные породы: известняки, в т.ч. мел, доломиты (в т.ч. доломитовая мука, мергели, известковые туфы и др.). Кроме того, используется образование карбонатного состава «ракушка», которая состоит из раковин и их обломков.

Состав карбонатных пород играет большую роль в их оценке как промышленного сырья. Наиболее благоприятен однородный состав, т.к. неоднородность вызывает непостоянство физико-механических свойств; снижает качество карбонатного сырья присутствие сульфидов, слюд, глауконита, фосфата. Вредным может быть наличие железа (например, при использовании карбонатов в стекольной промышленности). Большое значение карбонатные породы имеют для производства вяжущих веществ, в т.ч. строительной извести, а главное – цемента. Применяются карбонатные породы в производстве кальцинированной соды, суперфосфата, едкого калия и др. Доломиты используются как огнеупоры и т.п.

Среди месторождений карбонатных пород выделяются следующие типы: 1) карбонатитовый; 2) гидротермальный; 3) выветривания; 4) осадочный; 5) подземно-водные; 6) метаморфогенный.

Представителем *карбонатитового* типа является Ковдорское месторождение кальциевых карбонатитов, использующихся для получения силикатного кирпича и цемента. Залежи имеют штокообразный и жильный характер. К гидротермальным относятся месторождения строительных травертинов (или туфов) и ониксовидного мрамора, их промышленное значение невелико. К месторождениям *выветривания* относят месторождения доломитовой муки в районе Окско-Цнинского вала. Осадочные месторождения играют ведущую роль (подмосковные известняки, флиш района Новороссийска). Метаморфогенные месторождения карбонатов (Коелгинское на Урале, Кибик-Кардонское в Сибири) используются в производстве доломитовых и кальцитовых мраморов.

Жильный кварц, песчаники и кварциты употребляются в различных областях промышленности, в производстве специальных стекол, огнеупорно-динасового кирпича, различных флюсов, при строительстве

кислотостойких сооружений. Песчаники и кварциты используются как облицовочный камень, в качестве брусчатки, щебня, бута, декоративных изделий. Выделяют следующие типы месторождений: 1) пегматитовые; 2) гидротермальные; 3) осадочные; 4) метаморфогенные.

Из пегматитов добыча жильного кварца ведется на Кольском полуострове. Среди образований *гидротермального* типа встречаются формации жильного кварца, месторождения кристаллов кварца и металлов, вторичных кварцитов и др. Кварциты высокого качества известны в Сибири. К *осадочным* относятся широко распространенные формации песчаников, кварцитовидных песчаников в Ростовской области. Крупные запасы кварцитовидных песчаников принадлежат также *метаморфогенному* типу (Черемшанское месторождение в Бурятии), декоративные кварциты Шокшинского месторождения в Карелии.

Песок и гравий. Для этих и других обломочных пород большое значение имеет гранулометрический состав: песок – от 0,1 до 1,0 мм, гравий – от 1,0 до 10 мм, галька и щебень – от 10 до 25 мм, валуны – от 250 до 1000 мм, глыбы – более 1000 мм. К числу отраслей, где используются кварцевые пески, относятся стекольная, керамическая, производства карбида, кремния, карборунда, жидкого стекла, силикатного кирпича и др. Гравий и природная щебенка используются для заполнения бетона.

Среди месторождений песков, гравия, щебенки, галечников можно выделить типы: 1) выветривания; 2) осадочный; 3) эффузивно-осадочный. К месторождениям выветривания относятся формации остаточных элювиальных песков. Но они имеют ограниченное значение (Харгинское месторождение в Прибайкалье и др.). Среди осадочных – делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, дельтовые, озёрные, моренные, флювиогляциальные, золовые образования. Обычно это плащеобразные залежи, используемые в естественном виде или с предварительной сортировкой для строительных целей. Хорошо отсортированные кварцевые пески применяются в стекольной промышленности.

Диатомит (кизельбур), трепел, опока (гёзы) и спонголит – осадочные кремнистые горные породы биохимического происхождения. Они используются в качестве сырья и добавок для заполнителей легких бетонов. Кроме того, значительная часть этих пород потребляется для получения порошковой продукции, фильтрационных порошков, красок, наполнителей, пластмасс и гидравлических добавок в цементе, а также для очистки масел, маргарина и др.

Мировые запасы кремнистых пород составляют более 3 млрд. т. В основном они сосредоточены в США и России.

Генетические типы: 1) выветривания; 2) осадочные.

2.5.2.4. Изверженные и метаморфические породы как полезные ископаемые

Изверженные и метаморфические горные породы используются в качестве естественного строительного камня. Эти породы обладают высокой прочностью, морозостойкостью, износоустойчивостью, а зачастую и декоративностью и широко используются при облицовке зданий. Кислые изверженные породы – граниты. Основные изверженные породы – базальты, диабазы. Близкие к ним метаморфические породы – амфиболиты – используются для получения плавленого камня (петрургический процесс). Пригодность для этих целей определяют по химическому составу. Петрургическим путем получают кислотоупорные изделия (трубы, желоба, шары для мельниц). Из вулканических пород получают заполнители легких бетонов и пр.

Среди месторождения рассматриваемого сырья выделяют следующие типы: 1) магматический; 2) метаморфический. Среди магматических выделяют интрузивные, эффузивные, экструзивные, эксплозивные месторождения. Интрузивные представлены гранитами, габбро, лабрадоритами, диоритами. Форма тел – штоки, дайки и др. К эффузивному подтипу относятся месторождения базальтов, липаритов, фонолитов и др. К метаморфическому типу относятся месторождения гнейсов и амфиболитов, глинистых сланцев и др.

2.5.5. Месторождения твердых горючих полезных ископаемых

Горючие ископаемые разделяются на твердые (торф, ископаемый уголь, горючие сланцы), жидкие (нефть) и газообразные (горючий газ). В данном учебном пособии характеризуются месторождения только твердых горючих ископаемых, в основном угля и горючих сланцев. Они нередко объединяются под общим термином «каустобиолиты» (каусто – горючий, биос – жизнь, литос – камень). Горючие ископаемые (в том числе нефть и газ) составляют основу топливно-энергетического комплекса.

Торф – органогенная горная порода, состоящая из растительных остатков. Используется как удобрение и в качестве топлива, а также применяется при грязевом лечении заболеваний. Образуется торф в условиях повышенной влажности и затрудненного доступа воздуха. В процессе формирования торфяных залежей огромное значение имеют палеогеографические условия. Процесс протекает и в условиях приморских низин, озер, болот, лагун, континентальных равнин, платформ и др.

Уголь – твердая горючая осадочная порода, сформировавшаяся из остатков отмерших растений в результате биохимических, физико-

химических и других изменений. Ископаемые угли характеризуются большим разнообразием вещественного состава и физических свойств.

По составу материнского вещества угли подразделяются на гумусовые, сапропелевые и гумусо-сапропелевые. Наибольшим развитием в земной коре отличаются гумусовые угли.

Для образования углей необходимы определенные условия, которые в течение геологического времени меняются неоднократно. Изменялось в пространстве положение отдельных структурных зон, положение границ морей и континентов, гумидный климат сменял аридный и наоборот, происходила эволюция растительного и животного мира.

В начальный период эпохи углеобразования преобладала прибрежно-морская фациальная обстановка с многократным чередованием морских и континентальных отложений. Эволюция растительности обусловила продвижение областей углеобразования вглубь континентов; приобрело широкое развитие озерное углеобразование. Накопление на заболоченных равнинах растительных остатков рассматривают как главное условие возникновения торфяных залежей с последующим превращением в угольные пласты.

При отсутствии прослоек угольный пласт представляет собой сплошную массу угля (простой пласт). Часть угольного пласта, заключенная между двумя породными прослоями в пласте сложного строения, называется пачкой.

При микроскопическом изучении углей выделяют макротипы и литотипы, а также их разновидности в зависимости от тех или иных ингредиентов. При определении принадлежности угля к тому или иному литотипу принимают во внимание его метаморфизм, по мере увеличения которого блеск угля возрастает. К литотипам сложного состава относят кларен (блестящий), дюрено-кларен (полублестящий), кларено-дюрен (полуматовый), дюрен (матовый). К литотипам простого состава относят витрен и фюзен. Металлический блеск присущ антрацитам, тусклый блеск – витрену бурого угля.

Во всех видах твердых горючих ископаемых в их органической части присутствуют элементы углерода, водорода, кислорода и органической серы. Кроме них в незначительных количествах содержится фосфор и некоторые редкие элементы. Сера и фосфор являются вредными примесями, снижающими качество угля.

Процесс угленакопления единый и стадийный: от торфов до каменных углей и далее антрацитов. Процесс перехода в каменный уголь и антрацит называют метаморфизмом углей. Самый древний возраст углей – девонский.

Под *угленосной толщей* понимают комплекс осадочных пород, содержащих угольные пласты. Среди угленосных отложений выделяют

ся следующие типы: геосинклинальный, платформенный и переходный от геосинклинального к платформенному. Платформенные участки земной коры характеризуются сравнительно небольшой мощностью угленосных толщ (от единиц до первых сотен метров), в геосинклинальных условиях – до нескольких тысяч метров.

Угольный пласт комплекс осадочных слоев органического и неорганического происхождения, распространенных на значительной площади. Угольные пласты обычно сложены несколькими слоями угля, разделенными прослойками «пустой» породы (сложный пласт).

В составе ископаемых углей обычно выделяют битумы, гуминовые кислоты, фульвокислоты и продукт, остающийся после извлечения из углей битумов и гуминовых кислот (битумы – продукт превращения смол и восков растений-углеобразователей, гуминовые кислоты – продукт, извлекаемый из углей растворами щелочей).

Исключительно важный показатель качества углей – их зольность. Она колеблется от 2 до 40 % и более. В золе нередко содержится значительное количество элементов-примесей (серебро, золото, платина, германий и другие редкие элементы).

К физическим свойствам углей относятся плотность, цвет, блеск, твердость, хрупкость, излом, электропроводность, структура и текстура. Наиболее распространенный и опасный газ угольных пластов – метан (до 98 % массы).

Промышленная классификация углей (по Ю.А. Жемчужникову) учитывает особенности химического состава, их технологические свойства. В настоящее время угли используются в основном для сжигания, коксования, полукоксования, газификации, гидрогенизации и экстракции.

Угольный бассейн – площадь в сотни и тысячи квадратных километров сплошного и прерывистого развития угленосных отложений. Угольное месторождение – часть бассейна (например, Кемеровское или Прокопьевское месторождение Кузнецкого бассейна). Основные запасы углей России сосредоточены в Сибири (помимо Кузнецкого – Канско-Ачинский, Иркутский, Ленский, Тунгусский). Широкую известность имеет старейший Донецкий бассейн (Украина).

Горючие сланцы. Под горючими сланцами понимают глинистые или известняковые битуминозные породы, легко загорающие от спички. Сланцы, как и сапропелиты, образовались из водорослей и планктона в пресноводных и морских водоемах типа прибрежно-морских лагун и заливов.

Горючие сланцы залегают в осадочных породах в виде отдельных слоев, переслаивающихся с другими, осадочными породами. Горючие

сланцы можно разделить на две группы: 1) пропитанные готовыми битумами, 2) пиробитуминозные или собственно горючие сланцы.

Применяются горючие сланцы как топливо и в качестве химического сырья. Зола используется при производстве строительных материалов.

Горючие сланцы известны в Прибалтике, на востоке и северо-востоке Восточно-Европейской платформы, в Сибири и Казахстане. Среди месторождений горючих сланцев выделяют два типа: 1) образовавшиеся в морских условиях и парагенетически связанные с угленосными фациями (Прибалтика, Оленекский бассейн, месторождения Поволжья и Заволжья); 2) залежи среди угленосных формаций или залегающие совместно с угольными пластами.

2.6. Разведка месторождений полезных ископаемых

2.6.1. Принципы разведки

Конечная цель геологического изучения недр при поисках и разведке месторождений – выявление и оценка запасов полезных ископаемых. Необходимую для этого геологическую информацию получают в несколько последовательных этапов и стадий, представляющих собой единый геологоразведочный процесс.

Этап I. Работы общегеологического назначения (стадия 1 – региональное геологическое изучение недр).

Этап II. Поиски и оценка месторождения (стадия 2 – поисковые работы, стадия 3 – оценка месторождения).

Этап III. Разведка и освоение месторождения (стадия 4 – разведка месторождения, стадия 5 – эксплуатационная разведка).

В приведенном чередовании этапов и стадий проявляется один из основных в разведочном процессе принцип последовательных приближений. Кроме того, используются принципы аналогий и максимальной эффективности.

Региональное геологическое изучение недр производится с целью получения комплексной геологической информации, составляющей фундаментальную основу системного геологического изучения территории страны и прогнозирования полезных ископаемых в недрах.

Основными видами работ при этом являются ранжированные по масштабам (от 1:500000 и крупные до 1:25000) геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические, в т.ч. комплексные съемки, наземные и аэрогеофизические работы, а также широкий комплекс специализированных работ.

При поисках и оценке месторождений прогнозируются, выявляются и предварительно оцениваются месторождения полезных иско-

паемых с учетом геологических, экологических условий и технико-экономических показателей, подтверждающие их пригодность для рентабельного освоения.

В зависимости от сложности геологического строения территории и других условий поиски могут проводиться в средних и крупных масштабах (от 1:100000 до 1:10000) с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок в сочетании с комплексом специальных исследований. Геолого-экономическая оценка выявленных объектов выполняется по укрупненным показателям; обосновывается целесообразность дальнейшего проведения работ.

Оценочные работы на месторождении включают геологическую съемку крупного масштаба, детальные минералого-петрографические, геофизические и геохимические исследования. Осуществляется вскрытие тел полезных ископаемых с поверхности канавами, шурфами, поисково-картированными скважинами. При глубоком залегании рудоносных структурно-вещественных комплексов бурят глубокие скважины, возможно применение подземных горных выработок. В скважинах выполняется комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и других наблюдений и исследований в объемах, достаточных для обоснования способа вскрытия и разработки месторождения, определения источников водоснабжения, возможных притоков в горные выработки и очистное пространство. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду. При этом используются соответствующие показатели обрабатываемых в районе и известных месторождений.

Геолого-экономическая оценка завершается составлением ТЭО промышленной ценности месторождения и рекомендациями по его дальнейшему изучению (разведка) и освоению. Отчет с результатами подсчета запасов, включая обоснование кондиций (ТЭО) представляется на государственную экспертизу. По результатам оценочных работ проводится конкурс или аукцион на предоставление лицензии на геологическое доизучение и добычу полезного ископаемого (лицензирование в отдельных случаях возможно на поисковой стадии).

Геологоразведочные работы на этапе разведки и освоения месторождения проводятся с целью детального изучения геологического строения месторождения и получения информации о количестве и качестве запасов, минеральном и химическом составе, его технологических свойствах и других особенностей для обоснования решения о порядке и условиях вовлечения месторождения в промышленное освоение, а также о проектировании строительства или реконструкции на его базе горного предприятия. Объемы и методы производства работ определяются недропользователем с соблюдением действующих стандартов и других

условий, включенных в лицензию на право разведки и добычи полезного ископаемого.

По целям и совокупности решаемых задач разведочные работы подразделяются на:

- осуществляемые с целью получения информации для проектирования строительства или реконструкции горнодобывающего предприятия;

- проводимые в процессе освоения месторождения с целью расширения минерально-сырьевой базы горного предприятия (доразведка месторождения);

Последовательность и объемы разведочных работ, плотность разведочной сети, методы отбора проб определяются, исходя из геологических особенностей месторождения с учетом возможностей горных, буровых и геофизических средств разведки. Выполняются работы по комплексной оценке запасов, залегающих совместно с основными, дается оценка возможных источников водоснабжения, разрабатываются схемы размещения объектов промышленного и гражданского назначения, природоохранные мероприятия.

ТЭО освоения месторождения, результаты геолого-экономической оценки, обоснование разведочных кондиций подлежат государственной экспертизе.

Эксплуатационная разведка проводится в течение всего периода освоения месторождения. Ее основными задачами являются уточнение контуров, вещественного состава и внутреннего строения тел полезного ископаемого, количества и качества запасов, уточнение гидрогеологических, горнотехнических и инженерно-геологических условий отработки по отдельным участкам, горизонтам и блокам.

В состав работ входят проходка специальных разведочных выработок, бурение скважин, опробование, геофизические исследования и др. На протяжении всего этапа ведется учет движения разведанных запасов с их пересчетом и списанием с баланса.

По целевому назначению она разделяется на *опережающую* и *сопровождающую*. Проводится эксплуатационная разведка геологической службой горного предприятия (см. главу V).

Конкретный перечень работ на каждой стадии, а главное, их объемы, состав и методика выполнения зависят от цели и особенностей изучаемых месторождений.

В процессе поисково-оценочных работ и разведки В.М. Крейтером предложено решать три основные задачи: создание системы разрезов, опробование полезного ископаемого и оценочное сопоставление.

Геологические разрезы являются основным способом выяснения формы, внутреннего строения и условий залегания месторождения. Раз-

резы могут быть вертикальными и горизонтальными. Эффективным методом познания морфологических особенностей месторождений служит геометризация месторождений с помощью ЭВМ.

Опробование является единственным способом изучения качественных показателей полезного ископаемого (см. ниже).

Оценочное сопоставление представляет собой способ выявления возможностей и условий использования месторождения по данным разведки. Оно заключается в сравнении параметров разведкуемого месторождения с параметрами других подобных, но уже освоенных месторождений.

Задачи разведки решаются с помощью технических средств, которые подразделяются на разведочные горные выработки, разведочные буровые скважины и геофизические работы.

Разведочные горные выработки (поверхностные и подземные) обеспечивают непосредственный доступ к полезному ископаемому.

Бурение скважин (выработок небольшого диаметра, но значительной глубины) по способу разрушения делится на вращательное, ударно-вращательное и ударное. Главным видом разведочного бурения является **колонковое**, позволяющее непосредственно (по керну) изучать полезное ископаемое и вмещающие породы. Бурение отличается высокими скоростями проходки, относительной дешевизной, но часто не позволяет получить нужное количество полезного ископаемого (из-за неполного выхода керна).

Геофизические работы по сравнению с горными выработками и бурением скважин значительно дешевле, а время получения информации значительно меньше. Однако интерпретация геофизических данных не всегда однозначна. Поэтому геофизические исследования используются как вспомогательное средство.

Существует два основных способа расположения выработок, которые должны обеспечить информацию о форме, элементах залегания, внутреннем строении полезного ископаемого и его взаимоотношении с вмещающими породами: по линиям (разрезам, профилям) и по сетке. Выбор той или иной формы разведочной сети обусловлен особенностями морфологии тела полезного ископаемого, изменчивостью его свойств. Глубина разведки, плотность и густота разведочной сети определяются понятием **параметры разведочной сети**. Последние должны отвечать следующим требованиям: 1) общее число выработок и глубина разведки должны быть минимально необходимыми; 2) в каждом разведочном разрезе тело полезного ископаемого должно быть пересечено в нескольких точках (минимум в двух).

От правильности выбора параметров разведочной сети в значительной степени зависят сроки, стоимость и достоверность разведочных работ.

Опробование представляет собой последовательный процесс: отбор, обработку и исследование проб. В соответствии с назначением выделяют следующие основные виды опробования: химическое, минералогическое, технологическое, техническое, геофизическое. Основные цели разведочного опробования: оценка характеристики качества полезного ископаемого и закономерностей его распределения в объеме месторождения или тела, определение количества полезных компонентов (подсчет запасов компонентов), выявление физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород.

Наиболее употребительными являются следующие способы отбора проб: штучной, точечный, бороздовый, задиrkовый, валовой, кернаый, шламовый. Выбор способа опробования обусловлен двумя группами факторов: геологическими (главные) и общими. Практически при всех видах опробования после отбора проб производится их обработка. Наиболее сложна обработка проб для химического анализа. Как правило, начальная масса представительной пробы превышает 3-5 кг, а для производства анализа достаточно 50-200 г вещества. Содержание компонентов в лабораторной навеске должно быть идентичным исходной пробе. Для определения необходимой для этого массы пробы, которую получают после сокращения, используют формулу Ричардса-Чечотта:

$$Q = Kd^2,$$

где Q – масса пробы после сокращения, кг;

d – диаметр частиц максимальной фракции, мм;

K – коэффициент, зависящий от степени неравномерности распределения компонентов (0,05-1).

На основе этой формулы составляется схема обработки пробы.

2.6.1.1. Кондиции

Показатели условий, при которых целесообразна разработка месторождения (участка) называют кондициями. Они определяются при помощи технико-экономических расчетов, учитывающих качество и количество полезного ископаемого, горно-геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия [19].

Кондиции подразделяются на разведочные и эксплуатационные. Разведочные кондиции (временные и постоянные) составляются по результатам различных стадий оценки и разведки и геолого-экономической оценки для оконтуривания и подсчета запасов. Временные кондиции разрабатываются и используются для предварительной оценки масшта-

бов месторождения; постоянные кондиции – по материалам завершённых геолого-разведочных работ для оценки экономической эффективности промышленного освоения. Эксплуатационные кондиции составляются в процессе отработки месторождения и могут изменяться со временем.

Состав кондиций, т.е. перечень показателей, по которым устанавливаются условия разработки, зависят от вида минерального сырья, но в любом случае выделяются три группы требований: к качеству, количеству и горно-техническим условиям. Например, для металлических полезных ископаемых показатели кондиции включают минимальное промышленное содержание полезного компонента, бортовое содержание полезного компонента, максимально допустимое содержание вредных компонентов, минимальную выемочную мощность полезного ископаемого, максимальную мощность пустых пород (или предельный коэффициент рудоносности), предельные технические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия.

К основным показателям кондиций относят следующие.

Минимальное промышленное содержание – среднее содержание полезного компонента в блоке или отдельном теле полезного ископаемого, ниже которого разработка нецелесообразна. В общем случае – это содержание полезного компонента в крайней пробе, по которой может быть проведен контур тела полезного ископаемого.

Бортовое содержание как показатель кондиций вводится при отсутствии четких геологических границ рудного тела или при неравномерном распределении полезных компонентов.

Минимальная выемочная мощность полезного ископаемого – допустимая величина, при которой целесообразна разработка месторождения.

Помимо перечисленных, другие показатели кондиций учитывают технологические требования или отражают специфику полезного ископаемого, которое включается в подсчет балансовых запасов. Перечень и наименование кондиций для других полезных ископаемых могут отличаться от приведенных. Так, например, для угольных месторождений и горючих сланцев важную роль играют: максимальная зольность угля, минимальная теплота сгорания сланцев, минимальная мощность пластов угля (сланцев) и др.

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) показателей кондиций представляют собой повариантные расчеты, учитывающие всю совокупность условий, в которых находится месторождение: горнотехнические, инженерно-геологические, гидрогеологические, качество и количество запасов полезного ископаемого (отдельных компонентов). При

этом должны соблюдаться экологические требования при разработке месторождения.

2.6.1.2. Требования к оконтуриванию

При подсчете запасов полезных ископаемых важная роль принадлежит форме тела полезного ископаемого, которая ограничивается определенными линиями (контурами).

Оконтуривание – процесс ограничения тела полезного ископаемого в пространстве при помощи линий, соединяющих т.н. опорные точки. Выделяются две основные группы контуров – естественные (природные) и искусственные. К естественным контурам относятся нулевой, представляющий собой линию полного выклинивания тела полезного ископаемого, сортовой – разграничивающий минеральные типы или промышленные сорта полезного ископаемого.

Искусственные контуры связаны с естественными, но проводятся по формальным признакам: контуры балансовых и забалансовых запасов, категорий запасов, шахтного поля и др. Они зависят от различного рода причин технико-экономического и организационного характера.

В зависимости от применяемых способов оконтуривания группы контуров объединяются в два вида: внутренние и внешние. Внутренние проводятся строго через выработки, пересекающие полезное ископаемое, а внешние – между такими выработками или за их пределами.

Способ оконтуривания тела полезного ископаемого определяется его морфологическим типом и условиями залегания. Плиткообразные тела при пологом падении оконтуриваются в плане, при крутом – в проекции на вертикальную плоскость, при наклонном – оконтуривание может быть как тем, так и другим. Тела всех морфологических типов оконтуриваются на разрезах и блок-диаграммах.

В порядке убывания точности построения контуров различают три способа оконтуривания: непрерывное прослеживание контактов, интерполяция, экстраполяция.

Наиболее часто встречаются следующие приемы проведения внешнего контура с использованием геологических закономерностей: по границе различных фаций (типичный способ для месторождений осадочного происхождения); по границе «благоприятных» пород (широко используется для эпигенетических месторождений); по тектоническому нарушению смещающего или ограничивающего тело полезного ископаемого; по естественному выклиниванию залежи (для линзовидных тел).

Каждый из перечисленных приемов позволяет построить контур как всего тела полезного ископаемого, так и отдельных его частей.

2.6.2. Подсчет запасов

Конечной целью разведочных работ является подсчет запасов полезного ископаемого, который предопределяет промышленную ценность месторождения.

Под запасами и прогнозными ресурсами понимается количество полезного ископаемого и полезных компонентов в пределах месторождения (участка), определенное в недрах, т.е. без вычета потерь при добыче, транспортировке, обогащении и переработке.

В зависимости от степени разведанности месторождения (участка) запасы твердых полезных ископаемых подразделяются на категории А, В, С₁ и С₂. Запасы категорий А, В, С₁ – разведанные, С₂ – предварительно оцененные. Прогнозные ресурсы оцениваются на начальных стадиях изучения недр и по степени обоснованности относятся к категориям Р₁, Р₂, Р₃.

По результатам регионального изучения недр производится комплексная оценка перспектив освоения изученных территорий с подсчетом прогнозных ресурсов категорий Р₂ и Р₃.

Основным конечным результатом поисковых работ является геологически обоснованная оценка перспектив исследованных площадей с оценкой прогнозных ресурсов категорий Р₂ и Р₁. Оценочные расчеты должны завершаться оценкой запасов месторождений полезных ископаемых по категориям С₂ и С₁, а по менее изученным участкам прогнозных ресурсов по категории Р₁.

Разведка, в том числе при проектировании, вскрытии и эксплуатационных работах продолжается с целью дальнейшего изучения геологического строения и условий отработки месторождения, запасы категории С₂ переводятся в категории С₁, В, А.

В соответствии с народно-хозяйственным значением выделяются две группы запасов: *балансовые* и *забалансовые*. К балансовым относятся такие запасы, использование которых в соответствии с условиями экономически целесообразно с соблюдением требований по рациональному использованию недр и геологическим условиям. Забалансовыми считаются запасы, которые в настоящее время использовать экономически нецелесообразно или технически невозможно, но в будущем они могут быть переведены в балансовые.

В практике геологоразведочных работ в основном используются три метода подсчета запасов: разрезов, блоков и статистический. Все способы сводятся к оценке объема полезного ископаемого (куб. м или т), находящегося в недрах и целесообразного для добычи. Последнее условие определяется показателями кондиций и геолого-экономической оценкой месторождения.

Способ разрезов (сечений) имеет несколько модификаций: вертикальных параллельных разрезов, вертикальных непараллельных разрезов и горизонтальных разрезов. Первый из них применяется наиболее часто. Он заключается в следующем.

Геологические разрезы разделяют тело полезного ископаемого на отдельные подсчетные блоки. Краевые блоки с одной стороны ограничены контуром рудного тела, с другой – первым (последним) разрезом. Внутренние блоки по простиранию тела ограничены разрезами, а по бокам – контурами тела полезного ископаемого. Таким образом, границами подсчетного блока служат контуры тела полезного ископаемого и разрезы (сечения).

Площадь полезного ископаемого определяется на разрезах одним из упомянутых способов, а объем полезного ископаемого в подсчетном блоке – по формуле, соответствующей геометрической форме блока (призмы, усеченного конуса, клина, конуса). Затем общий объем блоков суммируется, что отражает запасы полезного ископаемого.

Способ блоков (наиболее универсальный) применяется для подсчета запасов залежей полезных ископаемых, когда блоки разбиваются по разным основаниям (плотности сети наблюдений качества руд, условий залегания тел полезных ископаемых и др.) при подсчете запасов маломощных пластов и жиллоподобных залежей.

При подсчете запасов способом геологических блоков расчеты производятся по каждому выделенному по совокупности геологических признаков блоку. При способе подсчета *эксплуатационными блоками* для маломощных залежей, разведанных горными выработками, запасы определяются как произведение площади блока на среднюю мощность, на среднюю объемную массу полезного ископаемого и на среднечлочное содержание полезного компонента.

Статистический способ применяется реже: для подсчета запасов с крайне неравномерным, гнездовым распределением скоплений ценных компонентов.

Требования к подсчету запасов по подготовленности их к промышленному использованию зависят от сложности геологического строения месторождения. По сложности геологического строения месторождения твердых полезных ископаемых подразделяются на четыре группы,

1) Месторождения (участки) простого геологического строения со сравнительно крупными телами полезных ископаемых с ненарушенным залеганием, устойчивой мощностью и выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. Эти особенности определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий А, В, С₁ и С₂;

2) Месторождения сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, неустойчивой мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Эти особенности определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий В, С₁ и С₂;

3) Месторождения очень сложного геологического строения со средними и мелкими по размеру телами полезных ископаемых с нарушенным залеганием характеризующимися изменчивой мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и очень неравномерным распределением ценных компонентов. Запасы в процессе разведки оцениваются преимущественно по категориям С₁ и С₂;

4) Месторождения с мелкими, реже средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием, либо с резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого и прерывистым распределением основных ценных компонентов. Запасы в процессе разведки оцениваются по категории С₂;

Прерогативой рассмотрения и утверждения запасов обладает Государственная геологическая экспертиза ГКЗ РФ.

2.6.3. Геолого-промышленная оценка месторождений

Геолого-промышленная (геолого-экономическая) оценка осуществляется в процессе изучения месторождения или проявления полезных ископаемых непрерывно. На каждой стадии разведочного процесса основной целью геолого-промышленной оценки является определение целесообразности дальнейшего изучения или освоения месторождения. Основой оценки является ТЭО (технико-экономическое обоснование) условий (разведочных – временных и постоянных и эксплуатационных). Так, например, при поисковых работах и в начальный период оценочных работ периодически проводится оперативная технико-экономическая оценка, на основании которой принимается решение о продолжении работ.

В процессе оценочных работ геолого-экономическая оценка объектов осуществляется систематически при проведении работ и по их завершении. На выявленных и оцененных месторождениях геолого-экономическая оценка завершается составлением ТЭО промышленной ценности месторождения и выдачей рекомендаций о целесообразности передачи объекта в разведку и освоение. Подсчет запасов и обоснование

кондиций и ТЭО промышленной ценности месторождения представляются на государственную экспертизу.

По результатам разведочных работ разрабатываются разведочные кондиции и ТЭО освоения месторождения. Материалы подсчета запасов и результаты геолого-экономической оценки, включая обоснование разведочных кондиций, подлежат государственной экспертизе.

При эксплуатационной разведке недропользователь имеет право разработать ТЭО эксплуатационных кондиций, которые согласовываются с местными органами управления, госгортехнадзором и могут проходить государственную экспертизу.

В ходе геолого-промышленной оценки по результатам работ определяются: количество запасов, качество полезного ископаемого и количество полезных компонентов, технологические свойства полезного ископаемого, горно-технические условия разработки месторождения, экономико-географические условия района. На основе подсчета запасов оцениваются годовая производительность горнодобывающего предприятия, выпуск товарной продукции (или руды), себестоимость, рентабельность разработки с учетом мероприятий по охране окружающей среды. Оценка экономических показателей производится с учетом дисконтирования, т.е. применительно к условиям освоения месторождения на перспективу.

Геолого-промышленная (экономическая) оценка запасов в пределах горного отвода добывающего предприятия имеет ряд особенностей по сравнению с оценкой по результатам разведочных работ. В период разработки месторождения основные задачи геолого-промышленной оценки таковы:

- пересчет запасов и учет их движения по результатам разведочной и эксплуатационной деятельности;
- оценка промышленной значимости обнаруженных новых тел полезных ископаемых;
- пересмотр кондиций либо при вовлечении в сферу использования попутных компонентов, горных пород, либо в связи с изменением геолого-технических условий разработки тел полезных ископаемых или их технологических свойств.

Задача геолого-промышленной оценки сводится к оперативному учету прироста запасов полезного ископаемого и его влияния на технико-экономические показатели деятельности горно-добывающего предприятия. В случае обнаружения большого дополнительного количества запасов (более, чем на 50% по сравнению с утвержденными) или неподтверждении запасов в пределах 20 % последние пересматриваются и переутверждаются в ГКЗ РФ.

Глава III. ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Инженерная геология, по определению академика Е.М. Сергеева, — наука о свойствах и динамике геологической среды, ее рациональном использовании и охране в связи с инженерной деятельностью человека. Основными объектами изучения в инженерной геологии являются горные породы, толщи (массивы) горных пород, а также геологические процессы и явления (природные и вызванные инженерной деятельностью человека), определяющие геодинамическое состояние исследуемой территории.

3.1. Физические, водные и механические свойства горных пород и техногенных отложений

Физико-механическими свойствами горных пород называют такие, которые определяют их физическое состояние, отношение к воде и закономерности изменчивости, прочности и деформации [11]. Соответственно, различают свойства пород: физические, водные и механические. Их выражают с помощью определенных показателей, позволяющих количественно оценить свойства горных пород и развитие неблагоприятных геологических явлений при решении многих инженерно-геологических задач.

В горно-геологической практике изучения и оценки состава, состояния и свойств горных пород одной из первых предложена инженерно-геологическая классификация Ф.П. Саваренского — В.Д. Ломтадзе, учитывающая как генетические и петрографические особенности пород, так и их важнейшие физические, водные и механические свойства (табл. 3.1).

Ниже дана краткая характеристика физических, водных и механических свойств инженерно-геологических типов горных пород — скальных, полускальных, рыхлых несвязных, мягких связных и техногенных отложений.

Скальные породы представлены магматическими (глубинные интрузивные, полуглубинные жильные и эффузивные), метаморфическими (массивные и сланцеватые) и некоторыми осадочными (песчаники, конгломераты, известняки, доломиты) образованиями. Они монолитны и обладают большой сопротивляемостью внешним воздействиям, высокой плотностью (2,65-3,10 г/см³), низкой пористостью и трещиноватостью, практически невлагоемки и водонепроницаемы, водостойчивость их высока, коэффициент размягчаемости больше 0,9.

Таблица 3.1

**Инженерно-геологическая классификация горных пород
(по Ф.П. Саваренскому с дополнениями В. Д. Ломтадзе)**

Группа горных пород	Генетические типы								
	Магматические			Метаморфические		Осадочные			
	Глубинные интрузивные	Полуглубинные и	Излившиеся эффузивные	Массивные	Сланцеватые	Пирокластические	Обломочные	Глинистые	Органо-генные и хемогенные
I. Твердые скальные	Граниты, сиениты, гранодиориты, габбро	Гранит-порфиры, сиенит-порфиры, диорит-порфиры, габбро-порфиры	Кварцевые и бескварцевые, порфириты и порфириты, диабазы, андезиты, базальты	Мраморы, кварциты	Гнейсы, кристаллические сланцы	-	Песчаники и конгломераты с прочным цементом	-	Известняки и доломиты плотные и прочные
II. Относительно твердые полускальные	Выветрелые, сильно трещиноватые и закарстованные породы I группы, с пониженными показателями физико-механических свойств					Вулканические туфы, туффиты и туфогенные породы	Песчаники, конгломераты и алевролиты с глинистым цементом	Глинистые сланцы, аргаллиты	Известняки и доломиты, глинистые мергели, мел, кремнистые породы
III. Рыхлые несвязные	-	-	-	-	-	-	Пески, гравий, галечники, щебнистые породы	-	-
IV. Мягкие связные	-	-	-	-	-	-	-	Глины, супеси, лессовые породы	-
V. Породы особого состава, состояния и свойств	Мерзлые породы, резко изменяющие прочность, деформируемость и устойчивость при оттаивании					-	Пески-пылуны, песчаные илы	Глинистые породы засоленные, глинистые илы	Торфы, почвы, гипсы, ангидриты, каменная соль

Продолжение табл. 3.1

Группа	Физические и водные свойства	
	Физические	Водные
I	Плотность высокая (2,65-3,10 г/см ³), пористость незначительная – доли процента	Невлагоемкие, нерастворимые, водопроницаемы по трещинам. Коэффициент фильтрации (К _ф) до 10 м/сут, удельное водопоглощение (ω) < 5 л/мин
II	Плотность средняя (2,20-2,65 г/см ³), пористость до 15 %. Сквозность изменяется в широких пределах	Слабовлагоемкие. Водопроницаемость зависит от трещиноватости и выветрелости. К _ф изменяется от 0,5 до 30 м/сут (ω до 15 л/мин) у слабо- и средневодопроницаемых К _ф > 30 м/сут (ω) > 15 л/мин – у сильноводопроницаемых
III	Плотность 1,40-1,90 г/см ³ , пористость 25-40 %	Невлагоемкие, слабовлагоемкие, практически не растворимые, водопроницаемые. К _ф менее 30 м/сут у сильноводопроницаемых
IV	Плотность от 1,10-1,20 до 1,90- 2,10 г/см ³ , пористость от 20-30 до 70-80 %, влажность от 12-15 до 75-80 %	Влагоемкие, нерастворимые, слабоводопроницаемые или водопорные, К _ф < 0,1 м/сут
V	Горные породы характеризуются специфическими свойствами, требуют специальных методов исследований и индивидуальной оценки	

Группа	Механические свойства
I	Прочность, упругость высокие. Сопротивлению сжатию 50-400 МПа, скалыванию 20-100 МПа, разрыву 2-15 МПа. Скорость распространения продольных волн V_p изменяется от 4,0 V^0 до 7,0 км/с, сейсмическая жесткость 10-12. Коэффициент сдвига бетона по этим породам 0,65-0,70. Крепость высокая $f_{cp} > 8$. Разрабатываются взрывным способом. Характерна анизотропия свойств в условиях естественного залегания
II	Прочные - сопротивлению сжатию 15-50 МПа, средней прочности - 2,5-15 МПа и малой прочности <2,5 МПа. Сопротивление скалыванию превышает 5 МПа у прочных, 1-5 МПа у пород средней прочности и менее 1 МПа - у слабых. Сопротивление разрыву 0,1-0,2 - 2-3 МПа. Слабосжимаемы или практически несжимаемы. Модуль общей деформации от 2000 до 100000 МПа. Скорость распространения продольных волн V_p от 1,1 до 4,5 км/с, сейсмическая жесткость от 2 до 12. Устойчивость в откосах зависит от трещиноватости и выветрелости. Крепость $f_{cp} = 2-8$. Разрабатываются механическими и взрывными способами. Характерна анизотропия свойств в условиях естественного залегания. Многие разности обладают реологическими свойствами
III	Прочность зависит от плотности сложения. Крепость небольшая $f_{cp} < 2$, сжимаемы. Модуль общей деформации 5-100 МПа. Скорость распространения продольных волн 0,2-1,8 км/с, сейсмическая жесткость 0,5-4,8, коэффициент внутреннего трения $f = 0,25-0,60$. Разрабатываются механическим и ручным способами
IV	Прочность зависит от влажности и плотности. Крепость небольшая $f_{cp} < 2$. Сжимаемы и сильно сжимаемы, модуль общей деформации изменяется от 5 до 100 МПа. Скорость распространения продольных волн изменяется от 0,3 до 2,2 км/с, сейсмическая жесткость от 0,8 до 5,9. Коэффициент внутреннего трения мал: $f = 0,15-0,35$. Устойчивость в откосах зависит от влажности пород и высоты откоса. Разрабатываются механическим и ручным способами. Характерны реологические свойства
V	Горные породы характеризуется специфическими свойствами, требуют специальных методов исследований и индивидуальной оценки

В соответствии с рекомендациями СНИПов скальные породы разделяются на очень прочные ($R_c > 120$ МПа), прочные ($R_c = 120-50$ МПа) и малопрочные ($R_c < 15-5$ МПа). Угол внутреннего трения скальных пород изменяется в пределах $25-38^\circ$, а коэффициент поперечных деформаций колеблется в пределах $0,1-0,2$. Коэффициент крепости по Протодьяконову для скальных пород больше 8.

Итак, для скальных пород характерна высокая прочность и устойчивость, низкая деформируемость и водопроницаемость.

Полускальные породы включают магматические, метаморфические и осадочные образования сцементированные, повышенной трещиноватости и выветрелости; породы обломочные слабосцементированные; породы глинистые высокой плотности; породы органогенные, органогенно-химические, пирокластические сцементированные.

В.Д. Ломтадзе отличает скальные породы от полускальных по величине прочности на сжатие, составляющей 50 МПа, выделяя при этом три подгруппы полускальных пород: прочные ($R_c > 50-15$ МПа), средней прочности ($R_c = 15-2,5$ МПа) и малой прочности ($R_c < 2,5$ МПа).

Характеризуя эти породы в целом, В.Д. Ломтадзе отмечает их пониженную плотность ($2,20-2,65$ г/см³), наличие пористости до 15 % и естественной влажности 15-20 %; слабую влагоемкость и водопроницаемость, изменяющуюся в зависимости от трещиноватости и выветрелости. Коэффициент фильтрации (K_f) изменяется в пределах $0,5-30$ м/сут. Полускальные породы слабосжимаемы, модуль общей деформации меньше 2 тыс. МПа, коэффициент Пуассона изменяется от 0,15 до 0,4 из-за большого разнообразия состава и физического состояния пород, прочность на сжатие R_c изменяется от 2,5 до 50 МПа. Крепость пород средняя ($f_{sp} = 2-8$). При взаимодействии с водой полускальные породы теряют свою прочность и деформируемость, коэффициент размягчаемости изменяется от 0,75 до 0,5 и менее. Для песчаников с глинистым цементом характерно набухание и размокание в воде, что приводит к потере их устойчивости в откосах и горных выработках.

Следовательно, полускальные породы в отличие от скальных характеризуются нарушением сплошности и изменчивостью состава, что приводит к уменьшению их прочности и устойчивости, к деформируемости и водопроницаемости.

Рыхлые несвязные породы объединяют породы осадочного генезиса — обломочные образования: песок, галька, гравий. Их отличает отсутствие структурных связей.

Физическое состояние песков обычно характеризуется степенью влажности (G), относительной плотностью (J_d) и коэффициентом уплотняемости (U).

По степени влажности различают маловлажные ($G < 0,5$), влажные ($G = 0,5-0,8$) и водонасыщенные ($G > 0,8+1,0$) породы. Относительная плотность песков характеризует естественное состояние песка по его плотности: плотный ($J_d > 0,66$), средней плотности ($J_d = 0,33-0,66$) и рыхлый ($J_d < 0,33$).

Коэффициент уплотняемости характеризует способность данного песка уплотняться. Чем выше этот показатель, тем больше способность песка к уплотнению. Прочность песчаных пород оценивается по их сопротивлению сдвигу. Для обломочных пород, у которых нет структурных связей между частицами, используют только один показатель – угол внутреннего трения, величина которого зависит от состава, формы и размеров слагающих частиц (обломков) и от плотности их упаковки. В современных СНиПах приводятся следующие значения углов внутреннего трения в зависимости от крупности песков разной плотности (с увеличением плотности он увеличивается): гравелистые и крупные – $38-43^\circ$, средней крупности – $35-40^\circ$, мелкие – $28-38^\circ$ и пылеватые – $26-36^\circ$.

Таким образом, участки распространения рыхлых несвязных пород отличаются большой изменчивостью физического состояния и свойств, что требует массовых определений инженерно-геологических показателей при их освоении.

К мягким связным породам относятся глинистые (глины, супеси, суглинки) образования элювиального, делювиального, аллювиального, озерного, морского и другого генезиса. Характерной особенностью этих пород является присутствие в составе значительного количества тонкодисперсных частиц, состоящих из глинистых минералов, преимущественно каолинита, гидрослюда и монтмориллонита. Минеральный состав и петрографические особенности глинистых пород играют главную роль в формировании физико-механических свойств. Для них важное значение приобретают влажность, пористость, консистенция, которые в значительной степени характеризуют прочность, деформируемость, устойчивость глинистых пород.

Физическое состояние глинистых пород зависит от влажности и плотности и может быть количественно оценено тремя основными показателями: степенью влажности (G), степенью уплотненности (K_d) и показателем консистенции (B_L). По степени влажности, как и для песчаных пород, различают маловлажные ($G < 0,5$), влажные ($G = 0,5-0,8$) и водонасыщенные ($G < 0,8-1,0$) глинистые породы.

По степени уплотненности (по В.А. Приклонскому) глинистые породы делятся на рыхлые ($K_d < 0$), начальной стадии уплотнения ($K_d = 0$), средней уплотненности ($0 < K_d < 1$), плотные ($K_d = 1$) и переуплотненные ($K_d > 1$).

В зависимости от численных значений показателя консистенции различают породы твердой ($B_L < 0$), пластичной ($0 < B_L < 1$) и текучей ($B_L > 1$) консистенции.

Прочность глинистых пород оценивают их сопротивлением сдвигу в условиях плоского или напряженного состояния. Показателем этого сопротивления являются угол внутреннего трения (ρ) и сцепление (C), которые изменяются в широких пределах: $5-28^\circ$ и $0,01-0,2$ МПа, соответственно.

Изучение условий проходки горных выработок в глинистых породах требует проведения специальных лабораторных и полевых опытных испытаний по определению деформационных и прочностных показателей.

Техногенные отложения вместе с многолетнемерзлыми породами составляют в классификации породы особого состава, состояния и свойств. Это насыпные и намывные отложения, образующие в результате складирования отходов горного производства и создания намывных территорий при строительстве.

Так, под солеотходы калийного производства в районе комбинатов «Беларуськалий» и «Уралкалий» в 1990 г. занято свыше 3 тыс. га, при этом количество только готовых отходов составляет более 1 млрд. т.

Проблема изучения состава и свойств насыпных и намывных отложений остро встает в связи с прогнозом устойчивости этих сооружений (отвалов, шламохранилищ и т.д.). Поэтому представляют интерес показатели физико-механических свойств пород на разрабатываемых калийных месторождениях в Белоруссии и на Урале.

Насыпные породы состоят из кристаллов галита (размером $0,05-1,0$ мм) и небольшого (до 5 %) количества нерастворимых глинистых частиц диаметром менее $0,002$ мм. Плотность минеральной части породы — $2,16-2,17$ г/см³, а плотность формирующейся породы $1,6-1,8$ г/см³. В отвалах породы имеют $\phi = 40 \div 50^\circ$ и $C = 0,01-1,0$ МПа.

Опыт показывает, что изучение свойств пород отвалов на месторождениях представляет большой практический интерес в связи с необходимостью оценки их устойчивости, проектирования мероприятий для предупреждения оползневых деформаций и других геодинамических процессов.

3.2. Инженерно-геологическая типизация массивов горных пород

При освоении месторождений полезных ископаемых объектами инженерно-геологических работ являются массивы горных пород. В инженерно-геологическом понимании массив пород, по П.Н. Панюкову, — структурно обособленная часть земной коры, отличающаяся от грани-

чащих с ним частей по условиям возведения и эксплуатации сооружений [12].

Границы массивов пород обычно устанавливаются по комплексу признаков, в том числе геоморфологических, геолого-структурных и геодинамических. Они, как правило, фиксированы тектоническими швами и гипсометрией физической поверхности массива, являющейся его верхней границей. Положение нижней границы совпадает с той зоной глубин, в пределах которой сосредоточены инженерные работы.

При инженерно-геологическом изучении массива пород в первую очередь необходимо оценивать его поверхности ослабления в виде трещиноватости, слоистости, сланцеватости, кавернозности, которые определяют неоднородность и анизотропность механических и фильтрационных свойств массивов пород и отличают их от соответствующих характеристик образцов горных пород, слагающих массивы.

Различие свойств горных пород в образцах и в массивах определяется показателями неоднородности: трещиноватостью горных пород в массиве; изменениями инженерно-петрографических характеристик в зависимости от размеров (и формы) исследуемых объемов горной породы (масштабный фактор); окружающей рассматриваемый элемент массива геологической средой; гидрогеологическими условиями; изменением напряженно-деформированного состояния породы при ее извлечении из массива.

Для оценки состояния массива пород необходимо располагать данными о его инженерно-геологической структуре, элементами которой являются: строение земной поверхности; горно-геологическая ярусность (этажность) геологического разреза массива; внутреннее строение горно-геологических ярусов; структурно-механические особенности массива в целом [12].

Инженерно-геологическая структура считается основной и наиболее устойчивой характеристикой массивов пород, определяющей условия горных работ. Поэтому в основу предложенной П.Н. Паниюковым инженерно-геологической типизации массивов горных пород положены геотектонические признаки. Знание особенностей строения физической поверхности массивов пород в значительной мере предопределяет общие возможности компоновки наземных технических сооружений (размещение отвалов, расположение транспортных подходов к карьеру, выбор способа вскрытия месторождения).

Для решения горно-технологических задач в пределах геологического разреза массива выделяют горно-геологические ярусы — комплексы пород, соответствующие крупным этапам геологической истории массива.

Различают массивы, состоящие из одного или нескольких ярусов. Горно-геологический ярус, вмещающий полезное ископаемое, называется основным. Его положение определяет способ разработки месторождения. Перекрывающие и подстилающие комплексы пород составляют, соответственно, покровные и подстилающие горно-геологические ярусы. По петрографическому составу выделяются горно-геологические ярусы двух основных типов: 1) в строении которых принимают участие горные породы только одного из трех петрографических классов – твердые, глинистые или раздельно-зернистые; 2) сложенные из пород разного петрографического класса.

В зависимости от тектонических условий залегания пород П.Н. Панюковым были выделены следующие основные структурно-тектонические группы горно-геологических ярусов: тектонически ненарушенные; с моноклиналим залеганием пород; простого складчатого строения; сложного складчатого строения; сложного-складчато-разрывного строения.

Таким образом, к главным инженерно-геологическим факторам при оценке условий освоения месторождений полезных ископаемых относятся следующие: инженерно-геологический тип массива; горно-геологическая ярусность массива пород; структурно-механические особенности массива. Использование этих факторов позволяет оценивать устойчивость пород в горных выработках и их разрабатываемость.

Основным геоструктурным элементом земной коры – платформам и горно-складчатым областям – соответствуют два типа массивов горных пород: платформенные массивы и массивы горно-складчатых сооружений.

Для платформенных массивов характерно наличие двух крупных структурных этажей, имеющих сложное многоярусное строение. Нижний структурный этаж – складчатый фундамент платформенных массивов, сложен первичноосадочными и магматическими породами, дислоцированными и метаморфизованными.

Верхний структурный этаж, платформенный чехол, сложен осадочными породами, залегающими без существенных тектонических нарушений.

Строение горно-складчатых массивов разнообразно и сложно. В них выделяются следующие структурные этажи: нижний, сложенный вулканогенно-осадочными породами, образованными на начальных стадиях развития горно-складчатого сооружения; в средних этажах преобладают карбонатные и сланцеватые породы; в верхних структурных этажах развиты циклично построенные толщи типа флиша, молассы. Кроме вертикальной зональности (этажности), в строении горно-складчатых массивов отмечается региональная зональность с выделением линейно

вытянутых на многие километры зон или поясов. Главнейшие из них: срединные массивы, внутренние синклиории и мульды, интрузивные массивы, межгорные впадины, краевые прогибы.

Как платформенные, так и горно-складчатые массивы отличаются разным возрастом. Возраст платформенных массивов определяется по возрасту их фундаментов. Если последний формировался в докембрии, массив горных пород относится к древним. Таковы массивы Русской, Сибирской и других платформ. Платформенные массивы Урало-Тяньшанской складчатой зоны, перекрытые слабодислоцированными мезокайнозойскими отложениями, могут служить примером относительно молодых платформ. Возраст горно-складчатых массивов чаще всего может быть нижнепалеозойским или верхнепалеозойским.

В систематике массивов горных пород имеют место и более дробные подразделения, которые соответствуют внутренним структурно- и территориально-обособленным частям платформенных областей и горно-складчатых сооружений. В пределах платформ это крупные положительные структуры типа антеклиз, валов и щитов и крупные отрицательные структуры типа синеклиз и прогибов. Они отличаются друг от друга глубиной залегания складчатого фундамента и строением верхнего структурного этажа – платформенного чехла. Так, в пределах щитов платформенный чехол часто отсутствует и породы фундамента выходят на поверхность. В синеклизах и прогибах мощность платформенного чехла, наоборот, велика. Антеклизы и валы в этом отношении занимают промежуточное положение. Отмеченным структурным частям платформенных областей соответствуют три основные группы массивов пород платформенного типа: массивы областей щитов, антеклиз и валов, синеклиз и прогибов.

Структурные подразделения в горно-складчатых областях представлены в виде регионально вытянутых зон и поясов, которым соответствуют основные группы горно-складчатых массивов, такие, как срединные массивы, массивы межгорных впадин и краевых прогибов. В группе массивов областей щитов различают подгруппы массивов отдельных складчатых зон. Так, в пределах Балтийского щита различают группы массивов Кольской, Карельской, Финляндской и других складчатых зон. Основные различия во внутригрупповых инженерно-геологических характеристиках массивов пород горно-складчатых областей обусловлены неодинаковой активностью тектонических движений и различной расчлененностью рельефа. По этим признакам выделяются подгруппы массивов: тектонически активных высокогорных областей; тектонически слабо активных низкогорных областей; тектонически пассивных и пенепленизированных областей горно-складчатых сооружений. С интенсивностью и масштабами современных тектонических движений

связаны: сейсмичность, эрозионное расчленение массивов горных пород, развитие обвалов, оползней, лавин и других современных геологических явлений.

3.3. Геодинамическая обстановка производства горных работ

В земной коре непрерывно происходят различные по своей природе геологические процессы, вызванные природными и техногенными факторами, определяющие геодинамическую обстановку осваиваемых территорий и в т.ч. месторождений полезных ископаемых [11]. Все эти процессы происходят в горных породах и подземных водах под влиянием силовых (энергетических) полей. Горные породы в условиях их природного залегания находятся под воздействием естественного напряженного состояния, с оценки которого следует начинать изучение различных геологических процессов, а также изменения его вокруг горных выработок в связи со строительством различных сооружений, при осушении или подтоплении территории, при проведении буро-взрывных работ и т.д. Свидетельством того, что горные породы в настоящее время находятся в напряженном состоянии, являются землетрясения, неотектонические движения, оползни и обвалы на естественных речных и морских склонах.

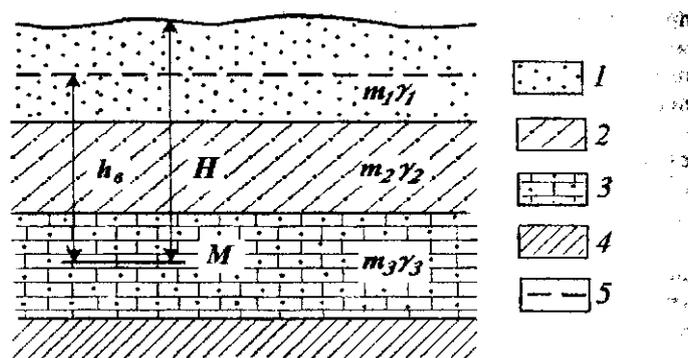


Рис. 3.1. Схема к определению природного давления от массы вышележащих пород:

1, 2 — водоносные песок и супесь; 3 — водоносный слабый песчаник;
4 — глинистый водоупор; 5 — уровень подземных вод

Проявление напряженного состояния горных пород при их взаимодействии с различными поверхностными и подземными сооружениями наблюдается в разнообразных деформациях этих пород (уплотнение, разуплотнение, сдвиг и др.). Напряженное состояние пород в земной коре определяется действием двух независимых силовых полей — гравитационного и тектонического.

Гравитационное поле обусловлено действием всемирного тяготения и напряжения, возникающих на некоторой глубине H от поверхности земли, которые можно рассматривать как напряжения от массы вышележащих пород. Вертикальное давление толщи пород p_v на горизонтальную единичную площадку (рис. 3.1) можно выразить следующим образом:

$$p_v = \sum_1^n m_i \gamma_i - h_w \gamma_w,$$

где m_i — мощность i -го слоя в толще вышележащих пород с удельным весом γ_i ;

n — число слоев в толще пород, залегающих над точкой M ;

h_w — высота столба воды над точкой M с плотностью γ_w .

Если учитывать изменения плотности пород в зависимости от литологического состава и гидрогеологических условий и выразить ее некоторым средневзвешенным по мощности значением γ_{cp} , то можно записать: $p_v = \gamma_{cp} H$, где H — общая мощность вышележащих пород.

Задача распределения напряжений в точке упругой изотропной толщи от веса вышележащих пород была решена швейцарским геологом А. Геймом (вторая половина XIX в.) и академиком А.Н. Динником (1925 г.) в виде:

$$\sigma_z = \gamma_{cp} H; \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_z,$$

где σ_z — вертикальная составляющая гравитационного поля;

σ_x и σ_y — горизонтальные составляющие;

μ — коэффициент Пуассона горных пород.

Анализ многих аварий сооружений и непосредственные замеры напряжений в горных породах показали наличие аномальных напряжений, гораздо больших гравитационных. И.А. Турчанинов [3] приводит данные, измерений напряжений (около 2000 опытов) на Кольском полуострове в недрах Хибинского щелочного массива на глубинах от 100 до 600 м в породах высокой прочности ($R = 120-220$ МПа, $\mu = 0,26$). Гори-

горизонтальные напряжения на глубине 100 м оказались в 60 раз больше гравитационных, а на глубине 600 м — в 12 раз. Имеются данные о наличии аномальных напряжений в кристаллических породах Балтийского щита, метаморфических сланцах в районе Саяно-Шушенской ГЭС на р. Енисее, а также в шахтах Донбасса, КМА и др. При этом установлено, что максимальные напряжения приурочены к зонам тектонических нарушений. Природа отмеченных аномалий довольно сложная и слабо изучена. Предполагается, что дополнительные (к гравитационным) напряжения имеют тектоническую природу и обусловлены наличием тектонического градиента, за счет которого появляются горизонтальные тектонические силы. М.В. Гзовский в 1972 г. выделил четыре типа районов на территории СНГ по величине касательных напряжений тектонического происхождения:

- 1) наименее подвижные платформенные районы (максимальные τ , изменяются от 5,0 до 15,0 МПа);
- 2) более подвижные и сильно деформируемые районы (с τ , в пределах 20,0-60,0 МПа);
- 3) еще более подвижные районы (с τ , от 35,0 до 95,0 МПа);
- 4) наиболее подвижные и интенсивные деформируемые районы (с кратковременно действующими касательными напряжениями от 50,0 до 150,0 МПа).

Г.А. Марков (1977 г.) показал, что при наличии тектонического силового поля величина контурных напряжений вокруг выработок зависит от их ориентировки, т.е. $\sigma_{\alpha} = 3T_n (\psi_2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) - \psi_1 T_n + \gamma H (3\xi - 1)$, где ψ_1 и ψ_2 — параметры, зависящие от гравитационного напряженного состояния;

α — угол между направлениями продольной оси выработки и действия тектонических напряжений. Максимальных значений контурные напряжения достигают при $\alpha = 90^\circ$, а минимальных при $\alpha = 0$.

3.4. Горно-геологические явления на месторождениях твердых полезных ископаемых

В зависимости от характера энергии и места проявления выделяют эндогенные (глубинные) и экзогенные (поверхностные) процессы, которые тесно между собой связаны. Первые вызываются внутренними силами Земли (энергией, выделяемой при развитии вещества Земли, действием силы тяжести и сил, возникающих при вращении Земли), а вторые — энергией солнечной радиации, гравитационными силами и жизнедеятельностью растений и животных. Эндогенные и экзогенные гео-

логические процессы в совокупности определяют геодинамическую обстановку производства горных работ.

Из числа эндогенных геологических процессов, определяющих в значительной степени геодинамическую обстановку месторождения, наибольший интерес представляют сейсмические процессы, неотектонические движения земной коры, явления геотермии. Экзогенные геологические процессы, возникающие на месторождениях в результате геологической работы поверхностных вод (явления смыва, размыва, оврагообразования и т.д.), подземных вод (карст-образование, фильтрационное разрушение горных пород) и атмосферы (ветровая коррозия горных пород, процессы развевания и навезания – движущиеся пески), позволяют выделить особенности геодинамической обстановки, состояние и свойства горных пород покровной толщи изучаемой территории.

В инженерной геодинамике, изучающей геологические процессы и явления, принято выделять инженерно-геологические процессы и явления, вызванные деятельностью человека, и горно-геологические явления, возникающие под воздействием горных пород.

Горно-геологическими явлениями П.Н. Панюков назвал совокупность разнообразных видов деформаций пород в горных выработках. Такое название имеет важную особенность, так как определяет возникновение явлений в связи с проведением горных работ.

Практика показывает, что при освоении месторождений полезных ископаемых большой интерес представляют такие процессы и явления, как оползни, пльвуны, пучение, горные удары, выбросы пород, угля и газа и т.д. Эти процессы и явления кратко рассмотрены ниже.

3.4.1. Оползни

Экзогенные процессы, связанные с перемещением горных пород на естественных склонах и искусственных откосах под влиянием силы тяжести, называют гравитационными движениями. К ним относятся оползни – скользящее смещение масс горных пород вниз по склону под влиянием силы тяжести. Они широко распространены на склонах балок и оврагов, на откосах карьеров, отвалов, терриконов и существенно влияют на устойчивость территорий и инженерных сооружений. Эти процессы являются многофакторными, поэтому их изучение (несмотря на длительную его историю), а также оценка устойчивости склонов и откосов связаны со значительными трудностями. Для горной практики гравитационные движения представляют интерес при ведении не только открытых разработок (борта карьеров, откосы отвалов, дамб и др.), но и подземных, так как часто горные выработки и наземные сооружения за-

кладываются на склонах, а иногда они подрабатывают естественные склоны, карьеры, насыпные сооружения и т.д.

Деформирование горных пород на склонах и откосах давно привлекает внимание исследователей, поэтому в настоящее время существует большое количество классификаций и типизаций, построенных на разных принципах. Изучение механизма склоновых процессов позволило различать три их типа:

1) оползни, представляющие собой скольжение горных пород по поверхностям различной морфологии;

2) обвалы – скатывание, опрокидывание, вываливание блоков скальных или полускальных пород на крутых склонах;

3) осыпи – перемещение обломочного материала небольшой мощности по склону или откосу.

Изучая закономерности процесса перемещения горных пород на склонах и откосах или оценивая их устойчивость, необходимо четко характеризовать природную обстановку оползневой территории: рельеф, геологическое строение, подземные и поверхностные воды, климатические условия, тектонические особенности, свойства горных пород. Все это в целом определяет обстановку или условия возникновения (развития) оползневого процесса.

Факторами (причинами) оползневого процесса могут быть сейсмические толчки, абразия и эрозия склона или откоса, избыточное увлажнение за счет атмосферных, поверхностных или подземных вод, изменение напряженного состояния в связи с изменением режима подземных и поверхностных вод (создание гидростатического и гидродинамического давления), выветривание пород, изменение обстановки, вызываемое деятельностью человека (подрезка склонов или откосов, дополнительное нагружение их сооружениями, вырубка леса, изменение режима природных вод, взрывание и т.д.).

Оценка условий устойчивости оползневых склонов или откосов, в конечном итоге, сводится к определению или прогнозу соотношения между удерживающими $R_{уд}$ и сдвигающими $R_{сд}$ силами по характерной, наиболее вероятной или существующей поверхности скольжения:

$$\eta = \frac{\sum_{I}^n R_{уд}}{\sum_{I}^n R_{сд}}$$

Это соотношение принято называть коэффициентом устойчивости или коэффициентом запаса, а иногда коэффициентом запаса устойчиво-

сти. Степень устойчивости квазиоднородной среды (рис.3.2) можно определить по выражению

$$\eta = \frac{\sum N_i f + cL}{\sum T_i + \sum Q},$$

где N_i и T_i – нормальная и касательная составляющие массы расчетных блоков пород;

c и f – сцепление и коэффициент трения пород по плоскости скольжения длиной L ;

Q – неучтенные в N_i и T_i силы.

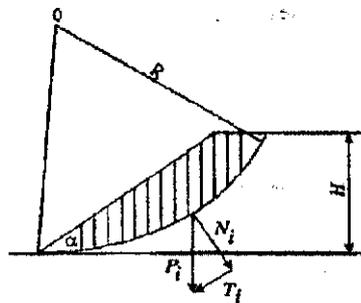


Рис.3.2. Схема к расчету устойчивости откоса в однородной изотропной среде

Многообразие форм расчетных поверхностей скольжения, связанное с характером геологических условий, определяет метод сложения сил по этой поверхности и, соответственно, схему расчета устойчивости откоса. Наиболее типичные формы поверхности скольжения и соответствующие им методы сложения сил приведены в опубликованной литературе [11].

Динамика оползневого процесса определяется геологическими условиями и ходом процессов-факторов, изменяющих эти условия. Поэтому изменение устойчивости есть процесс продолжительный, во время которого меняется рельеф местности, степень выветрелости и трещиноватости пород, их влажность (и, следовательно, прочность), режим подземных и поверхностных вод, климатические и сейсмические условия и т.д. Среди горнотехнических факторов, сказывающихся на устойчивости откосов, наибольшее значение имеют: система разработки,

производство буровзрывных работ, ширина бермоочистки и транспортных берм, профили площадок, уступов и т.д. Все это, в конечном итоге, приводит к изменению степени устойчивости склона или откоса, которое может иметь циклический или однонаправленный характер. Выделяется три основных этапа оползневого процесса:

1) подготовка оползня (накопление изменений природных условий, коэффициент устойчивости стремится к единице);

2) потеря устойчивости и проявление оползня (быстрое деформирование горных пород, коэффициент устойчивости равен единице);

3) стабилизация оползневого процесса (коэффициент устойчивости становится больше единицы за счет изменения конфигурации склона и постепенного восстановления сцепления в глинистых породах и перепакровки в обломочных).

Такой анализ позволяет восстановить историю оползневого процесса, его эволюцию, состоящую из этапов, выявить тенденцию его дальнейшего развития, указывающую на степень угрожаемости оползневых явлений (прогрессирует, затухает и т.д.) Наконец, зная закономерности развития оползневых процессов и явлений, можно предвидеть (прогнозировать) их образование и тем самым предупреждать деформации горных пород, аварии и катастрофы.

3.4.2. Плывуны

Плывунами обычно называют водоносные тонко- и мелкозернистые пылеватые пески, которые при вскрытии приходят в движение (как тяжелые вязкие жидкости) и требуют применения специальных способов проходки и крепления выработок.

В практике горного дела известны случаи прорывов плывунов в подземные выработки, которые приносили не только огромный ущерб, но и приводили к катастрофам. Причины прорыва плывунов различны: пересечение выработкой тектонических нарушений, большой напор подземных вод в плывунах, опускание кровли выработок, применение взрывных работ и др. Иногда прорывы плывунов сопровождаются нарушением устойчивости наземных сооружений или образованием воронок на земной поверхности.

Давление плывунов на крепь часто приводит к искривлению шахтных стволов, буровых скважин и других выработок, к разрушению крепи и прорыву плывуна.

При вскрытии плывунов происходит быстрое (иногда катастрофическое) заполнение горных выработок водонасыщенным песком с последующей потерей устойчивости вмещающих их пород. Иногда при

больших напорах воды в движение могут перейти и более крупнозернистые пески и даже галечники, однако в этих случаях происходит быстрое рассеивание давления воды из-за хорошей водопроницаемости пород и процесс перемещения затухает. Поэтому принято различать истинные и псевдопльвуны.

Псевдопльвуны – это пльвуны осушаемые, при снятии гидростатического напора легко отдающие воду и превращающиеся в устойчивые породы. Истинные пльвуны – слабо или совсем неосушаемые.

Признаками истинных пльвунов являются содержание в них глинистых частиц менее 3 % при преобладании песчаных частиц размером 0,25-0,05 мм и пылеватых; высокая пористость (43-45 %), наличие органических веществ и микроорганизмов; низкая водопроницаемость и водоотдача; малое сопротивление сдвигу (угол внутреннего трения меньше 5-8°).

Истинные пльвуны также обогащены гидрофильными минералами группы монтмориллонита, содержат воду в связанной форме, обладают тиксотропными формами (коллоидные системы).

Характер поведения пльвунов объясняется гидродинамическим давлением поровой жидкости, специфическим составом и состоянием водонасыщенных песков.

В последние годы В.В. Радина (1972) установила, что в жидкой фазе пльвунов за счет накопления газообразных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов формируется избыточное поровое давление.

Записав закон Кулона с учетом давления в порах пльвунов

$$\tau_{ef} = \sigma_{ef} \operatorname{tg} \varphi; \quad \sigma_{ef} = \sigma - u$$

(здесь σ , σ_{ef} и u – полное нормальное напряжение, эффективное напряжение в скелете и поровое давление в жидкой фазе), увидим, что при некотором $u = \sigma$ наступит потеря устойчивости пльвуна.

Если в естественных условиях вода, содержащаяся в пльвуне, имела некоторый напор H (рис. 3.3), то при вскрытии слоя горной выработкой формируется перепад напора $\Delta H = H - h$, который создает гидродинамическое давление на единичную площадку:

$$D = \frac{\Delta H}{l} \gamma_w - I \gamma_w,$$

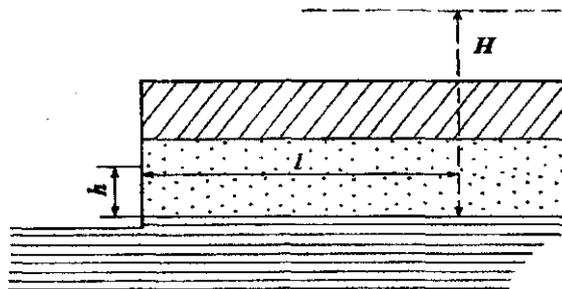


Рис. 3.3. Схема к расчету порового давления в пльвунах

H – напор воды, содержащийся в пльвуне;
 h – напор воды при вскрытии слоя горной выработкой;
 l – длина слоя пльвуна, вскрытого горной выработкой

Таким образом, сопротивление пльвуна сдвигу

$$\tau = (\gamma_{cp} z - \gamma_n) \operatorname{tg} \varphi,$$

где z – глубина залегания рассматриваемого сечения слоя пльвуна;
 γ_{cp} – средняя плотность вышележащих пород.

В этом случае в роли порового давления выступает гидродинамическое давление, но поровое давление может быть вызвано и другими причинами (в частности, жизнедеятельностью микроорганизмов).

Итак, причина подвижности пльвунов состоит в особенностях состава, состояния и свойств песчаной гидрофильной породы и микроорганизмов, населяющих истинные пльвуны, находящихся под воздействием гидростатических и гидродинамических сил, определяемых инженерно-геологическими исследованиями.

3.4.3. Пучение

Пучение (выдавливание) почвы горных выработок наблюдается на большинстве угольных шахт (Подмосковный, Кузнецкий бассейны и др.) и во многих рудниках (КМА и др.).

В результате пучения уменьшаются размеры поперечного сечения выработок, разрушаются крепи, вентиляционные и транспортные магистрали.

Пучение свойственно главным образом глинистым породам, обладающим незначительным сцеплением и внутренним трением.

С увеличением глубины заложения выработок пучению подвергаются породы и более прочные (глинистые и песчаные сланцы, плотные и прочные аргиллиты и алевролиты).

Процесс пучения глинистых пород развивается под действием сил горного давления, набухания породы, фильтрационного давления подземных вод, явления гидратации и окисления. Первопричиной пучения является нарушение естественного напряженного состояния массива после проведения выработки. При наличии обводненности или влажного воздуха глинистые породы набухают, увеличивая свою пластичность. Набухание глины возрастает при увеличении содержания в породе коллоидных частиц глинистых минералов с подвижной кристаллической решеткой замещении в диффузионном слое двух и трехвалентных катионов одновалентными, а также нарушении их естественной структуры. Изменение пород приводит к повышению интенсивности и величины давления набухания во времени.

При градиентах фильтрации близких или превышающих критические значения ($I_{кр}$), наблюдается вначале гидродинамическое взвешивание, а затем выпучивание породы, нередко завершающееся прорывом воды в горную выработку. Такого рода явления, часто наблюдаемые в угольных шахтах Мосбасса, свидетельствуют о пучении породы под действием фильтрационного давления. В некоторых случаях происходит набухание пород вследствие приращения объема некоторых минералов в результате их гидратации и окисления. На процессы пучения, кроме того, оказывают влияние сложение породы, прочность и жесткость вмещающих пород, условия и форма залегания пучающейся породы.

Предварительное осушение обводненных месторождений является наиболее эффективным способом борьбы с пучением глинистых пород. С его помощью достигается снижение не только горного, но и фильтрационного давления, во многих случаях играющего основную роль в деформациях пучения пород.

3.4.4. Горные удары

Горный удар – внезапное, взрывоподобное разрушение предельно напряженной части пласта угля (породы), прилегающей к горной выработке.

Горные удары широко распространены на угольных шахтах Кизеловского, Кузнецкого и других бассейнов, а также на рудниках Кривбасса, Хибин, Урала и др.

Горные удары возникают в определенных геологических условиях под влиянием техногенных факторов. Наиболее благоприятными геологическими условиями являются следующие: полезное ископаемое и вмещающие породы большой прочности, наличие тектонической нарушения (складки, дизъюнктивы), высокий уровень естественного напряженного состояния пород (большие глубины, аномальные тектонические напряжения). При этом отмечается влияние следующих технологических факторов: форма горных выработок и взаимное расположение их в пласте, наличие целиков, изрезанность обрабатываемого участка и др.

Основная причина горных ударов – высокая концентрация потенциальной энергии упругого сжатия пород и полезного ископаемого вокруг выработок, приводящая к формированию в них предельно напряженного состояния. Силовые воздействия определяются гравитационными и тектоническими напряжениями, фильтрацией подземных вод, сейсмическими импульсами и т.д. Предвестником горного удара часто считают стреляние пород и угля. В зависимости от свойств пород и способности их релаксировать концентрирующиеся напряжения вокруг выработки могут спровоцировать стреляние или горный удар. Как показал Г.Л. Фисенко (1976), по характеру распределения напряжений вблизи стенок горной выработки в прочных и упругих породах, не склонных к деформациям ползучести, максимальная релаксация напряжений наблюдается у стенок выработки, т.е. в пределах небольшого объема пород (угля), который при вскрытии откалывается и отскакивает на значительное расстояние от стенки.

3.4.5. Выбросы пород, угля и газа

Выбросы пород, угля и газа или газодинамические явления, как правило, приурочиваются к призабойным частям угольного пласта и характеризуются быстрым разрушением пород, сопровождаемым дроблением разрушаемой породы и выделением большого количества газа (метана, азота, углекислого газа). Известно, что в порах 1 м^3 угля может адсорбироваться до 40 м^3 природных газов, которые при вскрытии угольного пласта высвобождаются, создавая большое внутреннее давление, которое участвует в формировании напряженного состояния краевой части угольного пласта. Разрушение пласта может произойти путем отрыва его части при условии, если давление газа $q \geq R_p - \gamma h \sin \beta$

или путем сдвига в прочных углях, где предельное состояние записывается в виде:

$$\sigma_1 = R_c (1 - q/R_p) + (R_c - q) \operatorname{tg} \omega,$$

где h – высота блока обрушения по нормам к пласту,
 β – угол падения пласта,
 σ_1 – главное максимальное напряжение,
 R_p – удельное боковое сопротивление выдавливанию,
 R_c – прочность массива, $\omega = 45^\circ - \gamma/2$.

Как показывает опыт, тектонические нарушения – пережимы, флексурные перегибы, разрывы угольного пласта способствуют внезапным выбросам. Частота внезапных выбросов возрастает в пределах пласта с увеличением углов падения и мощности. Обводненность пород уменьшает возникновение явления внезапного выброса угля и газа, ослабевают они и с повышением глубины.

Глава IV. ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

4.1. Вода. Условия залегания подземных вод

Гидрогеология представляет собой науку о водах недр Земли. Гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых является прикладным направлением этой науки, изучающей подземные воды применительно к задачам геолого-промышленной оценки месторождений, их освоения и разработки.

Основными оболочками Земли являются литосфера, атмосфера, гидросфера и биосфера. Под гидросферой понимают все природные воды Земли, находящиеся в постоянном взаимодействии с другими оболочками. Исследователи выделяют надземную гидросферу, пронизывающую всю атмосферу, наземную, объединяющую совокупность поверхностных вод, и подземную, расположенную ниже поверхности Земли и дна океанов и водотоков [8].

Как известно, вода образуется из двух объемов водорода и одного объема кислорода, т.е. имеет химическую формулу H_2O и молекулярную массу 18. Температура кипения и плавления воды при атмосферном давлении – 100° и $0^\circ C$, теплоемкость воды наиболее высокая из всех жидкостей и составляет $4,19$ Дж/ $^\circ C$. Вода обладает также самой высокой из всех жидкостей диэлектрической постоянной ($80,1$ при $t \approx 20^\circ C$). Благодаря этому при растворении в воде солей сила электрического взаимодействия между разноименными заряженными частицами уменьшается в 80 раз, в результате чего соли в воде диссоциируют на ионы значительно легче, чем если бы кристаллы соли находились в воздухе. Сама же вода в химических реакциях не участвует, оставаясь жидкой. Другим уникальным свойством воды является то, что ее твердая фаза (лед) не тонет в собственном расплаве. Поэтому водоемы замерзают с поверхности, образуя ледяную корку и защищая живые организмы от гибели.

В настоящее время известны три изотопа водорода (1H – протий, 2H – дейтерий, D, 3H – тритий, T) и три изотопа кислорода (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O). Различные сочетания указанных изотопов могут образовать 18 различных типов воды. Особое внимание исследователей привлекает т.н. тяжелая вода, состоящая из дейтерия и обычного кислорода – $^2H_2^{16}O$, которая обладает необычными свойствами. Тяжелая вода токсична, живые организмы в ней погибают.

Постоянное взаимодействие воды с горными породами, газами, живым веществом обуславливает многообразие воды в подземной гид-

росфере. В настоящее время схема подразделения видов воды в горных породах может быть предоставлена в следующем виде:

1. Вода, входящая в состав кристаллической решетки минералов;
2. Вода, физически связанная горными породами;
3. Свободная вода (капиллярная, гравитационная);
4. Вода в твердом состоянии – лед;
5. Вода в состоянии пара.

Для специалистов, изучающих горное дело, наибольший практический интерес представляет свободная вода. В отличие от других видов она обладает свойствами жидкой воды и способна передвигаться под действием силы тяжести, ее количество в горной породе зависит от размера пор и трещин. Капиллярно поднятая вода, образующая капиллярную кайму, располагается над поверхностью свободных вод. Отличительная особенность гравитационной воды – ее передвижение под влиянием силы тяжести и напорного градиента. Свободная вода передает гидростатическое давление. Различают инфильтрующуюся воду зоны аэрации, просачивающуюся сверху вниз, и фильтрующуюся воду зоны полного насыщения – она движется в виде потока по водоносному горизонту (рис. 4.1)

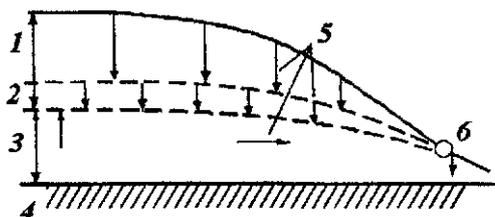


Рис. 4.1. Схема взаимодействия зон аэрации и полного насыщения:

1 – зона аэрации; 2 – подзона капиллярного поднятия; 3 – зона полного насыщения; 4 – водоупор; 5 – направление движения воды; 6 – родник

Инфильтрационное питание в значительной степени зависит от интенсивности атмосферных осадков. Для предотвращения обвалов и оползней при открытой разработке выполняют защитные мероприятия по перехвату атмосферных вод. При подземной разработке ливневые дожди и снеготаяние повышают обводненность выработок, особенно при их неглубоком заложении.

Вода в горных породах находится под влиянием одновременно и повсеместно действующих сил: сорбционных (молекулярных), капиллярных, гравитационных и др. Однако соотношение их различно на разных участках и в разные моменты времени. Наличие в горных породах той или иной природы действующих сил определяет и их водные свойства: влагоемкость, естественную влажность, водоотдачу, недостаток насыщения и водопроницаемость.

В различных оболочках земной коры встречаются и различные агрегатные состояния воды, обусловленные соответствующими температурами и давлением. Твердая фаза (лед) распространена в районах криолитозоны (многолетней мерзлоты). Жидкая вода наиболее широко распространена в верхней части земной коры. В магме вода находится в растворенном и диссоциированном состоянии (5-7% воды). Практически распределение воды в земной коре в настоящее время изучено до 5-12 км на платформах и 2-3 км в горных складчатых областях. В этих пределах выделяют два этажа:

1. Нижний этаж представляющий собой основание платформ и сложенный плотными метаморфическими породами, являющимися водоупором. Здесь подземные воды развиты в ограниченных количествах по зонам тектонических нарушений и в коре выветривания;

2. Верхний этаж – чехол платформ и складчатых сооружений. Для него характерно наличие крупных скоплений подземных вод в виде бассейнов различного типа. По характеру распределения подземных вод выделяют зону аэрации и зону насыщения. Последняя и представляет наибольший практический интерес. Поскольку техногенные загрязнения поступают в водоносные горизонты через зону аэрации, познание процессов и роли последней также актуальны [16].

4.2. Водоносные горизонты и комплексы

Водоносными называют горные породы, которые содержат свободную воду и способны пропускать ее через свою толщу под действием силы тяжести. К таким породам можно отнести галечники, гравелиты, пески, известняки и др.

К водоупорным (водонепроницаемым) относят такие породы, которые весьма слабо пропускают (фильтруют) воду или совсем не способны отдавать и пропускать ее в природных условиях; к таким относят глины, тяжелые суглинки, глинистые сланцы, аргиллиты, мергели и другие плотные породы.

Чередование пород в геологическом разрезе позволяет провести их расчленение по литологическим особенностям на водоносные и водоупорные пласты. Наиболее распространенные подразделения (от бо-

лее мелких к крупным): водоносный горизонт, водоносный комплекс, гидрогеологический этаж, гидрогеологический бассейн.

Под водоносным горизонтом принято понимать относительно выдержанную по площади и в разрезе насыщенную свободной гравитационной водой одно- или разновозрастную толщу горных пород в гидродинамическом отношении являющуюся единым целым. По условиям залегания и их режиму выделяются водоносные горизонты грунтовых, межпластовых ненапорных и напорных (артезианских) вод (рис. 4.2).

Водоносный комплекс представляет собой выдержанную в вертикальном разрезе и имеющую региональное распространение водонасыщенную толщу одно или разновозрастных и разнородных по составу пород, ограниченную сверху и снизу регионально выдержанными водоупорными пластами, почти исключаящими или затрудняющими гидравлическую связь со смежными водоносными комплексами (рис. 4.3)

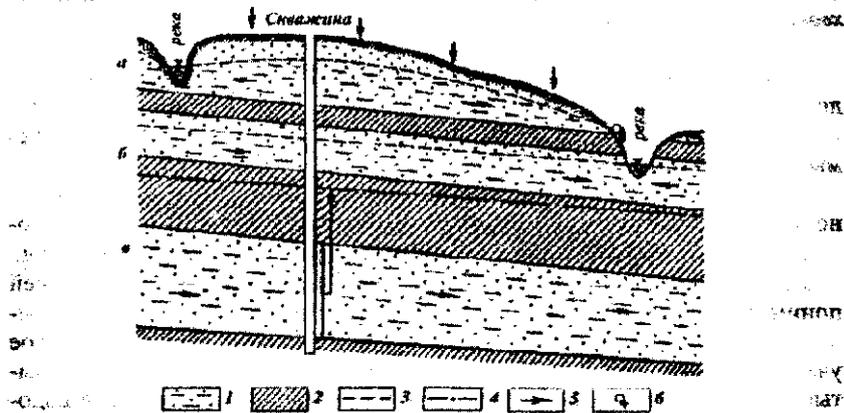


Рис. 4.2. Типовые схемы залегания водоносных горизонтов (по П.П.Климентову);

1 — водоносные горизонты (а — грунтовые воды, б — межпластовые ненапорные, в — артезианские); 2 — водоупорные породы; 3 — уровень ненапорных вод; 4 — пьезометрический уровень напорных вод; 5 — направление движения подземных вод; 6 — родник грунтовых вод

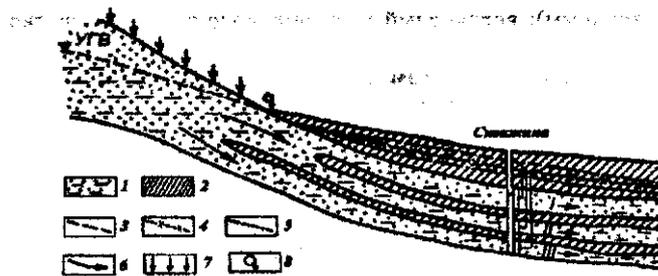


Рис. 4.3. Типовая схема строения водоносного комплекса
(по П.П.Климентову):

1 – водопроницаемые породы; 2 – водоупорные породы; 3-5 – пьезометрические уровни, соответственно, I, II и III горизонтов; 6 – направление движения подземных вод; 7 – область питания водоносного комплекса; 8 – родник нисходящий (зона разгрузки)

Под гидрогеологическим этажом понимается совокупность водоносных комплексов, ограниченных только снизу или сверху и снизу мощными регионально выдержанными в пределах водонапорной системы толщами водоупорных пород.

Гидрогеологический бассейн – совокупность водоносных и относительно водоупорных горизонтов и комплексов, выделяемых по общим условиям формирования состава и свойств заключенных в них вод.

В горном деле существует понятие «обводненная зона». Под ней понимается совокупность водоносных горизонтов или водоносных комплексов, вскрытых горными выработками или принимающих другое участие в обводнении этих выработок. Ими могут быть не только вскрытые горными выработками, но и вышележащие и нижележащие водоносные горизонты.

Подземные воды классифицируют по происхождению условиям залегания, гидродинамическим показателям и др.

В настоящее время принято выделять три разновидности водосодержащих толщ.

Зона аэрации распространена от земной поверхности до уровня грунтовых вод (первого в разрезе водоносного горизонта). Мощность ее зависит от различных факторов и изменяется от долей метра до 100 м и более. В состав зоны аэрации входят почвенные, капиллярные воды и верховодка (последняя залегает в зоне аэрации на линзах водоупорных пород).

Грунтовые воды залегают на сравнительно небольшой глубине на первом от поверхности водоупорном слое, обычно они безнапорные. Поверхность грунтовых вод называется зеркалом.

Артезианские воды – напорные, распространены на значительной площади между водонепроницаемыми породами кровли и подошвы. В артезианских структурах различают чехол, в котором расположены пластовые скопления подземных вод, и складчатый, фундамент, содержащий трещинно-жильные скопления подземных вод.

По данным замеров уровня грунтовых вод в скважинах, шурфах, колодцах, источниках и т.д. можно составить карту поверхности (зеркала) грунтовых вод. С этой целью все выработки, где замерялись уровни воды наносят на топографическую карту, уровни пересчитывают на абсолютные отметки и по ним на карте проводят горизонтали, которые принято называть гидроизогипсами. По такой карте можно определить: направление течения и уклон потока, глубину залегания и мощность грунтового потока в любой точке или на любом участке, соотношение поверхностей грунтовых вод и рельефа, характер взаимосвязи грунтовых и поверхностных вод (рек, озер, водохранилищ и т.д.).

Уровень напорных вод называется пьезометрическим. Последний всегда располагается выше кровли водоносного горизонта. Превышение пьезометрического уровня над кровлей называется напором. Характер пьезометрической поверхности того или иного напорного водоносного горизонта на картах изображается гидроизопьезами. Карта гидроизопьез, как и гидроизогипс, сопровождается гидрогеологическими разрезами, на которых показывают стратиграфические границы, литологические особенности пород в виде колонок, водоупорные толщи, напоры, абсолютные отметки. По карте гидроизопьез можно установить направление движения артезианского потока, пьезометрический уклон, мощность водоносного горизонта, участки фонтанирования воды и др.

4.3. Состав и свойства подземных вод

Подземные воды представляют собой сложные естественные растворы, находящиеся в многообразных связях и взаимодействии с окружающей средой.

К физическим свойствам подземных вод относятся: температура, прозрачность, цвет, запах, вкус, плотность, сжимаемость, вязкость, электропроводность и радиоактивность.

Температура подземных вод изменяется в широких пределах. В высокогорных районах и в области вечной мерзлоты она низкая. Здесь иногда высокоминерализованные воды имеют отрицательную температуру (-5°C и ниже). В районах молодой вулканической деятельности, в

местах выхода гейзеров (Камчатка) она иногда превышает 100°C. Нередко горячие, т.н. термальные воды (температура более 37°C), используются в практических целях (бальнеология, теплофикация, энергетика).

Прозрачность зависит от содержания мехпримесей, коллоидов и органических веществ.

Цвет также зависит от имеющихся в воде механических и органических примесей.

Вкус воде придают минеральные вещества, газы и другие примеси.

Запах вода, как правило, не имеет. Лишь при наличии сероводорода вода имеет запах тухлых яиц.

Плотность воды характеризует минерализацию (см. ниже).

Сжимаемость показывает изменение объема воды под действием давления. Коэффициент сжимаемости для подземных вод изменяется в пределах: $\beta = (2,7-5,0)10^{-5}$ Па (В.Н. Щелкачев).

Вязкость характеризует внутреннее сопротивление частиц жидкости ее движению. Различают динамическую и кинематическую вязкости. Например, динамическая вязкость дистиллированной воды при атмосферном давлении и комнатной температуре равна 0,001 Па с. Коэффициент кинематической вязкости ν связан с динамической зависимостью:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (4.1)$$

где μ — динамическая вязкость, Па с;

ρ — плотность жидкости, кг/м³. Единица кинематической вязкости, равная 10⁻⁴ м²/с, называется стоксом.

Электропроводность подземных вод обусловлена тем, что они являются растворами электролитов, а радиоактивность вызвана наличием в них урана, радия, радона (газообразная эманация радия).

Изменение состава подземных вод происходит в результате смешения вод различного состава, испарения и др. К числу основных природных условий, обуславливающих формирование состава вод, следует отнести: климат, характер почвенного слоя, состав горных пород, деятельность живых организмов. Кроме того, имеют значение условия питания подземных вод и интенсивности водообмена.

Природную геохимическую обстановку, влияющую на формирование химического состава определяют геологические условия. Г.Н. Каменским выделены следующие генетические циклы подземных вод: ин-

фильтрационный (континентальный), морской (осадочный), метаморфический и магматический. К числу основных процессов, влияющих на формирование химического состава подземных вод, относятся конвективный перенос, диффузия, гидролиз, растворение и выщелачивание, кристаллизация (выпадение осадка), сорбция, ионный обмен, окислительно-восстановительные реакции и др.

В природных водах присутствует более 80 из известных 105 химических элементов. Макрокомпоненты составляют основу солености воды, которая оценивается общей минерализацией – суммой ведущих солей, растворенных в воде. По величине общей минерализации подземные воды делятся на пресные, солоноватые, соленые и рассолы. Другой важный параметр – жесткость, которая обусловлена суммой ионов кальция и магния (мг-экв/л). Различают общую, обусловленную общим содержанием в воде ионов кальция и магния, устранимую или временную, зависящую от той части названных ионов, которая выпадает в осадок при кипячении, и постоянную, обусловленную той частью ионов кальция и магния, которая остается в растворе после кипячения. По степени общей жесткости пресные воды подразделяются на очень мягкие (до 1,5 мг-экв/л); мягкие (1,5-3,0); умеренно жесткие (3,0-6,0); жесткие (6,0-9,0) и очень жесткие (> 9,0 мг-экв/л).

Важной характеристикой состояния подземных вод являются их кислотно-щелочные условия, определяемые величиной водородного показателя pH, выражающей отрицательный логарифм активности иона водорода в воде. По величине pH воды делятся на сильно кислые (pH < 3,0); кислые (3,0-5,0); слабо кислые (5,0-6,5); нейтральные (6,5-7,5); слабо щелочные (7,5-8,5); щелочные (8,5-10,0) и сильно щелочные (> 10).

Микрокомпоненты включают элементы или соединения в количестве, не менее 10 мг/л, редко 100 мг/л. Содержание ультрамикрокомпонентов (Rb, Au, Hg) редко превышает 0,1 мг/л. К микрокомпонентам относятся элементы (Li, B, F, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ba и др.). Микрокомпоненты не определяют химический тип воды, но влияют на особенности их состава. Химическая типизация и классификация подземных вод производится по макрокомпонентам.

О.А. Алекян разделяет подземные воды в зависимости от преобладающих ионов и соотношения между главными ионами на классы, группы и типы. По преобладающему аниону выделены классы: гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные. По преобладающему катиону установлено четыре типа вод (маломинерализованные, среднеминерализованные, сильноминерализованные и кислые).

Для выявления химического состава выполняют химические анализы подземных вод (полевые, сокращенные, полные и специальные). Выбор типа анализа определяется целевым назначением и требуемой

точностью определения искомого компонента. Результаты анализов удобно изображать в виде предложенного Н.И. Толстихиным графика-квадрата, позволяющего выделить различные типы подземных вод. В практике для обозначения типов воды широко используется формула М.Г. Курлова, в которой анионы (числитель) и катионы (знаменатель) выражают в процентах эквивалентов в убывающем порядке (кроме тех, содержание которых меньше 10).

Оценка качества воды для питьевых целей производится по ГОСТ-2874-82, в котором указаны ПДК тех или иных компонентов в воде (сухой остаток – 1000 мг/л, сульфаты – 500 мг/л, железо – 0,3 мг/л и т.д.).

Кроме того, ГОСТ 2874-82 на питьевую воду предусматривает ПДК по бактериологическим требованиям. Так, общее количество бактерий в 1 см³ воды не должно превышать 100, коли-титр – 300 (количество воды в см³ на одну кишечную палочку), а также ПДК по токсичным микроэлементам.

Оценка агрессивных свойств воды выполняется с целью предотвращения разрушающего действия воды на бетон (углекислая агрессия, агрессивность выщелачивания, общекислотная и магниальная агрессия).

Значение химического состава подземных вод месторождений полезных ископаемых и рудничных (шахтных) вод важно для изучения влияния подземных вод на формирование различных руд и других полезных ископаемых, а также на предмет возможности практического использования этих вод при разработке месторождений.

4.4. Законы фильтрации (основы динамики подземных вод)

Законы движения подземных вод составляют предмет особой научной дисциплины – динамики подземных вод, которая, в свою очередь, является частью подземной гидравлики, изучающей общие законы движения жидких и газообразных тел. Известно, что основная часть воды в земной коре перемещается в связанном состоянии вместе с частицами горных пород внутри кристаллической решетки или на ее поверхности в виде целых молекул воды. Е.В. Пиннекер и С.Л. Шварцев движение воды вместе с горной породой называют геологическим движением воды, которое, наряду с фильтрацией, играет важную роль в геологической истории Земли. Таким образом, необходимо различать движение воды как самостоятельного физического тела, затем как тела физически или химически связанного с горными породами, и в третьих, как геологического тела [16].

Свободная вода, если она не связана силами с горными породами, ведет себя как самостоятельное физическое тело, подчиняясь законам гравитационного, теплового и геофизического поля. Движение жидкой воды происходит в результате передачи гидростатического давления от участков более высокого напора к участкам его более низких значений. В этой связи свободная вода находится под влиянием только гидростатического давления, т.е. массы вышележащего столба воды:

$$P_r = \frac{\rho_w H}{10}, \quad (4.2)$$

где ρ_w — плотность воды;

H — глубина залегания измеряемой точки от уровня первого от поверхности земли водоносного горизонта.

Исследования, проведенные в нефтегазоносных районах, где были пробурены глубокие скважины, показали, что пластовые давления в водоносных горизонтах нередко выше расчетных гидростатических в 1,3-1,6 раза. Такое давление, обусловленное плотностью горных пород, назвали литостатическим, что оказало влияние на разработку новых схем гидродинамической зональности земных недр и типов гидродинамического режима: инфильтрационного типа, эллизионного типа (выжимающего воду из пород за счет их уплотнения) и глубинного типа (под действием геостатического и тектонического давлений).

В настоящее время наиболее существенным является инфильтрационный тип режима, в пределах которого движение подземных вод (безнапорных и напорных) происходит вследствие разности напоров в зоне современной инфильтрации и зоне разгрузки.

Движение жидкостей и газов (подземных флюидов) в породах и трещинах горных пород, обусловленное наличием перепадов напоров, называется фильтрацией. Основными гидродинамическими элементами фильтрационного потока являются: пьезометрический напор, напорный градиент, линии тока и линии равных напоров. Для простоты расчетов реальный поток жидкости, движущейся только через поровое пространство, заменяется фиктивным потоком, занимающим весь водоносный пласт, включая не только поровое пространство, но и скелет породы.

По определению русского ученого Д. Бернулли, величина напора выражается уравнением:

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g}, \quad (4.3)$$

где P – гидростатическое давление в исследуемой точке потока;
 γ – объемная масса воды;
 Z – высота исследуемой точки потока над выбранной плоскостью сравнения напоров;
 $V^2/2g$ – скоростной напор, который в потоке весьма мал и обычно приравнивается нулю.

В этом случае:

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z. \quad (4.4)$$

Правая часть уравнения (4.3) известна под названием пьезометрического напора, а отношение $P/\gamma = h_n$ – как пьезометрическая высота. В случае безнапорного потока пьезометрическая высота равна глубине погружения точки, выбранной для замера от зеркала грунтовых вод, а в случае напорных вод – глубине погружения точки от пьезометрической поверхности этих вод (рис. 4.4). При горизонтальном залегании подошвы водоупора пьезометрический напор H равняется мощности потока h .

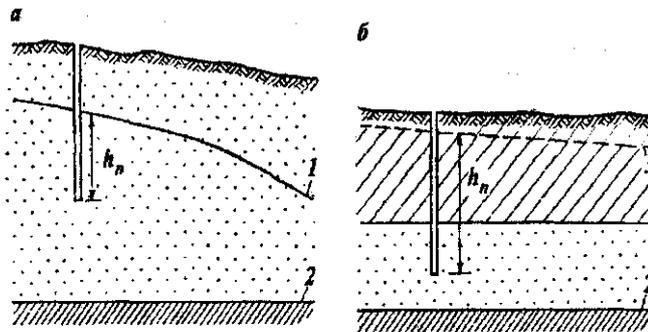


Рис. 4.4. Графическое изображение пьезометрической высоты в скважине для безнапорных (а) и напорных (б) вод:

1 – зеркало грунтовых вод; 2 – водоупор; 3 – пьезометрическая поверхность

При движении воды через поровое пространство часть напора тратится на трение, что создает уклон поверхности подземных вод в сторону их движения. У вод со свободной поверхностью в разрезе образуется кривая депрессии, а у напорных вод – пьезометрическая кривая. Средний уклон I_{cp} кривой депрессии подземных вод равен:

$$I_{\varphi} = \frac{H_1 - H_2}{x} = \frac{\Delta H}{x} \quad (4.5)$$

где H_1 и H_2 – напоры воды в любых двух сечениях;
 x – расстояние между этими сечениями.

Для потоков подземных вод характерно преобладание протяженности фильтрационного поля в плане над его мощностью при преимущественно горизонтальном направлении движения, что не исключает наличия, например, вертикального движения потоков. В зависимости от характера траектории движения воды различают одномерные (прямые линии), двумерные (криволинейные) и трехмерные (пространственные кривые) потоки. Структуру потока представляет гидродинамическая сетка, которую образуют линии равных напоров и линии токов (рис. 4.5).

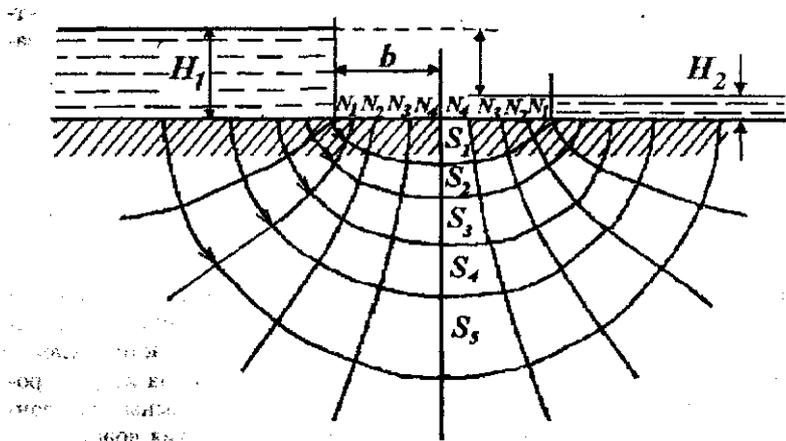


Рис. 4.5. Гидродинамическая сетка движения подземных вод под плотиной [16]:

H_1 и H_2 – напор воды соответственно в верхнем и нижнем бьефе; H – разность напоров воды P в нижнем и верхнем бьефе; b – половина ширины флюتبета плотины; N_1, N_2, N_3, N_4 – эквипотенциали; S_1, S_2, S_3, S_4 – линии тока с указанием направления движения воды

В зависимости от поведения линий тока различают установившееся и неустойчивое движение. При установившемся движении параметры потока (мощность, напорный градиент и расход) не изменяются во времени, при неустойчивом эти параметры быстро изменяются и по величине и по направлению. Соответственно, гидродина-

мическая сетка в условиях установившегося движения будет постоянной во времени, в условиях неустановившегося — переменной.

В общем случае движение подземных вод — неустановившееся. Однако при решении практических задач изменениями характеристик потока, если они незначительны, можно пренебречь. Считают, что на рассматриваемый расчетный момент времени в пределах определенной зоны устанавливается так называемый квазистационарный режим. Для этой зоны справедливы зависимости, применяющиеся при стационарном (установившемся) режиме.

Потоки подземных вод имеют естественные границы. Нижней границей является водоупорное основание (горизонтальное или наклонное). Верхней границей потока является свободная поверхность воды (для безнапорных вод) или кровля водоупорного слоя (для напорных вод). Боковыми границами потока являются зоны его дренажа и питания. Ими могут быть реки, овраги, болота, озера. Если границы находятся на большом удалении от изучаемого участка, то поток рассматривается как неограниченный. Уравнения, описывающие фильтрационные процессы, их выбор для решения задач зависят от взаимного расположения и конфигурации границ водоносных пластов, а также условий на этих границах. Кроме того, должны быть известны т.н. начальные условия, т.е. распределение напоров (уровней) по области фильтрации. Простейшее условие на границе области фильтрации — постоянный напор, который характерен обеспеченным питанием водоносных горизонтов (граница первого рода). Чаще всего такие контуры потока представляют собой внешние границы дренируемых пластов. Горные и дренажные выработки могут обеспечивать постоянный напор и на внутренних границах дренажа. На непроницаемых контурах обычно задается нулевая скорость фильтрации, т.е. нулевой расход потока (граница второго рода). Такие границы могут быть при выклинивании водоносных горизонтов. На границах питания, дренажа или площади развития водоносных пластов может возникать перетекание через слабопроницаемые породы (граница третьего рода). В качестве примера можно привести условие, при котором в дренируемый пласт перетекает поток из водотока через слабопроницаемые породы или разгрузка водоносного горизонта при дренировании его горной выработкой, отделенной слабопроницаемым экраном. Интенсивность такого перетока зависит от фильтрационных свойств экрана и перепада напоров на нем. Кроме приведенных трех разновидностей граничных условий выделяют условия четвертого рода, которые фиксируются на разделе зон, характеризующихся различными фильтрационными свойствами.

Отражение общих закономерностей фильтрации в совокупности с начальными и граничными условиями при решении уравнений движения потоков реализуется в определенной гидродинамической схеме.

В 1856 году на основе опытов фильтрации воды через различные пористые среды французский исследователь Анри Дарси установил закон движения подземных вод. Этот закон, получивший его имя, описывается уравнением

$$Q = KIF, \quad (4.6)$$

где K – коэффициент пропорциональности, зависящий от физических свойств породы и фильтрующей жидкости;
 F – площадь поперечного сечения породы.

Разделив обе части уравнения на F , получим:

$$V = KI. \quad (4.7)$$

Уравнение выражает закон Дарси, отражающий линейную зависимость между скоростью фильтрации и напорным градиентом. Коэффициент K получил название коэффициента фильтрации, который при гидравлическом градиенте, равном единице, представляет собой скорость фильтрации. Размерность коэффициента фильтрации та же, что и скорость фильтрации, т.е. см/с, м/ч или м/сут.

Для того, чтобы получить действительную скорость движения воды, необходимо скорость фильтрации V разделить на эффективную пористость породы n :

$$V_0 = \frac{V}{n}. \quad (4.8)$$

Закон Дарси применим для движения воды в любом направлении и характеризует ламинарное движение воды в горных породах. В практике исследований зафиксированы отклонения от закона Дарси, происходящие при больших скоростях движения подземных вод. При скоростях, характеризующихся критическими значениями числа Рейнольдса (2300), движение воды приобретает турбулентный (вихревой) характер. Переход от ламинарного движения к турбулентному сопровождается отклонением от линейного закона фильтрации. Однако практически в водоносных горизонтах отклонений от закона Дарси не наблюдается. Наряду с фильтрацией воды в горных породах имеет место ее конвекция – тепло- и массоперенос движущимися потоками вещества. Благодаря конвекции происходит перемещение тепла и растворенного вещества в

горных породах. Кроме конвекции, перенос вещества происходит вследствие т.н. молекулярной диффузии, ощутимое значение которой сказывается, если фильтрационный поток пренебрежимо мал по сравнению с диффузионным.

Для характеристики фильтрационных свойств горных пород, наряду с коэффициентом фильтрации, используется коэффициент водопроницаемости T , равный произведению коэффициента фильтрации на эффективную мощность водоносного горизонта.

К фильтрационным свойствам горных пород также относятся коэффициент удерживаемости (для безнапорных вод) и коэффициент пьезопроводности (для напорных вод), имеющие размерность $m^2/сут$. Они характеризуют скорость перераспределения уровней воды или напоров в водоносном горизонте при возмущении в последнем.

К емкостным свойствам водоносного горизонта относят, помимо пористости, безразмерные коэффициенты гравитационной (безнапорные воды) и упругой (напорные воды) водоотдачи, а также коэффициент, учитывающий недостаток насыщения горных пород.

Коэффициент гравитационной водоотдачи (μ) представляет собой отношение объема свободно вытекающей под действием гравитации воды к объему осушенной породы и численно равен коэффициенту недостатка насыщения. Обычно он равен 0,1-0,3 для песков и 0,01-0,1 для суглинков. Величина упругой водоотдачи — количество воды, высвобождающейся с единицы площади при снижении напора на 1 м. Наличие упругих сил в водоносном пласте вызывает некоторое запаздывание реакции напора (неустановившийся режим).

Параметры водоносных горизонтов (коэффициентов фильтрации, водопроницаемости, удерживаемости, пьезопроводности, гравитационной и упругой водоотдачи и др.) могут быть получены лабораторным методом, по данным режимных наблюдений и опытным путем. Опытные работы представляют собой различные виды откачек (пробные, опытные, опытно-эксплуатационные и др.), наблюдения за режимом водоотлива и соответствующим положением уровней воды в горных выработках. Расчеты параметров по данным опытных работ и режимных наблюдений выполняются, как правило, аналитическими, графоаналитическими и другими методами, а также с использованием ЭВМ.

Для оценки водопритоков к горным выработкам и дренажным сооружениям используют следующие методы: гидрогеологических аналогий, водного баланса и гидродинамический (аналитический, математического моделирования). Кроме того, может быть использован гидравлический метод оценки.

Метод гидрогеологической аналогии основан на использовании параметров осушения уже разрабатываемого участка. Он, как правило,

применяется для оценки водопритоков проектируемого горного предприятия. Оценка водопритоков методом водного баланса производится с помощью приходных и расходных элементов ресурсов подземных вод (осадки, инфильтрация, испарение, модуль стока, расход поверхностных водотоков и др.). Метод применяется, как правило, в сочетании с аналитическим и самостоятельно используется редко. Наиболее распространенным является гидродинамический метод с использованием уравнений динамики подземных вод.

При постоянном дебите выработки (скважины) для расчетов понижений в любой точке напорного неограниченного пласта при неустановившемся режиме фильтрации используют формулу:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right), \quad (4.9)$$

где S – понижение уровня в выработке, м;

Q – водоприток, м³/сут;

k – коэффициент фильтрации, м/сут;

m – мощность напорного потока, м;

$E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$ – интегральная экспоненциальная функция, определяемая по табличным данным;

r – радиус выработки, м;

a – коэффициент пьезопроводности, м²/сут;

t – расчетный момент времени, сут.

При длительной эксплуатации выработок наблюдается т.н. квазистационарный режим фильтрации и интегральная экспоненциальная функция в определенной зоне (при $r^2/4at \leq 0,1$) может быть заменена на логарифмическую:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2,25at}{r^2} \quad (4.10)$$

Формула подобна известной для установившегося притока к скважине формуле Дюпюи:

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R}{r} \quad (4.11)$$

а величину $R = 1,5 \sqrt{at}$ нередко называют неустановившимся радиусом влияния выработки (скважины). При этом зона квазистационарного режима формируется в радиусе $r < 0,5 \sqrt{at}$.

Приведенные выше уравнения действительны для напорных вод. В случае фильтрационных расчетов для безнапорных условий в формулах (4.10, 4.11) следует заменить величину m на $(2H+h_0)/3$ (где H – мощность безнапорного водоносного горизонта, m ; h_0 – остаточная мощность водоносного горизонта, m).

Уравнения (4.9-4.11) позволяют решать фильтрационные задачи для одиночных выработок (скважин) в неограниченных условиях. Для расчета понижений при работе нескольких взаимодействующих скважин (или при работе с переменным дебитом) и в ограниченных условиях используют принцип сложения течений (суперпозиции) и метод зеркальных отражений.

Принцип сложения течений заключается в том, что воздействие нескольких взаимодействующих скважин на фильтрационное поле может быть оценено простым суммированием реакций от каждой скважины в отдельности. Так, суммарное понижение уровня в водоносном горизонте от нескольких взаимодействующих водопонижающих скважин в какой-либо расчетной точке (r) неограниченного пласта можно оценить по формуле:

$$S_s = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi km} \ln \frac{2,25at}{r_i^2}, \quad (4.12)$$

где r_i – расстояние от скважины i до расчетной точки r ;

Q_i – дебит скважины,

n – число скважин.

Принцип зеркальных отражений позволяет ограниченные и полуограниченные фильтрационные поля привести к неограниченным условиям и решить поставленную задачу, используя принцип суперпозиции. Например, скважина расположена в пласте, ограниченном прямой линейной границей с постоянным напором (граница I-го рода). В этом случае реальную скважину отражают от границы, получая фиктивный неограниченный пласт. Затем методом суперпозиции решают задачу для двух симметрично расположенных скважин с дебитами, имеющими противоположные знаки. Если граница непроницаемая (граница II-го рода), то у реальной и фиктивной скважин стоки имеют одинаковый знак.

Используя уравнения (4.9-4.11), принципы суперпозиции (наложение течений) и зеркальных отражений можно решать фильтрацион-

ные задачи в любых ограниченных фильтрационных полях, каждый раз приводя реальную схему к фиктивным неограниченным условиям.

Широко используется в горном деле расчет водопритоков к выработкам по т.н. методу «большого колодца». В этом случае понижения уровня и водопритоки (суммарные) рассчитываются по тем же формулам. Однако радиус (т.н. приведенный) радиального потока принимается эквивалентным сумме отдельных радиальных потоков. Например, если скважины расположены в виде линейного ряда, то за приведенный радиус «большого колодца» может быть принят $0,2l$ (где l – протяженность линейного ряда), при площадном размещении скважин за радиус «большого колодца» принимают $0,16\Pi$ (где Π – периметр площади размещения скважин).

В последние годы большое распространение получил метод расчета процессов фильтрации с использованием математического моделирования на ЭВМ (численное моделирование). Последний при наличии надежной гидрогеологической информации (начальные и граничные условия) позволяет достигать универсальных результатов.

При выборе расчетных формул для оценки водопритоков в горные выработки и дренажные сооружения аналитическим методом необходимо знать (по данным геологоразведочного процесса или наблюдениям при эксплуатации) начальные и граничные условия: положение уровней (напоров), параметры водоносного горизонта (комплекса), условия питания и разгрузки подземных вод (расчетные гидродинамические схемы).

Для определения водопритоков к горным выработкам и дренажным сооружениям аналитическим методом обычно используют усредненные параметры водоносных горизонтов, приведенные к схеме однородного в разрезе и плане пласта.

Прогноз водопритоков к вертикальным и горизонтальным горным выработкам (шахтному стволу, карьере, горизонтальным дренам) обычно проводят отдельно для каждого вскрытого водоносного горизонта по методу «большого колодца», а затем рассматривают общий водоприток как сумму водопритоков из всех водоносных горизонтов.

4.4.1. Расчет водопритоков к вертикальным горным выработкам

В условиях установившейся фильтрации приток к шахтному стволу, вскрывающему безнапорный водоносный пласт на всю мощность, при расположении шахты у контура питания (река, водохранилище и т.д.), определяют по формуле:

$$Q = 1,366 \frac{KH^2}{\lg \frac{2a}{r_0}} \quad (4.13)$$

где Q – водоприток к шахтному стволу, м³/сут;
 K – коэффициент фильтрации, м/сут;
 H – мощность водоносного горизонта, м; r_0 – радиус шахтного ствола,
 m ; a – расстояние от шахты до контура питания, м.

При нестационарной фильтрации для неограниченного в плане водоносного горизонта водоприток к шахтному стволу можно рассчитать по формулам:

$$Q = \frac{2,73KmS}{\lg \frac{1,5\sqrt{at}}{r_0}} \quad (\text{для напорной фильтрации}) \quad (4.14)$$

$$Q = 1,366 \frac{KS(2H-S)}{\lg \frac{1,5\sqrt{at}}{r_0}} \quad (\text{для безнапорной фильтрации, рис.4.6), (4.15)}$$

где m , и H – мощность водоносного горизонта, м;
 S – заданное понижения уровня, м;
 a – коэффициент пьезопроводности или уровнепроводности, м²/сут;
 t – время сооружения выработки, сут.

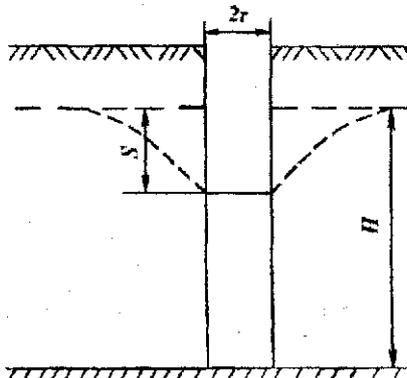


Рис. 4.6. Схема к расчету водопритоков в шахтный ствол

4.4.2. Расчет установки для понижения уровня в карьере

Одним из способов понижения уровня в карьере (осушения) является применение системы водопонижительных скважин. Расчет такой системы скважин, расположенных по периметру карьера в условиях установившегося движения для безнапорного водоносного горизонта, проводится следующим образом:

а) определяют радиус карьера, к которому приводится осушаемая площадь (ρ):

$$\rho = \sqrt{\frac{F}{\pi}}; \quad (4.16)$$

б) определяют суммарный водоприток в карьер ($Q_{\text{сум}}$) при заданном понижении уровня:

$$Q_{\text{сум}} = \frac{\pi K S_0 (2H - S_0)}{\ln \frac{2a'}{\rho}}; \quad (4.17)$$

где S_0 – заданное понижение в центре карьера, м;

a – расстояние до контура питания, реки, м;

в) определяют дебит одной скважины, м³/сут ($Q_{\text{сск}}$):

$$Q_{\text{сск}} = \frac{Q_{\text{сум}}}{n}, \quad (4.18)$$

где n – заданное количество скважин, производительность которых зависит от гидрогеологических условий;

г) определяют понижение уровня в скважине (S):

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q_{\text{сск}}}{\pi K} \ln \left[\frac{(2a')^n}{n \cdot \rho^{n-1} r_0} \right]}. \quad (4.19)$$

В условиях нестационарного режима фильтрации общий водоприток к карьере радиусом r_0 на расчетный момент времени при неограниченном в плане пласте определяют по формуле:

$$Q = \frac{2\pi K m S}{\ln \frac{R + r_0}{r_0}}, \quad (4.20)$$

где $R = 1,5\sqrt{at}$;

t – время, отсчитываемое от момента вскрытия пласта, сут.

При оценке водопритоков в подземные горные выработки можно применять те же аналитические зависимости, что и при расчете водопритока в карьер. При эксплуатации шахт прежде всего определяют водоприток при ведении очистных работ; он складывается из притока в выработанное пространство по контуру (боковой приток) и притока по площади очистных работ. Боковой приток рассчитывают как сумму притоков из всех водоносных пластов, находящихся в зоне трещин над выработанным пространством (зоне обрушения).

4.4.3. Расчет водопритоков в горизонтальные горные выработки

Водоприток в открытые горизонтальные горные выработки может происходить за счет наличия подземных и поверхностных источников. Для расчета водоотливных установок эти водопритоки оцениваются раздельно.

Водоприток в разрезную траншею за счет подземных вод при установленном режиме рассчитывается по формуле:

$$Q = KB \frac{H^2 - h^2}{R}, \quad (4.21)$$

где Q – водоприток в траншею, м³/сут;
 B – протяженность разрезной траншеи, м;
 H – мощность водоносного горизонта, м;
 h – величина участка высачивания (вскрытая мощность) водоносного горизонта.

Для других расчетов следует использовать специальную литературу [2, 3, 15].

4.5. Притоки воды к горным выработкам

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых находящихся в сложных гидрогеологических условиях, нарушается естественный режим подземных вод, усиливаются водопритоки в горные разработки, образуются обширные депрессионные воронки, снижается безопасность проведения горных работ и эффективность добычи полезных ископаемых. В этой связи повышается роль гидрогеологических наблюдений, необходимых для обоснования мероприятий по снижению водопритоков в горные выработки, которые как в процессе подземной, так и открытой разработки оказывают существенное влияние на технологию добычи полезных ископаемых.

Водопритоки зависят от природных и горно-технологических факторов. К числу природных факторов относят особенности геологического строения и гидрогеологических условий участков развития горных

работ (литологическая разновидность массива горных пород, число водоносных горизонтов, их фильтрационные свойства, взаимосвязь и др.). Горно-технологические факторы – это система разработки, скорость проведения подготовительных выработок, их местоположение относительно друг друга и др.

При разработке месторождений интенсивность водопритоков в горных работках зависит от условий питания и фильтрационных свойств вскрытых водоносных горизонтов. В подземные выработки основной объем подземных вод поступает при ведении очистных работ, хотя водопритоки отчасти формируются и при проходке подготовительных и капитальных выработок. Над выработанным пространством образуются трещины техногенного происхождения, которые могут создавать дополнительные условия, способствующие поступлению подземных вод в шахту. Размеры водопроницающих трещин на угольных месторождениях, где породы представлены чередованием пластов песчаников, алевролитов и глин, достигают иногда 30-60 м. При неглубоком залегании пласта зона водопроницающих трещин может достигать поверхности земли, и водопритоки будут формироваться за счет атмосферных осадков. Большая опасность от увеличения водопритоков может возникнуть при ведении горных работ под затопленными выработками. При проведении горных выработок в массивах, сложенных рыхлыми песчано-глинистыми породами, трещиноватая зона незначительна. Однако при этом могут сохраняться высокие естественные напоры, способствующие внезапным прорывам в выработанное пространство не только воды, но и рыхлых пород (рис. 4.7).

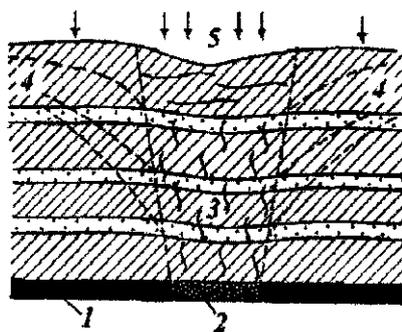


Рис. 4.7. Формирование водопритоков в подземную горную выработку:

1 – пласт полезного ископаемого; 2 – выработанное пространство; 3 – зона водопроницающих трещин; 4 – уровни дренируемых водоносных горизонтов; 5 – мульда сдвижения на земной поверхности (площадь интенсивного просачивания атмосферных вод)

Выбор системы разработки того или иного месторождения полезных ископаемых в значительной степени зависит от сложности гидрогеологических условий. На месторождениях, приуроченных к закарстованным породам, и в районах многолетней мерзлоты разработку начинают на участках, максимально удаленных от речных долин. Сильно обводненные месторождения разрабатывают одновременно несколькими шахтными полями. Такой метод способствует образованию обпирной депрессионной воронки, что снижает затраты на добычу сырья по одной отдельной шахте. Крупное месторождение, расположенное в различных геоморфологических условиях (на водоразделах, по долинам рек и т.п.) целесообразно обрабатывать, в первую очередь, на относительно менее обводненных участках.

Должное внимание при разработке месторождений следует уделить отводу поверхностных вод. В случае неорганизованного сброса рудничных вод последние фильтруются в толщу горных пород и далее в выработки.

При наличии во вскрываемых породах водонасыщенных мелко- и тонкозернистых песков при проходке шахтных стволов применяют способ замораживания. При борьбе с пльвунами используют и другие методы: забивную крепь, опускную крепь, химические способы закрепления грунтов, бурение, предварительное водопонижение и др.

Наличие воды на уступах и на подошве карьеров вызывает размокание и набухание глинистых разностей горных пород, что снижает устойчивость бортов карьера и ограничивает применимость горно-транспортного оборудования. Масштабы фильтрационных деформаций во многом зависят от инженерно-геологических особенностей эксплуатации карьеров. Подземные воды могут существенно ухудшать условия формирования отвалов.

Для оценки степени обводненности месторождений подземными водами определяют так называемый коэффициент водообильности:

$$K_0 = \frac{Q}{P}, \quad (4.22)$$

где Q – количество откачанной воды, m^3 ;

P – количество добытого полезного ископаемого, т.

Значения коэффициента водообильности для различных горных предприятий колеблются в весьма широких пределах: от 1-2 до 40, а иногда даже до 250-300. Величина коэффициента водообильности зависит как от естественных условий (атмосферные осадки, рельеф местности, пльвуны, степень обнаженности коренных пород, тектоника района

и др.), так и от искусственных (способ разработки, опускание кровли, осадка лавы, взрывные работы и др.). Так, например, он может сильно изменяться в зависимости от системы разработки и темпов добычи.

4.6. Схемы осушения карьерных и шахтных полей

Существует три вида осушения: 1) предварительное; 2) эксплуатационное; 3) комбинированное. В процессе предварительного осушения регулируется поверхностный сток, отводятся реки и водоемы за пределы разработок, осуществляется глубокое водопонижение скважинами (вертикальный дренаж), горизонтальный и поглощающий дренаж. Эксплуатационное осушение обеспечивается откачкой шахтных притоков и подструйным водоотливом на карьерах, заложениями специальных дренажных выработок, различного рода фильтров (забивные, сквозные, иглофильтры), изоляцией горных выработок от подземных вод различными способами.

Комбинированное осушение, наиболее распространенное на практике, представляет собой оптимальную комбинацию различных осушительных и защитных устройств, применяемых при предварительном и эксплуатационном осушении.

При открытых разработках применяются следующие меры борьбы с подземными водами: 1) поверхностный горизонтальный дренаж; 2) отвод русел рек за пределами карьерных полей; 3) глубокое водопонижение; 4) комбинированное осушение.

Поверхностный горизонтальный дренаж применяется при неглубоко залегающем обводняющем горизонте. Он представляет собой открытые каналы (дрены), собирающие воду. Дрены могут быть в плане кольцевыми, опоясывающими участок по всему периметру; контурными, которые закладываются для перехвата основного источника питания на каком-либо участке; системой каналов, предназначенных для дополнительного перехвата потока, если последний не может быть перехвачен контурным дренажом. Пример расчета таких дрен приведен в разделе 4.4. Отвод русел рек за пределы карьерных полей осуществляется в случаях расположения продуктивных залежей на участках эрозионных врезов, т.е. долинах рек. Нередко возникает необходимость защиты карьеров от паводковых вод при помощи дамб.

Глубокое водопонижение (вертикальный дренаж) применяется для снижения напорного или безнапорного уровня до заданной величины при помощи заложения с поверхности системы взаимодействующих скважин. Нередко карьеры осушаются системой специальных выработок в сочетании со сквозными, забивными фильтрами. Расчет осушения

карьера при помощи глубоких скважин, расположенных по его периметру, приведен в разделе 4.4.

В очень сложных гидрогеологических условиях применяют комбинированный способ осушения. Обычно при открытой разработке выделяют два периода: 1) период строительства; 2) период эксплуатации. При строительном водопонижении уровни воды снижают с опережением графика горных работ. При эксплуатационном водопонижении, продолжительность которого намного больше строительного, контуры депрессионных воронок расширяются, возникает необходимость обеспечить устойчивость откосов карьера от фильтрационного разрушения, увеличивается водоприток за счет вовлечения в эксплуатацию новых площадей. Поэтому глубокое водопонижение должно дополняться сооружением других дренажных устройств (дренажные штреки, сквозные и забивные фильтры, сифонные фильтры и др.). На буроугольных месторождениях, наряду со скважинами, пройденными на поверхности, используют поглощающие скважины или дренажные штреки, пройденные по углям. На Стойленском железорудном карьере КМА используются дренажные штреки и сквозные фильтры, инъекторные иглофильтры и горизонтальный дренаж.

Широкое применение находят системы из водопонижающих скважин, расположенных по периметру карьера, а также горизонтально пробуренные скважины в бортах карьера.

При проведении подземных выработок используются следующие способы борьбы с подземными водами: 1) рациональное расположение горных выработок; 2) дренажные устройства; 3) непосредственный водоотлив из рудников; 4) изоляция от поверхностных вод; 5) предварительное водопонижение; 6) специальные методы проходки шахтных стволов; 7) бурение опережающих скважин, проведение передовых штреков и др.

При проведении капитальных горных выработок необходимо стремиться расположить их в менее водообильной зоне, особенно это касается районов развития карста. Следует также избегать проходки шахтных стволов в зонах тектонических трещин и т.д.

Количество и расположение дренажных устройств должно обеспечивать интенсивность осушения, что достигается не только увеличением суммарного дебита, но и более быстрым снижением уровня в начальный период.

На практике используются различные способы рудничного водоотлива. При небольших водопритоках применяются бабьи, скипы, вагонетки. При значительных поступлениях воды в горные выработки применяются стационарные установки большой производительности (СУБР).

Под руслами рек и других водоемов разработка полезных ископаемых должна проводиться с большими мерами предосторожности. Одной из них является оставление охранных целиков, как постоянных, так и временных. Устраивают иногда водозадерживающие плотины, отводные каналы и др.

При проходке шахтных стволов в неустойчивых обводненных породах используются специальные методы: забивные и опускные крепи, кесонный способ (с нагнетанием воздуха в ствол для отжатия воды), химический способ закрепления (жидким стеклом, хлористым кальцием), тампонирующим цементным раствором, глинизация, битумизация, искусственное замораживание охлажденным рассолом (t° до -30°C) и др. В процессе эксплуатации широко используется предварительное осушение как с поверхности, так и из горных выработок

4.7. Охрана и рациональное использование подземных вод на горных предприятиях

Добыча полезных ископаемых оказывает существенное воздействие на подземные воды. Проходка горных выработок, строительство шахт, бурение скважин, создание карьеров меняют условия естественного режима подземных и поверхностных вод. Наибольшая глубина шахт сейчас достигает 4 км, а открытых разработок — 0,8 км. На 1 т угля в среднем откачивается 2-3 м³ воды. Приток подземных вод в угольные шахты и карьеры в стране превышает 2,2 км³/год, а в железорудные шахты и карьеры — 0,5 км³/год. Общий объем извлекаемых при горных работах вод достигает нескольких кубических километров в целом по стране. В районах подземных разработок в результате откачки воды значительно понижается уровень подземных вод. Как следствие этого, иссякают источники, осушаются водозаборные скважины и колодцы, а откачиваемые воды сбрасываются в поверхностные водоемы или закачиваются через скважины в другие водоносные горизонты, что меняет в них качество воды.

На крупных горнодобывающих предприятиях огромные количества дисперсных отходов накапливаются в крупных емкостях (хвостохранилищах), которые становятся источниками многих токсичных металлов, загрязняющих огромные территории измененными, включая кислые, водами. С другой стороны, в районе многих горнорудных предприятий откачивается большое количество воды, что приводит к образованию обширных депрессионных воронок с понижением уровня в сотни метров (например, в районах КМА).

Таким образом, отрицательное влияние деятельности горных предприятий на гидрогеологические условия проявляются по двум на-

правлениям: в изменении гидрохимических условий и загрязнении подземных вод; в сработке уровней и истощении запасов подземных вод. Процессы загрязнения и истощения подземных вод тесно связаны между собой и требуют единых мероприятий по их предотвращению.

Инженерные мероприятия по борьбе с истощением и загрязнением подземных вод при освоении месторождений планируют по следующим направлениям: сокращение извлекаемых объемов подземных вод путем упорядочения дренажных мероприятий; использование дренажных вод для водоснабжения; искусственное восполнение запасов подземных вод; контроль за качеством подземных вод; очистка шахтных и карьерных вод; санитарная охрана водозаборов питьевого водоснабжения.

Проблема рационального использования дренажных вод, в первую очередь, должна быть связана с возможностью их использования для питьевого и хозяйственного водоснабжения. Если дренажные воды не соответствуют ГОСТу-2874-82 «Вода питьевая», то они должны быть подвергнуты очистке от загрязнения (химического и бактериологического). Нередко рудничные дренажные воды обладают бальнеологическими свойствами и используются в санаториях-профилакториях. В технических целях дренажные воды могут использоваться при обогащении полезных ископаемых.

В районе действующих горнодобывающих предприятий для восполнения запасов воды целесообразны мероприятия по созданию инфильтрационных бассейнов речных, талых и дренажных вод [3].

При разработке сульфидных месторождений рудничные воды могут использоваться для извлечения из них редких металлов. На каменноугольных месторождениях при разработке пластов на небольших глубинах после соответствующей очистки вода может использоваться для хозяйственно-технических целей (иногда питьевых). Нередко в угольных шахтах создаются благоприятные условия для окисления сульфидов и образования кислых вод. Такие воды обладают высокой коррозирующей способностью (насосы, трубы, крепь, механизмы и др.), для предотвращения которой необходимы различные мероприятия. На соляных месторождениях подземные краевые и надсолевые воды способны растворять соли, их присутствие опасно для рудника и требует повышенного внимания.

Вопросы охраны подземной гидросферы в районах горнодобывающих предприятий являются составной частью экологической гидрогеологии. Это новое прикладное направление в современной науке разрабатывает эколого-гидрогеологические основы защиты биосферы и человека от негативного влияния техногенеза в условиях кризисной экологической ситуации. Это раздел гидрогеологии, изучающий роль и зна-

чение воды в становлении литосферы и биосферы всей окружающей, включая геологическую, среды их взаимодействия и изменения под влиянием техногенной деятельности человека.

Организация системы наблюдений за изменениями гидродинамического и гидрохимического режима, анализ этих данных и управление режимом совместно с контролем носит название «Мониторинг подземных вод». Последний служит основой для разработки мероприятий по предотвращению экологических последствий пагубного влияния разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду.

Комплекс гидрогеологических исследований и наблюдений при разработке твердых полезных ископаемых, выполняемых геологической службой, включает: гидрогеологическую съемку; наблюдения за притоком воды в выработку; наблюдение за уровнем, температурой, изменением химического состава воды; устойчивостью пород кровли, почвы подземных выработок; устойчивостью откосов бортов, отвалов карьера и т.д. при открытых горных работах. Приведенный комплекс должен отражать специфику периода шахтного или карьерного строительства и эксплуатации месторождения [16].

Глава V. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ
НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

5.1. О геологической службе горного предприятия

Изучение геологического строения месторождения, горно-технических условий его разработки, комплексное исследование вещественного состава руд и технологии их переработки осуществляется в процессе геологоразведочных работ. Подобная информация накапливается и при вскрытии месторождения горными работами и в процессе его разработки – вплоть до полного погашения разведанных запасов.

Получаемые в процессе освоения месторождения материалы обрабатываются, обобщаются и анализируются для обеспечения рационального извлечения запасов полезного ископаемого и эффективного проведения горных выработок с учетом экологических требований. Выполнение наблюдений и исследований с соблюдением необходимых требований возлагается на геологическую службу горнодобывающего предприятия. Геологическая служба, возглавляемая главным геологом, является самостоятельным подразделением и подчиняется непосредственно руководителю горного предприятия. Финансирование ее деятельности осуществляется за счет себестоимости добываемого полезного ископаемого и из бюджетных средств (в частности, для выполнения задач мониторинга).

Основными задачами в деятельности геологической службы являются:

- укрепление минерально-сырьевой базы предприятия, повышение достоверности разведанных запасов, наиболее полное и комплексное использование месторождения и охрана недр;

- своевременное геологическое обеспечение проектирования строительства и реконструкции предприятия, эксплуатационной разведки и разработки месторождения;

- совершенствование организации и методов ведения работ по геологическому изучению недр на основе достижений науки и техники, а также передового опыта;

- ведомственный контроль за правильностью ведения горных работ, за выполнением требований по охране недр и наиболее полному извлечению полезных ископаемых.

Геологическая служба является основным поставщиком информации, на базе которой осуществляется рациональное освоение месторождения. Месторождения, переданные для промышленного освоения, разведываются до уровня, достаточного при проектировании и строительстве

горных предприятий. Однако для решения задач вскрытия, подготовки и очистной выемки обычно возникает необходимость повышения разведанности запасов (особенно на флангах и в глубину), выявления дополнительных сведений о качестве и технологических свойствах полезного ископаемого, гидрогеологических и инженерно-геологических условий ведения горных работ.

Эти задачи, относящиеся к функции геологической службы предприятия, объединяются в три группы (по А.Б. Каждану):

1. Выявление и оценка новых запасов полезного ископаемого в районе горного отвода для расширения минерально-сырьевой базы действующего предприятия и продления срока его существования;
2. Уточнение данных о разведанных запасах, т.е. повышение степени разведанности запасов по мере их вскрытия и отработки;
3. Детализация сведений о геологическом строении месторождения и составе полезных ископаемых для контроля за качеством и полнотой отработки запасов.

Методы решения этих задач рассмотрены в главе II настоящего пособия.

Таким образом, геологическое изучение месторождения в процессе эксплуатации проводится в рамках эксплуатационной разведки, которая по целевому назначению разделяется на опережающую и сопровождающую добычу полезного ископаемого. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования проводятся также в соответствии с задачами эксплуатационной разведки с учетом требований мониторинга геологической среды [4, 5].

5.2. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования при изучении месторождений

Необходимость инженерно-геологической и гидрогеологической оценки месторождений полезных ископаемых возникает на всех этапах освоения и производится в совокупности с их геологическим изучением. В результате такого изучения должны быть получены все исходные данные для оценки запасов месторождения, проектирования горного предприятия, а при необходимости осушительных и защитных мероприятий.

Непосредственно методика инженерно-геологических и гидрогеологических исследований предопределяется следующими факторами: 1) сложностью природных инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождений; 2) стадией разведки; 3) способом разработки и системой вскрытия; 4) характером необходимых осушительных или защитных мероприятий.

По сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, определяющих виды и объемы исследований, выделяются три группы месторождений: с простыми, сложными и весьма сложными условиями [8].

К I группе относятся практически безводные или слабо обводненные месторождения, освоение которых не должно приводить к развитию осложняющих их разработку явлений и не требует предварительных защитных мероприятий (разрез представлен устойчивыми породами).

К II группе относятся месторождения, разработка которых требует мероприятий по борьбе с подземными водами и с повышением устойчивости горных пород (в разрезе преобладает мощный комплекс глинистых и обводненных песчано-глинистых пород).

К III группе относятся месторождения, разработка которых при широком применении специальных методов проходки горных выработок, крупных предварительных осушительных мероприятий или водопонижения, осложненных особо неблагоприятными инженерно-геологическими свойствами пород или неравномерной обводненностью месторождения (районы развития карста, многолетней мерзлоты, вблизи поверхности водотоков и водоемов, мощных водоносных рыхлых отложений и др.).

По физико-геологическим особенностям месторождения разделяют на две категории: благоприятные в физико-геологическом отношении и месторождения, в районе которых имеют место оползни естественных склонов, оползни-сели, снежные лавины, обвалы, осыпи и др.

На месторождениях расположенных в весьма сложных условиях (III группа) после завершения поисково-разведочных работ и утверждения запасов в ГКЗ возникает необходимость в дополнительных специальных работах. Назначение этих работ – получение исчерпывающей информации для составления проектов и рабочей документации по предварительному осушению участков, выбору специальных способов проходки основных выработок, вскрытие полей (стволов, разрезных траншей), разработки мероприятий по обеспечению устойчивости бортов проектируемых карьеров и естественных склонов, а также других специальных мер. Эти работы заключаются в проведении опытно-производственного водопонижения, иногда являющегося начальной фазой строительного водопонижения.

На месторождениях твердых полезных ископаемых выполняются также инженерно-геологические изыскания (обычно проектными организациями) для жилищного и наземного промышленного и транспортного строительства согласно СНиПу, их целесообразно проводить в две стадии – проект и рабочую документацию.

Месторождения твердых полезных ископаемых разрабатываются открытым, подземным и комбинированным способами. Известны также так называемые особые способы разработки – подземная газификация углей, добыча руд подземным выщелачиванием, подземное выпаривание серы, подземное растворение солей.

Выбор системы разработки зависит от ряда факторов, из которых основное место принадлежит форме, размерам и пространственному положению тел полезных ископаемых, глубине залегания от земной поверхности, углам падения и взаимного расположению пластов, жил и вообще рудных тел. Иногда имеют значения свойства полезных ископаемых – вещественный состав, характер распределения полезных компонентов, включения пустых пород, крепость, трещиноватость, кливаж.

На выбор системы разработки оказывает влияние возможность использования различных комплексов механизмов для добычи, экономическое значение полезного ископаемого.

Преимуществом открытых горных работ является более высокая производительность труда, более низкая себестоимость добычи по сравнению с шахтами. Карьеры могут обеспечить применение высокопроизводительных крупногабаритных горных машин. В карьере не требуется крепление, закладка, вентиляция; условия работы более безопасны. Однако открытые горные работы существенно влияют на ухудшение экологических условий в районе сооружения карьеров.

Для прогнозирования и оценки процессов, возникающих при том или ином способе разработки месторождения, должен выполняться определенный комплекс исследований. Основной принцип заключается в том, что при открытом способе разработки степень изученности (особенно инженерно-геологической) должна быть выше, чем при подземном способе.

Подземный способ требует учета, по крайней мере, трех положений: 1) условий проходки основных выработок вскрытия участка – стволов шахт; 2) инженерно-геологической реакции кровли и почвы на проведении выработок; 3) изменение физико-механических и фильтрационных свойств пород в зоне обрушения и деформации.

Открытый способ разработки требует учета его специфики как при оценке степени обводненности месторождения, так и инженерно-геологических условий его освоения [17].

До передачи месторождения полезных ископаемых в промышленное освоение должны быть изучены горнотехнические условия разработки, т.е. выяснены его инженерно-геологические и гидрогеологические особенности. Для решения этих задач, как правило, используются те же разведочные выработки, что и для изучения геологического строения месторождения.

Общими задачам и инженерно-геологических исследований являются: 1) определение разрабатываемости пород и полезного ископаемого; 2) оценка устойчивости горных выработок; 3) определение специальных горнотехнических условий.

Для решения первой задачи определяются физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород: объемная масса, сопротивление раздавливанию, разрыву и сдвигу, плотность, сжимаемость и другие свойства.

Оценка устойчивости горных выработок и прочности горных пород производится по результатам определения физико-механических свойств и изучения зависимости этих свойств от минерально-петрографического состава, структур, текстур, трещиноватости пород и гидрогеологических условий.

Специальными горнотехническими условиями могут быть развитие карста, оползни, сейсмичность района, возможность возникновения горных ударов, степень, характер и состав газопроявлений, силикозоопасность, тип и интенсивность развития многолетней мерзлоты и другие инженерно-геологические явления.

В состав и задачи гидрогеологических исследований, начиная со стадии оценочных работ и вплоть до завершения разведки, входят: 1) изучение площади распространения и условий залегания водоносных горизонтов и комплексов; 2) изучение условий питания, режимы, химический состав и бактериологические свойства подземных и поверхностных вод.

При этом гидрогеологические исследования заключаются в определении: 1) характера взаимосвязи подземных и поверхностных вод; 2) водообильности и водопроницаемости пород; 3) величины возможных водопритоков в горные выработки; 4) агрессивности подземных вод и возможности их использования для бытового и промышленного водоснабжения.

На оценочной стадии дается общая характеристика гидрогеологических условий, а в процессе разведки все перечисленные виды исследований проводятся с максимальной полнотой и достоверностью, характеристики получают более точную количественную оценку.

В связи с освоением в процессе эксплуатации глубоких горизонтов месторождений, вовлечением в разработку объектов со сложными горно-геологическими условиями возрастает необходимость более детального инженерно-геологического и гидрогеологического обеспечения горных работ. Содержание, объем и последовательность исследований определяются комплексом природных и технологических факторов. Инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождений выявляются по результатам стадии оценки.

При строительстве и эксплуатации горных предприятий необходимо дополнять и уточнять ранее полученные данные.

Инженерно-геологические исследования при эксплуатации выполняются для определения свойств горных пород в массиве и отбитой горной массе, уточнения инженерно-геологической структуры разрабатываемых и отвалных массивов, оценки деформаций стенок горных выработок, бортов карьеров и отвалов, других проявлений горного давления, включая горные удары, внезапные выбросы пород и газа, а также для разработки мероприятий по предотвращению оползней, провалов, обрушении и др.

Проведение инженерно-геологических исследований при эксплуатации месторождения позволяет прогнозировать характеристики разрабатываемости горных пород, качественные показатели сохраняемости и транспортабельности добытой горной массы. На основе этих измерений и прогнозов определяется устойчивость разрабатываемых массивов горных пород, обосновываются рекомендации по поэтапному снижению запаса устойчивости подземных горных выработок и карьерных откосов за счет повышения достоверности исходных данных.

Результаты инженерно-геологических исследований используются для районирования карьерных (шахтных) полей и отвалных территорий, более детального изучения структуры инженерно-геологических ярусов. На основе районирования и детализации строения ярусов разрабатываются мероприятия по управлению состоянием массива для обеспечения безопасности и экономической эффективности горных работ, охране недр и земельных ресурсов, восстановлению нарушенных территорий.

Гидрогеологические исследования при эксплуатации проводятся для выявления в природных условиях фактических водопритоков из вскрываемых при разработке водоносных горизонтов, изучения их режима в зависимости от природных и горнотехнических условий, определения химического состава подземных вод, установления влияния действующего горного предприятия на природные условия и инженерные сооружения, накопления информации для критического анализа ранее полученных данных.

Изучение в природных производственных условиях режима водопритоков из вскрываемых горизонтов позволяет при необходимости скорректировать ранее принятые проектные решения. Это касается, например, мощности оборудования стационарного водоотлива, мощности и размещения дренажных устройств, типа и конструкции крепи выработок, углов откосов бортов карьера. Более точным будет также прогноз водопритоков при повторном вскрытии этих горизонтов или же при развигии фронта горных работ.

Использование результатов исследований позволяет почти полностью исключить возможность прорывов воды и пльвунов в горные выработки, деформацию крепи, стенок выработок и бортов карьеров. Это обеспечивает планомерное ведение горных работ даже в самых сложных и неблагоприятных горно-геологических условиях [3].

Изучение химического состава подземных и техногенных вод на действующем предприятии дает возможность избежать их загрязнения, например, при смешении вод из разных горизонтов, и обеспечивает сохранность и защиту инженерных сооружений от действия агрессивных вод. Наконец, в процессе исследования решаются вопросы водообеспечения предприятий, охраны подземных и поверхностных вод от истощения и загрязнения при горнопромышленном техногенезе.

Комплексное изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождения создает основу для необходимых прогнозов и объективной геолого-промышленной оценки месторождения, его дальнейшего освоения. Выполняемые для этих целей инженерно-геологические и гидрогеологические исследования, как уже отмечалось, являются неотъемлемой частью общего комплекса геологоразведочных работ и выполняются в рамках установленной для них стадийности по единой программе. Кроме того, гидрогеологические исследования в районах месторождений полезных ископаемых могут проводиться для изучения и оценки запасов подземных вод как возможных источников хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения горно-рудного предприятия. После завершения стадии оценки или разведки и утверждения запасов в ГКЗ РФ начинается этап, соответствующий составлению проектной документации и строительству горнодобывающего предприятия. В отдельных случаях после завершения стадии разведочных работ и утверждения запасов полезного ископаемого в ГКЗ может проводиться дополнительный специальный этап «Опытно-производственное водопонижение», в процессе которого гидрогеологические и инженерно-геологические исследования продолжаются.

5.3. Виды и методы инженерно-геологических исследований

Получение инженерно-геологической информации осуществляется с помощью следующих видов исследований: буровых и горнопроходческих работ; лабораторных исследований проб грунтов и воды; опытных полевых инженерно-геологических испытаний; геофизических исследований; инженерно-геологического опробования; стационарных режимных инженерно-геологических наблюдений [10].

Буровые работы преследуют цель вскрытия геологического разреза, опробования или постановки опытных работ, ведения режимных наблюдений.

Горнопроходческие работы предназначены для детального описания и изучения геологического разреза, более качественного опробования и постановки ответственных полевых опытных исследований.

Лабораторные исследования выполняются как в полевых, так и в стационарных инженерно-геологических лабораториях и заключаются в определении количественных и качественных характеристик свойств грунтов, позволяющих произвести оценку их состава, состояния и свойств.

Стационарные режимные инженерно-геологические наблюдения ставят своей задачей установить характер изменения во времени, в основном, экзогенных процессов. К таким исследованиям относятся способы измерения перемещения горных пород на склонах при оползнях, обвалах, селях, определение скорости переработки берегов в результате волновой деятельности; наблюдение за скоростью карстообразования, соленакопления и др.

Полевые опытные инженерно-геологические испытания выполняются для решения производственных и научных вопросов, возникающих на завершающих стадиях инженерно-геологических изысканий. Выполняемые в общем комплексе инженерно-геологических исследований полевые методы позволяют определить значения показателей прочности и деформируемости в условиях естественного залегания. Показатели прочности и деформируемости грунта используются для расчета деформаций оснований под действием внешних нагрузок (осадки, просадки, горизонтальные перемещения) и деформаций, не связанных с внешними нагрузками (оседания, просадки от собственной массы и подъем при замачивании), а также устойчивости оснований и недопущения сдвига фундамента по подошве и его опрокидывания.

К основным видам полевых опытных определений деформируемости и прочности грунтов относятся: испытания грунтов пробной нагрузкой в шурфах и скважинах-штампы, испытания прессиометрами в скважинах, статическое и динамическое зондирование, сдвиговые испытания в шурфах и вращательный лопастной сдвиг в скважинах [10].

Нагружение штампов осуществляется гидравлическими или механическими домкратами, системой натяжных блоков или специально подготовленными грузами, размещаемыми на платформе (рис. 5.1). В буровых скважинах применяют штампы площадью 600 см^2 , а в шурфах — преимущественно 5000 см^2 .

Испытания грунтов прессиометрами в скважинах применяют для определения модуля деформации песчаных и глинистых грунтов в скважинах на глубине до 20 м от поверхности.

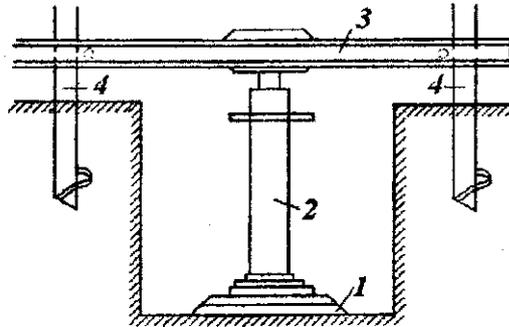


Рис.5.1. Схема установки для испытания грунтов пробной нагрузкой:
 1 – штамп; 2 – гидравлический домкрат; 3 – опорная балка; 4 – анкерные винтовые сваи

Сущность метода заключается в обжатии грунта в скважине с измерением давления обжатия и соответствующих этому явлению деформаций. Действие прессиометра основано на радиальном расширении эластичного баллона, помещенного в скважину и оказывающего давление на ее стенки с помощью жидкости или газа, подаваемых извне. Замеряя величину радиального перемещения породы в стенках скважины и величину давления, по ГОСТ 20276-85 определяют модуль деформации грунта.

Статическое зондирование грунтов – один из основных методов исследований основания сооружений при проектировании свайных фундаментов. Сущность метода заключается в том, что в грунт погружается конический наконечник под действием вертикального давления. Статическое зондирование позволяет: а) расчленив разрез и выделить прослой мощностью до 1-3 см; б) определить глубину залегания кровли скальных и полускальных пород; в) дать количественную оценку плотности и деформируемости грунтов; г) оценить качество уплотнения насыпных и намывных грунтов и др.

Динамическое зондирование применяется при изучении песчаных и глинистых грунтов с содержанием обломочного материала до 40%. В сочетании с другими методами (проходка шурфов и скважин) метод динамического зондирования дает возможность определить: а) мощность толщ кровли отложений и их однородность; б) степень уплотнения насыпных и намывных грунтов; в) корреляционные взаимосвязи удельного динами-

ческого сопротивления грунтов с показателями плотности их сложения, прочности и деформируемости по ГОСТ 19912-81.

При динамическом зондировании производится забивка в грунт зонда – колонны штанг с коническим наконечником, имеющим угол при вершине 60° и диаметр основания 74 мм, молотом массой от 30-60 до 120 кг, падающим с высоты 40, 80 или 100 см. В процессе зондирования фиксируется глубина погружения зонда от определенного числа ударов (залога). Можно фиксировать число ударов на глубину погружения (обычно 10 см).

Сдвиговые испытания грунтов выполняют для получения данных о прочности путем сдвига (рис. 5.2), обрушения (рис. 5.3) и выпирания (рис. 5.4) целиков в шурфах или специальных траншеях и методом вращательного среза (метод крыльчатки) в скважинах (рис. 5.5). Для вычисления внутреннего трения и удельного сцепления выполняют не менее трех сдвигов целиков и по два опыта при обрушении и выпирании [10].

В буровых скважинах сопротивление сдвигу грунтов, показатель структурной прочности и другие параметры определяют при помощи лопастных зондов (крыльчатки).

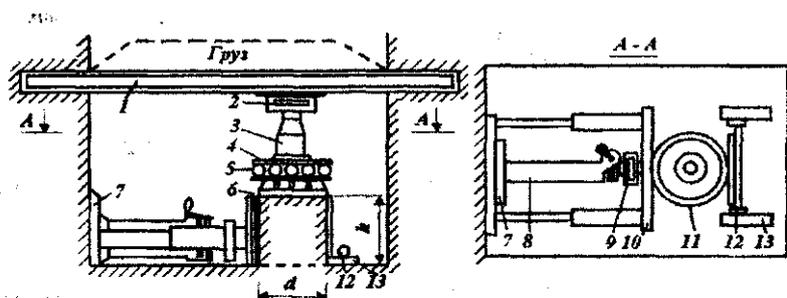


Рис. 5.2. Схема палевой установки для испытания грунтов на сдвиг:

1 – упорная балка; 2,9 – динамометр; 3,8 – домкрат; 4 – жесткая плита; 5 – роликовая опора; 6 – штамп; 7 – упорная стенка; 10 – подвижная стенка; 11 – обойма с грунтом; 12 – катки; 13 – направляющие

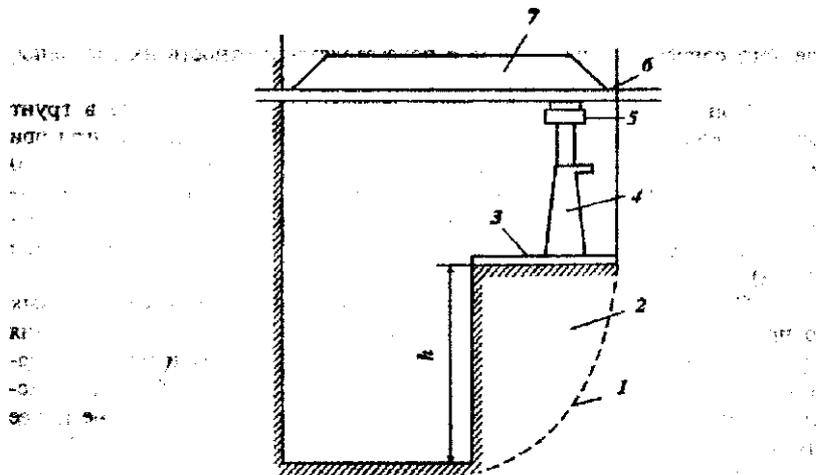


Рис. 5.3. Схема установки для проведения испытаний грунта на сдвиг обрушением:

1 – поверхность обрушения; 2 – целик грунта; 3 – штамп; 4 – домкрат; 5 – динамометр; 6 – упорная балка; 7 – нагрузка

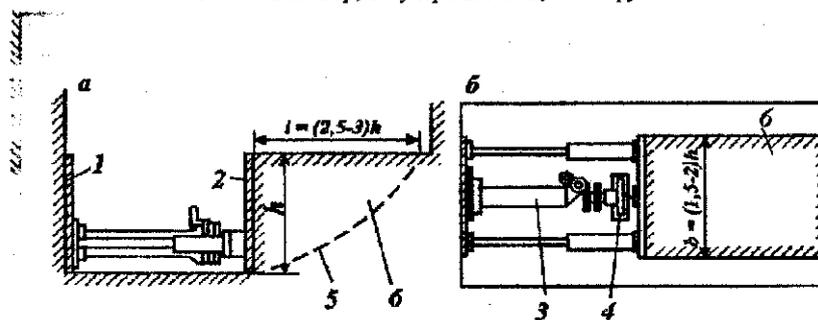


Рис. 5.4. Схема установки в разрезе (а) и в плане (б) для определения испытания грунта на сдвиг вытиранием:

1-2 упорные стенки (1 – неподвижная, 2 – подвижная); 3 – домкрат; 4 – динамометр; 5 – поверхность скольжения; 6 – вытираемый массив грунта; b – ширина клина; h – высота клина

Сущность метода вращательного среза (ГОСТ 21719—80) состоит в измерении крутящих моментов при вращении в грунте крестообразного наконечника — крыльчатки (рис. 5.5).

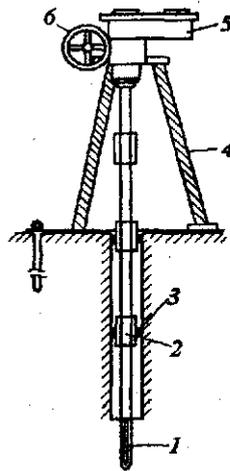


Рис. 5.5. Схема установки вращательного среза:

1 — крыльчатка; 2 — штанга с муфтами; 3 — центрирующее устройство;
4 — станина; 5 — измерительное устройство; 6 — штурвал

5.3.1. Инженерно-геологическое опробование пород

Инженерно-геологическое опробование — это комплекс последовательных операций по определению состава, состояния и свойств грунтов. На различных этапах инженерно-геологических исследований назначение опробования различно.

При инженерно-геологической рекогносцировке опробование направлено на описание образцов из естественных обнажений с минимальными лабораторными исследованиями.

При инженерно-геологической съемке опробование проводится на ключевых участках и направлено на изучение пространственной изменчивости физико-механических свойств грунтов для выделения инженерно-геологических элементов.

При инженерно-геологической разведке основная цель опробования заключается в том, чтобы получить достоверные значения показателей физико-

механических свойств грунтов применительно к расчетным схемам устойчивости сооружений, а также прогнозирования этих показателей во времени и пространстве.

5.3.2. Интерпретация результатов лабораторных и полевых исследований

В практике инженерно-геологических изысканий исследования массивов горных пород выполняют на основе изучения частных значений показателей, определяемых по образцам, отобраным из различных выработок. Однако эти единичные значения дискретны, т.е. характеризуют породы только в данной точке.

Поскольку породы неоднородны и анизотропны, и частные значения показателей могут существенно отличаться друг от друга, отдельные участки пород со сходным составом, состоянием и структурно-текстурными особенностями можно характеризовать некоторым обобщенным или нормативным значением показателя. Нормативные значения характеристик пород, исключая показатели сопротивления сдвигу, принимают равными среднеарифметическому значению. Нормативные значения показателей сопротивления сдвигу определяют в соответствии с рекомендациями ГОСТ 20522-75 методом наименьших квадратов.

5.3.3. Инженерно-геологическое прогнозирование

Инженерно-геологическое прогнозирование заключается в оценке природных и техногенных факторов, выявленных на конкретных объектах в результате инженерно-геологических исследований, в интерпретации первичной информации об этих факторах и выполнении прогнозов. Совокупность правил, применяемых для решения задач прогнозирования, принято называть методами прогнозирования. Их несколько [12].

Методы экспертных оценок предусматривают получение прогностических решений путем опроса специалистов. Возможность использования этих методов ограничивается низким уровнем доказательности и достоверности получаемых прогнозов.

Методы инженерно-геологической аналогии заключаются в перенесении знаний о геологических процессах и явлениях в пределах изученных территорий или участков на новые, подлежащие освоению и сходные с изученными объектами-аналогами. При этом требуется сходство по максимально возможному количеству признаков, относящихся к составу, строению, свойствам, состоянию массивов горных пород и т.д. Перенесение знаний об аналоге на объект исследований, подлежащий освоению, должно осуществляться с максимальным учетом неизбежного несовпадения отдель-

ных признаков и использования соответствующих поправок (поправки на различия в глубинах залегания полезного ископаемого, степени обводненности массивов пород и т.п.).

Аналитические методы, получившие в последние годы широкое развитие, заключаются в получении расчетным путем параметров, характеризующих исследуемые геологические явления. Существующие аналитические методы в подавляющем большинстве базируются на основных положениях механики сплошных деформируемых сред и позволяют давать количественную оценку прогнозируемым геологическим явлениям. Например, расчетным путем можно получить величины деформации земной поверхности при проведении откачек и глубоком водопонижении или прогнозировать устойчивость пород на естественных склонах, искусственных откосах и т.д.

Однако следует помнить, что механико-математическая модель, являющаяся основой любого расчетного метода, весьма приблизительно отражает реальные условия геологического явления, что сказывается на точности и надежности прогнозов.

Методы моделирования заключаются в выборе и создании физической или математической модели с фиксируемыми и управляемыми параметрами, которая с заданной достоверностью отражает реальные геологические явления и их условия. Существует несколько разновидностей модели: из эквивалентных материалов, из оптически активных, материалов, электрические (электрогидродинамических аналогии), электролитические, математические (на сеточных или цифровых ЭВМ).

Результаты инженерно-геологического прогнозирования отображаются на специальных прогнозных картах, разрезах, схемах, в пределах которых те или иные процессы и явления могут реализоваться в различной форме и разных масштабах.

5.4. Виды и методы гидрогеологических исследований

К основным видам гидрогеологических исследований на месторождениях твердых полезных ископаемых относятся: 1) обобщение и анализ материалов предыдущих исследований; 2) гидрогеологическая съемка и картирование; 3) гидрогеологические наблюдения в процессе бурения скважин и проходки горных выработок; 4) полевые опытно-фильтрационные работы; 5) лабораторные работы; 6) наблюдение за режимом подземных вод. Этот перечень работ наряду с материалами по оценке запасов полезных ископаемых позволяет решить основные задачи по изучению характеристики и режима подземных вод.

Гидрогеологическая съемка — комплекс полевых исследований, выполняемых с целью изучения и картирования подземных вод. На ме-

сторождениях твердых полезных ископаемых она проводится или на готовой геологической основе, или одновременно с геологической и инженерно-геологической съемкой (см. главу II). Масштаб гидрогеологической съемки района месторождения 1:25 000 – 1:50 000, гидрогеологическая съемка участка разведки выполняется в масштабе 1:10 000 или 1:5 000 (обычно проводится на месторождениях II и III групп). Съемка проводится обычными методами с использованием результатов дешифрирования аэрометодов, наземных наблюдений, бурения скважин (картировочные, поисковые, зондировочные), опытно-фильтрационных работ, геофизических исследований, гидрохимических исследований, лабораторных работ. В итоге составляется гидрогеологическая карта соответствующего масштаба.

Специальные гидрогеологические скважины бурятся в ограниченном количестве, в основном используются скважины, пробуренные для изучения запасов полезных ископаемых. На месторождениях III группы сложности могут быть дополнительно пробурены скважины для опытного водопонижения, а также опытные кусты, состоящие из центральных и наблюдательных скважин.

Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин заключаются в наблюдениях за уровнем и температурой подземных вод, пористостью и трещиноватостью горных пород, состоянием и поглощением промывочной жидкости, отборе проб воды и газа для анализов, выходом керна, регистрации водопроявлений и их расходов.

Опытно-фильтрационные работы являются одним из основных видов гидрогеологических исследований. Они позволяют определить параметры водоносных горизонтов (комплексов), граничные условия и дать количественную оценку водопритокам. К ним относятся откачки различного назначения, наливывы и нагнетания в скважины, наливывы в шурфы, экспресс-методы и др.

Откачки в зависимости от стадии разведочных работ и сложности условий, в которых они проводятся, подразделяются на пробные, опытные и опытно-эксплуатационные (в том числе опытно-производственные).

Пробные откачки проводятся в течение 1-2 суток и могут использоваться на всех стадиях поисково-разведочных работ в различных по сложности гидрогеологических условиях (преимущественно на оценочной и разведочной стадиях на месторождениях II и III групп сложности). Для этих целей используются разведочные скважины, пробуренные для оценки запасов месторождений полезных ископаемых.

Опытные откачки – одиночные (из одной скважины) и кустовые, где куст скважин представляет собой центральную (возмущающую) и несколько наблюдательных (реагирующих) скважин, расположенных на определенных расстояниях от центральной. Продолжительность оди-

ночных откачек 3-5 суток, — кустовых от 10 суток и более. Проводятся они на оценочной и разведочной стадии на месторождениях II и III групп сложности. Опытно-эксплуатационные откачки из одиночных скважин или опытно-производственные из группы скважин проводятся на месторождениях III группы сложности после завершения разведочных работ в процессе опытно-производственного водопонижения. В последнем случае используются специально пробуренные водопонижающие скважины, размещение и количество которых учитывает проектную схему осушения.

По результатам откачек определяются основные расчетные гидрогеологические параметры: коэффициенты фильтрации (K_{ϕ}), водопроницаемости (Γ), пьезопроводности или уровнепроводности (a), а также уточняются граничные условия (в плане и разрезе), коэффициенты перетекания (B), сопротивление русловых отложений (ΔL) и др. Для определения параметров используются аналитический и графоаналитический методы расчета.

Одним из наиболее надежных для определения параметров водонесных горизонтов (комплексов) является метод стационарных наблюдений, который используется в процессе эксплуатации месторождения. Он используется в совокупности с наблюдениями в скважинах режимной сети и входит в состав мониторинга.

Для определения фильтрационных свойств слабопроницаемых пород используются наливывы в шурфы (метод А.К. Болдырева и Н.С. Нестерова) или наливывы и нагнетания в скважины. Методы могут применяться на месторождениях III группы сложности на завершающих стадиях разведки или при эксплуатации.

Аналитические методы определения коэффициента фильтрации и водопроницаемости основаны на использовании формул динамики подземных вод. Так, для расчета коэффициента фильтрации и водопроницаемости по данным откачек можно использовать уравнения, приведенные в разделе 4.4.

Графоаналитические методы основаны на использовании преобразованной формулы Тейса. В результате по данным откачек получают три графика прослеживания понижения уровня: временного, площадного и комбинированного:

$$S - \lg t, S - \lg r, S - \lg \frac{r^2}{t}, S - \lg \frac{t}{r^2}.$$

По графикам определяются соответствующие тангенсы углов наклона (C) прямой линии к оси абсцисс, а затем — параметры km по формулам:

$$\text{по графику временного прослеживания } Km_t = \frac{0,183Q}{C_t};$$

$$\text{по графику площадного прослеживания } Km_r = \frac{0,366Q}{C_r};$$

$$\text{по графику комбинированного прослеживания } Km_k = \frac{0,183Q}{C_k}.$$

где Q – производительность скважины при откачке.

Коэффициент уровнепроводности (пьеэпроводности) определяется по тем же графикам по соответствующим формулам:

$$\lg a_t = \frac{A_t}{C_t} - 0,35 + 2 \lg r, \lg a_r = 2 \frac{A_r}{C_r} - 0,35 - \lg r, \lg a_k = \frac{A_k}{C_k} - 0,35,$$

где r – расстояние до наблюдательной скважины, м,

t – фиксированное время с начала откачки, сут.

Заметим, что по ряду причин коэффициент уровнепроводности (пьеэпроводности) определяется только по данным кустовых откачек.

При оценке возможного отрицательного влияния подземных (рудничных) вод на различные инженерные сооружения и оборудование необходимо изучение показателей химического состава – жесткости, щелочности, агрессивности воды по отношению к бетону и металлам (углекислотная, выщелачивания, общекислотная, сульфатная, кислородная, магниезиальная), окисляемость, галоидополгощение и некоторых других показателей. В случае использования откачиваемых вод для хозяйственно-питьевых или технических целей вода должна соответствовать требованиям ГОСТов.

Режимные наблюдения наиболее важное значение приобретают на месторождениях II и III группы сложности. Здесь режимная сеть должна закладываться уже в стадии разведочных работ и передаваться геологической службе горного предприятия для продолжения наблюдений в период освоения месторождения. Стационарная сеть состоит обычно из скважин, шурфов, гидрометрических постов и др. На месторождениях I группы стационарные наблюдения организуются с начала промышленного освоения участков. Режимными наблюдениями должны быть охвачены все основные водоносные горизонты в наиболее типовых и характерных участках, особенно в зонах тектонических нарушений и дробле-

ния пород, участках развития карста и активной гидравлической взаимосвязи поверхностных и подземных вод.

В процессе эксплуатации составляется постоянная геологическая, гидрогеологическая и инженерно-геологическая документация, позволяющая более эффективно вести отработку запасов полезного ископаемого и влиять на создание благоприятных условий труда.

Детально методика и примеры решения различных гидрогеологических задач приводятся в специальной литературе [3,8,13].

1. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

2. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

3. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

4. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

5. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

6. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

7. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

8. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

9. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

10. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

11. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

12. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

13. В.И. Кривов, А.Н. Филиппов, О.В. и др. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в условиях карста. М.: Недра, 1978.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев С.Л. Флишевые формации: закономерности строения и условия образования. – М.: Росвузнаука, 1993.
2. Гавич И.К. Гидрогеодинамика. – М.: Недра, 1988.
3. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Норватов Ю.А. Гидрогеология и инженерная геология. – М.: Недра, 1989.
4. Ершов В.В. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1983.
5. Ершов В.В. Основы горно-промышленной геологии. – М.: Недра, 1988.
6. Каждан А.Д. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ. – М.: Недра, 1985.
7. Карановский Н.В., Якушова А.Ф. Общая геология. – М.: Высшая школа, 1991.
8. Климентов П.П., Сыроватко М.В. - Гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых. М., Недра, 1966.
9. Кирюхин В.А., Коротков А.Н., Павлов А.Н. Общая гидрогеология. – М.: Недра, 1988.
10. Камзист Ж.З. и др. Основы гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1988.
11. Ломтадзе В.Д. – Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1990.
12. Панюков П.Н. Инженерная геология. – М.: Недра, 1978.
13. Потапов Г.И. Сборник задач по динамике подземных вод. – М.: Изд-во МГОУ, 1996.
14. Романович И.Ф., Кравцов А.И., Филиппов О.В. и др. Полезные ископаемые. – М.: Недра, 1985.
15. Сыроватко М.В. Гидрогеология и инженерная геология при освоении угольных месторождений. – М.: Госгеолтехиздат, 1960.
16. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. – М.: Недра, 1996.
17. Шевяков Л.Д. Разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Госгеолтехиздат, 1968.
18. Временное положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). – М.: ВИЭМС, 1998.
19. Временные методические рекомендации по геолого-экономической оценке промышленного значения месторождений твердых полезных ископаемых (кроме угля и горючих сланцев). – М.: ВИЭМС, 1998.
20. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. – М.: ГКЗ, 1997.

Учебное издание

**Бондаренко Сергей Сергеевич
Потапов Геннадий Иванович
Афанасьев Спартак Леонидович
Лукин Вячеслав Нилович**

ГЕОЛОГИЯ

Учебное пособие

Редактор Кузьменко А.Ю.
Компьютерная верстка Васильева И.А.

5000 50.00 руб. за 1 экз. ISBN 5-7400-0000-0
© 2000 г. Издательство «Геоинформационные системы»
С. П. Д. В. И. П. Р. С. Т. У. Ф. Х. Ц. Ч. Ш. Щ. Ъ. Ы. Э. Ю. Я.

