

**Национальная академия наук Украины
Институт геофизики им. С.И. Субботина**

В.П. Нагорный, В.М. Глоба

Горное дело.

Дорога длиною в тысячелетия

**Под общей редакцией
докт. техн. наук, проф. В.П. Нагорного**

Киев – 2010

Горное дело. Дорога длиною в тысячелетия / В.П. Нагорный, В.М. Глоба: под редакцией В.П. Нагорного; НАН Украины, Институт геофизики им. С.И. Субботина. – Киев, 2010. – С. 288, ил. 216, табл. 23, библ. 34.

ISBN 978-966-02-5755-9

Изложены вопросы строения и структуры Земли. Описаны полезные ископаемые, залегающие в недрах Земли и их применение. Приведены краткие сведения об истории и основах горного дела, способах проведения горных выработок, добыче твердых полезных ископаемых, технологиях проведения взрывных работ. Отдельный раздел посвящен добыче нефти и газа. Рассмотрены вопросы становления и развития горной науки и горного образования. Вопросы охраны окружающей среды при ведении горных работ сведены в отдельный раздел. Приведены данные об отображении горной тематики в культуре (живописи, искусстве). Книга заканчивается рассмотрением основных направлений развития горного дела в XXI веке.

Книга рассчитана на массового читателя, и в первую очередь, на молодежь, выбирающую профессию горно-геологического профиля.

Гірнича справа. Дорога довжиною в тисячоліття / В.П. Нагорний, В.М. Глоба: за редакцією В.П. Нагорного; НАН України, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна. – Київ, 2010. – С. 288, іл. 216, табл. 23, бібл. 34.

Викладені питання будови і структури Землі. Описані корисні копалини, що залягають в надрах Землі та їх використання. Наведені короткі відомості про історію і основи гірничої справи, способи проведення гірських виробок, видобування твердих корисних копалин, технології проведення вибухових робіт. Окремий розділ присвячений видобутку нафти і газу. Розглянуті питання становлення і розвитку гірничої науки і гірничої освіти. Питання охорони навколишнього середовища при проведенні гірничих робіт зведені в окремий розділ. Приведені дані про відображення гірничої тематики в культурі (живописі, мистецтві). Книга закінчується оглядом основних напрямів розвитку гірничої справи в XXI столітті.

Книга розрахована на масового читача, і в першу чергу на молодь, яка вибирає професію гірничо-геологічного профілю.

Рекомендовано до друку Робочою секцією геодинаміки вибуху Вченої ради Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (протокол № 3 від 30.03.2010 р.).

ISBN 978-966-02-5755-9

© Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна
НАН України, 2010
© В.П. Нагорный, В.М. Глоба, 2010

Содержание

Введение	5
Раздел 1. Наша планета земля	8
1.1. Строение Земли	8
1.2. Природные катастрофы. Их последствия	16
Раздел 2. Недра земли – кладовая природы	26
2.1. Горные породы	26
2.2. Полезные ископаемые	28
2.2.1. Минеральные полезные ископаемые	29
2.2.2. Естественные энергетические полезные ископаемые	43
Раздел 3. История горного дела	52
3.1. Так начиналась добыча твердых полезных ископаемых	52
3.1.1. Основные этапы эволюции в горном деле	52
3.1.2. Историческая хронология развития горного дела	54
3.2. Нефть и газ. Из глубины веков	76
Раздел 4. Основы горного дела. Элементы и понятия	93
4.1. Горное дело и горнодобывающая промышленность	93
4.2. Первопроходцы горного дела	94
4.3. Способы разработки месторождений полезных ископаемых	95
4.4. Горные работы	96
4.4.1. Элементы горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом	96
4.4.2. Элементы горных работ при подземной добыче полезных ископаемых	98
Раздел 5. Добыча твердых полезных ископаемых	105
5.1. Физико-механические свойства горных пород, определяющие их разрушение при добыче	105
5.2. Мирные взрывы – помощники горняков	112
5.2.1. Основные понятия	112
5.2.2. История взрывного дела	114
5.2.3. Методы и технология взрывных работ	119
5.3. Добыча полезных ископаемых открытым способом	135
5.3.1. Общие сведения	135
5.3.2. Технология открытых горных работ	137
5.4. Подземная добыча полезных ископаемых	147
5.4.1. Проходка горных выработок	148
5.4.2. Крепление горных выработок	163
5.4.3. Добыча угля	167

5.4.4.	Добыча рудных и нерудных полезных ископаемых	174
5.5.	Скважинные методы добычи твердых полезных ископаемых	187
5.5.1.	Подземное растворение солей	188
5.5.2.	Подземная выплавка серы	191
5.5.3.	Подземная газификация угля	193
5.5.4.	Подземная переработка сланцев	195
5.5.5.	Подземное выщелачивание полезных ископаемых	196
5.5.6.	Добыча полезных ископаемых гидравлическим способом	198
5.6.	Подводная добыча полезных ископаемых	199
5.7.	Гидромониторная добыча полезных ископаемых	203
Раздел 6.	Добыча нефти и газа	206
6.1.	Основные формы залегания и характеристика пород, вмещающих нефть и газ	206
6.2.	Как же образовались нефть и газ?	209
6.3.	Поиски и разведка нефтегазовых месторождений	210
6.4.	Бурение скважин	211
6.5.	Способы добычи нефти	220
6.5.1.	Фонтанный способ добычи нефти	221
6.5.2.	Газлифтный способ добычи нефти	222
6.5.3.	Насосный способ добычи нефти	223
6.5.4.	Шахтный способ добычи нефти	226
6.6.	Добыча газа и газового конденсата	229
6.7.	Добыча нефти и газа на морском шельфе	231
6.8.	Дальнейший путь нефти и газа	235
Раздел 7.	Горная наука и ее корифей	239
Раздел 8.	Горное образование	252
Раздел 9.	Горное дело и охрана окружающей среды	256
9.1.	Охрана окружающей среды при добыче твердых полезных ископаемых	256
9.2.	Охрана окружающей среды при добыче нефти газа	260
Раздел 10.	Отображение горного дела в культуре	266
Раздел 11.	Горное дело. XXI век	275
Заключение		286
Список литературы		287

Введение

Дорогой читатель!

Перед тобой книга, которая посвящена одной из самых древних, сложных и так нужных профессий – горной. Горное дело зародилось в далекие времена и прошло путь длиною в тысячелетия. Все, что мы добываем из недр земли, перерабатываем и используем для блага человека, напрямик связано с горным делом.

Человек вышел из пещеры в поисках средств к существованию, нашел олени рога, камень и начал добывать полезные ископаемые. Горит свет, тепло в помещениях, движутся машины, тепловозы и электровозы, плавают пароходы, летают самолеты, ракеты, космические корабли, строятся дома и промышленные объекты, из драгоценных металлов и камней изготавливаются украшения – все это связано с полезными ископаемыми – их добычей, то есть с горным делом.

Мы старались построить книгу таким образом, чтобы дать читателю сведения об основных аспектах горного дела: о полезных ископаемых, технологиях их добычи, горной науке и ее корифеях, горном образовании и горной тематике в искусстве.

Так как горное дело связано с геологической средой, мы решили начать рассказ о нашей планете Земля, ее строении и свойствах, с ознакомления с теми процессами, происходящими в земных глубинах, под действием которых формируются горные породы и полезные ископаемые. Эти вопросы изложены в первом разделе книги.

Второй раздел посвящен недрам Земли – как кладовой природы. Читатель узнает многое о полезных ископаемых. Рассмотрены металлические (рудные), неметаллические (нерудные) и природные энергетические полезные ископаемые. Приведены их свойства, объемы запасов и добычи, размещение на земной поверхности, применение в промышленности, энергетике, транспорте и быту.

В третьем разделе освещены вопросы истории горного дела, начиная с его зарождения в глубокой древности с возникновением человеческого общества, в тесной связи с его социально-экономической структурой на базе совершенствования орудий производства.

Эпоха горных орудий составила наиболее протяженный этап развития горного дела. Наряду с каменными топорами древнейшего

периода в XII–VI тысячелетиях до нашей эры используются роговые кайла, в V–IV – появляются медные, а затем и бронзовые орудия труда. Позднее, с начала I тысячелетия до нашей эры появляются железные кирки и кайла. В античное время в шахтах и каменоломнях в качестве горных орудий применяются простейшие механизмы, появляются первые горные машины, в XVI–XVII веках нашей эры они значительно совершенствуются и снабжаются автономным приводом. Научно-техническая революция XX века открыла дорогу внедрению в горном деле машин-автоматов и автоматических систем.

С развитием горного дела росло число используемых полезных ископаемых: в каменном веке добывали нерудное минеральное сырье, в IX–VIII вв. до н. э. человек начал добывать руды цветных металлов (медь, золото, олово), в античное время и средние века – горючие полезные ископаемые (нефть, уголь), в XX веке – радиоактивные руды.

За историческое время в мире было добыто 140 млрд. т угля, свыше 50 млрд. т нефти. Продукция горного производства стала незаменимым сырьевым ресурсом промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

В четвертом разделе речь пойдет об основных понятиях в горном деле. Читатель узнает о горной промышленности и ее структуре, о горных выработках и методах их проведения, о способах разработки полезных ископаемых.

Пятый раздел посвящен добыче полезных ископаемых. Излагаются вопросы физико-механических свойств горных пород, определяющих их разрушение при добыче. В этом разделе приведены сведения о взрыве, как помощнике горняков при добыче полезных ископаемых. Освещены вопросы истории взрывного дела, технологии ведения взрывных работ. Основная часть раздела посвящена добычным работам: добыче твердых полезных ископаемых открытым способом, шахтной добыче, скважинным методам добычи, подводной и гидромеханизированной технологиям добычи.

Разработке нефтяных и газовых месторождений посвящен шестой раздел. В нем описаны физические свойства нефти (пластовых флюидов), этапы развития нефтегазовой отрасли, технологии бурения скважин, методы добычи нефти и газа на суше и морском шельфе.

О горной науке и ее корифеях речь идет в седьмом разделе. Описано становление горной науки, ее достижения и развитие, роль

горной науки в решении проблем расширения минерально-сырьевой базы для нужд отраслей промышленности, роль ученых в горном деле.

Горное образование освещено в восьмом разделе. Описаны этапы развития горного образования, система подготовки специалистов для горно-рудной, угольной и нефтегазовой промышленности.

В девятом разделе описаны вопросы охраны окружающей среды. Рассматриваются причины и последствия пагубного влияния горного производства на окружающую среду, методы охраны окружающей среды при добыче твердых полезных ископаемых, нефти и газа.

В десятом разделе приведены сведения о горной тематике в культуре: искусстве, живописи, архитектуре, дизайне.

Последний раздел посвящен основным направлениям развития горного дела в XXI веке.

Авторы не ставили своей целью изложить все вопросы горного дела, да и это невозможно, ибо сама тематика громадна по объему и сложна. Но мы старались представить цепочку горной технологии, ее этапы развития, зная, что горное дело – это искусство.

При написании книги авторы пользовались доступными источниками информации: Интернетом, литературными источниками, перечень которых приведен в конце книги.

Книга предназначена для широкого круга читателей, интересующихся профессиями горно-геологического профиля.

Авторы выражают благодарность Я.А. Рудюк за подготовку компьютерной верстки книги.

Раздел 1

НАША ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

Начиная повествование о Земле, ее строении и недрах, мы хотели бы напомнить читателю о самом слове «земля». Откуда оно произошло?

Славянское слово «земля» первоначально означало низ, подножие, затем стало применяться для обозначения и самой почвы, грунта. Сходные процессы протекали и в других языках. Например, английское earth – земля, почва, но Earth – планета. Впоследствии слово «земля» служило также во многих языках для обозначения земельных участков, земельных владений, княжеских вотчин.

По мере развития феодализма данное понятие закрепилось за странами, графствами и вообще большими пространствами суши. Именно поэтому слово оказалось удобным для перевода латинского terra – планета Земля, поскольку, первоначально, латинское понятие использовалось только в форме terra – суша, поднебесный мир.

Термин «terra» был впервые введен в 1543 году польским астрономом Н. Коперником. Тогда Коперник издал свою книгу, в которой развивал геоцентрическую систему и доказал, что Земля является планетой. Фактически это было открытие Земли как космического тела.

Земля – среда обитания человека, включающая ее недра, поверхность, ландшафт, живой и растительный миры и воздушную оболочку земного шара. На ней мы живем, она нас кормит и из нее мы извлекаем все необходимые природные богатства.

1.1. Строение Земли

Земля – третья по расстоянию от Солнца планета, после Меркурия и Венеры. Она движется по орбите вокруг Солнца и вращается вокруг собственной оси.

Ее возраст исчисляли многие ученые, но каждый раз они опирались на скорость распада радиоактивных элементов. Первую попытку установить возраст Земли предпринял английский физик Э. Розерфорд в 1910 году, оценив возраст обследованной урановой руды в 700 млн. лет. Возраст планеты тогда оценивался геологами в 100–200 млн. лет.

В 1989 году на берегах Большого Невольничьего озера в Канаде были найдены древнейшие горные породы Земли, возникшие 3,96 млрд. лет назад, а возраст метеоритов был установлен порядка 4,0–4,6 млрд. лет. Как считают ученые, вероятнее всего Земля и другие планеты возникли 4,5 млрд. лет назад.

Как же образовалась наша планета Земля?

Согласно современным представлениям, Земля образовалась как космическое тело и сформировалась из газопылевых скоплений, кусков и обломков, вращавшихся вокруг молодого Солнца (рис. 1.1). Она разрасталась, захватывая находящееся вокруг нее вещество, пока не достигла своего нынешнего размера.

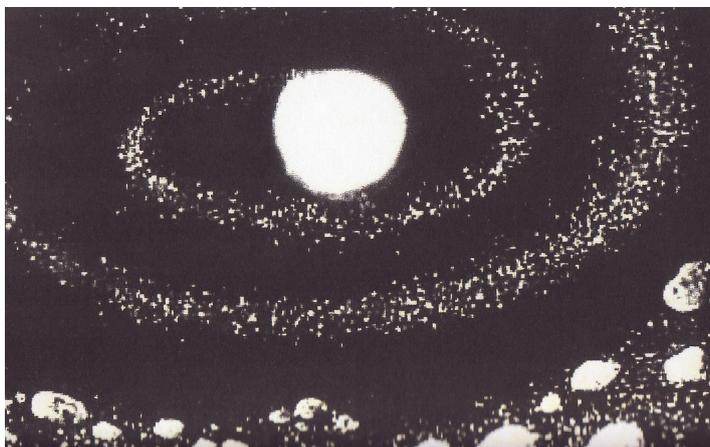


Рис. 1.1. Так образовывалась планета Земля

Вначале процесс разрастания проходил очень бурно. Непрерывный дождь падающих тел приводил к ее значительному нагреванию. Энергия падающих тел освобождалась в глубине планеты. Под действием внутренних и внешних источников энергии и гравитационного сжатия произошло расслоение веществ на отдельные оболочки. Более легкие вещества, богатые кремнием, отделились от более плотных, содержащих железо и никель, и образовали первую земную кору.

Спустя примерно миллиард лет, когда Земля существенно охладилась, земная кора затвердела, превратившись в прочную

внешнюю оболочку планеты. Остывая, она выбрасывала из своего ядра множество различных газов. Легкие, такие как водород и гелий, улетучивались в космическое пространство, а более тяжелые, под действием силы притяжения Земли, удерживались у поверхности Земли и составили основу земной атмосферы. Часть водяных паров из атмосферы сконцентрировались и на Земле – так возникли океаны.

Земля – не самая маленькая планета среди своих соседей. Диаметр Земли – 12 756,3 км, расстояние от Солнца – 149,6 млн. км. Давление в центре Земли составляет 3 млн. атм., а плотность вещества – 12 г/см^3 . Масса нашей планеты составляет 6×10^{24} кг. Из недр Земли постоянно выделяется тепловой поток. Глубокое бурение показало, что температура с глубиной увеличивается на 20°C на каждом километре. Установлено также, что температура в самом центре Земли составляет несколько тысяч градусов.

Итак, процессы, происходящие в недрах Земли, привели к образованию земных оболочек. Разные по составу, состоянию и свойствам оболочки земного шара, называются геосферами.

Геофизическими исследованиями в недрах Земли обнаружено несколько концентрических слоев: земная кора, верхняя и нижняя мантия, внешнее и внутреннее ядро (рис. 1.2). Каждая оболочка (слой) имеет свою толщину и свойства (табл. 1.1).

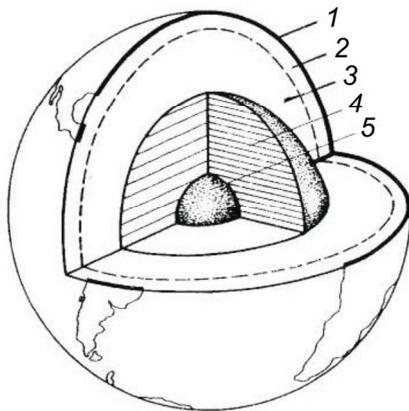


Рис. 1.2. Строение Земли:

- 1 – земная кора; 2 – верхняя мантия; 3 – внутренняя мантия; 4 – внешнее ядро;
5 – внутреннее ядро

Таблица 1.1. Глубины размещения и толщина оболочек Земли

№	Оболочки	Глубина (толщина), км
1	Земная кора	5 – 80
2	Верхняя мантия	40 – 1000
3	Внутренняя мантия	1000 – 2900
4	Внешнее ядро	2900 – 5000
5	Внутреннее ядро	5000 – 6300

Верхняя часть мантии (субстрат) и земная кора называются литосферой. Глубже всего расположено ядро, имеющее диаметр около 3 400 км и состоящее из внутреннего твердого и внешнего жидкого ядра.

Внешняя оболочка Земли – земная кора, самая тонкая из всех внутренних оболочек Земли. Она представляет собой континентальную кору и океаническую. О ней подробнее мы поговорим ниже.

От нижележащей оболочки Земли – мантии, земную кору отделяет глубина до 1 000 км. На долю мантии приходится 67 % общей массы планеты. Мантия простирается до глубины 2 900 км и разогрета до температуры 4 500 °К. Ученые считают, что вещество мантии находится в непрерывном движении и в относительно глубоких ее слоях, с ростом температуры и давления происходит переход вещества в более плотные модификации.

В нижней мантии на глубине 2 900 км отмечается скачок в плотности, что указывает на смену вещественного состава пород. Нижняя мантия – это внешняя граница ядра Земли.

Земное ядро было открыто в 1936 году. Оно разделяется на две отдельные области: жидкую – внешнее ядро и твердую – внутреннее. По современным данным, внешнее ядро представляет собой вращающиеся потоки расплавленного железа и никеля, хорошо проводящие электричество. Именно с ним ученые связывают происхождение земного магнитного поля.

Внутреннее твердое ядро не связано с мантией. Полагают, что его твердое состояние, несмотря на высокую температуру, обеспечивается гигантским давлением в центре Земли. Ученые подсчитали, что в земном ядре давление может достигать 3 млн. атм. При таком давлении многие вещества переходят в металлическое состояние. Плотность пород внутреннего ядра превышает в два раза плотность стали, а температура составляет 6200–6400 °К.

Сегодня современные наука и техника дают нам представления о процессах, происходящих в недрах Земли. Сейсмическое профилирование больших глубин Земли с помощью отраженных сейсмических волн, дало возможность исследовать кору и мантию Земли на континентах и в океанах. Многие специалисты теперь считают, что кроме мощных литосферных плит, в недрах существуют слои, способные перемещаться на десятки и сотни километров. Появились новые данные о вертикальной и горизонтальной неоднородности верхней мантии.

Нелинейной геофизикой, как одним из направлений среди наук о Земле, установлено, что энергия сейсмической волны переходит в энергию электромагнитного поля; энергия геофизических полей трансформируется в энергию геохимических реакций. Геологическая среда и ее физические свойства превращаются под действием интенсивных физических полей.

Так, интенсивное акустическое поле, распространяющееся в горных породах, может вызывать превращение структуры порового пространства и привести к изменению фазового состояния жидкостей и газов, находящихся в порах пород. Особенно это проявляется при добыче нефти. Акустическое воздействие на призабойную зону сопровождается нагреванием пласта, при этом возникают изменения вязкости нефти, увеличивается проницаемость горных пород. Вследствие интенсивного акустического воздействия на пласт может быть увеличена производительность нефтяной скважины.

Сегодня Землю рассматривают как динамическое тело, в середине которого, за счет внутреннего тепла происходят конвективные процессы. На поверхности планеты конвекция проявляется в образовании новой литосферы в местах океанских хребтов. Новая литосфера распространяется в горизонтальном направлении, охлаждается, а затем опять погружается в мантию. С помощью этой концепции можно объяснить многие геологические явления: вулканизм, магнетизм, землетрясения. Она объясняет молодой возраст пород дна океанов, который не превышает 200 млн. лет. В то же время, век пород материков в некоторых местах достигает 3,8 млрд. лет. Таким образом, всего лишь 5 % геологической истории представлены в океанах, хотя они занимают 70 % поверхности планеты. Однако свидетели основной части истории Земли (95 %) сконцентрированы на континентах. Как раз в континентальной коре размещены основные энергетические и минеральные ресурсы.

Земная кора – самая сложная по своему составу и строению из всех внутренних оболочек Земли. Хотя на ее долю приходится менее 1 % общей массы планеты, она включает все необходимое для жизни. Ее толщина изменяется в пределах континентов и океанов. Так, толщина земной коры в пределах континентов составляет около 35 км (максимальная – под высокими горными цепями и массивами – 70 км), в пределах океанов – колеблется от 5 до 10 км. Земная кора под океанами отличается от материковой не только толщиной, но и отсутствием под океанами так называемого гранитного слоя.

Земная кора нашей планеты – самая неоднородная. Наиболее резкий признак неоднородности континентальной земной коры проявляется в переходах разных слоев и пород осадков в формации из магматических пород, а последних – в мощные массивы метаморфических пород. Магматические и метаморфические породы составляют фундамент континентальной земной коры. В верхних ее ярусах преобладают изверженные породы, в нижних – более плотные основные породы. Это послужило поводом для геофизиков, чтобы дать схему разреза континентальной земной коры. Традиционно верхнюю часть консолидированной коры называют «гранитным» слоем, нижнюю – «базальтовым».

В земной коре происходят сложные химические процессы, которым способствует явление диффузии. В мельчайших капиллярах и трещинах, пронизывающих горные породы, происходят, хоть и медленно, громадные по своим размерам и последствиям процессы переноса веществ. При больших давлениях идет перекристаллизация вещества. При температурах, даже и далеких от их плавления, протекают сложные химические процессы. Эти процессы, происходящие по законам физической химии, привели к выделению из огненно-жидкого клубка атомов земной коры. Силикатный расплав начал охлаждаться. Из него, в определенной последовательности, начали выделяться в твердом состоянии одно вещество за другим. Одни вещества были более тяжелыми и опускались в глубину; легкие составные части, газы и летучие вещества, напротив, всплывали кверху. Так, из среднего расплава базальта вниз опускались тяжелые составные части, богатые железом и магнием. Из них в глубинах образовались тяжелые породы, с которыми связаны месторождения алмазов, платины, хромовых руд, никеля.

Ближе к поверхности в закономерной последовательности образовались породы диоритового, гранитодиоритового и гранитного

состава. Охлажденные массивы гранитов образовали основу наших материков. Те же законы физической химии руководили и этим новым распределением самых разнообразных химических элементов в земной коре.

Атомы и их частицы в земной коре соединяются в гармоничное строение – кристалл. Один кубический сантиметр кристалла строится из триллионов атомов. Образуются решетки и сетки, в узлах которых размещены разные атомы. Из кристаллов построена в основном вся зона земной коры.

Современная техника и технология, научные поиски и разработки ученых позволяют исследовать недра Земли, обнаруживать их свойства. На помощь ученым пришли такие методы как сейсмический, гравитационный, магнитный, электромагнитный, термический, ядерный и другие. Наиболее надежный из них – сейсмический. Он основан на наблюдении сейсмических волн, возникающих в твердом теле Земли при землетрясениях или при взрывах. Сейсмические волны проходят через недра Земли и дают возможность составить картину о ее внутреннем строении и об изменениях физических свойств веществ земных недр с глубиной (рис. 1.3).

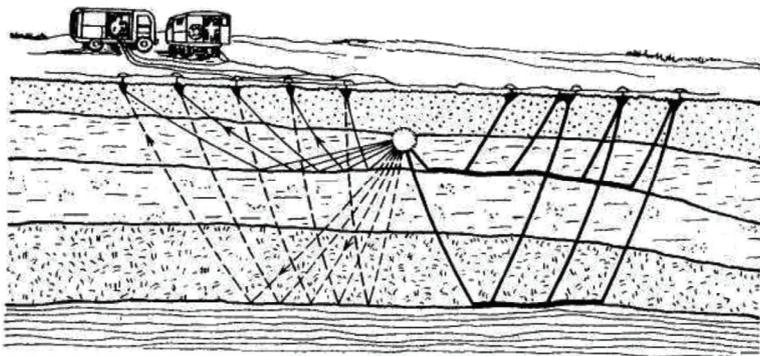


Рис. 1.3. Отражение и преломление сейсмических волн при сейсмических исследованиях недр Земли

Изучая распределение сейсмических волн в глубине Земли, ученые исследовали и определяли физические свойства веществ, составляющих земные недра. Изменчивость строения верхней сферы земного шара на глубине 400 км указывает на наличие в ней

тектонических процессов. По данным австралийского сейсмолога Буллена в слое существует область пониженных скоростей – астеносфера, в которой находятся очаги вулканов. Они образуются там, где снижаются давление и температура плавления вещества астеносферы. Снижение температуры плавления приводит к расплавлению вещества и образованию магмы, которая потом по трещинам и каналам в земной коре может вылиться на поверхность земли.

Атмосфера Земли образована газами, которые выделились из твердого тела Земли. В ней преобладают: азот – 78 %, кислород – 21 %, аргон – 0,93 %, водяной пар – 0,1 %, углекислый газ – 0,03 %. Атмосфера частично рассеивается в космическом пространстве, в котором Земля движется со скоростью 30 км/с. Все оболочки Земли, внутренние и внешние, не изолированы одна от другой и находятся в постоянном взаимодействии.

В глубинах Земли происходят разнообразные геохимические процессы: магма превращается в базальт, а затем в гранит. В этих процессах большую роль играет вода. Вода – конструктор и строитель земной коры, ее организующее начало.

Основным из физических свойств Земли является магнетизм. Это свойство наша планета приобрела благодаря размещению в ее недрах жидкого внешнего ядра. В нем циркулирует система течений и происходят процессы, приводящие к созданию кольцевого биполярного магнитного поля Земли.

Следующей особенностью физических свойств Земли является наличие тепловой и гравитационной энергий. Тепловая энергия, образующаяся в недрах Земли, стимулирует тектонические процессы и вулканизм в верхней мантии и коре. Тепло поддерживает в расплавленном состоянии внешнее ядро, создает в нем конвективное течение, влияющее на образование и функционирование биполярного геомагнитного поля. Из недр нашей планеты к каждой точке ее поверхности направлен поток тепла.

К эндогенной энергии относится гравитационная энергия (энергия силы притяжения Земли). Она поступает из внутренней области во внешнюю с помощью тектонических движений и вулканизма. Возбуждение эндогенной энергией тектонических процессов в период долговременного геологического времени создало современную структуру земной коры и верхней мантии.

Неоднородность строения и неравномерность движения (в пространстве и времени) разных частей земной коры и более глубоких оболочек, создают условия для перераспределения и периодической концентрации напряжений в определенных объемах горных пород. Наиболее благоприятными для разных изменений являются области неоднородности и участков, движущихся с разной скоростью. Чаще такие границы у земной коры отмечаются как зоны разломов или разрывов. Поэтому землетрясения, как правило, приурочены к зонам разломов и проявляются в виде сдвигов. Разломы и разрывы представляют собой элемент тектоники земной коры и движений.

Земная кора, как твердая оболочка планеты, постоянно изменяется под воздействием внутренних и внешних факторов. Эти изменения происходят очень медленно по сравнению с жизнью человека и даже многих поколений. Лишь отдельные физико-геологические явления протекают быстро и угрожающе. К ним относятся сильные землетрясения, извержения вулканов, сдвиги, большие горные обвалы, цунами.

Эти и другие физико-геологические явления геологи с древних времен распределяют на две группы: экзогенные, возникающие под действием внешних источников энергии, и эндогенные – под действием внутренних.

Экзогенные явления возникают благодаря силе притяжения и неравномерному нагреванию лучами Солнца земной поверхности, воды и воздушных масс. Причинами эндогенных явлений считаются такие параметры литосферных масс, как температура и давление.

1.2. Природные катастрофы. Их последствия

Сколько человечество себя помнит, планета Земля никогда не оставляла людей в покое. Она, словно живое существо, время от времени демонстрирует свой нелегкий характер, обусловленный происходящими в ней глубинными тектоническими процессами, высокими температурами и процессами в окружающем пространстве, что приводит к природным катастрофам. Это в первую очередь: землетрясения, извержения вулканов, стихия ветра, цунами, грозовые разряды и другое.

Еще в IV–III тысячелетиях до нашей эры первые древние государства испытали большие катастрофы. Извержение вулкана и

пожар стали причиной гибели библейских городов Содома и Гоморры (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Исчезновение городов Содома и Гоморры во время катастрофы (картина Кастиана де Кеутича, 17 век)

В Библии вспоминается и о Всемирном потопе, как одной из грандиозных катастроф. Об этой катастрофе писали и шумеры в древнем Египте (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Всемирный потоп (из Нюрнбергской Библии, 1848 г.)

Землетрясения – наиболее грозные природные катастрофы, влекущие за собой множество человеческих жертв, разрушений и

изменяющие поверхность Земли. За последние четыре тысячи лет землетрясения и их последствия привели к гибели 13 миллионов человек.

Землетрясение – это внезапное высвобождение энергии, накопленной в сжатых и растянутых горных породах, сопровождающееся подземными ударами и колебаниями поверхности Земли. Немногие из явлений могут сравниться с землетрясениями по разрушительной силе и опасности.

Верхнюю часть земной коры составляют около десятка тектонических плит. Эти плиты перемещаются под действием конвекционных течений, поднимающихся из высокотемпературной магмы. Напряжения внутри земной коры растут до тех пор, пока не превысят прочности самих пород. Тогда пласты горных пород разрушаются и резко смещаются (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Трещины на поверхности в результате землетрясения

Обычно смещение составляет лишь несколько сантиметров, но энергия выделяемая при перемещении миллиардов тонн породы, даже на малое расстояние, огромна. Хотя движение земной поверхности при землетрясении продолжается от нескольких секунд до нескольких минут, тем не менее, последствия катастрофических разрушений – аварии и человеческие жертвы (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Результаты землетрясения

Известно, что землетрясениями охвачена $\frac{1}{10}$ поверхности континентов. Приблизительно 99 % землетрясений относятся к явлениям тектоническим. По данным сейсмологов, в мире ежегодно регистрируется более 20 000 землетрясений, большинство которых люди даже не замечают. Но бывают катастрофы с масштабными последствиями и сотнями тысяч жертв. Печальный рекорд подземная стихия установила в Китайской провинции Шэньси, где в 1556 году погибло около 830 000 человек.

Величина вреда, который наносят землетрясения, зависит от их балльности. По количеству баллов землетрясения распределяются: 6 баллов – относятся к сильным, 7 – очень сильным, 8 – разрушительным, 9 – опустошающим. Наиболее сильное землетрясение характеризуется 12 баллами и считается катастрофическим.

Люди не раз были свидетелями значительных геологических катастроф. Так, 12 июня 1897 года вследствие одного подземного толчка в долине реки Миссисипи высота гор Асама увеличилась почти на 6 метров. А землетрясение в 1899 г., произошедшее на границе между Аляской и Канадой, подняло земную толщу на 15 м. Бывали случаи, когда в результате землетрясения море отступало, но спустя некоторое время водяные массы возвращались на прежние места. Например, во время землетрясения в Португалии в 1755 году в устье реки Тежу состоялся резкий спад воды. Через несколько часов

после этого сюда поступила водяная стена высотой 6 м, сметая и разрушая все на своем пути.

Землетрясения испытали такие страны как США, Перу, Чили, Китай, Португалия, города СССР (Спитак, Ташкент, Ашхабад) и другие. Уже в XXI веке глубинные недра Земли напоминают о себе (2005 год – Пакистан, 2006 год – Малая Азия, 2008 – Сычуань, Китай, 2010 – Гаити).

Наблюдают за приближением землетрясения и оповещают о нем сейсмологи. Они следят за возрастанием скорости движения земной коры, подъемом земной поверхности, скоростями сейсмических волн, изменением напряженности магнитного поля и электропроводности пород, изменением параметров, извещающих о возможности землетрясения (рис. 1.8).

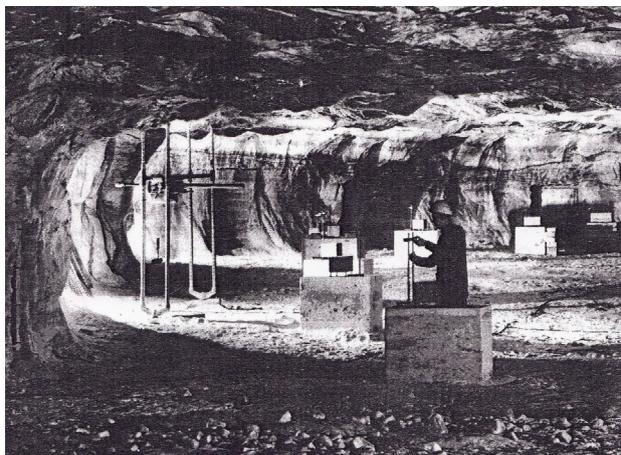


Рис. 1.8. Сейсмическая станция, расположенная в камере калийного рудника (ФРГ)

В СССР велись работы по определению сейсмически опасных зон. Были разработаны методы сейсмического районирования и на их основе были созданы карты сейсмического районирования территории СССР. В 1948 году впервые были начаты работы по прогнозированию землетрясений. Эти работы продолжаются и в XXI веке во многих странах мира, потому что одна из загадок природы – землетрясения, постоянно напоминают о себе в разных районах планеты, унося десятки тысяч жизней людей.

Землетрясения происходят не только на континентах, но и под водными просторами морей и океанов. В результате сдвига вверх или вниз протяженных участков дна, при сильных подводных и прибрежных землетрясениях, а также вследствие вулканических извержений и других тектонических процессов, образуются цунами – длинные волны, распространяющиеся с большой скоростью (от 50 до 1 000 км/ч) (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Так зарождаются цунами

Расстояние между соседними гребнями волн меняется от 5 до 1 500 км. Высота волн в области их возникновения колеблется в пределах 0,1–5,0 м, а у побережья достигает 30–40 м и более. Самая большая волна наблюдалась около японского острова Ишигаки в 1971 году. Волна имела высоту 85 м.

Когда волны цунами достигают берегов, они сметают все на своем пути, создавая катастрофическую обстановку – разрушения и человеческие жертвы. Цунами, которое произошло в Индийском океане в 2004 году, привело к гибели более 300 тыс. человек и огромным разрушениям в Индии, Таиланде, Шри-Ланке (рис. 1.10).

Особенно сильно волны цунами обрушаются на Тихоокеанское и Атлантическое побережья. Здесь выделяются побережья Камчатки, Курильских островов, Индонезии, Мексиканского залива в Америке.



Рис. 1.10. Цунами обрушился на город (Таиланд)

Район Тихоокеанского побережья – зона перехода от материка к океану – характеризуется активными тектоническими сдвигами блоков Земли, поэтому здесь ежегодно происходит около 5,0 тыс. землетрясений разной силы и вероятность образования волн цунами достаточно высока.

Одними из самых разрушительных цунами в XX и начале XXI в.в. были: Камчатка (Россия) – 1952 год, Аляска (США) – 1957, 1958, 1964 годы, Новая Гвинея – 1998 год, Япония – 2004 и 2005 годы, Малая Азия – 2004 год.

Не менее катастрофическим явлением, грозным проявлением внутренних сил Земли, являются вулканы (рис. 1.11).

Вулканы, по имени бога огня Вулкана, геологические образования, возникающие над каналами и трещинами в земной коре, по которым извергаются на земную поверхность глубинные магматические источники лавы, горячие газы и обломки горных пород. Обычно вулканы представляют собой отдельные горы, сложенные продуктами извержения. Глубинные магматические очаги могут находиться в верхней мантии на глубине 500 км (Ключевская сопка на Камчатке) или в земной коре на глубине 5–6 км (Везувий, Италия).

Ученые пришли к выводу, что за время существования нашей планеты из недр Земли происходило извержение такой массы вещества, которая соизмерима с общей массой земной коры.

Процессы, происходящие во время извержения вулканов, в разных точках Земли, в зависимости от геологической структуры пород, обуславливают разные их типы и структуры.

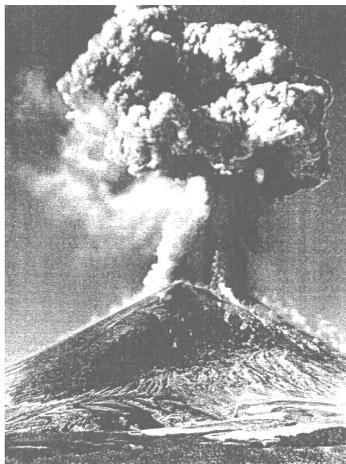


Рис. 1.11. Извержение вулкана

Давно замечено, что в распределении вулканов на земной поверхности есть определенная закономерность: они группируются в форме поясов вдоль глубинных разломов земной коры, главным образом, по побережью океанов и островным дугам. Такими являются Тихоокеанский, Средиземноморский, Индонезийский и Атлантический вулканические пояса. Около 200 млн. жителей проживает вблизи опасных зон действующих вулканов. Катастрофой угрожают такие вулканические процессы, как лавовые потоки, вулканические грязевые потоки, извержения с выпадением пепла, вулканические наводнения, пылающие тучи, выходы газов.

В историческое время состоялось несколько извержений, представляющих собой сверхкатастрофу. Эти извержения разрушали острова, покрывали пылью тысячи квадратных километров земной поверхности, охватывали большие территории, хоронили под собой города и населенные пункты. Такой катастрофой было извержение вулканов Везувий и Кракатау, взрыв вулкана Танбура. В результате извержения вулкана Везувий в 79 году н. э. полностью был засыпан пеплом и золой город Помпея. Известный художник К.П. Брюллов отобразил эту катастрофу в своей знаменитой картине «Последний день Помпеи».

Выставленная в 1833 году в Милане «Помпея» буквально потрясла публику. Интересен тот факт, что под впечатлением от картины великий русский поэт Александр Сергеевич Пушкин написал:

**«Везувий зев открыл – дым хлынул клубом – пламя
Широко разлилось, как боевое знамя,
Земля волнуется – с шатнувшихся колонн
Кумиры падают! Народ гонимый страхом,
Под каменным дождем, под воспаленным прахом,
Толпами, стар и млад, бежит из града он».**

В середине XVIII столетия начались раскопки города Помпея и только руины напоминали о крупномасштабной катастрофе (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Одна из улиц Помпеи, которая откопана

Человечество пережило мощные извержения вулканов: 1996 г. – Безымянный (Россия), 1977, 2002 г.г. – Конго, 1996, 2010 г.г. – Исландия. Извержение вулкана Эйяфьятлайокудль на юге Исландии, в ночь на 14 апреля 2010 г., поднявшее в воздух над Атлантикой огромные клубы пепла и пара, блокировало воздушное пространство Западной Европы, вынудив аэропорты десятка стран отменить полеты. Всего в этот день во всей Европе было отменено от 5 до 6 тысяч авиарейсов.

Катастрофы на земле возникают не только от подземных процессов, но и от процессов, происходящих в атмосфере и, в первую очередь, от ветровых стихий – тайфунов (рис. 1.13).

Тайфуны возникают в основном на западе Тихого океана. Перемещаясь со скоростью 10–20 км/ч, они достигают берегов

Индокитая, Китая, Кореи, Японии и даже могут достигать Российского Приморья и Камчатки. В среднем в год бывает до 50 тайфунов, большая часть из которых развивается до стадии ураганов.



Рис. 1.13. Так выглядит ветровая стихия – тайфун

Тайфуны вызывают сильное волнение на море, им сопутствует выпадение огромного количества осадков. В прибрежных районах Восточной Азии тайфуны часто приводят к разрушениям, наводнениям и другим катастрофическим последствиям. Одни из самых мощных тайфунов произошли в Палестине – 1970 г., Филиппинах – 1984 г., Японии – 2005 г.

Мы рассмотрели основные природные катастрофы, сопровождающиеся крупномасштабными разрушениями и человеческими жертвами, однако много беды приносят и другие природные катаклизмы, такие как грозовые разряды, оползни, селевые потоки и др.

Природные катастрофы влияют на нормальный жизненный ритм на Земле, технологические процессы и, в частности, на ведение горных работ. Так, при землетрясении, которые связаны с тектоническими нарушениями, осложняется ведение горных работ. В зонах таких нарушений появляются грозные газодинамические явления, внезапные выбросы пород, газа, повышается горное давление, что нередко приводит к крупным авариям на шахтах и рудниках.

Природные катастрофы выдвигают все новые и новые требования к науке, технике, промышленности и строительству. Научиться точно предсказывать рождение и приближение природных катастроф и предотвращать их – задача науки XXI века.

Раздел 2

НЕДРА ЗЕМЛИ – КЛАДОВАЯ ПРИРОДЫ

В этом разделе речь пойдет о горных породах и полезных ископаемых, находящихся в недрах Земли, и их использовании.

2.1. Горные породы

Мы уже знаем, что земная кора сформировалась в результате взаимодействия поверхностных твердых горизонтов планеты с атмосферой, гидросферой и биосферой. Она характеризуется достаточно резким изменением толщины и разнообразным строением. В среднем подошва коры залегает под континентами на глубине 40 км, а под океанами на глубине 11–12 км. Земная кора имеет три главные зоны: осадочную, гранитную и базальтовую. Осадочный покров составляет самую верхнюю часть земной коры и имеет толщину в среднем 1,5 км. Он образовался за счет разрушения и переработки первичных кристаллических пород литосферы.

Исключительно важную роль в образовании осадочной зоны играют кора выветривания и почва. Кора выветривания получила такое название потому, что в ней происходит процесс выветривания, то есть разрушение. Нижний предел этой зоны образует так называемая кислородная поверхность (глубина 500–800 м), в которую из земной поверхности проникает кислород.

Углубляясь в недра земной коры, осадочные породы изменяются под действием температуры, давления и химических процессов и приобретают черты метаморфизма. Здесь начинается гранитная зона, составленная гранитами, гранитогнейсами и другими породами. Толщина гранитного слоя колеблется от 10 до 40 км.

Продвигаясь дальше в глубину недр земной коры, породы гранитной зоны сменяются более тяжелыми базальтовыми породами. Мощность слоя базальтовых пород достигает 30 км. Ученые допускают, что базальтовая зона является источником «материнской» магмы, вытекающей из глубин на поверхность Земли. Под базальтовой зоной размещена так называемая мантия Земли, которая протянулась на глубину 2 900 км. Здесь уже рядом и ядро Земли.

Земная кора состоит из многих геологических тел разнообразных по составу, форме и размерам: минералов и горных пород.

Мельчайшими из этих тел являются отдельные зерна и кристаллы, представляющие собой естественные химические соединения или самородные элементы. Они называются минералами.

В самородном виде (графит, сера, золото, медь, и др.) минералы встречаются редко. Большинство минералов (свыше 2 000) – это химические соединения. Например, разные соли, образованные путем выпадения из концентрированных растворов водоемов. Широко распространены также минеральные скопления, образованные в результате застывания расплавленного вещества Земли. Считается, что нижние слои земной коры представлены именно такими минеральными скоплениями.

Минералы могут быть кристаллическими или аморфными. В кристаллическом веществе частицы расположены в строго определенном порядке. Форма кристаллов зависит от строения вещества и его кристаллической решетки. Для аморфного вещества характерно хаотическое размещение частиц.

Природные агрегаты минералов более или менее постоянного состава, образующие самостоятельные геологические тела и слагающие земную кору, называются горными породами. Термин «горные породы» впервые в современном смысле употребил в 1798 году русский минералог и химик В.М. Северин.

Горные породы могут состоять из одного минерала – мономинеральные, или нескольких – полиминеральные. Процентное содержание минералов в горной породе определяет ее минералогический состав, а форма минералов, их размер и ориентация обуславливают ее структуру и содержание.

В зависимости от условий образования горные породы разделяются на три группы: осадочные, метаморфические и магматические. Магматические и метаморфические породы слагают около 90 % объема земной коры. На долю осадочных пород приходится 10 % земной коры, но по площади, они занимают 75 % ее поверхности.

Осадочные породы образовались в поверхностной части земной коры в результате разрушения и переотложения ранее образованных пород, выпадения разных веществ из растворов и продуктов жизнедеятельности. В осадочных породах могут быть одновременно три составных части: обломки минералов и горных пород как продукты разрушения (например, магматических пород); остатки

организмов и органических веществ; минералы, образованные химическим способом на разных стадиях формирования породы.

Представителями осадочных пород являются глины, глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, гипсы, известняки, ангидриты и др. В осадочных породах сконцентрированы все залежи угля, нефти, газа, битума, торфа.

С осадочными породами связаны многие месторождения железных руд, алюминия, марганца, урана, фосфора, ванадия, кобальта, меди, лития, а также каменной и калийной солей.

Метаморфические горные породы образовались в недрах земной коры вследствие действия высоких температур, давления и химических превращений. Эта зона представлена гранито-гнейсами, кварцитами, мрамором.

Магматические горные породы образовались в результате застывания расплавленного вещества – магмы в породах земной коры, на ее поверхности и на дне водоемов. Характерными представителями магматических пород являются базальт, гранит, габбро, диорит и др.

Магма, излившаяся на земную поверхность в виде лавы вулканов, быстро остывала, образуя эффузивные породы: базальты, андезиты, габбро, а также вулканические туфы, представляющие собой цементированные твердые продукты вулканических извержений.

2.2. Полезные ископаемые

Полезные ископаемые Земли – это материальная база, позволившая человечеству пройти длинный путь современного развития, начиная с изготовления каменных топоров в каменном веке и заканчивая атомной энергетикой и выходом человека в космическое пространство в конце XX века.

Без использования полезных ископаемых Земли человечество не смогло бы сделать такой колоссальный прыжок в развитии своей цивилизации в течении очень короткого промежутка времени в геологическом понимании.

Среди полезных ископаемых Земли можно выделить три основные группы:

- естественные минеральные ископаемые;
- естественные энергетические ископаемые;
- природные биологические ресурсы.

Между этими группами существуют свои взаимосвязи и взаимопереходы. Ниже мы остановимся на естественных минеральных и энергетических полезных ископаемых.

2.2.1. Минеральные полезные ископаемые

Минеральные полезные ископаемые – это группа твердых полезных ископаемых, которые по видам содержания в них полезных компонентов и характеру их переработки разделяются на металлические (рудные) и неметаллические (нерудные). Само название говорит, что первая группа включает полезные компоненты разных металлов, таких как железо, марганец, хром, титан, медь, свинец, цинк и многих других. Ко второй группе принадлежат минеральные руды, которые используются в качестве сырья для строительной, химической и других отраслей промышленности.

Что мы понимаем под рудой?

Рудой называется скопление минералов в горных породах, в которых концентрация полезных компонентов является настолько высокой, что выгодно их извлечение. Некоторые металлы, такие как золото, платина, сера, углерод и др. встречаются в природе в элементарной форме, образуя отдельные скопления, или входят в состав других минералов. В большинстве случаев рудные минералы находятся в руде с другими «пустыми» минералами. Много руд содержат в своем составе два и больше полезных компонентов.

Залежи горных пород, которые обогащены одним, или несколькими минералами, и могут быть использованы для добычи, переработки и последующего извлечения полезных компонентов, называются месторождениями полезных ископаемых. В зависимости от происхождения все минеральные месторождения разделяются на группы, типы и классы с характерными для каждой из классификационных единиц способами их образования, химическим и минеральным составом и другими признаками.

Металлические (рудные) полезные ископаемые

Месторождения металлических полезных ископаемых по всему миру представлены: рудами черных металлов (железо, марганец, титан, хром, никель, вольфрам); рудами цветных металлов (алюминий, медь, свинец, цинк, олово); рудами благородных металлов (золото, серебро, платина); рудами редких и

редкоземельных металлов (литий, бериллий, тантал, цирконий и др.) и рудами рассеянных металлов (гафний, галлий и др.).

Руды черных металлов. Среди металлических полезных ископаемых выделяются месторождения руд черных металлов. В табл. 2.1 обобщены характеристики металлов этой группы.

Таблица 2.1. Руды черных металлов

Название металла	Рудообразующие минералы	Мировые запасы	Наиболее крупные месторождения	Содержание металла в богатых рудах, %
Железо (Fe)	Магнетит, гематит, гетит, сидерит	13-15 трлн. тонн	Криворожский бассейн (Украина), Курская магнитная аномалия (Россия), бассейн района Верхних озер (США)	До 65%
Марганец (Mn)	Пиrolюзит, манганит, псиломелан, родохрозит	Около 2,5 млрд. тонн	Никопольское (Украина), Чиатури (Грузия), Успенское (Россия), Гана, Индия, Бразилия	До 40%
Титан (Ti)	Рутил, сфен, ильменит	Около 5,5-6,0 млрд. тонн	Андирондаик (США), Кусинское (Россия), Иршавское (Украина) и др.	До 30%
Хром (Cr)	Хромит	Около 2,5 млрд. тонн	Южный Урал (Россия), Родезия	До 40%
Никель (Ni)	Пирротин, пентландит, халькопирит, контронит	До 0,5 млрд. тонн	Куба, Бирма, Индонезия, Россия. Незначительные запасы имеет Украина (Побужье)	До 0,3-1,0%
Вольфрам (W)	Вольфрамит, шеелит	Около 2,5-3,5 млн. тонн	Юго-восточный Китай (запасы до 2,0 млн. тонн), Южная Корея, Бирма, Малайзия	0,5-0,6 %

Месторождения железных руд считаются промышленными при содержании металла не менее нескольких десятков миллионов тонн, а крупными – с содержанием сотен миллионов тонн. Общая мировая добыча железной руды превышает один млрд. тонн.

Добычу железной руды (рис. 2.1) ведут многие страны мира, среди них: Китай, США, Австралия, Россия, Бразилия, Украина, Канада, Япония и др. Общие, мировые ресурсы сырой (необогащенной) руды превышают 1 400 млрд. т, из них промышленные – более 360 млрд. т.

В России 59 % запасов руды сосредоточено в Европейской части и 41 % – к Востоку от Урала. Украина является одной из развитых стран мира по добыче железной руды. Добыча руды осуществляется

на глубинах 1 000–1 300 м. Общие производственные мощности предприятий Украины по подземной добыче руды составляют более 41 млн. тонн сырой и 32 млн. тонн товарной руды. При этом 61 % руды добывается шахтным способом, 21 % – открытым.



Рис. 2.1. Железная руда

Руды черных металлов составляют основу мировой металлургической промышленности. Марганец и хром используют при выплавке разных сортов стали. Введение до 12–13 % марганца в сталь придает ей прочность, вязкость и твердость. Хром используется для хромирования поверхностей и как легирующие примеси к сплавам.

Широкое применение в промышленности находит титан. Он является важнейшим конструкционным материалом в авиа-, ракетостроении, кораблестроении, а также используется как легирующая добавка для выплавки разных марок стали. Никель, кроме использования его в производстве специальных сортов стали, применяется для никелирования разнообразных изделий из меди, железа и др.

Руды цветных металлов. Руды цветных металлов представлены в табл. 2.2.

Цветные металлы находят широкое применение в разных областях науки, техники, промышленности, в быту. Алюминий используется в самолетостроении, ракетостроении, электротехнике и быту.

Таблица 2.2. Руды цветных металлов

Название металла	Рудообразующие минералы	Мировые запасы	Наиболее крупные месторождения
Алюминий (Al)	Гидраргиллит, бемит, диаспор, нефелин	Сотни млн. тонн	Кольский полуостров, Саяны, Северный Урал, Бурятия (Россия), Африка, Бразилия, Казахстан
Медь (Cu)	Халькопирит, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, лазурит	Около 500 млн. тонн	Гайское, Норильское, Толнахское (Россия), Коунрадское (Казахстан), Африка, Чили, Канада
Свинец (Pb)	Галенит, англезит, церезит	Около 150 млн. тонн	Россия, США, Канада, Мексика. Небольшие месторождения есть в Украине (Закарпатье, Донбасс)
Цинк (Zn)	Сфалерит, каламин, смитсонит	Около 200-250 млн. тонн	Суливан (Канада), Брокен Хил (Австралия), Ледвиль (США), Забайкалье, Рудный Алтай (Россия)
Олово (Sn)	Касситерит, станин	7-8 млн. тонн	Малайзия, Индонезия, Таиланд, Англия, Боливия, Конго, Китай, Россия

Не менее важная роль принадлежит меди. Она применяется в электротехнике, для производства труб (рис. 2.2), по которым осуществляется транспорт жидкостей и газов. Широко применяются сплавы с использованием меди: бронза и латунь. Мировая добыча меди в 2004 году составила 14 млн. т, разведанные запасы к концу 2008 года составили один млрд. т.



Рис. 2.2. Продукция из меди:
а) – стержни; б) – трубы

Свинец нашел применение в военной, атомной промышленности, электротехнике. Из олова изготавливается белая жесть, припой,

антифрикционные сплавы, фольга и другая продукция. В основном оловосодержащем рудном минерале касситерите содержится 78 % олова.

Руды благородных металлов. Представителями руд благородных металлов являются золото, серебро и платина.

Золото (Au). Главным рудообразующим минералом является самородное золото.

О золоте написано много историй. Оно было известно еще в третьем тысячелетии до нашей эры. Об этом говорят золотые украшения, найденные в Египте в гробнице Тутанхамона.

Золото часто содержится и в ряде минералов типа сульфидов. Оно в большинстве образуется гидротермальным путем. В результате процессов выветривания, золото переходит в раствор в виде отдельных чешуек, зерен, а часто и достаточно больших самородков весом в десятки килограммов.

Первое место в мире по добыче золота занимают США. Старейший и самый глубокий золотой рудник в США – Хормстейк находится в горах Блэк-Хилс, там добыча золота ведется свыше ста лет. Поскольку золото практически не подвержено коррозии и сохраняется вечно, оно высоко ценится.

Используют золото, как валютный материал, в электронной, ювелирной и в других отраслях промышленности. До настоящего времени в виде слитков, монет, ювелирных изделий и предметов искусства дошло не менее 90 % золота, добытого за исторический период.

Серебро (Ag). Главными рудообразующими минералами является самородное серебро, аргентин, стефанит, пироаргиллит, прустит. Основные запасы серебра и сереброобразующих (полиметаллических) руд сосредоточены в США (Ледвил), Канаде (Суливан) и Австралии (Брокен-Хилл), а также частично в России (Алтай) и Таджикистане (Алтын-Топкан). Серебро с древних времен используется для изготовления монет, посуды, украшений, в последние годы – в электронике и радиопромышленности.

Платина (Pt). Главными платиноносными минералами являются самородная платина, сперилит, стибнопаладинит, а также твердые растворы – поликсен и др. Наиболее значительные месторождения находятся в России (Уральская и Норильская группы), Канаде, Колумбии, Южной Африке. Используется платина в ювелирной

промышленности и как чрезвычайно тугоплавкий и инертный материал – в химической.

Описание металлических (рудных) полезных ископаемых мы завершим характеристикой руд редких, редкоземельных и рассеянных металлов.

Редкие, редкоземельные и рассеянные металлы. К этой группе принадлежат литий (Li), бериллий (Be), цирконий (Zr) и др. Главными минералами лития являются сподумен, петалит, легодолит. Наиболее крупные месторождения лития приурочены к гранитным пегматитам. Это месторождения Канады, США, России, Западной Африки и Австралии.

Литий используется в цветной металлургии, при изготовлении аккумуляторов, в керамической промышленности. Особенное значение литий приобрел в последние годы, став одним из главных компонентов термоядерных реакций.

Для бериллия главными бериллийсодержащими минералами являются берилл, хризоберилл, геливин и дакелит. Месторождения бериллия представлены такими типами: гранитными пегматитами, скарновыми и гидротермально-метасоматическими типами. Главные месторождения бериллия сосредоточены в России (Урал, Забайкалье), Норвегии, США, Юго-Западной Африке и др. В Украине месторождения бериллия связаны с гранитными пегматитами Украинского кристаллического щита. Применяется бериллий в атомной промышленности для изготовления бериллиевых сплавов.

Для циркония главным минералом является циркон и бадделет. Основные промышленные месторождения циркония приурочены к гранитным и щелочным пегматитам. Добыча циркониевого концентрата ежегодно увеличивается благодаря его применению в атомной, ракетно-строительной и космической промышленности.

Отдельную группу рудных металлов составляют **редкоземельные металлы**. Главные месторождения этих металлов приурочены к магматическим щелочным образованиям гранитных и щелочных пегматитов. Наиболее крупные месторождения редкоземельных металлов сосредоточены в Украине (Приазовье), России (Кольский полуостров, Урал), Индии, США, Бразилии, Норвегии и Африке. Используются эти металлы во многих отраслях промышленности, в медицине, как изотопы, в черной металлургии, в электротехнике, в химической промышленности.

К группе **рассеянных металлов** принадлежат: цезий (Cs), рубидий (Rb), скандий (Sc), галлий (Ga), германит (Ge), рений (Re), гафний (Hf), кадмий (Cd) и др. В земной коре они находятся в рассеянном состоянии в других минералах. Самостоятельных промышленных месторождений не образуют, а добываются при переработке руд других полезных ископаемых. Эти металлы играют чрезвычайно важную роль в современных отраслях техники.

Месторождения этой группы разрабатываются во многих странах мира. Так, мировые запасы гафния оцениваются в 450 тыс. т, из них 38 % сосредоточены в Австрии, 17 % в США, 15 % в ЮАР, в СССР добывалось 18 % мировых запасов. В настоящее время в СНГ крупные месторождения находятся в Украине, более мелкие россыпи – в Казахстане.

Галлий получают, как побочный продукт при переработке глинозема, а иногда при выплавке цинка. Он производится в Австрии, Японии, США, Франции, Германии. Мировые запасы галлия в основном сосредоточены в бокситах.

Германий в природе встречается в виде примесей в рудах некоторых цветных металлов и в германий-угольных месторождениях. Большинство мировых запасов германия сосредоточено в Конго, Канаде, Китае, Австрии, США. В России германий получают главным образом от окисления углей германий-угольных месторождений Приморья; в Украине, при переработке углей Донбасса на металлургический кокс. Германий в больших объемах используется для изготовления инфракрасной оптики, в приборах ночного видения, оптоволоконных системах электронной промышленности.

Гафний используется для изготовления регулирующих стержней ядерных реакторов. Ядерная энергетика потребляет почти 60 % гафния. Карбид гафния входит в состав сверхтвердых сплавов для изготовления металлорежущего инструмента.

Основной потребитель галлия – электронная промышленность (транзисторы для интегральных схем). Галлий и его соединения используются также как компоненты материалов для изготовления оптических, люминесцентных и фотоэлектрических приборов. Кроме того, эта группа металлов нашла применение в производстве красок, в медицине для изготовления лечебных препаратов и др.

Неметаллические (нерудные) полезные ископаемые

Большую группу природных полезных ископаемых представляют неметаллические (нерудные) полезные ископаемые. К этой группе принадлежат: строительные материалы (естественные каменные); цементное сырье (известняки, мергель, глина); сырье для химической промышленности (фосфорит, апатит, соли, самородная сера, флюорит); сырье для других отраслей промышленности (слюда, асбест, тальк, магнезит, доломит, графит, гипс); драгоценные камни.

Естественные каменные строительные материалы. Этот вид полезных ископаемых является наиболее распространенным на Земле. Практически каждая страна обеспечивает свою потребность в этом сырье своими ресурсами. К ним принадлежат разнообразные магматические породы (гранит, диорит, габбро, мрамор, лабрадорит, базальт, песчаник и др.), пригодные для строительства дорог, закладки фундаментов разных сооружений, облицовки станций метро, вокзалов, строительства дамб и др. Этот вид полезных ископаемых используется без глубокой технологической переработки (рис. 2.5).



Рис. 2.3. Продукция из облицовочного камня

Цементное сырье. Оно принадлежит к строительным связывающим веществам, представляющим собой порошковидные материалы. При замешивании с водой они образуют пластичное тесто, которое постепенно отвердевая, переходит в монолитное крепкое каменное тело. Основу цемента составляют известняки,

глины и мергели, переходящие при температуре 1 400–1 500 °С в цемент. Существует много видов цемента, которые определяются его так называемой маркой, являющейся степенью сопротивления бетона при механических нагрузках. Чем выше марка бетона, тем выше степень его сопротивления нагрузке.

Цементная промышленность – базовая отрасль в комплексе отраслей, производящих строительные материалы. Роль цемента в современном строительстве очень велика. Цемент и изготовляемые из него бетон и железобетон являются в настоящее время основными строительными материалами, используемыми в разных областях строительства.

Известняки – порода, составленная в основном из кальцита. Выделяют морские и континентально озерные известняки. Их месторождения многочисленны.

Мергель – осадочная порода, состоящая на 75–80 % из кальцита с примесями доломита, глинистого вещества и мелкозернистого кварцевого песка. Некоторые месторождения мергеля имеют мощность пластов до 100 м.

Глины представляют собой горную породу сложного минерального состава с преобладающим количеством алюмосиликатов, размер зерен которых не превышает 0,01 мм. Глина используется для изготовления кирпича, черепицы, гончарных труб и др., а также в химической, бумажной и других отраслях промышленности.

Каолины – разновидность глин – горная порода, состоящая в основном из минерала каолинита, образованная из кварца, полевого шпата, слюды и других примесей. Особенностью каолина является высокая белизна.

Образуется каолин при выветривании различных магматических пород, реже глинистых осадков. Месторождения каолинов встречаются довольно часто. Каолин добывается в США, Германии, Чехии, Украине, России. Важнейшим потребителем каолинов является бумажная промышленность, использующая около 40–50 % всей добываемой продукции. Каолин используется также в медицине (под названием белая глина), резиновой промышленности, парфюмерии.

В большом количестве каолины используются для получения фаянса и фарфора. Для получения фарфоровой массы, где каолин составляет основную часть, используется до 10 % добываемого

каолина. Глина, каолин, гончарный круг, топливо для обжига и талантливые руки гончаров делают уникальные изделия из фаянса и фарфора.

Мы являемся свидетелями изумительных работ мастеров Гжели (Россия), Дельфта (Голландия), Майсена (Германия), мастеров Китая и других стран. Китай – родина фарфора. История фарфора насчитывает более 3 тыс. лет.

Горно-химическое сырье. Многие полезные ископаемые являются сырьем для химической промышленности. В первую очередь, это фосфатное сырье (фосфорит и апатит), разнообразные соли, сера, пирит, барит, флюорит и другие.

Фосфатное сырье. Наиболее распространенным минералом является апатит и смесь апатита с глинами и примесями – фосфорит. Промышленные месторождения сосредоточены в России, Казахстане, Алжире, США, Тунисе, Марокко и др. 34 % мировой добычи фосфатов приходится на США, далее следуют Китай – 15,5 %, Россия – 6,6 %, Тунис – 5,6 %. В России добыча фосфатов сосредоточена в Хибинах на Кольском полуострове. Используют фосфатное сырье для изготовления фосфатных удобрений, фосфатных солей, кислот и др. Мировые запасы фосфатного сырья составляют миллиарды тонн.

Соль поваренная. Разновидностей солей довольно много: каменные соли, калийные соли. Почти каждый день мы сталкиваемся с солью. Поваренная соль (рис. 2.8) добывается более чем в 100 странах мира. Ее получают из месторождений каменной соли и путем выпаривания воды соляных озер, озер морской воды и рассолов.



Рис. 2.3. Кристалл каменной соли

Мировые ресурсы поваренной соли практически неисчерпаемы. Первое место по добыче поваренной соли занимают США (21 % от мировой), далее следуют: Китай (14 %), Канада и Германия (по 6 %). Значительная добыча ведется во Франции, России (Прикаспий, Предуралье, Восточная Сибирь), Украине (Закарпатье, Донбасс), Белоруссии, Мексике, Бразилии, Индии, Великобритании. Колоссальный источник поваренной соли – сам мировой океан. Почти половина добытой поваренной соли используется в химической промышленности, главным образом в производстве хлора и каустической соды, широко применяется в пищевой и кожевенной промышленности.

Калийные соли используются для изготовления минеральных удобрений (сильвинит) и для получения металлического магния (карналлит). Наиболее крупные месторождения калийных солей находятся в США (Нью-Мехико), Франции (Эльзас), Германии, России (Соликамск, Березники), Украине (Прикарпатье), Белоруссии (Солегорск), Канаде и других странах. Мировые запасы калийных солей чрезвычайно большие и составляют сотни миллиардов тонн.

Самородная сера. Самородная сера широко используется в промышленности и хозяйстве: для производства серной кислоты, в целлюлозно-бумажной промышленности, при изготовлении искусственных волокон, резины, в медицине для изготовления многих медицинских препаратов. Большая часть серы – 60–75 % идет на получение серной кислоты, фосфатных и других минеральных удобрений.

Мировые ресурсы серы находятся в продуктах вулканического извержения, а также связаны с природным газом и нефтебитуминозными песками. Ведущим мировым производителем серы являются США. Здесь 30 % серы добывается методом Фриша (подземная выплавка серы).

Самыми крупными месторождениями серы являются месторождения в Прикарпатье (Украина), Поволжье (Россия), Средней Азии, Японии, Чили. Становление серной промышленности Украины относится к 50-м годам XX века, когда был открыт сероносный бассейн в Прикарпатье. В 1970 году на Яворовском месторождении, наряду с открытым способом, стали применять подземную выплавку серы.

Полезные ископаемые – как сырье для других отраслей промышленности. Кроме тех полезных ископаемых, которые были описаны выше, недра Земли богаты и другими. Основные данные о них приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Сырье для многих отраслей промышленности

Название	Главные минералы	Основные свойства	Наиболее крупные месторождения и мировые запасы	Применение
Слюда	Мусковит	Способность изолировать высокое напряжение, жаростойкость (до 450 °С и больше), гибкость, кислотоустойчивость, эластичность	Во многих странах мира. Запасы несколько сотен тысяч тонн	Электро- и радиопромышленность, приборостроение, изготовление бытовых приборов
Асбест	Разновидность некоторых минералов, которые имеют тонковолокнистое строение	Прочность на разрыв и гибкость	Россия, Канада, Южная Родезия, ПАР. Запасы несколько десятков млн. тонн	Для изготовления асбестотекстильного волокна
Тальк		Мягкость, жирность, вязкость, химическая инертность	Россия, США, Канада, Южная Родезия	Парфюмерия, медицина, электротехническая, химическая промышленности и другие
Магнезит	Магнезит с примесями кальцита и доломита	Огнеупорность, абразивность	Во многих странах мира	Для производства огнеупорного кирпича, металлического магнезия, в химической промышленности
Доломит	Доломит с примесями кальцита и доломита		США, Россия, Украина и много других стран	Для производства огнеупорного металлического магнезия, для получения абразивов
Гипс	Минерал из класса сульфидов		Во многих странах мира	Строительное дело, медицина, химическая и бумажная промышленности
Графит	Является одной из полиморфных модификаций углерода	Мягкость, жирность, высокая электро- и теплопроводимость, огнеупорность, химическая инертность	Украина, Россия, Канада, США, Бразилия и др.	Химическая, электротехническая, литейная промышленности

Драгоценные камни. Эта группа минеральных природных ресурсов захватывает человечество своей уникальной красотой, игрой разнообразных цветов, ярким блеском, невероятностью своей чистоты и другими свойствами.

В природе драгоценных камней много, но рассмотрим лишь некоторые из них.

Алмаз. Он принадлежит к самым твердым минералам, найденным на Земле. Это кубическая полиморфная модификация углерода, формируемая в глубинах недр Земли при образовании так называемых кимберлитовых трубок, в которых он присутствует в виде октаэдрических кристаллов. Ограненные и отшлифованные алмазы носят название бриллиантов.

Их величина настолько незначительна, что пришлось ввести новую единицу веса – карат, который равняется 0,2 г. По размерам и по весу кристаллы алмазов незначительны и в среднем составляют 4–5 каратов, хотя найден алмаз весом до 3 106 каратов («Кулинан»). Как самый твердый минерал, алмаз используется для изготовления режущего и обрабатывающего инструмента, а также в ювелирной промышленности.

Сегодня алмазы добываются в 20 странах мира на четырех континентах. В семерку ведущих стран – производителей алмазов (90 % мировой добычи) входят: ЮАР, Россия, Ботсвана, Заир, Намибия, Австралия и Ангола. Добыча алмазов ведется также в Бразилии, Гвинее, Венесуэле, Индонезии и других странах.

Рубин и сапфир. Это драгоценные разновидности корунда, окрашенные в ярко-красный (рубин) и синий (сапфир) цвета.

Образуются рубин и сапфир главным образом при пегматитовых процессах и метаморфизме. Наиболее крупные месторождения рубинов известны в Бирме, где был найден рубин весом 690 г, в Таиланде, Индии и др. Как рубин, так и сапфир, применяются в ювелирном деле и в ядерной технике как генератор.

Изумруд, аквамарин, морганит, гелиодор. Это разновидности берилла, окрашенные в зеленый (изумруд), синевато-голубой (аквамарин), бледно-розовый (морганит) и желтый (гелиодор) цвета.

Основная масса названных минералов связана с гранитными пегматитами. Кристаллы берилла могут достигать достаточно больших размеров – десятков и сотен килограммов. Главные месторождения берилла известны в Украине, России, Колумбии, США (где найден гигантский кристалл берилла). Чистые и

прозрачные разновидности используются в ювелирной промышленности для изготовления разнообразных украшений.

Шпинель является разновидностью минералов группы шпинель. Прозрачные шпинели носят название благородных. Среди шпинелей по расцветке выделяют: красную шпинель, цейлонит (зеленовато-черную), пикотит (зеленовато-бурую). Все они используются в ювелирном деле для изготовления украшений (за исключением цейлонита). Месторождения благородной шпинели известны в России (Южный Урал), Цейлоне, США, Бирме, Афганистане и в других странах.

Малахит. Этот минерал – водный карбонат меди. Назван он от греческого слова «малакос» – мягкий. Это довольно хрупкий минерал. Малахитовые шахты разрабатывались в Египте 4 000 лет до н. э. Его ярко-зеленая расцветка, рисунок на отшлифованной поверхности, создали ему всемирную славу, как одного из самых красивых творений неживой природы (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Отполированный малахит

Из него изготавливают ювелирные изделия. Он также используется при оформлении дворцов и роскошных помещений. Так, в Санкт-Петербурге малахитом облицованы колонны в Исакиевском соборе, в Зимнем дворце малахитом отделаны Малахитовый и Георгиевский залы (рис. 2.5). Наиболее крупные месторождения малахита известны в России (Урал).



Рис. 2.5. Малахитовый зал Эрмитажа

2.2.2. Естественные энергетические полезные ископаемые

В этом подразделе мы знакомим читателя также с энергетическими полезными ископаемыми. Ими являются – нефть, природный газ, уголь, горючие сланцы, торф и твердые радиоактивные – уран и торий. Будет интересно узнать и о тех энергетических резервах, которые таят в себе земные недра – угольный метан, газообразный водород, битуминозные породы, газовые гидраты и, наконец, тепло Земли.

Такие полезные ископаемые как нефть, природный газ и уголь составляют основу энергетики. Доля этих источников энергетики в мировом потреблении (в 2000 г.) составляет: уголь – 28 %, нефть – 43 %, природный газ – 19 %, атомная энергетика – 5 %. Начнем с нефти, которую еще называют «черным золотом».

Нефть. Это горючая, маслянистая жидкость от светло-коричневого до почти черного цвета. По химической природе и происхождению нефть близка к естественным горючим газам, озокериту, асфальту. В состав нефтей входят: углерод (С) – 82,35–87 %, водород (Н) – 11,5–14,5 %, кислород (О) – 0,005–0,7 %, сера (S) – 0,001–5,3 %, азот (N) – 0,001–1,8 %. Выделяют сернистую и малосернистую нефть. Преобладает, в основном, малосернистая нефть. Плотность нефти составляет обычно 0,82–0,95 г/см³. По плотности она разделяется на три группы: ниже 0,83 – легкая, 0,831–0,86 – средняя и выше 0,86 – тяжелая.

Мировые запасы нефти оцениваются приблизительно в 200 млрд. тонн.

Распределение месторождений нефти и ее запасы по отдельным регионам мира неравномерно (табл. 2.4).

Таблица 2.4. Распределение мировых запасов нефти

Регионы	Млн. тонн
Ближний восток	101752,0
Северная Америка	28240,0
Латинская Америка	18556,0
Западная Европа	2587,0
Восточная Европа	244,0
СНГ	24905,0
Африка	13400,0
Южная и Юго-Восточная Азия	3560,0
Австралия и Океания	651
В мире	200677,0

Максимальное количество месторождений нефти сосредоточено на Ближнем и Среднем Востоке (около $\frac{1}{3}$ мировых запасов), в США, России, Африке. Месторождения нефти в Украине – в основном в Прикарпатье и в восточных областях (Полтавская, Черниговская, Харьковская и другие области).

Нефть распространена в осадочных породах вместе с газообразными углеводородами. Максимальное число залежей связано с глубинами до 3 км.

Нефть имеет большое народнохозяйственное значение. Нет такой отрасли промышленности, где бы не использовалась нефть и продукты ее переработки. В первую очередь, она ведущее сырье в энергетическом балансе мира. Из нефти получают керосин, бензин, разные масла, парафин, разнообразные ароматические вещества. Нефть является основным сырьем для нефтехимической отрасли промышленности.

Природный топливный газ. В его состав входят метан, этан, пропан и бутан. Месторождения природного газа залегают на глубинах до 15 км. Примесями газа является пентан, гексан, азот, аргон, сероводород, углекислый газ и другие. Среди газовых месторождений выделяют чисто газовые и газоконденсатные типы.

Размещаются газовые месторождения во всех геологических структурах. Они образуются в результате катагенезисного превращения органических веществ осадочных горных пород. Залежи природных газов формируются в пластах на путях миграции газов, происходящей в результате статической (или динамической) нагрузки пород, которая выжимает газ, а также при свободной диффузии газа из областей высокого давления в зоны с меньшим давлением.

По особенностям строения среди газовых залежей выделяют пластовые, в которых газ накапливается в соответствующих пластах – коллекторах, и массивные, приуроченные к определенным пластам.

Все газовые и нефтяные месторождения принадлежат к газонефтеносным осадочным бассейнам. В последние годы все больше месторождений природного газа открывают в зоне шельфа и мелководных бассейнов.

Мировые геологические запасы топливных газов на континентах, в зоне шельфа и мелководных морей по прогнозным оценкам составляют 160 трлн. м³ и распределены по отдельным регионам (табл. 2.5).

Таблица 2.5. Запасы газа в регионах мира

Регион	Запасы, трлн. м ³	Доля в мире, %
Северная Америка	7,55	4,9
Центральная и Южная Америка	7,16	4,6
Европа	4,86	3,1
Страны СНГ	56,14	36,2
Ближний Восток	55,91	36,1
Африка	11,18	7,2
Азиатско-Тихоокеанский регион	12,27	7,9
Вместе	155,7	100

Наиболее крупные месторождения сосредоточены в России (Уренгойское – 4 трлн. м³, Медвежье – 11 трлн. м³), в США (8,3 трлн. м³), Алжире (4 трлн. м³) и Иране (3,1 трлн. м³).

Природные топливные газы – это высоко экологическое топливо теплотворностью 7 800 ккал/м³ и выше, широко используемое в качестве топлива на электростанциях, в черной и цветной металлургии, при производстве цемента, стекла, строительных материалов и в быту для отопления. Кроме того, эти газы

используются для получения спиртов, кислот, этилена, пропилена, сажи и ацетона. На базе производных природного топливного газа получают разнообразные пластмассы, синтетический каучук, искусственные волокна и другие продукты.

Нефть и природный газ – это жидкие и газообразные энергетические полезные ископаемые, с которыми мы с вами познакомились.

Рассмотрим теперь твердые полезные ископаемые. Эта группа полезных ископаемых включает твердые горючие топливные полезные ископаемые (уголь, горючие сланцы, торф) и радиоактивные полезные ископаемые (уран и торий).

Уголь. Уголь – продукт органического происхождения. Миллионы лет тому назад, под действием солнца и воды, лесные массивы отмирали, превращаясь в болотистую биомассу с последующим преобразованием в торф. Далее торф превращался в бурый уголь, каменный уголь, антрацит, графит (рис. 2.6). Этот процесс превращения угля и его переход из одной формы в другую продолжался много миллионов лет. Так, для бурого угля этот период составляет 50, для каменного – 300, для антрацита – 400 миллионов лет.

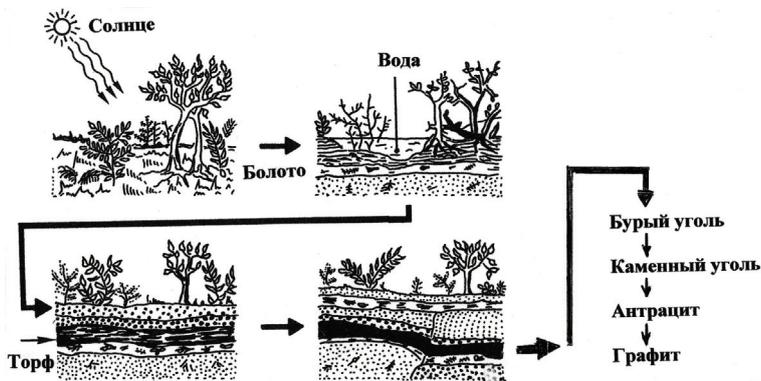


Рис. 2.6. Процесс образования угля

Переход торфа в бурый уголь происходит в процессе углефикации на небольших глубинах. Переход бурого угля в каменный – процесс более сложный и связан с более глубокими зонами земной коры, где главными факторами становятся температура и давление. При формировании антрацитов в действие

вступают метаморфические факторы – каменный уголь поступает в зоны регионального и контактного метаморфизма, где при высоких температурах происходит его дальнейшая углефикация с возможным переходом угля в графит.

Бурый уголь содержит 65–70 % углерода. Он наиболее молодой из ископаемых углей и состоит из остатков растений. Содержание углерода в каменном угле, в зависимости от его сорта, составляет от 75 % до 95 %.

Антрацит – самый древний из ископаемых углей. Содержит 95 % углерода. Характеризуется большой плотностью и блеском (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Антрацит

Мировые запасы всех типов углей составляют сотни миллиардов тонн.

Первое место по запасам угля занимают США (15 % общемировых), второе – Россия. До 2020 года согласно прогнозам такие страны, как США, Китай, Индия сохранят свои позиции самих мощных стран по добыче угля.

В Европе уголь добывают в 20 странах. Разработка угля ведется открытым и подземным способами. В России примерно $\frac{2}{3}$ ископаемых углей составляют каменные, $\frac{1}{3}$ – бурые. Самые крупные каменноугольные бассейны России: Кузнецкий, Ленский, Иркутский, Минусинский, Карагандинский и др. Крупнейшими перспективными месторождениями являются Эльгинское (Саха, Якутия), Элегетское (Тыва), где запасы коксующих углей составляют около 1,0 млрд. т.

В табл. 2.6 представлены данные о доле стран в мировой добыче угля (в %).

Таблица 2.6. Доля стран в добыче угля

Страна	Доля добычи, %
Китай	28,8
США	20,5
Россия	5,2
ЮАР	4,6
Германия	4,3
Украина	1,7
Индия	7,4
Австралия	7,0
Польша	5,4

В Германии добыча угля ведется в Рурском бассейне, Тюрингии, в Польше – в Верхнесилезском бассейне. Добывают уголь в Англии, Чехии, Украине. Угольная промышленность Украины имеет топливно-сырьевую базу, представленную Донбассом, Днепровским и Львовско-Волинским бассейнами. 90 % угля добывается в Донбассе. Глубина разработки угля на угольных шахтах достигает 1 200 м. Крупные месторождения угля имеются в Средней Азии: Казахстано-Экибастузское, Узбекистано-Ангренское.

Используется уголь в первую очередь для отопления помещений, а также для работы тепловых электростанций (рис. 2.8). Сегодня почти 55 % угля применяется для выработки электроэнергии и эта роль будет оставаться и в будущем.

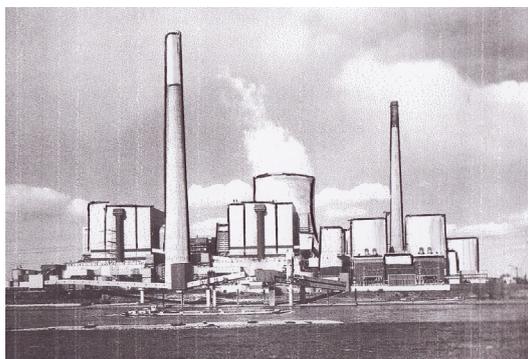


Рис. 2.8. Тепловая электростанция, работающая на угле

Значительная часть угля перерабатывается в кокс, используемый в металлургической промышленности для выплавки разных металлов, а также для получения разнообразных смол и других химических компонентов.

Горючие сланцы – это осадочная органиоминеральная порода, вмещающая в себе в концентрированной форме (20–70 %) сапропелевое органическое вещество (продукт превращения растительных и животных организмов), которое при сухой перегонке дает значительное количество смолы, близкой по своему составу к нефти (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Горючие сланцы

Горючие сланцы присутствуют практически во всех вековых геологических системах, их мировые запасы составляют триллионы тонн, из них смолы – 550 млрд. тонн. Сланцы известны на всех континентах. Промышленная добыча проводится в КНР (10 млн. т в год), Эстонии (16 млн. т в год), России (4 млн. т в год). Наиболее крупные месторождения горючих сланцев размещены в Эстонии, Белоруссии, Украине, России, США, Канаде, Китае, Бразилии и др.

Основные ресурсы (более чем 80 %) сосредоточены в США, Бразилии, России.

В основном, сланцы используются в качестве топлива на тепловых электростанциях, в котельных, а также как химическое сырье для получения фенолов, пластификаторов, клея и других препаратов. Будущее горючих сланцев – это их переработка в синтетическое жидкое топливо. В настоящий момент

разрабатываются новейшие технологии сжигания сланцев в специальных газогенераторах и ретортах.

Торф. Это горючее вещество, образуемое в процессе естественного отмирания и неполного распада болотных растений в условиях избыточной влаги и недостаточного доступа воздуха. Торф имеет чрезвычайно сложный химический состав. В комплексном составе органической массы содержание водорастворимых веществ 1–5 %, битумов 2–10 %, легко-гидролизных соединений 30–40 %, целлюлозы 4–10 %, гуминовых кислот 15–50 % и лигнита 5–10 %. Месторождения торфа на планете многочисленны и они занимают около 350 млн. гектаров, из которых около 100 млн. гектаров имеют промышленное значение. Месторождения торфа есть во многих регионах планеты (Азия, Европа, Северная Америка, и др.). В Украине наиболее крупные месторождения торфа сосредоточены в северо-западном регионе.

Используется торф в основном в быту для отопления помещений. Значительная часть торфа используется в качестве органического удобрения в сельском хозяйстве, а также для получения топливного газа, производства воска, спирта, фурфурола, тепло- и звукоизоляционных торфяных плит и др.

Ознакомление с группой естественных энергетических полезных ископаемых мы завершим месторождениями радиоактивных элементов (уран, торий), на которых базируется атомная энергетика.

Уран. Промышленные месторождения урановых руд представлены гранитными пегматитами, гидротермальными жилами, осадочными отложениями с асфальтовым веществом, метаморфизованными конгломератами (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Урановая руда

Самые крупные и наиболее известные на сегодняшний день – это месторождения Украины (Желтые Воды), России (Урал), США (Морисбейл и Амброзия-Лейк), Конго (Шинкалобве), Канады (Бивергодш), стран Средней Азии. В Казахстане сосредоточено 15,5 % мировых запасов урана, в Узбекистане – 3,5 %.

Мировые запасы урановых руд достаточно значительны и составляют почти 3 млн. тонн. Их добыча резко увеличилась, когда начала развиваться атомная энергетика. Производство урана в концентратах в 2005 году составило 42 тыс. т. Основные страны, добывающие уран: Канада – 11,4 тыс. т, Австралия, – 9,6, Россия – 3,5, Нигерия – 2,9, Намибия – 2,7, Узбекистан – 2,35.

Ядерное топливо на основе урана используется почти шесть десятилетий и сегодня ядерная энергетика развивается быстрыми темпами (рис. 2.11). Кроме АЭС уран используется в военной технике.



Рис. 2.11. Панорама атомной электростанции (Германия)

Торий находится в таких минералах как торит, мокацит, ториант и др. Главные месторождения тория представлены магматическим, скарновым, гидротермальным, осадочно-растворимым и метаморфическим типами. Наиболее крупные месторождения тория сосредоточены в Индии, на Цейлоне, в Австралии, США, Канаде, Нигерии, Кении и др. Торий используется в ядерной энергетике, его мировые запасы составляют несколько сотен тысяч тонн.

Таким образом, мы с вами ознакомились с тем, что таят в себе недра нашей планеты Земля. А теперь нас ожидает встреча с горным делом. Мы узнаем, как добываются полезные ископаемые.

Раздел 3

ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА

3.1. Так начиналась добыча твердых полезных ископаемых

3.1.1. Основные этапы эволюции в горном деле

Горное дело – область деятельности человека в освоенных недрах Земли. Оно издавна считалось искусством, поскольку требует высокого мастерства, больших знаний и творческого подхода при взаимодействии человека с природой с учетом всей сложности, постоянного развития во времени и в пространстве горных выработок, подземных сооружений и коммуникаций.

Очень метко и емко сказал о горном деле академик В.В. Ржевский: «В наше время под «горным делом» понимают область науки и техники, производства, которая относится к способам и средствам трудовой деятельности при разведке, разработке месторождений полезных ископаемых, их первичной переработке, а также при строительстве горных предприятий и подземных сооружений разного назначения».

Горное дело зародилось вместе с человеческим обществом в глубокой древности. Истоки его уходят в доисторические времена в эпоху палеолита, когда человек вышел из пещеры в поисках кремней для использования в качестве орудий труда, охоты и защиты от врагов. Оно развивалось в тесной связи с социально-экономической структурой человеческого общества на базе совершенствования орудий производства.

Ранние периоды горного дела протекали в разных регионах земного шара, в разные исторические времена. Так, свидетелями периода каменного века являются археологические источники, обнаруженные в Африке, Европе, Азии, медного и бронзового – в странах Средиземноморья, Малой Азии, на Урале и Казахстане, период железных орудий зафиксирован в странах античного мира – Египте, Греции, в странах Западной Европы, Китае, Японии, Средней Азии.

С развитием горного дела росло число добываемых полезных ископаемых и их использование человеком. Это выглядело так (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Добыча полезных ископаемых в разные исторические периоды

Исторический период	Добыча полезных ископаемых
Каменный век	Нерудное минеральное сырье
VII–V век до н. э.	Руды цветных металлов: медь, золото, олово
IX–VIII век до н. э.	Железные руды
Средние века	Горючие полезные ископаемые: уголь, нефть
XX век	Радиоактивные руды

Одним из факторов развития горного дела, определяющим его уровень в различные исторические периоды, являются орудия горного производства. Исходя из этого фактора, горное дело прошло путь длиною в тысячелетия, от каменных топоров и кувалд до машин – автоматов и автоматизированных систем.

Эта эволюция выглядела так: 12–6 тыс. лет до н. э. – каменные топоры и роговые кайла; 5–4 тыс. лет до н. э. – медные, а затем и бронзовые орудия; с 1 тыс. лет до н. э. – железные кирки и кайла; в античное время появляются первые горные машины, в XVI–XVII веках н. э. они совершенствуются и в конце XVIII века оснащаются автономным приводом; в XX веке техническая революция в горном деле открыла дорогу внедрению автоматических систем.

Этапы и эволюция горной техники связана главным образом с использованием разнообразных энергетических источников. Еще в восьмидесятые годы прошлого столетия ученые А.И. Арсеньев и В.А. Падуков выделили четыре этапа в развитии горной техники: биоэнергетический, машинного производства, электрификации, автоматизации.

Биоэнергетический этап (человек–инструмент–предмет труда) связан с использованием мускульной силы человека и животных. Этап машинного производства (человек–машина–инструмент–предмет труда) связан с изобретением и использованием паровой машины, развитием машинного производства. Этап электрификации позволил интенсифицировать производство, повысить производительность машин и оборудования. Этап автоматизации характеризуется передачей функций управления горной техникой специальным устройствам.

С усовершенствованием орудий производства, менялась и горная технология. Известная с древнейших времен разработка полезных ископаемых открытым и шахтным способами дополняется в 1-м тысячелетии до н. э. технологией добычи посредством буровых

скважин, а с 50-годов XX столетия – технологией разработки залежей в морских акваториях.

В 70-е годы XX столетия горное дело перерастает в гигантскую по масштабам и комплексную по содержанию область производства, обеспечивающую свыше 70 % потребностей человечества в сырье. Сегодня в мире ежегодно извлекается из недр земли 100 млрд. т горной массы, добывается около 20 млрд. т полезных ископаемых. Важнейшее место среди минеральных ресурсов занимает топливно-энергетическое сырье, в балансе которого 27 % приходится на уголь, 40 % – на нефть, 17 % – на природный газ.

В XXI столетие горное дело вступило как ведущая и ключевая отрасль промышленного производства.

3.1.2. Историческая хронология развития горного дела

Этапы горного дела связаны с деятельностью человека по совершенствованию орудий труда. Для того чтобы выжить, человек в период палеолита (2,5 млн.–35 тыс. лет тому назад) начал на поверхности земли собирать каменное сырье. Отбирая обломки камней (даже без обработки), человек приспособлял их к резанию и рубящим действиям. Прimitивное собирательство каменного материала с поверхности к концу периода постепенно сменялось целенаправленной добычей с небольшой глубины (рис. 3.1).

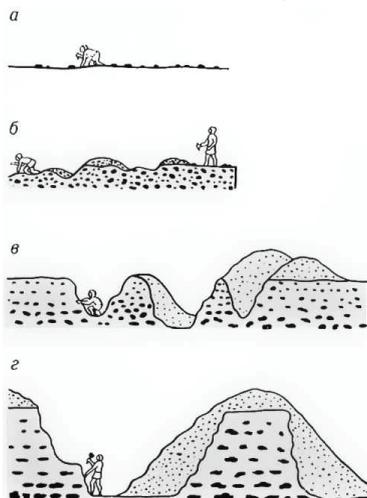


Рис. 3.1. Первые шаги человека по добыче каменных материалов:
а, б – собирание с поверхности; в, г – добыча с некоторой глубины

Известно, что на территории Европы, Азии, Африки, наряду с кремнием, человек использовал свыше 20 минералов и около десятка горных пород. Собрание каменного материала на протяжении палеолита привело, с одной стороны, к заметному истощению поверхностных залежей качественного материала, с другой – способствовало выработке навыков и создания техники обработки камня и их распространения в Африке, Азии, Европе, что наглядно видно с карты, разработанной Е.Н. Черных (рис. 3.2).

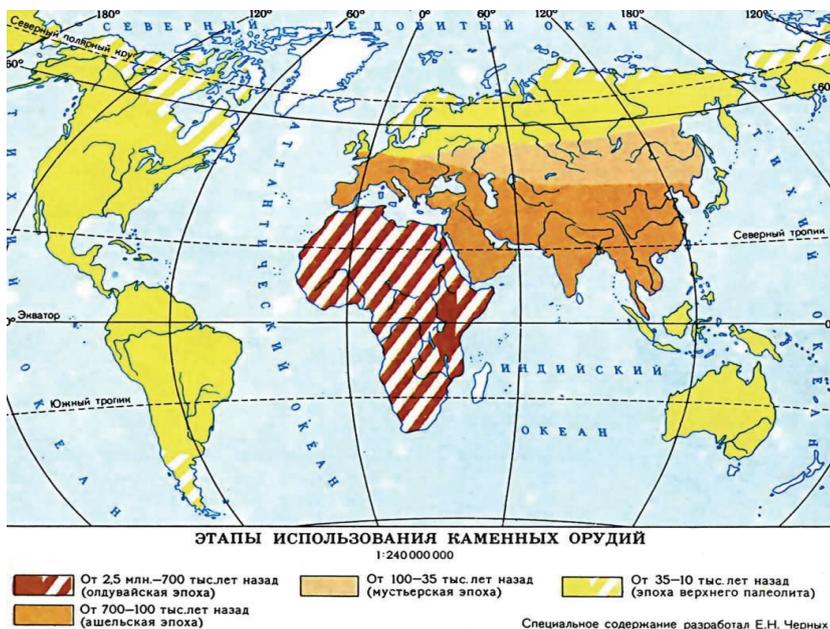


Рис. 3.2. Этапы использования каменных орудий в разных частях света

На первом этапе развития горного дела в эпоху мезолита и неолита в качестве примитивных орудий использовались камни, а позже рога животных (рис. 3.3).

С развитием скотоводства и земледелия, появились ремесла по изготовлению каменных орудий. Для горных работ изготавливаются молоты, кайла, кирки, клинья. Постепенно формировалась система горной технологии. Так, для добычи кремния, выкапывались ямы, канавы, ниши в крутых берегах рек и подземные ходы – выработки. Осуществлялась проходка горизонтальных выработок.

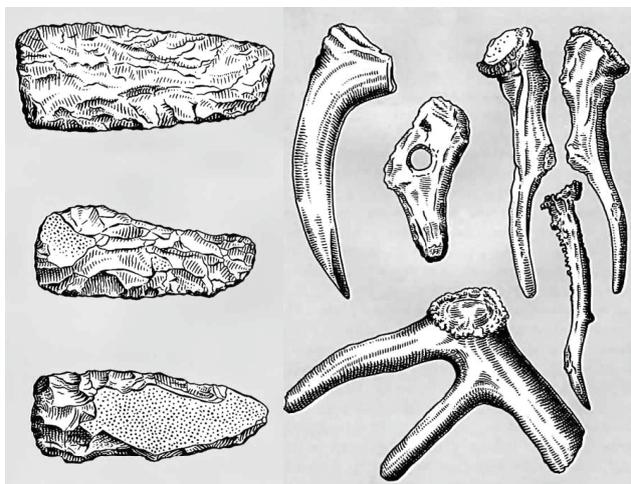


Рис. 3.3. Первые горные орудия человека из камня и рога животных

Такие первые горные выработки были обнаружены на территории многих стран Европы: Дании, Франции, Венгрии, Польши, СССР (рис. 3.4).

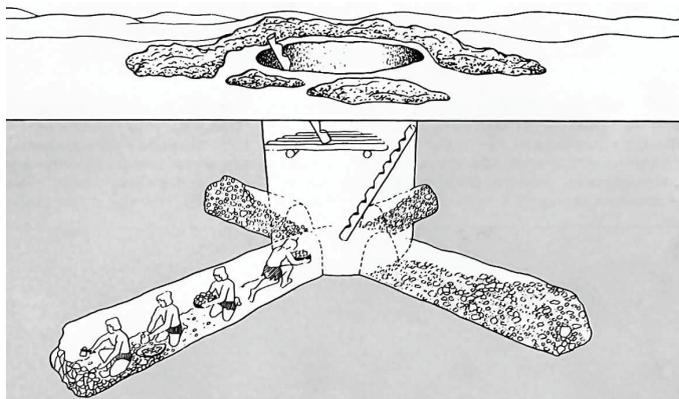


Рис. 3.4. Первые горизонтальные выработки по добыче кремния

С учетом залегания пластов и залежей кремния, проходились вертикальные выработки в виде котлообразных ям, которые позже приобретали вид шахтных стволов, глубина которых достигала 18 м (рис. 3.5).

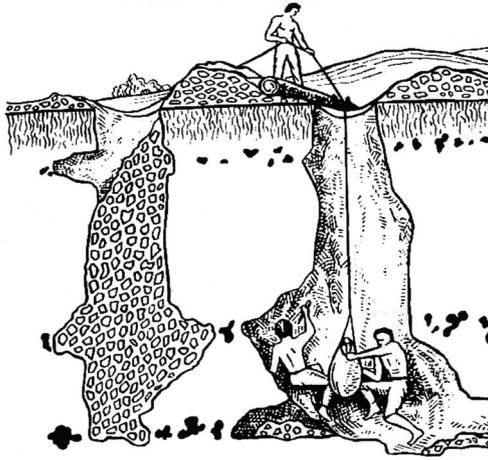


Рис. 3.5. Первая вертикальная выработка – прообраз шахтных стволов

С целью отработки большой площади залежи, стволы в забойной части расширялись и сбивались в одну выработку большого сечения.

Когда человек научился обрабатывать камень, он начал использовать наряду с кремнием и такие горные породы как гнейсы, диабазы и др. Расширился и ассортимент каменных орудий (рис. 3.6). Эти каменные орудия уже начинали изготавливаться в древних специализированных мастерских. Такие мастерские были в Германии (остров Рюген), Польше (Кшеменки) и др.

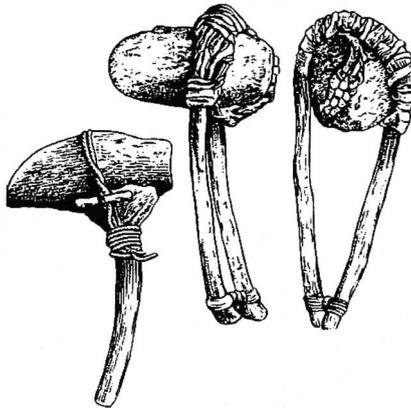


Рис. 3.6. Усовершенствованные каменные орудия

Начиная с 10–8 тысячелетий до н. э. расширяется ассортимент добычи и использования полезных ископаемых и в 7-м тысячелетии до н. э. была предпринята первая добыча и плавка медной руды.

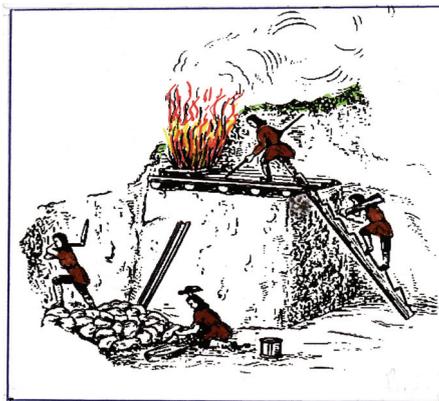
Однако начало распространения медных орудий датируется 6–5 тысячелетиями до н. э., когда добыча медных руд и изготовление изделий из меди приобретает широкий размах на многих территориях мира, и в первую очередь, Иране и Балкано-Карпатах. Примерно в это же время начинается выплавка бронзы на Кавказе, Урале, Донбассе.

Так, на Алтае разработка полиметаллических руд велась еще в глубокой древности, о чем свидетельствуют так называемые «чудские копи» – отвалы породы, обвалившиеся штольни. Происхождение «чудских» копей относится ко второй половине 3 тысячелетия до н. э., когда в Южной Сибири складывались очаги металлургии.

Наряду с медными рудами человек начал добывать золото, руды олова, свинца. С расширением объемов добычи медных руд, усовершенствованием выплавки иковки, медные и бронзовые орудия постепенно вытесняли каменные. На смену им пришли кайла, кирки и клинья из бронзы и меди, что значительно облегчило ведение разработки полезных ископаемых (рис. 3.7, а).



а)



б)

Рис. 3.7. Отбойка рудной массы с помощью горных орудий из меди и бронзы (а) и с помощью разогрева пород (б)

Однако высокая крепость рудных залежей значительно затрудняла их выемку с помощью этих простых орудий. Пришлось искать новые способы для ослабления прочности пород.

С давних времен человек заметил, что изменения времен года, тепла и холода разрушают породы: в трещины проникает влага, а при ее замораживании стенки трещин резко раскрываются, горные породы растрескиваются и разрушаются. Люди заметили также, что и при нагревании горные породы растрескиваются или размягчаются. Поэтому для примитивной технологии добычи полезных ископаемых в древние времена применялось замораживание и костры (рис. 3.7, б).

Перед плоскостью забоя раскладывали костер, нагретые породы обливали водой, а в образовавшиеся трещины, каменными кувалдами забивали деревянные клинья. Затем клинья смачивали, и при их разбухании ими откалывали породные глыбы от массива. Эта технология была применена на Лавронских рудниках в Греции, Миттельбергских копиях в Австрии.

Существенным этапом в развитии добычи полезных ископаемых было внедрение металлических инструментов: топоров, клиньев, молотов, долот (рис. 3.8). Изменилась форма подземных выработок и их протяженность. Для предохранения выработок от обрушения им придавали сводчатую или арочную формы.



Рис. 3.8. Отбойка руды металлическими клиньями

Устойчивость выработок обеспечивалась также оставлением целиков, сооружением подпорок из глыб камня, применением деревянных распорок. Проветривание осуществлялось посредством проходки на разных уровнях специальных вертикальных выработок. Первый водоотлив представлял собой ямы – водосборники, из

которых вода вычерпывалась кожаными или берестяными ведрами. Освещались горные выработки сжиганием сухого хвороста или лучин, а позже – с помощью масляных сосудов.

Были решены вопросы спуска и подъема людей и руды из неглубоких шахт. Для спуска и подъема рудокопов в стенке вертикальной выработки оставляли небольшие уступы и применяли бревна с зарубками. Руду поднимали на поверхность в кожаных сумках и плетеных корзинах.

Руды, залегающие близко от поверхности, разрабатывались открытым способом. Для этого выкапывали котлованы значительных размеров, оставляя между ними участки горных пород. Прообразы первых карьеров достигали длины 100 м и более и глубины 20–30 м. Так, например, древний карьер в урочище Кенгазган (Казахстан) имел длину до 500 м, ширину до 100 м и глубину до 18 м. Такие древние карьеры были обнаружены и на Синайском полуострове.

В этот период возникает новая область горного дела – обогащение. В качестве дробильных орудий используются каменные молотки. Для разделения минералов в водной среде, вода подавалась даже из удаленных источников. Так, в районе древних Миттербергских копей (Австрия) вода поступала из горного озера на расстояние 200 м. Для выделения рудных минералов измельченную руду ссыпали в деревянные корыта и промывали.

В самостоятельное направление горного дела выделилась добыча и обработка каменных блоков. Наиболее крупных масштабов эта деятельность достигла в Древнем Египте при сооружении пирамид. Техника выемки заключалась в оконтуривании отдельных блоков системой врубов, в которые забивали клинья. Для постройки только одной пирамиды Хеопса потребовалось 2 300 каменных блоков массой от 2 до 15 т каждый (рис. 3.9).

В этот период в значительном количестве добываются многие полезные ископаемые: гипс, лазурит, хризолиты, топазы; минеральные пигменты, такие как гематит, гетит, деморфин и др.

Приобретенные навыки и накопленный опыт сооружения горных выработок позволили строить уникальные подземные сооружения. Так, для водоснабжения был построен колодец Иосифа в Каире, состоящий из двух стволов – верхнего, глубиной 50 м и нижнего – 40 м и бассейна для воды. Были построены также храмовые сооружения в Темне, медные рудники фараона Тутмоса IV и первые тоннели.



Рис. 3.9. Пирамида Хеопса

Этот период в эволюции горного дела завершался переходом к массовой разработке железных руд, когда большие серии железных орудий стали вытеснять бронзовые. Горное дело вступило в железный век (рис. 3.10).

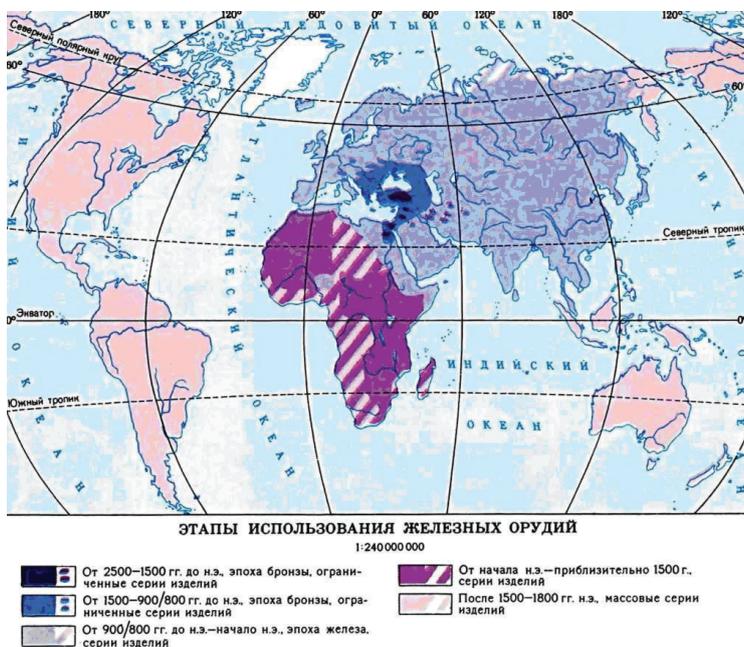


Рис. 3.10. Этапы использования железных орудий

Переход к железному веку происходил примерно со 2 по 1 тысячелетие до нашей эры. Добыча железных руд и выплавка железа получают широкое распространение. Железные орудия стали вытеснять бронзовые. В этот период рабский труд в горном деле становится основным. Рост объемов производства способствовал освоению новых месторождений железных руд и возникновению мастерских по изготовлению изделий из железа. Такие мастерские и центры были на территории Великобритании, Франции и в других местах.

Стимулом к расширению и интенсификации горного дела становится дальнейшее развитие торговли рудой, металлами, солью, мрамором, минеральными красками, драгоценными камнями и иной продукцией. Железные молоты и кайла становятся основными орудиями горного производства (рис. 3.11).

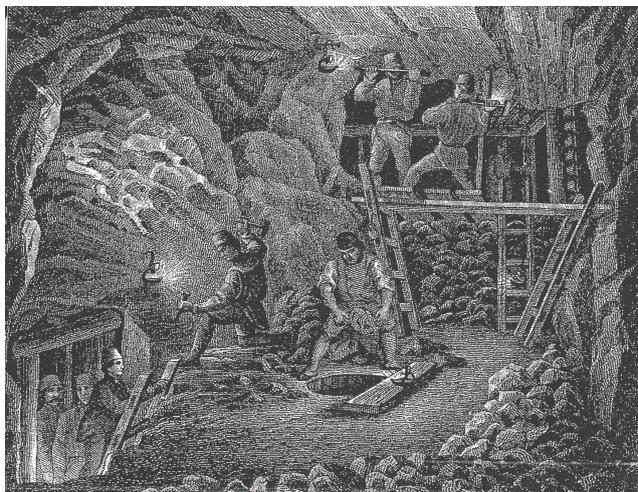


Рис. 3.11. Отбойка руды железными молотами и кайлами

В этот период железные руды разрабатываются в районах Старого Света, включая северо-восточные области Азии.

Развитие горного дела в этот период происходит на фоне возникновения и расцвета античных государств: Древней Греции, Древнего Рима и других стран Средиземноморья. Расширились масштабы и разнообразие добываемых полезных ископаемых: меди

(Кипр, Страндина), золота (острова Сиорнок, Фракия), серебра (Фракия, Македония, Эпир, Лидия, Лаврионские рудники) (рис. 3.12, а).



а)



б)

Рис. 3.12. Добыча серебра на Лаврионских рудниках в Древней Греции (а), добыча золота в долинах рек Испании (б)

Значительного совершенства достигают работы по добыче золота с использованием водных потоков (рис. 3.12, б). Золотоносный песок сыпали на бараньи шкуры, которые промывали водой, подаваемой по деревянным желобам. На территории Испании эти работы проводились по долинам рек Тахо, Дуэро и др. и приняли глобальный характер. В это время территория Испании становится одним из главных центров добычи руд в Европе.

Расширялась добыча свинцово-цинковых руд. Руды измельчали в каменных ступах с последующей промывкой на «каменных» столах – площадках с параллельными канавками для воды, подаваемой из водоемов «Архимедовым винтом», представляющим собой винт внутри трубы (рис. 3.13). Этот механизм был изобретен Архимедом примерно в 250 году до н. э.

В первом тысячелетии до нашей эры отмечается резкий подъем горного дела в регионах Старого Света. Например, в Китае велась разработка нескольких тысяч месторождений руд железа, меди, олова и других полезных ископаемых.

Для добычи соляных растворов впервые осуществлялось бурение скважин глубиной до 900 м, диаметром 120–150 мм (рис. 3.14).

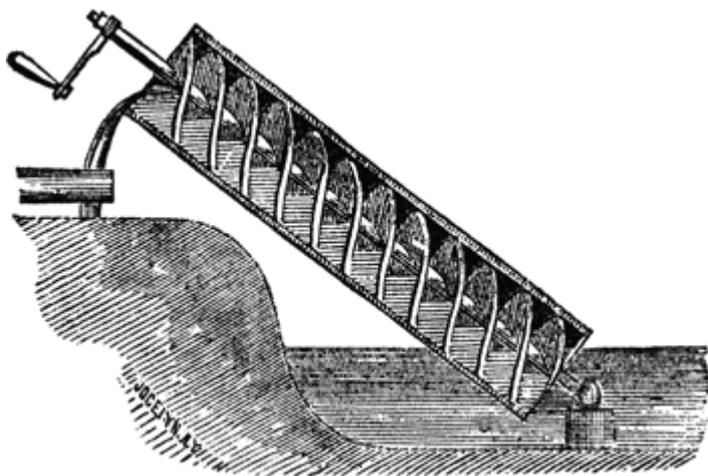


Рис. 3.13. Схема «Архимедова винта»

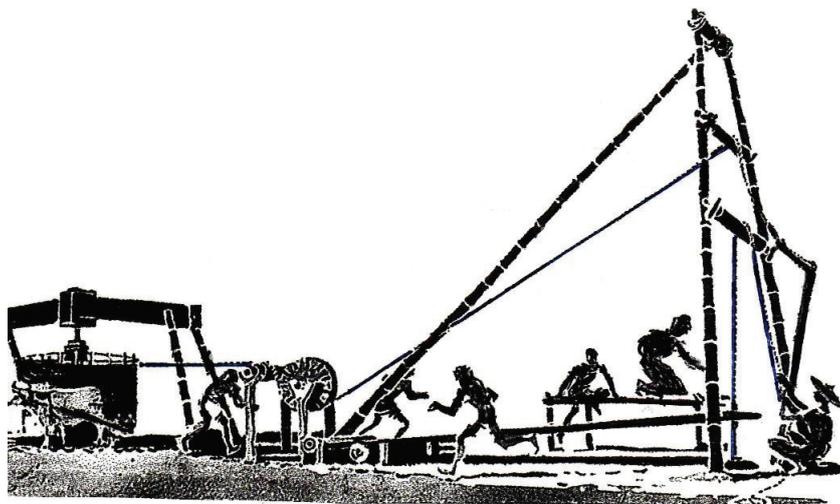


Рис. 3.14. Первая буровая скважина в Китае

Наступает первый век нашей эры, экономический кризис перерастает в социальный. Горное дело, с крушением могущественной Римской империи, в течение нескольких веков переживает глубокий кризис.

С формированием феодальных отношений и выделением свободных производителей, в том числе и ремесленников-горняков, связан новый подъем производительных сил. Объемы горного производства расширяются, возобновляются римские разработки в Альпах, в Трансильвании, Северных Балканах, северных районах Европы.

С VI–V веков н. э. разрабатываются угольные месторождения в районе Льежа (Бельгия). В 712 г. начинается добыча железных руд в Штирии. В больших масштабах разрабатываются руды полиметаллов в Богемии, на реке Рейн. С XI века в странах Европы стали формироваться крупные города – центры ремесленной деятельности горняков в Чехии, Саксонии, Франции и др. Жители этих городов добывали руду для выплавления железа, золота и серебра для чеканки монет, каменную соль и др. Города добиваются от феодалов горных свобод, а правила ведения горных работ закрепляются специальным законодательством – Горным правом. Впервые оно было применено в 1249 году для чешского города Инглавы.

В это время в Чехии, Саксонии, Австрии создаются цеховые организации рудокопов, товарищества по эксплуатации месторождений, что привело к резкому повышению производительности труда. Формируются традиции горняков, получившие свое выражение в профессиональных праздниках, парадной одежде, труд горняков находит отражение в фольклоре, произведениях искусства, в архитектурных строениях. Об этом мы вам расскажем в отдельном разделе.

В X веке в Западной Европе начинается подземная добыча каменной соли методом растворения. Соляной промысел имел исключительное значение и на Руси. Сохранились документальные данные (от 1363 г.) о добыче соли из подземных рассолов в Старой Руссе.

В XII–XV веках добыча руд в центральных областях России достигла значительного уровня. В Киевской Руси и Новгородской земле, в то же время начинают разрабатываться неглубокие месторождения бурых железняков и сидеритовых руд.

В XVI веке резко возрастает добыча золота и серебра. Центром этой добычи становится Южная Америка, где объемы получения этих металлов в пять раз превышали уровень Европы. В этот период в Мексике для измельчения и истирания руды применялись специальные устройства. Для извлечения серебра начинает

применяется амальгация в чугунных ретортах.

Начало широкому развитию горного дела в России положено во второй половине XVI века при Великом князе Московском Иване IV, когда в 1584 году в Печерский край была отправлена первая экспедиция на поиск полезных ископаемых. В 1700 году был учрежден «Приказ рудокопных дел». Проводятся весьма значительные на то время разведочные работы в Европейской части России, на Урале и в Сибири, открывается ряд месторождений железа, цветных и благородных металлов, на которых организуются горные промыслы.

В XVI–XVIII веках с возникновением мануфактурного производства, наступает эпоха горных машин, которая стала истоком научно-технического прогресса в Европе. Под влиянием идей Возрождения наука обращается к практике, ее знаменуют изобретения компаса, пороха, книгопечатания и др.

Замена огневых работ взрывной отбойкой произвела переворот в горной технологии. Появляются первые печатные руководства по горному делу. Среди них первый технический учебник – «Двадцать книг о горном деле и металлургии» немецкого ученого Георга Агриколы (1550 г.), в которых описываются все горные процессы (рис. 3.15).



Рис. 3.15. Г. Агрикола

Первые шаги делает наука. В этот период создаются теории махового колеса и маховых движений, теория желоба, учение о напоре воды, о сопротивлении трения, изучаются свойства водяного

пара и др. Научные разработки нашли отражение при создании первых горных машин: прототипы подъемной шахтной машины для спуска и подъема груза с использованием цилиндра для навивки каната и бура для разведки недр, разработанного в 1500 году Леонардо да Винчи (рис. 3.16).

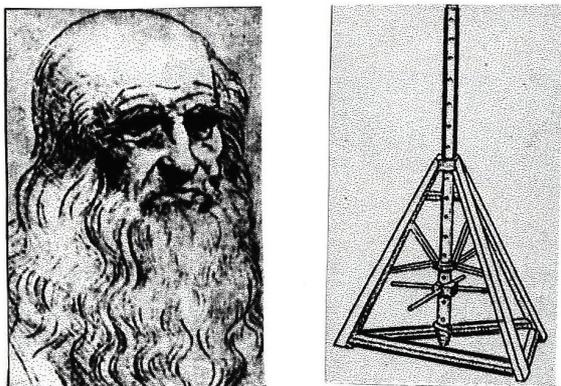


Рис. 3.16. Леонардо да Винчи (1452 – 1519 г.г.) и его эскиз бура для бурения скважин

Уже появляются крупные горные машины и механизмы: водоотливные приспособления (рис. 3.17, а), конный ворот для шахтного подъема (рис. 3.17, б).

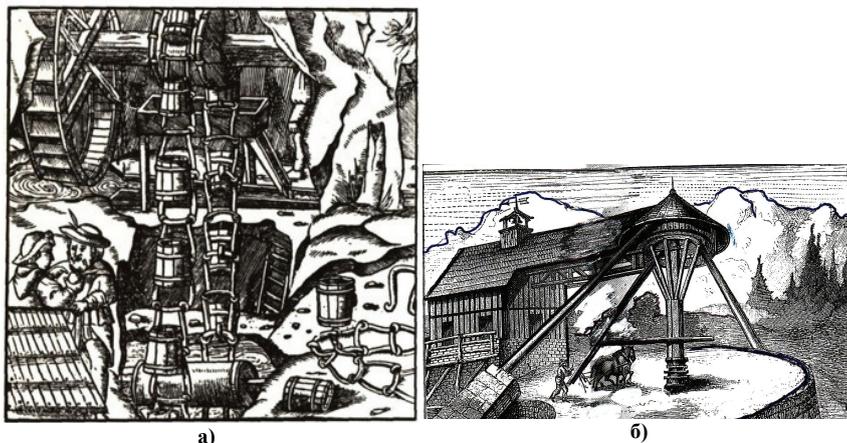


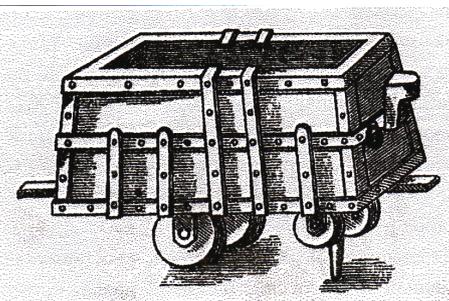
Рис. 3.17. Первые горные машины:

а) – первое приспособление для откачки воды из шахты; б) – конный ворот для шахтного подъема

На рудниках Германии и Франции внедряются первые рельсовые пути и подвижные составы. В 1550 г. Себастьян Мюнстер (Базель) в своей книге описал рельсовые пути и перемещаемые по ним вагонетки на шахтах и рудниках Эльзаса. Сведения о четырехколесных повозках и деревянных линиях, по которым перемещались повозки, мы узнаем из трудов немецкого ученого и писателя Георга Агриколы. Так, в труде, о котором мы уже упоминали, показан старейший рельсовый путь на рудниках Германии (рис. 3.18, а) и старейший «рельсовый подвижной состав» – откаточная рудничная тележка со стопорным устройством (рис. 3.15, б). Такие тележки передвигались по деревянным рельсам и только позже появились железные пути и рельсы.



а)



б)

Рис. 3.18. Старейший рудничный подвижной состав:
а) – рельсовый путь; б) – тележка

В XVII–XVIII веках расширяется область применения простейших гидравлических двигателей – водяного колеса в качестве привода подъемных шахтных лебедок и сложных устройств шахтного подъема (рис. 3.19 а, б).

Применение машин и приспособлений позволило сооружать шахты в виде упорядоченной системы горных выработок, придавая им облик горного производства (рис. 3.20).

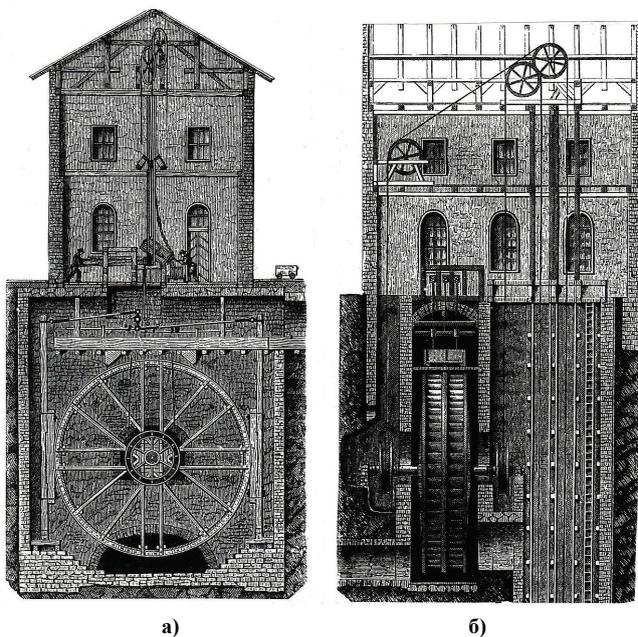


Рис. 3.19. Первые усовершенствованные конструкции шахтного подъема:
 а) – водяное колесо; б) – шахтный подъем

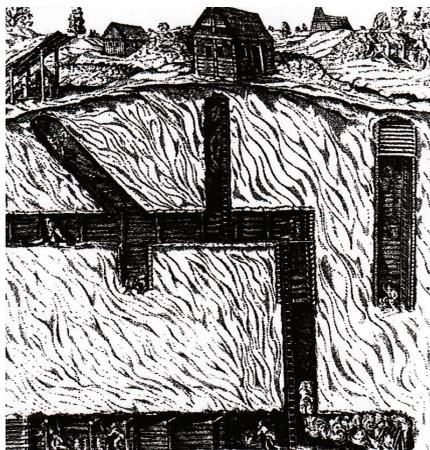


Рис. 3.20. Система горных выработок в старой шахте (Германия)

Исключительную роль в совершенствовании конструкции горных машин сыграло изобретение в 1680 г. парового котла Д. Папеном (Великобритания).

Горное дело оказалось такой областью производства, где внедрение парокотельных агрегатов в XVIII веке происходило наиболее интенсивно.

На рудниках Западной Европы получает распространение пароатмосферная водоподъемная машина конструкции Т. Ньюкомена (Великобритания, 1712 г.) для откачки воды из шахт. Поршень в цилиндре этой машины поднимался под воздействием горячего пара и опускался при его конденсации (рис. 3.21, а). В угольных шахтах близ Льежа в этот период применялся паровой насос английского инженера Т. Севери (рис. 3.21, б). В 1775 г. известный ученый Дж. Уатт установил на паровую машину кривошипно-шатунный механизм и превратил паровой двигатель в универсальный.

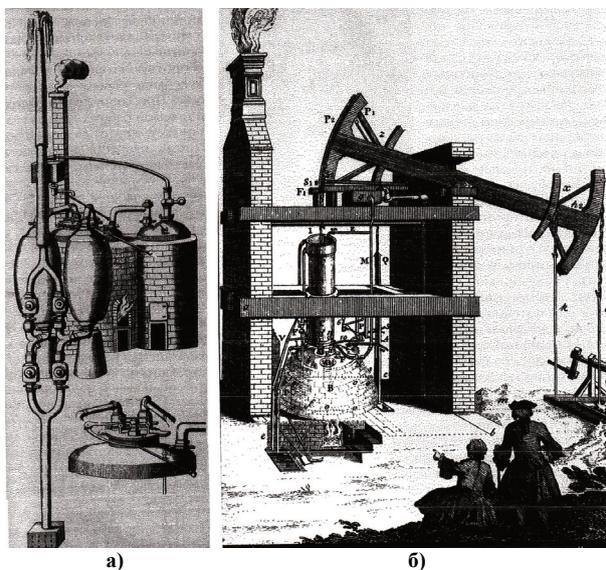


Рис. 3.21. Машины для откачки воды из шахты:
а) – паровая машина Г. Ньюкомена; б) – паровой насос Т. Севери

В XVIII веке мощный подъем горное дело получило в России в период царствования Петра I (рис. 3.22). Он положил начало государственному горному управлению.



Рис. 3.22. Петр I

Развитию горного дела способствовало открытие в 1725 г. Российской академии наук. Были предприняты широкие поиски полезных ископаемых на Урале, в Сибири, Алтае, Крыму и Кавказе. К концу XVIII века Россия занимала ведущее место в мире по добыче полезных ископаемых. Начальное становление горного дела в России также обязано М.В. Ломоносову (рис. 3.23).



Рис. 3.23. М.В. Ломоносов (1711–1765 г.г.)

В 1742 г. в Академии наук Ломоносов начинает преподавать естественную историю руд и писать работу «Первые основания горной науки».

В конце XVIII – начале XIX веков с утверждением капитализма наступает качественно новый период в развитии горного дела. Он характеризуется промышленным переворотом – освоением высокопроизводительных горных машин. Возникает новая отрасль – машиностроение, которая к 70-м годам XIX века привела к созданию заводов горного машиностроения.

Огромный спрос на минеральное сырье превращает горное дело ко второй половине XIX века в крупную отрасль капиталистического хозяйствования. Это дало возможность обеспечить среднегодовую добычу каменного угля в объеме 187 млн. т и железной руды – 20,5 млн. т. Хотя промышленная революция конца XVIII – начала XIX века дала толчок к увеличению добычи минерального сырья, однако все горные процессы в этот период велись, в основном, при помощи ручного труда (рис. 3.24).

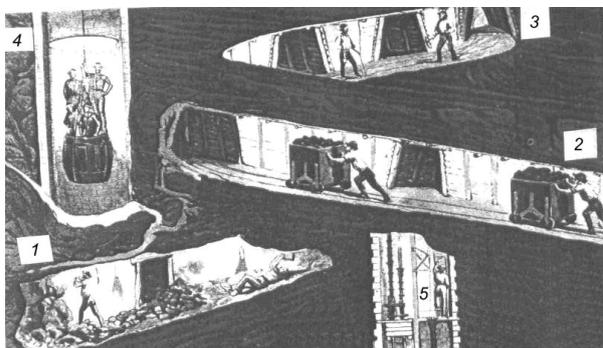


Рис. 3.24. Разрез рудника и этапы горных работ (середина XIX века):

1 – добыча руды; 2 – транспортировка руды; 3 – крепление выработки; 4 – поднятие руды на поверхность; 5 – поднятие и опускание в шахту горняков

Первостепенное значение для горного дела имело широкое внедрение взрывных работ. Этому способствовала замена порохов мощными взрывчатыми веществами – пироксилином, нитроглицерином, а в 1867 г. – динамитом.

В 1863 г. Альфред Нобель (рис. 3.25) изобрел динамит, или как его называли, безопасный взрывной порошок Нобеля. Это изобретение было важнейшим успехом Нобеля.



Рис. 3.25. Альфред Нобель (1833–1896 г.г.)

Динамит сразу нашел широкое применение в строительстве и горнодобывающей промышленности. Первая отбойка угля динамитом была осуществлена на шахте Анна-Мария в Вестфалии (Германия).

В этот период кроме бурения шпуров вручную, начали применять пневматические поршневые перфораторы (рис. 3.26).

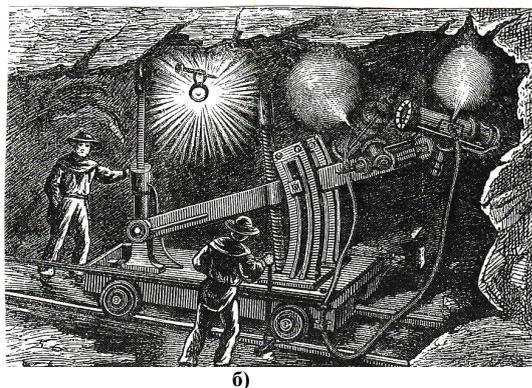
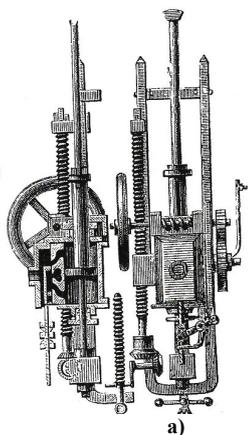


Рис. 3.26. Первые перфораторы для бурения шпуров:

а) – конструкция перфораторов; б) – проходка штольни при помощи перфораторов

В 80-х годах XIX века совершенствуется привод горных машин, на смену парокотельным агрегатам приходят электрические двигатели. Использование их в шахтах и рудниках было прорывом в горном деле. Началось техническое перевооружение горного производства. Электродвигатель становится приводом буровых механизмов, внутришахтного транспорта и водоотливных установок.

Значительно совершенствуется шахтный подъем. В 1894 г. в Германии появляется электрический шахтный подъем, бабьи заменяются одноэтажными и многоэтажными клетями (рис. 3.27).

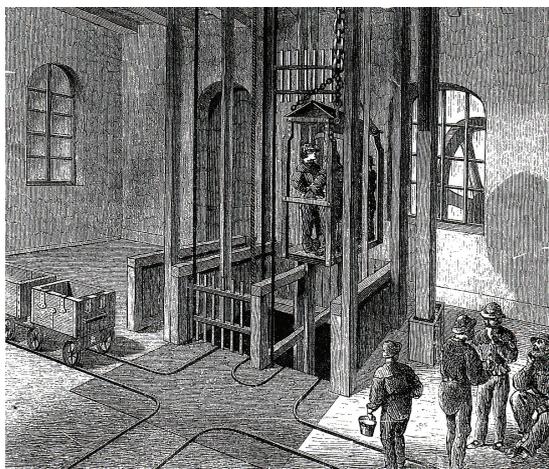


Рис. 3.27. Шахтный подъем, оборудованный клетями

В конце XIX-го – начале XX в.в. в связи с резким увеличением потребности в полезных ископаемых, выделяются крупные отрасли горнодобывающей промышленности: каменноугольная, железорудная, нерудного и горно-химического сырья. Появляются электрические врубовые машины, первые шаги делает комбайновая технология. В 1897 году патентуется первый в мире комбайн для проходки горизонтальных выработок.

В этот период механизмируется рудничный транспорт. Откатка вагонеток, доставка угля и руды в 1881 году в США осуществлялись воздуховозами, а уже через год в Германии были внедрены электровозы. В угольных шахтах появляются конвейеры: в 1902 году

в Великобритании – скребковые, в 1906 г. в Германии – качающиеся и в 1906 г. в Великобритании – ленточные.

В 30-х годах XIX в. начинают применять стальные канаты для рудничного подъема и откатки. Для крепления горных выработок применяли лесоматериалы и кирпичную кладку. В зависимости от горных условий крепи имели различные конструкции.

XIX век был веком разработки новых машин и приспособлений в горном деле, что наглядно видно из табл. 3.1.

Таблица 3.1. Разработки горных машин XIX века

Наименование	Год	Страна, автор
Одноковшовый паровой экскаватор	1834	США, В. Ожие
Дисковая врубовая машина для угольных шахт	1852	Великобритания, С. Воринг
Многоковшовый экскаватор	1860	Франция, М. Кувре
Пневматический поршневой перфоратор	1861	Франция
Водомер, прообраз гидромониторов	1862	Россия
Цепная (баровая) врубовая машина	1864	Великобритания
Буровой станок	1884	Германия
Проходческий комбайн	1897	Россия, А. Колери

Начало XX века ознаменовалось совершенствованием систем разработок угольных и рудных месторождений. На угольных шахтах началась разработка мощных пластов с закладкой выработанного пространства. На рудных шахтах разработка руд велась системой с поэтажными штреками и этажным обрушением.

Повышение эффективности горного дела осуществлялось преимущественно за счет более широкого внедрения открытого способа разработки месторождений. За период с 1919 по 1970 годы относительный удельный вес добычи угля в общем мировом балансе вырос с 6 до 30 %. В СССР доля добычи полезных ископаемых открытым способом составила: по углю – 25 %, железной руде – 77 %, рудам цветных металлов – 64 %, горно-химическому сырью – 46,6 %, неметаллическим ископаемым и строительным материалам – 100 %.

Большие успехи были достигнуты в изучении физических свойств горных пород, позволившие находить оптимальные решения в конструировании породоразрушающих машин и инструментов. Продолжались теоретические и опытные работы в области горного

дела, открывающие перспективу добычи ископаемых без работы людей под землей, методами геотехнологии, а также добычи полезных ископаемых с морского дна.

Продолжает играть важную роль уголь. В 1995 году в России свыше 250 млн. тонн угля было использовано в качестве топлива для ТЭС и в сталелитейной промышленности.

Общая стоимость продукции горного производства между отдельными видами минерального сырья распределялась так: нефть – 62 %, газ – 14 %, каменный уголь – 10 %, уран – 0,6 %, руды черных и легированных металлов – 2,1 %, руды цветных металлов – 8 %.

Несмотря на то, что в разных регионах и странах горная индустрия развивалась неравномерно, XX век – это век научно-технического прогресса в горном производстве.

3.2. Нефть и газ. Из глубины веков

Горное дело связано не только с добычей твердых полезных ископаемых: угля, железной руды, цветных и драгоценных металлов, солей, строительных материалов, но и жидких и газообразных сокровищ – нефти и газа, которые прячет Земля в своих недрах.

Нефть – это подарок природы людям (рис. 3.28). Сегодня – это пока основное энергетическое богатство. В начале XX века о нефти говорили, что «тот, кто будет владеть нефтью, тот будет владеть миром». Это высказывание не потеряло своего значения и по сегодняшний день.



Рис. 3.28. Вот оно «черное золото» планеты

Горит свет, льется из крана горячая вода, движутся машины, плывут пароходы, летают самолеты и направляются ввысь ракеты и космические корабли. И все это связано с нефтью и газом.

История нефти и газа на Земле началась в те далекие периоды, когда в недрах нашей планеты начали формироваться месторождения углеводородов. Из темной пещеры ледникового периода отправился человек в длинный путь через страны и континенты в поисках света и энергии.

Известно, что более чем 5 000 лет тому назад, в одном из древних государств, шумеры использовали естественный битум в качестве связывающего материала при кладке кирпича и смолении лодок. находка в долине Инда, где цивилизация существовала в III–II тысячелетиях до н. э., указывает на то, что битум применялся для обеспечения водонепроницаемости бассейнов в селении Махенджо-Даро, расположенном в Шумере.

О битуме и его применении вспоминается в Библии. Так, при строительстве Вавилонской башни, сооружение которой относится ко II тысячелетию до н. э., применяли битум для связывания кирпича.

А вот другой пример. Согласно Библейскому писанию, для спасения от Всемирного потопа Бог дал совет Ною, чтобы тот сделал ковчег из дерева и обработал его внутри и с внешней стороны смолой.

Есть все основания говорить о том, что битум добывался в районе Мертвого моря. Как свидетельствует Библия, смолу добывали в ямах. Когда цари Содомы и Гоморры проиграли бой и вынуждены были убежать, эти ямы стали их могилами. О битуме знали и в Древнем Египте. Его использовали для смоления лодок, которые строились из камыша (рис. 3.29).

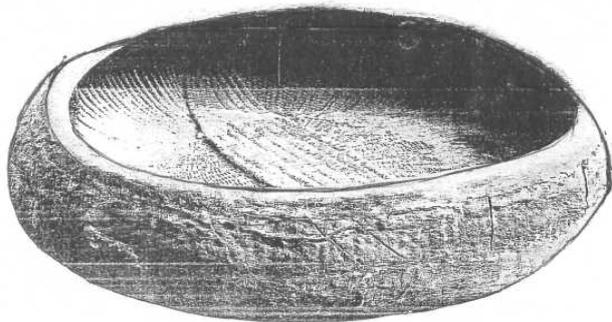


Рис. 3.29. Так выглядела лодка из тростника, обмазанная битумной смолой

Интересно и следующее: мать младенца Моисея, для того, чтобы его спасти, взяла корзину, сплетенную из камыша, осмолила ее

асфальтом и смолой, положила туда младенца и поставила в камыши на берегу реки.

В Древнем Египте асфальт применяли для бальзамирования мумий и в качестве лекарственных средств.

О нефти хорошо знали и на Ближнем Востоке. В этих сейсмических регионах она постоянно вытекала из разломов, трещин в слоях горных пород и накапливалась в естественных углублениях. Окисляясь, она постепенно превращалась в густую массу, которую называли горной смолой, битумом, асфальтом. В Египте пол в хранилищах для зерна покрывали битумом для защиты от влаги и крыс.

В древние времена асфальтом скрепляли каменные стены в Урарту, Персии, Хорезме, Вавилоне и во многих других странах. В Вавилоне и Египте асфальтом заливали пол, в Персии из него лепили посуду и скульптуры и даже скрепляли драгоценные камни в украшениях.

За многие века до «нефтяной лихорадки», страны Древнего Востока пережили настоящий «асфальтовый бум», вызванный крупномасштабным строительством храмов (рис. 3.30), дворцов, дорог и других сооружений. И все потому, что асфальт был буквально под ногами.

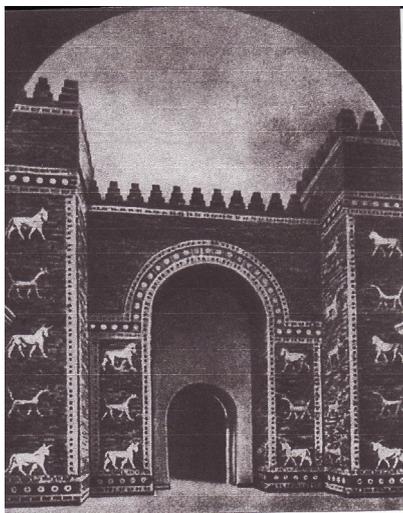


Рис. 3.30. Ворота храма богини Иштар в Вавилоне, сооруженные около 570 г. до н. э. из глазурованных кирпичей, скрепленных асфальтом

В древние времена главное применение нефти – освещение и отопление. При раскопках египетских храмов были найдены светильники, заполненные битумной массой, напоминающей нефть. Иногда контакт с нефтью имел трагические последствия. В памяти человечества сохранились катастрофы, связанные с нефтью.

Нефть была известна в Вавилоне (VI в. до н. э.), где она использовалась для отопления и не вызвала у местных жителей никакого священного страха. Плутарх и Диоскорит упоминают о нефти, как о топливе, применявшемся в Древней Греции. Нефть в древности использовалась и для военных целей. В «Илиаде» Гомера говорится о «греческом огне», которым троянцы поджигали корабли неприятеля. Ученые считают, что для изготовления знаменитого «греческого огня», не раз спасавшего Византийскую империю от врагов, в состав смеси входила нефть, смолы, сера (рис. 3.31).



Рис. 3.31. Использование «греческого огня» в военных действиях

Иранские и арабские летописи свидетельствуют о том, что еще в III–IV веках нефть добывалась на Апшеронском полуострове, вывозилась в Персию, откуда распространялась и по другим странам.

На Ближнем Востоке, вследствие дефицита дерева, местные жители были вынуждены пользоваться для освещения и обогрева помещений нефтяными светильниками и печами. Издавна нефть использовалась в качестве лекарственных средств. Греческие и

византийские писатели называли ее «фармакон», то есть «лекарство». У знаменитого греческого врача, основателя античной медицины Гиппократ, было много рецептов лекарств, изготавливаемых из смеси нефти с разными веществами.

Лечились нефтью и коренные жители Южной Африки. Европейцы также знали о целебных свойствах «каменного масла». Нефть, которую добывали в Тегернском озере в Баварии, называли «маслом святого Квирина» и применяли против многих заболеваний.

И невзирая ни на что, в течение тысячелетий нефть оставалась для наших предков «каменной смолой», «горячей живой водой», а газ – «вечным» и «священным» огнем, «духом демонов».

Издавна с нефтью был знаком Китай. В 250 г. до н. э. китайский строитель Ли Бин изобрел ударно-канатный способ бурения скважин. Этим методом позже была пробурена первая в мире скважина для добычи природного газа, который уже тогда использовался китайцами в качестве топлива при получении соли из рассолов (рис. 3.32).

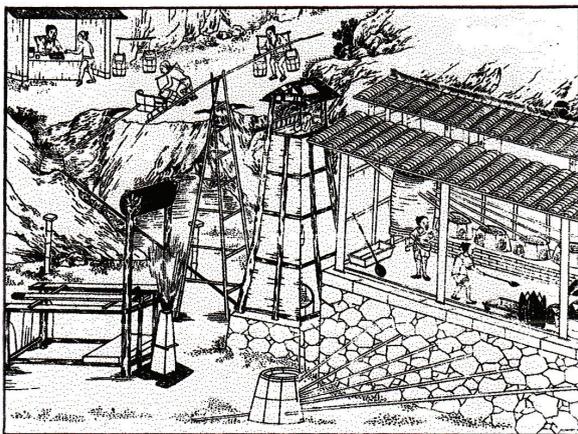


Рис. 3.32. Добыча газа в Древнем Китае

До конца Средневековья человек почти не добывал нефть в современном понимании этого слова, а только собирал ее в местах естественных выходов. Чаще ее собирали на поверхности воды, где она накапливалась. Прimitивный способ сбора нефти на поверхности

в местах обнажения нефтеносных пород сохранился у некоторых народов почти до XIX века.

В средние века были известны места выходов нефти и битума в некоторых районах Европы – в первую очередь на территориях современных Германии, Италии, Франции, Румынии, Польши. Нефтяной промысел был примитивным и кустарным. Крестьяне копали ямы глубиной до 5 м для сбора сырой нефти, из которой методом отстаивания получали «керосин» для освещения домов. Яму отрывали до самого нефтяного пласта. По бокам ямы делали уступы для облегчения выноса грунта. Форма ямы была конусообразной (рис. 3.33).

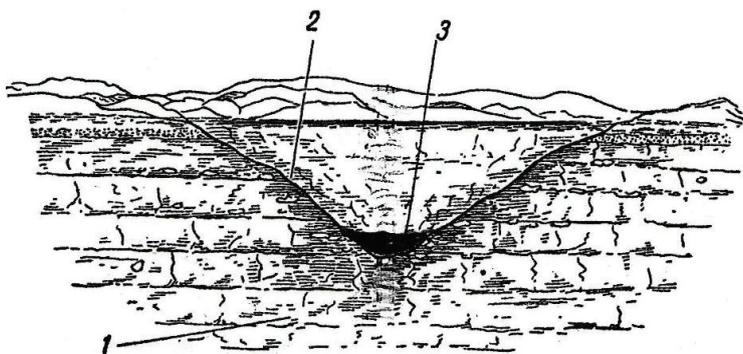


Рис. 3.33. Ямный способ добычи нефти:

1 – почва, пропитанная нефтью; 2 – контур ямы; 3 – скопившаяся нефть

Впервые о добыче нефти с помощью ям ученые узнали во время раскопок в Крыму в 1957 году на Керченском полуострове, когда на метровой глубине археологи нашли 15-литровую глиняную амфору с нефтью, возраст которой был 2000 лет. Ямы для добычи нефти были найдены и в других нефтеносных районах Ирака, Ирана, Средней Азии, Азербайджана. Постепенно, по мере потребления нефти, ямный способ добычи был заменен колодезным (рис. 3.34).

Для вычерпывания нефти над колодезем устанавливали ручной коловорот. Стенки неглубоких колодцев обкладывались камнями. Форма колодцев была круглая или квадратная. Нефть из колодцев вычерпывали бурдюком и поднимали на поверхность при помощи ручного ворота. Ручной ворот состоял из деревянного вала, укрепленного на подставках. В середине подставок, через сквозные

отверстия вставляли два перпендикулярных друг к другу бруска, к концам которых прикрепляли шесты. Нефть вычерпывали три человека: двое вращали ворот, а третий направлял веревку.

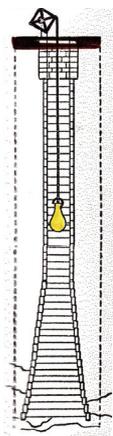


Рис. 3.34. Вертикальный разрез нефтяного колодца на Бакинских промыслах, из которого нефть добывалась ручным способом

По данным Н.И. Воскобойникова, суточный дебит нефтяных колодцев в Бакинском районе колебался от 0,5 до 140 пудов. Глубина колодцев достигала 15 м. В связи с увеличением глубины колодцев и роста их производительности, требовались большие емкости для вычерпывания нефти. Это привело к использованию для подъема нефти конной тяги (рис. 3.35).

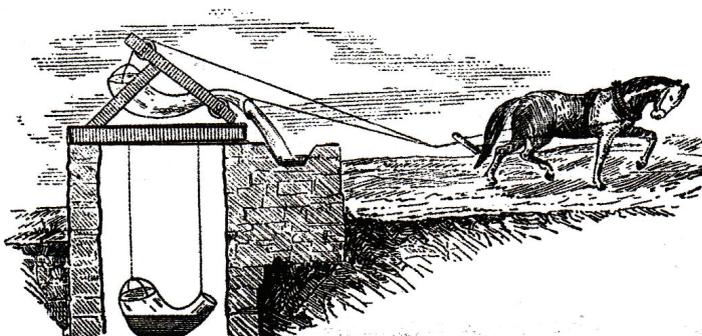


Рис. 3.35. Подъем нефти из колодца при помощи конной тяги (1876 г.)

Разработка нефтяных месторождений в Европе в XVII – XVIII вв. также велась кустарным методом, путем собирания и вычерпывания нефти из ям и колодцев. Кустарным методом добывали нефть в Германии в княжествах Брауншвейг и Ганновере, а нефтяные залежи в Витце эксплуатировались еще с 1670 года.

В XVII в. нефть начали добывать в Польше. Кустарным методом добычу нефти вели крестьяне Прикарпатья и некоторые монастыри. В 1885 году в Галиции эксплуатировалось около 3 500 нефтяных колодцев с ежегодной добычей нефти 50 тыс. тонн. Еще в 1771 году на территории Надвирнянского района Ивано-Франковской области (Украина) был основан первый нефтяной промысел, но примитивные методы добычи удовлетворяли лишь скромные потребности крестьян (рис. 3.36).



Рис. 3.36. Нефтяные промыслы в Галиции

Положение изменилось лишь после 1852 года, когда польский провизор из Львова Игнат Лукаевич разработал способ перегонки нефти и изобрел керосин и керосиновую лампу (рис. 3.37). Это в значительной степени стимулировало поиски нефтяных месторождений с применением более прогрессивных методов бурения в Галиции. В 1886 году было открыто крупное на то время в

Европе Бориславское месторождение на Львовщине, из которого в 1909 году было получено около 2 млн. тонн нефти, что составляло 5 % мировой добычи.



Рис. 3.37. Игнат Лукаевич и его керосиновая лампа

В России еще в XVI веке собирали «горючую густую воду» (так называли нефть) с поверхности реки Ухта и доставляли ее в Москву, где перерабатывали, а затем продавали в аптеках. Спустя три года появилось первое документальное указание на открытие русской нефтяной залежи. В 1721 году Григорий Черепанов, в поисках руды, на реке Ухта увидел «нефтяные ключи». На поверхности реки всплывали черные «масла», которые жители собирали черпаками.

В 1721 году Черепанов собрал немного нефти и отправил в Москву. Петр I заинтересовался этой жидкостью, но в следующем году царь скончался, и о черном ухтинском «масле» забыли на 20 лет.

Только в 1745 году архангельский купец Федор Прядунов (рис. 3.38) добившись от Берг-коллегии разрешения наладить промысел, отправился на Ухту. Здесь он обнаружил нефтяной фонтан, вытекающий со дна реки и начал добычу нефти (рис. 3.39). Он построил небольшой нефтяной завод и уже в 1748 году привез в Москву 655 кг нефти. На этом месте Прядунов построил первый нефтеперерабатывающий завод.

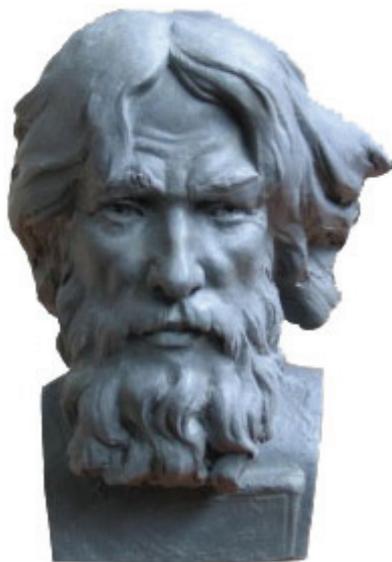


Рис. 3.38. Ф.И. Прядунов
(1674–1753 г.г.)



Рис. 3.39. Первые нефтяные вышки на
Ухте

В этот период добывалась нефть и на территории нынешнего Азербайджана, особенно на Апшеронском полуострове. В этом регионе добыча нефти велась как колодезным, так и скважинным методами (рис. 3.40).

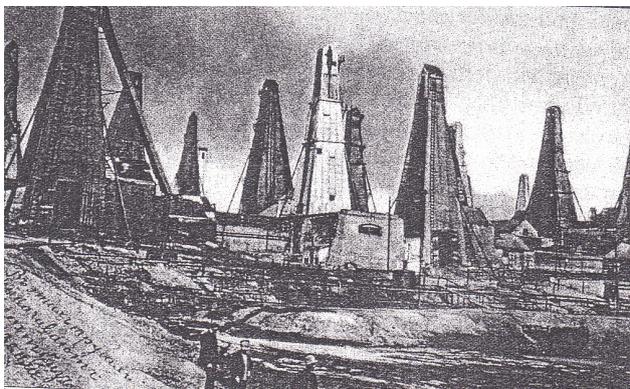


Рис. 3.40. Нефтяные промыслы Апшерона

Первые шаги были предприняты русскими промышленниками и по освоению нефтяных месторождений Сибири.

В 1859 году с открытием промышленной нефтедобычи в Пенсильвании (США) началась настоящая эпоха нефти. А все начиналось так. Пенсильванская нефтяная компания пригласила Эдвина Дрейка, не имеющего специального образования, найти способы повышения добычи нефти. Дрейк вместо ручной добычи сделал ставку на бурение, основал собственную компанию и в 1857 году из скважины с глубины 69,5 футов получил нефть (рис. 3.41).



Рис. 3.41. Э. Дрейк (справа) около своей скважины
(картина Б. Клиффа, США, 1964 г.)

После старта в 1859 году промышленная добыча нефти, ее рост, пошли невероятно быстрыми темпами. Если в 1860 году во всем мире было добыто всего 72 тыс. тонн нефти, то к 1900 году эта цифра выросла до 20,5 млн. тонн, а к 1924 году – до 57 млн. тонн.

В XIX столетии совершенствовались методы бурения скважин. Стало быстро развиваться бурение ударным методом. Первая скважина в Западной Европе диаметром 310 мм и глубиной 11 м была пробурена в 1823 г. в Вестфалии. Во Франции первая скважина появилась немного позже – ее пробурили в 1842 г. Ударное бурение

постепенно заменялось на ударно-поворотное и роторное. Изобретение во Франции в 1844–1849 г.г. способа бурения свободно падающим инструментом послужило основой увеличения объемов проходки скважин и их глубины до 500 м.

Метод бурения для добычи нефти в России впервые был применен в 1844 г., когда инженер Ф.А. Семенов предложил бурить скважины ударным методом.

В XIX в. постепенно развивалось и вращательное бурение. Появляются станки вращательного бурения с паровым приводом, а также с использованием двигателей внутреннего сгорания. Впервые появилось колонковое алмазное бурение, предложенное швейцарским часовым мастером Георгом Лешо, а первый станок для алмазного бурения разработал его сын. С конца 80-х годов XIX в. внедряется роторное бурение с применением лопастных долот и промывкой глинистым раствором.

Большие успехи были достигнуты и в технике добычи нефти. В 1865 г. в США внедряется глубинно-насосная добыча нефти. Для этого были разработаны установки (качалки) с электромотором и с газовым двигателем, а также комбинированная установка для подъема нефти из скважины с глубины более 2 тыс. футов (рис. 3.42).

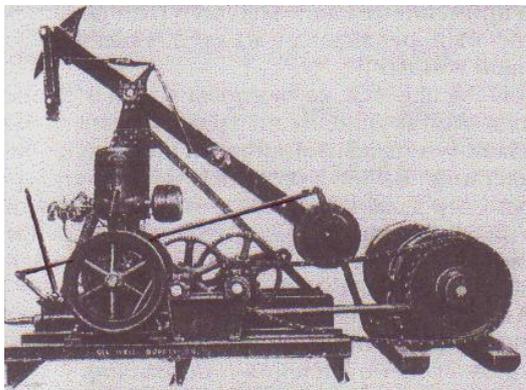


Рис. 3.42. Комбинированная установка для подъема нефти из скважины (США, конец XIX в.)

В середине 70-годов XIX в. велась борьба за Бакинскую нефть. В эту борьбу включилась и династия шведских промышленников Нобелей. В 1875 г. в Баку прибыл Роберт Нобель. Он купил

небольшой нефтеперерабатывающий завод. В 1879 г. в Баку приехал еще один Нобель – Людвиг. Тогда же была образована компания «Товарищество нефтяного производства братьев Нобель» (рис. 3.43).

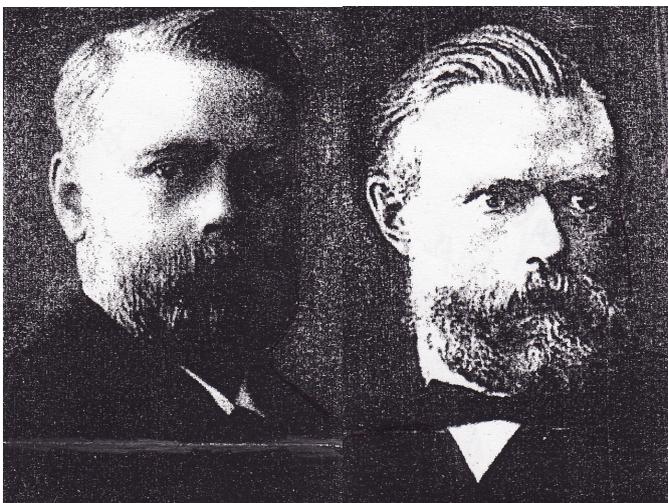


Рис. 3.43. Роберт Нобель (1820–1896 г.г.)

Людвиг Нобель (1831–1888 г.г.)

За короткий период Нобели стали владельцами больших нефтепромыслов, нефтеперерабатывающих заводов и долгое время оставались крупнейшей нефтедобывающей компанией в Бакинском регионе и ведущей в России (рис. 3.44).

Для хранения нефти и нефтяных остатков, которые до этого собирались в открытые ямы, выдающийся русский ученый и изобретатель В.Г. Шухов, работая главным инженером у Нобелей, сконструировал металлические нефтехранилища – их конструкция сохранилась и до наших дней (рис. 3.45).

Более 20 тыс. таких резервуаров были установлены по всей России на нефтеперерабатывающих заводах и многочисленных нобелевских складах. В 1878 г. В.Г. Шуховым был спроектирован и построен первый в России нефтепровод Балаханы–Черный город (район Баку).

К 1898 году Россия, обогнав США, вышла на первое место в мире по добыче нефти: в 1901 г. на ее долю пришлось 53 % мировой нефтедобычи.

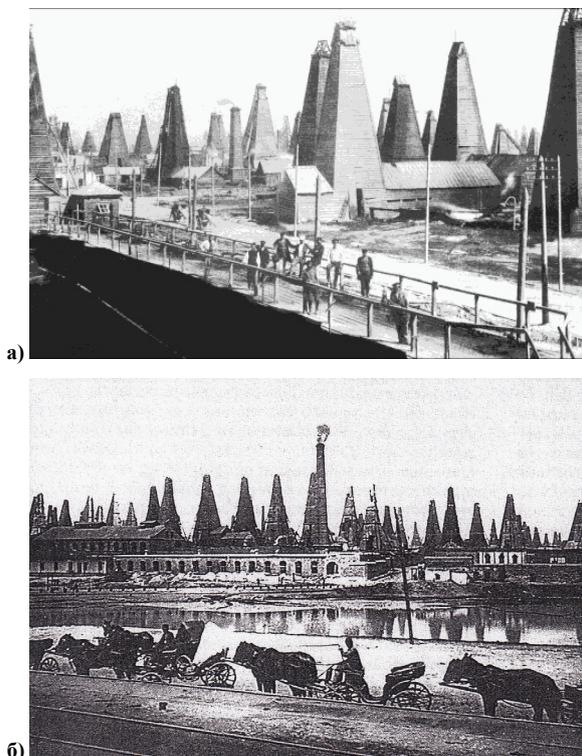


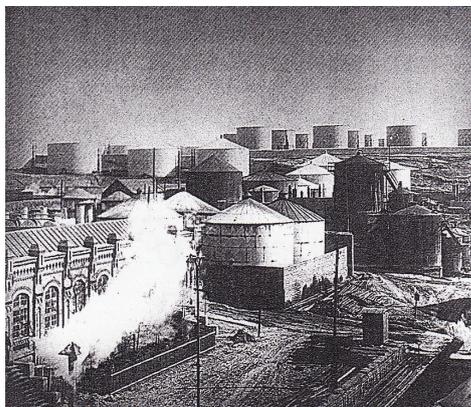
Рис. 3.44. Нефтяное месторождение (а) и нефтеперерабатывающий завод братьев Нобель в Баку

Значительные изменения произошли в мировой нефтедобыче и в отрасли хранения и транспортировки нефти. На смену деревянным бочкам, в которых сохранялась нефть, пришли канистры, а затем железные цистерны и нефтеналивные танкеры. До 1914 г. общая протяженность нефтепроводов в мире достигла 30 тыс. км, почти все они находились в двух крупных нефтедобывающих странах – США и России. Именно в этих странах было сделано много открытий в области добычи, переработки и транспортировки нефти.

В конце XIX века началась промышленная добыча природного газа, связанная с его использованием в промышленности и быту. При этом в России природный газ применялся в промышленности еще с 1860 года, в то время как в странах Европы для освещения и отопления по-прежнему использовался искусственный газ.



а)



б)

Рис. 3.45. В.Г. Шухов (а) и построенное по его проекту нефтехранилище в Баку (б)

В Соединенных Штатах в этот период появились первые нефтяные монополии. Они возникли в связи с укрупнением и поглощением множества мелких нефтедобывающих компаний.

В период между Первой и Второй мировыми войнами нефть продолжала оставаться одним из главных звеньев мировой экономики. Начала развиваться нефтехимия. Расширилась география добычи нефти – в этот период были открыты мощные нефтяные месторождения в таких регионах, как Ближний Восток, Мексика, Венесуэла и Волго-Уральский район (Россия). Мировая добыча нефти достигла в 1945 году отметки 430 млн. т. После Первой мировой войны в США добывалось 67 % мировой нефти.

В это время происходило перевооружение нефтяной и газовой промышленности СССР. Были созданы и внедрены новые буровые установки, турбобуры, шарошечные долота, погружные электронасосы, внедрены новые технологии в нефтедобыче: наклонно-направленное бурение эксплуатационных скважин, многозабойное бурение, шахтная добыча нефти.

Роль нефти, которая стала особенно заметной в годы Второй мировой войны, еще больше выросла в послевоенный период, когда развитые страны приступили к масштабному восстановлению и реконструкции экономики. Сначала в США, а затем и в Западной Европе, наступил промышленный подъем, сопровождавшийся значительным ростом потребления энергоресурсов. С 1945 по 1960 гг. мировая добыча нефти увеличилась с 430 до 1 026 млн. тонн,

природного газа – с 173 до 478 млрд. м³.

Во всех регионах мира проводились активные поиски месторождений углеводородов. Общие запасы нефти за этот период выросли в 3,5 раза, прежде всего, за счет Ближнего Востока.

Быстрому росту объемов добычи нефти после 1945 г. способствовало внедрение турбинного, электрического и других методов бурения, разработка морских месторождений с платформ.

В США в 1960 г. на морском шельфе добывалось почти 15 % нефти. В СССР морское бурение начало осуществляться в 1949 г. на уникальном месторождении Нефтяные Камни на Каспии.

В 1950 году в мире началось широкое практическое использование природного газа в промышленности и быту. В 1950 году доля газа в мировом энергетическом балансе составила 9 %, в 1960 г. она увеличилась до 14 %.

В 50-х годах XX века были открыты и сданы в эксплуатацию месторождения нефти в Украине: Полтавской, Сумской, Харьковской и Черниговской областях. Если в конце 50-х годов XX века добыча нефти в восточных областях составляла 7 % от общей добычи в Украине, то к 1965 году она достигла 72 %.

Период 1960–1990 гг. характерен неуклонным повышением уровня добычи нефти в мире. За это время были открыты крупные нефтяные месторождения в СССР (Западной Сибири, Прикаспии, на Европейском Севере). Открытие новых нефтяных и газовых месторождений в Украине за этот период дало возможность получить в 1972 г. максимальную годовую добычу нефти в объеме 14,4 млн. тонн, газа – 68,7 млрд. м³.

В 90-х годах XX в. газ из России начал экспортироваться в страны Западной Европы, что дало возможность ряду стран обеспечить одну треть своей потребности. Были открыты мощные месторождения в акватории Северного моря, Мексике, Австралии и в других регионах. В результате, доля стран ОПЕК в мировом экспорте снизилась с 75 % до 45 %.

Последнее десятилетие XX века мировая нефтегазовая отрасль начала с проблем: первая – истощение запасов углеводородов на существующих месторождениях, вторая – зависимость развитых стран от экспорта нефти и газа из Ближнего Востока и других политически нестабильных регионов. Рядом с увеличением потребления углеводородов наметился спад добычи нефти и газа в СССР и странах Восточной Европы. Потребление нефти и газа за

десятилетие выросло с 3 137 до 3 510 млн. т, газа – с 2 007 до 2 405 млрд. м³. Однако были открыты новые нефтегазовые месторождения в Канаде, Венесуэле, Аргентине, Катаре, Анголе.

В поисках новых месторождений в нефтедобыче внедрялись новейшие компьютерные технологии, автоматизация разработки месторождений, особенно с использованием морских платформ. Осваиваются акватории морей и океанов. Морская нефтедобыча шагнула с шельфа в глубоководные районы. 35 стран ведут добычу нефти и газа на морских шельфах, при этом в 1998 г. объем мировой добычи нефти составлял 37 %, газа – 28 %.

На начало нового тысячелетия нефтяные месторождения разрабатывались в 96 странах мира, а нефть и природный газ, как и ранее, остаются основой энергетики почти всех стран мира. Это наглядно видно из табл. 3.2. Сжигая уголь, нефть и газ, люди используют вековые запасы энергии, полученной от Солнца в недрах Земли в виде угольных, нефтяных и газовых месторождений. Но эти запасы не вечны, потому что темпы их добычи и использования постоянно растут.

Таблица 3.2. Доля отдельных источников энергии в мировом энергобалансе (%)

Периоды	Мышечная энергия человека	Органические вещества	Древесина	Уголь	Нефть	Природный газ	Водная энергия	Атомная энергия
5000 лет до н.э.	100	—	—	—	—	—	—	—
2000 лет до н.э.	70	25	—	—	—	—	—	—
1000 лет до н.э.	10	20	5	—	—	—	—	—
1900 г.		16	70	—	—	—	—	—
1935 г.		13	16	65	3	—	—	—
1972 г.			8	55	16	3	5	—
2000 г.			10	32	34	18	5	1
2002 г.			1	28	43	19	4	5

Мировое потребление нефти, согласно прогнозам, не уменьшится. Наибольшими темпами будет расти потребление природного газа. До 2025 года оно почти удвоится и вырастет до 4,9 трлн. м³. Однако наука не стоит на месте. В энергетику в XXI веке будут включаться новые технологии, новые источники энергии, находящиеся в недрах Земли.

Раздел 4

ОСНОВЫ ГОРНОГО ДЕЛА. ЭЛЕМЕНТЫ И ПОНЯТИЯ

Перед тем, как перейти к непосредственному ознакомлению читателя с «горным искусством» – техникой и технологией добычи полезных ископаемых, мы хотим изложить в этом разделе некоторые основы горного дела, элементы, терминологию и понятия.

4.1. Горное дело и горнодобывающая промышленность

О термине «горное дело» мы уже упоминали, но оно в разных источниках излагается с дополнениями и уточнениями:

- **горное дело**, отрасль науки и техники, охватывающая процессы извлечения (добычи) из недр Земли полезных ископаемых;

- **горное дело**, как вид полезной деятельности по извлечению из земли полезных ископаемых, эволюционировало в своей длительной истории под влиянием человеческих потребностей: в древние века в целях самозащиты в борьбе с дикой и суровой природой; в более поздние века – в целях получения необходимых веществ и материалов;

- **горное дело**, как область промышленного производства, охватывает разведку месторождений полезных ископаемых, их разработку, первичную переработку добываемого минерального сырья, строительство горных предприятий и подземных сооружений различного назначения;

- **горное дело**, область науки и техники, включающая в себя все виды техногенного воздействия на земную кору, главным образом извлечение (добычу) полезных ископаемых, их первичную обработку, а также научные исследования, связанные с горными технологиями.

До второй половины XIX века горное дело подразумевало лишь добычу твердых полезных ископаемых (руды, угля, нерудных строительных материалов, горнохимического сырья и др.). Во второй половине XIX века начинает развиваться добыча нефти, а в начале XX века – природного газа. И тогда разработка твердых полезных ископаемых, нефти и газа объединяются в один термин – горное дело.

Составную часть горного дела, которая имеет целью добычу полезных ископаемых, представляет горнодобывающая промышленность. В зависимости от вида полезных ископаемых горнодобывающая промышленность делится на топливдобывающую

(нефтяная, добыча природного газа, угольная, сланцевая, торфяная), рудодобывающую (железорудная, марганцеворудная, добыча руд цветных, благородных и редких металлов, радиоактивных элементов), промышленность неметаллических ископаемых и местных стройматериалов (добыча мрамора, гранита, асбеста, мела, доломита, кварцита, каолина, глины, гипса, мергеля, полевого шпата, известняка), горно-химическую (добыча апатита, калийных солей, нефелина, селитры, серного колчедана, борных руд, фосфатного сырья), гидроминеральную (минеральные подземные воды, вода для водоснабжения и других целей).

Для горнодобывающей промышленности характерны:

- огромное влияние на окружающую среду, что создает экологические проблемы при освоении месторождений полезных ископаемых;
- постоянное перемещение рабочего места, что предъявляет особые требования к средствам механизации и автоматизации производства;
- постоянное увеличение глубины горных работ, что обуславливает ухудшение горно-геологических условий разработки, возможность возникновения газодинамических явлений, рост температуры рудничной атмосферы, обрушение кровли, горные удары, а также взрывы и пожары в выработках, опасных по пыли и газу;
- аварийные ситуации на нефтяных и газовых скважинах, связанные с открытыми нефтяными фонтанами, что приводит к пожарам, размыву нефти на суше и на море.

4.2. Первопроходцы горного дела

Добыча полезных ископаемых – сложный технологический процесс, которому предшествуют поиск и разведка. Именно геологи и геофизики дают горнякам ответ о наличии месторождений полезных ископаемых. Геологоразведочные работы необходимы для отыскания залежей, определения запасов, качества полезных ископаемых, экономической целесообразности эксплуатации месторождений, установления мощностей горных предприятий и способов разработки.

Геологоразведочные работы ведутся с помощью бурения скважин.

Сегодня в арсенале геологов имеются различные методы бурения: шнековое, ударно-канатное, вращательное. Для бурения

геологических скважин на большую глубину (до 5 км и более) применяются буровые установки с алмазными буровыми наконечниками, позволяющими извлекать керн, по которому изучается геологическая структура и наличие полезного ископаемого.

Оценка ресурсов месторождения в пределах площади, региона включает несколько последовательных этапов: начальный – составление геологических, тектонических карт; промежуточный – бурение, геофизические исследования, опробование и анализ проб и заключительный – подсчет ресурсов и запасов математическими методами, оценка горно-геологических, гидрологических и горнотехнических условий месторождения.

В зависимости от степени изученности устанавливаются категории запасов. Существуют различные классификации запасов, разработанные в США, Канаде, Германии, а также международная классификация ООН.

В России и странах СНГ принята своя классификация запасов. По степени изученности они подразделяются на разведанные (категории А, В, С) и предварительно оцененные (категория С₂) запасы. Выделяют также прогнозные ресурсы (категории Р₁, Р₂ и Р₃).

После установления и утверждения запасов, а также технической и экономической целесообразности составляется проект разработки месторождения.

4.3. Способы разработки месторождений полезных ископаемых

В зависимости от горнотехнических и горно-геологических условий залегания месторождений: свойств пород, мощностей залежей, наличия тектонических нарушений, водоносных пластов и других факторов, различают следующие способы разработки месторождений:

- при добыче твердых полезных ископаемых:

открытая, шахтная, подводная, гидромеханизированная; скважинные методы (подземное растворение солей, подземная выплавка серы, подземная газификация угля, подземная переработка сланцев, гидродобыча, подземное выщелачивание);

- при добыче нефти и газа:

фонтанный, газлифтный, насосный и шахтный методы разработки нефтяных месторождений.

Процесс эксплуатации нефтяных скважин заключается в подъеме нефти от уровня продуктивных пластов (из забоя) на поверхность земли. Выбор способа эксплуатации нефтяных скважин, в первую очередь, определяется пластовым давлением.

4.4. Горные работы

Горные работы – это комплекс технологических процессов, связанных с добычей полезного ископаемого.

Разработку полезных ископаемых ведут горные предприятия. Предприятие, ведущее разработку угля подземным способом называется шахтой, а разработку руд, горно-химического сырья – рудником.

Предприятие, ведущее разработку открытым способом, называется разрезом или карьером.

Шахта (рудник) и карьер (разрез) имеют и другое толкование. Шахта (рудник) – совокупность выемок в земной коре, образованных для добычи полезных ископаемых подземным способом. Карьер (рудник) – совокупность выемок в земной коре, образованных для добычи полезных ископаемых открытым способом.

Производственное подразделение по добыче нефти называется нефтепромыслом, по добыче газа – газопромыслом.

Горные работы включают работы по вскрытию и подготовке шахтного (рудничного, карьерного) поля к очистной выемке. По использованию специальных средств различают работы: взрывные (с использованием энергии взрыва) для разрушения пород; машинные (с использованием горных машин и механизмов); геотехнологические (добыча полезных ископаемых растворением, выщелачиванием); гидравлические (с использованием воды для размыва и перемещения разрушенной горной массы); буровые (применяются для добычи нефти и газов).

По производственному назначению горные работы подразделяются на вскрытие месторождения, подготовительные (выработки, проводимые для подготовки месторождения к очистной выемке и разделяющие месторождение на выемочные участки, панели, блоки), добычные (для извлечения полезного ископаемого).

4.4.1. Элементы горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом

Открытая добыча полезных ископаемых ведется на карьерах (разрезах).

При открытой разработке горные работы разделяются на вскрышные (выемка, перемещение и размещение вскрышных горных пород) и добычные (выемка, перемещение и складирование или разгрузка полезного ископаемого) (рис. 4.1).

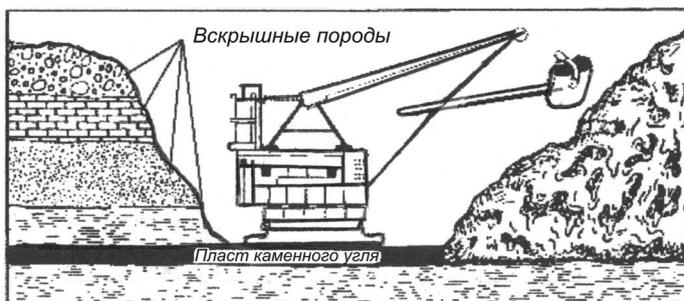


Рис. 4.1. Схема открытой добычи угля

При открытой разработке вскрышные работы – это удаление горных пород, покрывающих и вмещающих полезное ископаемое. Вскрышные породы, не содержащие полезных компонентов, называются пустыми породами и удаляются во внешние или внутренние отвалы. Если вскрышные породы (например, глины, пески, известняки, мел и др.) пригодны как строительные материалы, то они подвергаются дальнейшей переработке (дробление, сортировка и т. д.), после чего направляются потребителям. Вскрышные работы включают процессы подготовки пород к выемке, выемочно-погрузочные работы, транспортировку и отвалообразование.

После вскрытия карьерного поля приступают к разработке. Карьеры характеризуются своими элементами и параметрами. Размеры карьерных полей могут быть разными – от малых (площадью до $0,4 \text{ км}^2$) до очень больших (площадью до $10\text{--}40 \text{ км}^2$). Глубина карьеров варьируется от 20 до 120 м. Существуют и так называемые глубинные карьеры, глубина которых достигает до 800 м.

В большинстве случаев слои горных пород в карьере – горизонтальные. Иногда наклонные залежи разрабатывают наклонными слоями, а крутые залежи – крутыми слоями.

Отдельная часть разрабатываемого слоя горных пород называется уступом. Мощные слои горных пород разбиваются на несколько уступов.

Различают рабочие и нерабочие уступы. На рабочих уступах

осуществляется выемка вскрышных пород и полезных ископаемых. Совокупность уступов, одновременно находящихся в работе, называется рабочей зоной карьера.

Все производственные процессы на карьерах механизированы. Преобладающими способами механизации производственных процессов в современных карьерах является экскаваторный с применением транспортно-отвальных мостов и гидравлический. Особенно эффективно применение поточной технологии. На рудных карьерах преобладает взрывная отбойка руды с механизацией взрывных работ.

4.4.2. Элементы горных работ при подземной добыче полезных ископаемых

Весь технологический процесс по добыче полезных ископаемых подземным способом включает: вскрытие месторождения, подготовку (проведение подготовительных выработок, их крепление), очистные работы (отбойку, доставку, погрузку полезного ископаемого, транспортировку).

Весь этот комплекс работ осуществляется на шахте, представляющей собой горное предприятие (рис. 4.2).

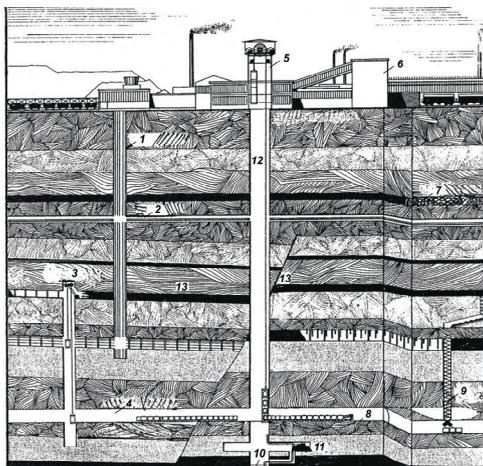


Рис. 4.2. Схема угольной шахты:

- 1 – вентиляционный ствол; 2 – вентиляционный штрек; 3 – слепой ствол; 4 – главный штрек, для транспортировки угля; 5 – надшахтный копер; 6 – пункт обогащения угля; 7 – закладка породой отработанных участков; 8 – окоlostвольный двор; 9 – гезенк для отгрузки угля из верхних горизонтов; 10 – зумф; 11 – водоотливная насосная камера; 12 – главный вертикальный шахтный ствол; 13 – угольный пласт

Первым этапом горных работ на будущей шахте является вскрытие месторождения полезного ископаемого. Это проведение капитальных горных выработок, открывающих доступ с поверхности ко всему месторождению или его части и обеспечивающих возможность проведения подготовительных горных выработок, необходимых для обслуживания добычных забоев.

Главные цели вскрытия месторождения – создание транспортных связей между очистными забоями (местом добычи полезного ископаемого) и пунктом приема его на поверхности, обеспечение условий для безопасного перемещения людей; подача чистого воздуха к рабочим участкам (в шахте).

Месторождения полезных ископаемых вскрываются капитальными и подготовительными выработками. На рис. 4.3 показана схема размещения горных выработок.

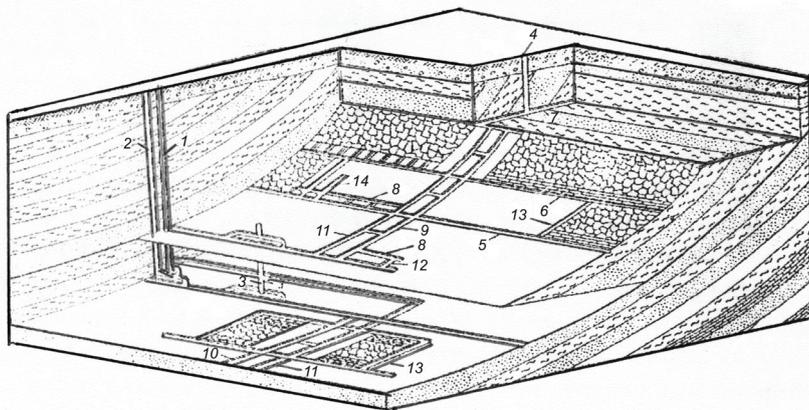


Рис. 4.3. Размещение горных выработок:

- 1, 2 – шахтные стволы; 3 – гезенк; 4 – шурф; 5 – штрек (вентиляционный); 6 – штрек откаточный; 7 – квершлаг; 8 – просек; 9 – бремсберг; 10 – уклон; 11 – ходок; 12 – печь; 13 – лава; 14 – очистная камера

К капитальным горным выработкам относятся выработки, имеющие непосредственный выход на поверхность: вертикальные и наклонные стволы и штольни. Этими выработками и вскрывается месторождение.

Вскрытие месторождения вертикальными стволами является универсальным. Проходят не менее двух стволов, один из которых

служит для подъема груза, подъема и опускания рабочих в шахту и подачи свежего воздуха, а второй – для отвода воздуха на поверхность (рис. 4.4).

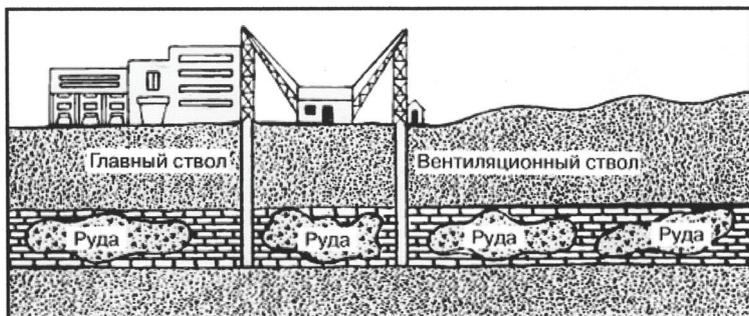


Рис. 4.4. Схема вскрытия вертикальными стволами

Вскрытие месторождений с помощью штольни производят при сильно расчлененном рельефе местности, когда применение вертикальных и наклонных стволов технически невозможно или экономически нецелесообразно (рис. 4.5).

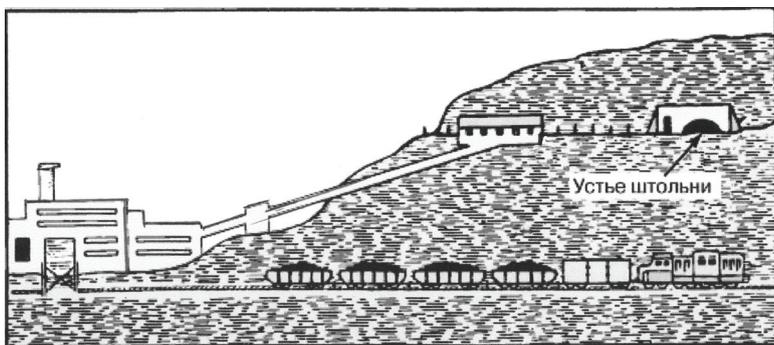


Рис. 4.5. Схема вскрытия штольней

В ряде случаев, при благоприятных горно-геологических условиях, и исходя из экономической целесообразности, месторождение вскрывается наклонными стволами, оборудованными вагонеточной или конвейерной доставкой (рис. 4.6).

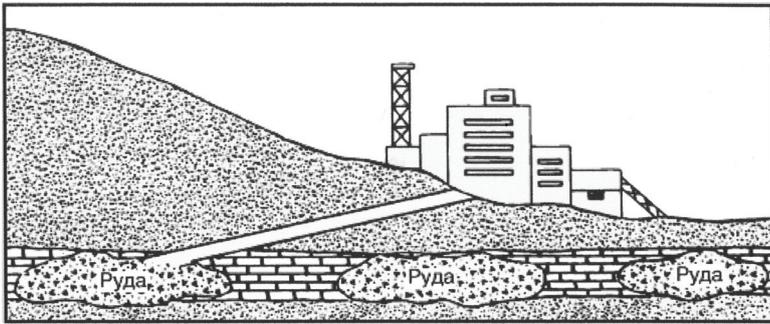


Рис. 4.6. Схема вскрытия наклонными стволами

Через шахтные стволы и штольни осуществляется спуск и подъем полезного ископаемого, породы, материалов, оборудования, людей и осуществляется проветривание шахты.

В зависимости от основного назначения, шахтные стволы разделяют на главные и вспомогательные. Главный ствол служит для подъема на поверхность полезных ископаемых. Вспомогательные стволы, в соответствии с их функциями, подразделяются на грузоподъемные – для спуска и подъема людей, материалов, оборудования (клетевые стволы) и вентиляционные – для проветривания. Вентиляционным называют ствол, через который выдается исходящая струя воздуха; ствол для подачи свежей струи называют воздухоподающим. Часто клетевой ствол одновременно является вентиляционным.

Для подготовки шахтного (рудного) поля проводится система подготовительных горных выработок. Они могут быть: горизонтальными, вертикальными и наклонными. Горные выработки показаны на рис. 4.3, на него будем ссылаться в дальнейшем изложении.

К горизонтальным выработкам относятся: штреки, квершлагги, просеки, орты и др.

Штреки (5, 6) – выработки, не имеющие непосредственного выхода на земную поверхность, проводимые по простиранию горных пород при наклонном залегании и в любом направлении – при горизонтальном залегании пород. В зависимости от назначения штреки подразделяются на откаточные и вентиляционные. Откаточные штреки служат для транспортирования полезных

ископаемых, передвижения людей, пропуска свежего воздуха и стока воды. По вентиляционным штрекам транспортируется порода, лес, передвигаются люди, отводится отработанный воздух.

Квершлаг (7) – выработка, которая так же не имеет выхода на поверхность, проводимая вкрест простирания горных пород и имеет такие же функции, как и штрек.

Просек (8) – горизонтальная горная выработка, проводимая параллельно штреку обычно без подрывки боковых пород, предназначенная для осуществления нарезных работ или проветривания штреков в период их прокладки. На тонких пластах осуществляют присечку боковых пород.

Орт – горизонтальная горная выработка, проводимая в мощных пластах или рудных залежах в пределах их горизонтальной мощности.

К наклонным выработкам относятся: бремсберг, уклон, ходок, скат и печь.

Бремсберг (9) – выработка, не имеющая выхода на поверхность, пройденная по падению или по восстанию пласта и служащая для транспортировки полезного ископаемого сверху вниз, вентиляции, подвода электроэнергии, воды, передвижения людей, доставки оборудования.

Уклон (10) – выработка, не имеющая выхода на поверхность, пройденная по падению или по восстанию пласта, служащая для транспортировки полезного ископаемого снизу вверх, вентиляции, подвода электроэнергии, воды, передвижения людей и доставки оборудования.

Ходок (11) – выработка, не имеющая выхода на поверхность, пройденная параллельно бремсбергу (уклону) на расстоянии 20–40 м и служащая для передвижения людей, доставки материалов и оборудования, вентиляции и других целей.

Скат – выработка, не имеющая выхода на поверхность, пройденная по падению пласта, служащая для спуска полезного ископаемого сверху вниз под действием собственного веса. Скат сооружают для движения угля или породы вниз самотеком.

Печь (12) – выработка, не имеющая выхода на поверхность, проводимая по пласту, предназначенная для монтажа очистного оборудования, проветривания, передвижения людей и грузов, подвода электро- и пневмоэнергии. Печь, предназначенная для монтажа очистного оборудования, называется разрезной.

К вертикальным выработкам относятся стволы (о них мы уже говорили выше), шурфы, гезенки, слепые стволы, скважины.

Шурф (4) – выработка, имеющая выход на поверхность. Служит для вентиляции и других вспомогательных целей. Шурфы используют как запасные выходы.

Гезенк (3) – выработка, не имеющая выхода на поверхность. Служит для спуска угля из вышележащих выработок под действием собственного веса, передвижения людей, вентиляции, подвода электроэнергии и др.

Слепой ствол – выработка, не имеющая выхода на поверхность. Предназначена для подъема угля, вентиляции, спуска-подъема людей, оборудования, подвода электроэнергии, воды и др.

Скважина – вертикальная выработка, пройденная путем выбуривания горных пород, диаметром до 2 м. Скважины бывают вентиляционными, лесоспускными, доставочными и др. Такие скважины бурят как с поверхности, так и из горных выработок.

После проходки шахтных стволов, для обслуживания всего подземного горного хозяйства организовывается околоствольный двор. Околоствольным двором называют совокупность горных выработок, находящихся вблизи шахтных стволов и соединенных с ними, предназначенных для транспортных и других операций, обеспечивающих бесперебойную работу шахты. В околоствольные дворы с поверхности по стволам поступают пустые вагонетки, материалы для крепления горных выработок и оборудование, а по горизонтальным горным выработкам прибывают составы вагонеток с углем и породой для выдачи их на поверхность. В околоствольном дворе находятся камеры: электроподстанции, насосной, электровозного депо, противопожарных материалов (аварийный склад), медпункта, диспетчера, ожидания и др.

Выработки, где ведется непосредственно добыча полезных ископаемых, называются очистными. К очистным выработкам относятся лавы и камеры.

На угольных шахтах очистной выработкой является лава, а на рудниках – камера.

Лава (13) – подземная очистная горная выработка значительной протяженности (от нескольких десятков до нескольких сот метров), один бок которой образован массивом угля (забоем лавы), а другой – закладочным материалом или обрушенной породой выработанного

пространства. Имеет выходы на транспортный и вентиляционный выемочные штреки или на просеки.

Камера – очистная горная выработка, имеющая значительные размеры поперечного сечения. Обычно камеры создаются при камерно-столбовых системах разработки на рудниках при добыче руд, калийных и каменных солей, гипсов, ангидритов.

После вскрытия месторождения и проведения подготовительных выработок приступают к очистной выемке (очистным работам). Очистная выемка – это комплекс работ по извлечению (добыче) полезного ископаемого из очистного забоя (лавы, камеры). Очистная выемка является главной в подземной разработке и включает в себя комплекс процессов: обойку, погрузку, перевозку полезного ископаемого подземным транспортом и поднятие его на поверхность.

Совокупность работ по вскрытию, подготовке и выемке полезного ископаемого называют разработкой полезных ископаемых.

Об этом и пойдет речь в следующих главах.

Раздел 5

ДОБЫЧА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В этом разделе мы ознакомим читателя с основными процессами добычи твердых полезных ископаемых: угля, руд, горно-химического сырья, строительных материалов. Читатель узнает какими методами и способами производится разработка месторождений, начиная с проведения горных выработок и заканчивая получением готовой горной продукции.

5.1. Физико-механические свойства горных пород, определяющие их разрушение при добыче

Проектирование технологии горных работ, методов и способов разработки месторождений тесно связано с физико-механическими свойствами пород. Как физическое тело горные породы характеризуются группой базисных свойств, в которую входят плотностные, прочностные, тепловые, электрические и магнитные свойства.

К горно-технологическим свойствам горных пород относятся: строение и сложение пород, слоистость, прочность, крепость, пористость, вязкость, упругость, твердость, абразивность, пластичность, хрупкость, буримость, разрыхляемость и др. Строение и физические свойства горных пород обуславливают безопасное и эффективное ведение горнопроходческих и очистных работ. Состояние и свойства пород определяют способ проведения выработок, тип и плотность крепи подготовительных выработок. Проявление горного давления и устойчивость выработок в значительной степени зависит от плотностных, водно-физических, прочностных и деформационных свойств пород. Плотностные свойства – это плотность, объемная масса, удельный вес, объемный вес, насыпная объемная масса и пористость. В свою очередь пористость определяет водопоглощение, водопроницаемость, газопроницаемость, прочность. Водно-физические свойства горных пород – естественная влажность, водопоглощение, размокаемость, размягчаемость, разбухаемость.

Существует более 100 параметров свойств пород. Для количественной сравнительной оценки по предложению МГИ

выделено 12 базовых характеристик, из которых к механическим относят шесть (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Базовые механические свойства горных пород

Свойства	Основные параметры	Обозначение	Единица измерения	Определение
Плотностные	Объемная масса	ρ	кг/м ³	Масса единицы объема сухой горной породы в ее естественном состоянии (с порами, трещинами и т. д.)
	Пористость	P	–	Относительный объем всех пор, заключенных в единице объема породы
Механические	Предел прочности при сжатии	$\sigma_{сж}$	Па	Критическое значение одноосного сжимающего напряжения, при котором происходит разрушение породы
	Предел прочности при растяжении	σ_p	Па	Критическое значение одноосного растягивающего напряжения, при котором происходит разрушение породы
	Модуль продольной упругости (модуль Юнга)	E	Па	Коэффициент пропорциональности между действующим нормальным напряжением и соответствующей ему продольной упругой деформацией
	Коэффициент относительных поперечных деформаций (коэффициент Пуассона)	ν	–	Коэффициент пропорциональности между упругими продольными и поперечными деформациями при одноосном нормальном напряжении (отношение относительных поперечных деформаций к продольным)

При добыче полезных ископаемых разрушение горных пород часто осуществляется при помощи энергии взрыва. Применительно к условиям производства взрывных работ на карьерах, шахтах и рудниках при выборе способов взрывания, типов взрывчатых веществ и определения их количества наибольшее значение имеют плотность, твердость, пластичность (вязкость), устойчивость, крепость, прочностные характеристики, пористость, хрупкость, разрыхляемость, трещиноватость. Определяющее значение также имеют: абразивность, буримость, взрываемость.

На износ инструмента при бурении и выбор величины осевого усилия, частоты вращения бурового инструмента главным образом

вливают твердость и абразивность горных пород. Относительные показатели твердости, абразивности и вязкости горных пород приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Относительные показатели твердости, абразивности и вязкости горных пород

Порода	Твердость по отскоку	Показатель абразивности	Вязкость, Па·с
Гранит	116–114	58–72	1,4
Базальт	88	25	2,2
Песчаник	52	30	1,1
Сланец	52	2	1,1
Доломит	50	1	1,0
Известняк мраморизованный	50	1	1,0
Известняк	40	1	1,0
Мрамор	40	1	0,7

В табл. 5.3 приведены показатели временных сопротивлений сжатию, растяжению и сдвигу некоторых горных пород.

Таблица 5.3. Показатели прочности горных пород

Порода	Предел прочности, МПа		
	на сжатие	на растяжение	на сдвиг
Глина	6,5–10,5	0,1–0,2	0,4
Известняк	45–120	11–12	7–18
Мрамор	60–190	6–16	24–30
Песчаник	35–150	3–10	23
Диабаз	158	13,4	11
Доломит	78,4	11	–
Ангидрид	101,6	18	10
Гипс	20,2	5	0,9
Базальт	30–40	15	17,5–46

Пластические свойства в значительной мере определяют дробимость горных пород. С увеличением пластичности пород эффективность процессов бурения и взрывания снижается. В табл. 5.4 приведены значения коэффициента пластичности горных пород.

Таблица 5.4. Значения коэффициента пластичности горных пород

Порода	Значения коэффициента пластичности
Глины сланцевые	1,7–2,0
Аргиллиты и глинистые сланцы	1,3–3,3
Песчаники мелкозернистые	1,7–3,0
Кварцит	1,0
Алевролиты	1,5–2,4
Известняки пористые	7,0
Известняки плотные	2,5–4,5
Гипсы	1,8–3,7
Ангидриты	2,1–4,3
Каменная соль	3,4–3,8

С целью выбора рациональных методов и механизмов разрушения горных пород применяются различные классификации горных пород по технологическим свойствам. В практике горного дела широко применяется классификация горных пород по крепости, предложенная проф. М.М. Протодьяконовым.

В основу этой классификации положен коэффициент крепости, значение которого определяется делением предела прочности горных пород на одноосное сжатие (в МПа) на 10. Данная классификация в сопоставлении с инструкцией «Единые нормы и расценки» (ЕНиР) представлена в табл. 5.5.

Для проектирования взрывных работ разработаны и применяются ряд других классификаций, в основу которых положены буримость и взрываемость горных пород.

В качестве показателя буримости, по которому породы разделены в Строительных нормах и правилах (СНиПе) на одиннадцать групп, принято время бурения 1,0 м шпура при стандартных условиях бурения: тип бурильного молотка ПР-19; давление сжатого воздуха 0,45 МПа; характеристика бурового инструмента: диаметр головки бура – 42 мм; форма лезвия бура – крестовая; угол заострения лезвия – 90^0 ; длина штанги – 1,0 м; глубина бурения – до 1,0 м. Показатели, характеризующие буримость различных пород, и классификация их по СНиП приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.5. Классификация горных пород по проф. М.М. Протодяконову

Категория крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова	Степень крепости	Типичные горные породы	Коэффициент крепости f	Группа крепости пород по ЕНиР – 1969 г.
I	В высшей степени крепкие породы	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20	XI
II	Очень крепкие породы	Очень крепкие гранитовые породы. Кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец. Менее крепкие, нежели указанные выше, кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15	X
III	Крепкие породы	Гранит (плотный) и гранитовые породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	10	IX–VIII
IIIa	То же	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор	10	
IV	Довольно крепкие породы	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6	VI
IVa	То же	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники	5	VI
V	Породы средней крепости	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник, мягкий конгломерат	4	V
Va	То же	Разнообразные сланцы (некрепкие), плотный мергель	3	IV
VI	Довольно мягкие породы	Мягкий сланец. Очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс, мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, цементированные галька и хрящ, каменистый грунт	2	IV
VIa	Довольно мягкие породы	Щебнистый грунт. Разрушенный сланец, слезавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь. Отвердевшая глина	1,5	III
VII	Мягкие породы	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь. Крепкие наносы, глинистый грунт	1,0	III
VIIa	То же	Легкая песчанистая глина, лёсс, гравий	0,8	II
VIII	Землистые породы	Растительная земля. Торф. Легкий суглинок, сырой песок	0,6	II
IX	Сыпучие породы	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5	I
X	Плывучие породы	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лёсс и другие разжиженные грунты	0,3	I

Таблица 5.6. Классификация горных пород по буримости

Породы	Плотность, г/см ³	Время бурения 1,0 м шпура легким ручным бурильным молотком, мин.	Группа пород по СНИП
Известняк мягкий пористый, песчаник выветрившийся, сланцы глинистые	1,5–2,6	4,2–5,6	V
Ангидрит, доломит мягкий пористый, известняк и песчаник слабые, сланцы крепкие, глубинные породы среднезернистые выветрившиеся	2,2–2,8	5,6–6,4	VI
Известняк, доломит и песчаник плотные, сланцы окварцованные, изверженные породы мелкозернистые выветрившиеся	2,4–2,8	7,6–10,2	VII
Известняк крепкий, доломит плотный, песчаник кремнистый или на кварцевом цементе, кварцит сланцевый, глубинные крупнозернистые неветрившиеся породы, излившиеся слабыветрившиеся породы	2,6–2,9	10,2–12,9	VIII
Известняк плотный окварцованный, доломит крепкий, глубинные среднезернистые породы со следами выветривания	2,6–3,0	13,9–19,0	IX
Сланцы кремнистые, кварцит без сланцеватости, глубинные мелкозернистые неветрившиеся породы, излившиеся породы без следов выветривания	2,6–3,0	19,0–25,3	X
Сланцы кремнистые, кремень, кварцит мелкозернистый, изверженные мелкозернистые породы, не затронутые выветриванием	2,6–3,2	25,3 и более	XI

Классификация пород по взрываемости основана на величине удельного расхода определенного ВВ при стандартных условиях взрывания. Числовым показателем взрываемости является величина стандартного ВВ в килограммах, необходимого для образования воронки взрыва радиусом $r=1,0$ м при глубине заложения заряда 1,0 м (табл. 5.7).

Мы рассмотрели основные свойства горных пород, от которых зависит правильный выбор горно-технологических параметров, определяющих разрушение горных пород при их добыче. Эти свойства взаимосвязаны и каждое из них влияет на горную породу, ее состав и структуру.

Таблица 5.7. Классификация пород по взрываемости

Породы	Группа породы по СНиП-IV-13	Удельный расчетный расход ВВ для зарядов рыхления, кг/м ³	Расчетный расход аммонита № 6ЖВ для зарядов нормального выброса, кг/м ³
Песок	–	–	1,5–1,7
Песок плотный или влажный	–	–	1,2–1,3
Суглинок тяжелый	II	0,35–0,4	1,0–1,15
Глины крепкие	III	0,35–0,4	1,0–1,15
Лёсс	III–IV	0,3–0,45	0,9–1,3
Мел	IV	0,25–0,3	0,8–0,95
Гипс	IV	0,35–0,45	1,0–1,3
Известняк-ракушечник	V–VI	0,5–0,6	1,5–1,75
Опоки, мергель	IV–V	0,35–0,45	1,0–1,3
Туфы трещиноватые, пемза плотная тяжелая	V	0,45–0,5	1,3–1,5
Конгломерат и брекчи на известковом цементе	V–VI	0,4–0,5	1,5–1,4
Песчаник на глинистом цементе, сланец глинистый, мергель	VI–VII	0,4–0,5	1,15–1,4
Доломит, известняк, магнезит, песчаник на известковом цементе	VII–VIII	0,45–0,6	1,3–1,7
Известняк, песчаник	VII–IX	0,45–0,7	1,3–2,1
Гранит, гранодиорит	VII–X	0,5–0,7	1,5–2,15
Базальт, андезит	IX–XI	0,6–0,75	1,75–2,3
Кварцит	X	0,5–0,6	1,5–1,75
Порфирит	X	0,7–0,75	2,10–2,15

Так, сцепление частиц пород между собой обуславливает их крепость и создает устойчивую среду, в которой действуют гравитационное, магнитное, тектоническое и температурное поля. В верхней части земной коры, где ведутся подземные горные работы, наиболее сильно проявляются гравитационное и тектоническое поля, ибо они приводят к обрушениям горных пород и недостаточной устойчивости подземных горных выработок, осложняют ведение горных работ из-за внезапных выбросов угля, газа и пород, горных ударов, прорывов воды, сдвижений горных пород и провалов земной поверхности.

Крепость горных пород обеспечивает устойчивость подземных горных выработок и возможность осуществления в них различных производственных процессов, связанных с добычей полезных ископаемых. При достаточно крепких и устойчивых горных породах можно обойтись без крепления выработок.

Свойства горных пород растворяются водными растворами или с помощью каких-либо примесей используются для применения геотехнологических способов добычи полезных ископаемых. Свойство передавать тепло используются в геотермальной технологии для извлечения тепла Земли. Свойство внезапно разрушаться при достижении определенного уровня напряжений в горных породах проявляется в горных ударах, внезапных выбросах пород, угля и газа, осложняющих проведение горных работ. Следует при этом отметить, что это же свойство недр используется при проходке подземных горных выработок, когда от массива горных пород отделяются его части с помощью взрывчатых веществ или механически резами рабочего органа горнопроходческих комбайнов.

Твердость горных пород, их истираемость и сопротивление раздавливанию определяют прочность горных пород и обуславливают расход режущего инструмента и взрывчатых материалов при ведении горных работ. Такие свойства горных пород, как анизотропность, слоистость и сланцеватость, однородность, пористость, наличие трещин в глубинных породах, в значительной мере влияют на выход сырья при разработке каменных строительных материалов.

5.2. Мирные взрывы – помощники горняков

5.2.1. Основные понятия

При добыче полезных ископаемых для отделения горной массы от массива и ее дробления повсеместно применяются взрывные работы. Эта технология тесно связана со взрывом. Взрыв – это процесс освобождения большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени. В результате взрыва вещество, заполняющее объем, в котором происходит освобождение энергии, превращается в сильно нагретый газ с очень высоким давлением. Этот газ с большой силой воздействует на окружающую среду, вызывая ее движение. Взрыв в твердой среде сопровождается ее разрушением и дроблением.

Порожденное взрывом движение, при котором происходит резкое повышение давления, плотности и температуры среды, называют взрывной волной. Фронт взрывной волны распространяется по среде с большой скоростью, в результате чего область, охваченная движением, быстро расширяется. Возникновение взрывной волны является характерным следствием взрыва в различных средах.

Взрыв производит механическое воздействие на объекты, расположенные на различных расстояниях от места взрыва. По мере удаления от места взрыва механическое воздействие взрывной волны ослабевает.

Взрывная волна характеризуется изменением давления, плотности и скорости среды с течением времени в различных точках пространства или распределением этих величин в пространстве в фиксированные моменты времени.

Одним из важных параметров, определяющих механическое действие взрывной волны, служит создаваемое волной максимальное давление.

По мере удаления от места взрыва максимальное давление уменьшается, а время действия увеличивается (рис. 5.1).

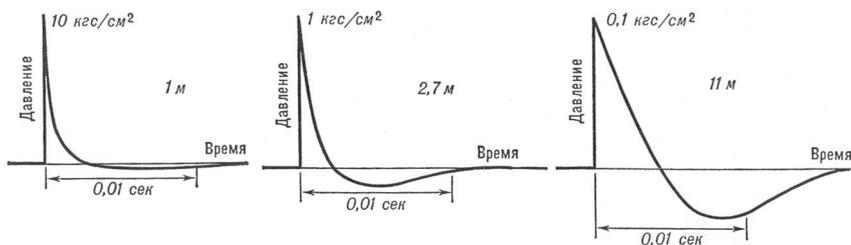


Рис. 5.1. Изменение давления со временем в воздушной взрывной волне на расстояниях 1, 2,7 и 11 м от центра взрыва сферического заряда тринитротолуола массой 1 кг

При распространении взрывной волны в твердых средах ударный фронт исчезает сравнительно быстро, и взрывная волна превращается в ряд последовательных быстро затухающих колебаний, распространяющихся со скоростью упругих волн.

Взрывные работы в горной промышленности выполняются воздействием взрыва на горные породы с целью контролируемого их разрушения и перемещения или изменения структуры и формы. Взрывные работы осуществляются с помощью взрывчатых веществ

(ВВ) и средств взрывания (СВ), создающих начальный импульс для возбуждения взрыва взрывчатых веществ. К средствам взрывания принадлежат капсулы-детонаторы (КД) с огнепроводным шнуром (ОПШ), электродетонаторы (ЭД), а также передающий детонацию на требуемое расстояние – детонирующий шнур (ДШ).

Для размещения ВВ внутри горной породы или полезного ископаемого предварительно создается шпур, скважина или камера.

Шпур – цилиндрическое углубление в горной породе диаметром до 50 мм и глубиной до 6,0 м. Скважина – цилиндрическое углубление в горной породе диаметром свыше 50 мм и глубиной свыше 6,0 м. Камера – горная выработка небольшого поперечного сечения для размещения в ее конце взрывчатых веществ значительных объемов.

5.2.2. История взрывного дела

Взрывное дело, как и горное дело, имеет свою давнюю историю. Взрывные работы известны со времен, когда были изобретены взрывчатые вещества (ВВ).

Первым взрывчатым веществом, которое изобрел человек, был черный (дымный) порох. Имена его открывателей и время так и остались неизвестными. В древние времена порох знали в Китае и Индии. Черный порох в Европе начали использовать в X в. при проведении праздников, так называемых «вечеров огня». Как «метательное средство», порох был известен с XIII в. и в течении нескольких столетий применялся для военных целей. Так, в XV в. порох применяли в минно-подрывном деле для разрушения укреплений противника: при осаде Будапешта (Венгрия) в 1489 г. и Казани (Россия) в 1552 г.

На Руси появление черного пороха относится к XIV в. Первые пороховые заводы, или как их в то время называли, пороховые мельницы, появились в XV в.

Впервые в мирных целях порох, как взрывчатое вещество, был применен в 1548 г., когда взрывом пороховых зарядов было расширено от камней и порогов русло р. Неман.

История применения ВВ в горном деле началась в Словакии на руднике Банска-Штявница при проходке штольни в 1627 г. К концу XVII в. взрывные работы в горной промышленности применялись во многих странах Европы: Чехии – в 1629 г., Саксонии – 1645 г., Англии – 1670 г., Франции – 1679 г. Первые сведения о применении

пороха в горном деле в России приведены в труде великого русского ученого М.В. Ломоносова «О рождении и природе селитры», написанном в 1749 г. В этой работе он дал научное толкование взрывчатого превращения пороха и его действия на разрушаемую среду. В 1835 г. были проведены испытания, направленные на усиление действия пороха своеобразными приемами, представляющими собой зачатки использования кумулятивного эффекта.

Первый период развития взрывного дела характерен примитивной техникой буровых работ, которая, по описанию М. Ломоносова и его современника И. Шлаттера, сводилась к ручному бурению шпуров диаметром 28, 37 и 50 мм и глубиной около 1,0 м. Заряжание шпуров производили рассыпным порохом, а при наличии в шпурах воды – патронированным в бумажной оболочке. Для забойки применяли глину. К этому времени были разработаны некоторые правила безопасности, рекомендовавшие, например, взрывнику не входить в забой тотчас же, если не произошел взрыв заряда пороха.

Первая половина XIX в. ознаменовалась дальнейшим развитием техники взрывных работ: появляются венцовые (крестовые) и другие формы головки буров, уточняются требования к пороху, глубина шпуров увеличивается до 1,5 м. Начинают применять взрывной вруб.

Широкому развитию взрывных работ способствовало создание более мощных взрывчатых веществ. Этому способствовало бурное развитие химии. В конце XVIII и начале XIX в.в. были получены первые новые более эффективные ВВ: в 1837 г. – нитробензол, в 1836 г. – нитронафталин, в 1846 г. – пироксилин.

Большим событием в области создания ВВ было получение в 1846 г. профессором А. Собrero (г. Турин, Италия) азотнокислого эфира глицерина (нитроглицерина) путем обработки глицерина азотной кислотой в присутствии серной кислоты. Это было, по существу, концом эпохи порохов и началом эры мощных ВВ.

В 1853 г. российский академик Н.Н. Зинин и полковник артиллерии В.Ф. Петрушевский разработали технологию изготовления нитроглицерина в больших количествах. Для удобства применения они провели эксперименты по пропитке различных невзрывчатых веществ нитроглицерином и в этом же году предложили несколько видов новых ВВ, аналогичных по составу бурющим динамитам.

Позже в 1863 г. Альфред Бернад Нибец (Швеция) получил динамит. В 1867 г. шведскими химиками И. Ольсеном и И. Норбитом были получены и запатентованы ВВ на основе аммиачной селитры, в дальнейшем названные аммонитами. В 1886 г. профессор Петербургского горного института Н.Н. Чельцов изобрел аммиачно-селитренное ВВ под названием «Громобоев».

Изобретение динамита и других ВВ потребовало создания соответствующих мощных инициаторов. Еще в 1812 г. русский ученый П.Л. Шиллинг предложил электрический способ взрывания и впервые применил электрический воспламенитель с угольным запалом, а в 1839 г. предложил воспламенитель с электрическим мостиком накаливания.

В 1839 г. русский ученый Б.С. Якоби довел электрический способ воспламенения зарядов до практического использования и в 1848 г. разработал первую электрическую взрывную машинку.

В 1831 г. инженером Бикфордом был предложен огнепроводный шнур, положивший начало так называемому огневому способу иницирования зарядов ВВ. В 1879 г. французский ученый Мэссен предложил в качестве средства иницирования ВВ детонирующий шнур.

Н.Н. Зинин и В.Ф. Петрушевский (Россия) установили, что некоторые виды динамитов не взрываются от пламени. Поэтому для усиления воздействия на ВВ они впервые применили в качестве инициатора небольшой заряд черного пороха, от которого взрывались все виды динамитов. Заряд-детонатор усовершенствовал капитан Д.М. Андриевский (Россия). В 1865 г. для полноты взрывания ВВ он применил специальный запал, который представлял собой бумажную гильзу в виде усеченного конуса с закрепленным в ней электровоспламенителем, снаряженную порохом. На торце было углубление, заполненное железными опилками. Это был не только первый в мировой практике электродетонатор, это был первый, хотя и неосознанный, случай практического использования эффекта кумуляции.

В 1868 г. А. Нобель (Швеция) сконструировал капсуль-детонатор в виде медной гильзы с начинкой из гремучей ртути (вместо пороха), открытой в 1799 г. химиком Э. Говардом (в 1815 г. ее применили в оружейных капсулях). В том же году А. Нобель получил патент на «Запал Нобеля». Это был настоящий переворот в горном деле.

В этот период создавалась и буровая техника. В 1861 г. были разработаны передвижные бурильные машины, появляются перфораторы – вращательные бурильные механизмы.

Создание эффективных взрывчатых веществ и средств взрывания позволило в начале XX в. значительно расширить масштабы горного производства, разработать методы ведения взрывных работ.

С развитием открытого способа разработки полезных ископаемых потребовалось увеличение глубины заложения и величины зарядов ВВ. Для этого донную часть глубоких (5–6 м) шпуров взрывами небольших зарядов расширяли до придания ей формы котла вместимостью нескольких десятков кг взрывчатого вещества (так называемые котловые заряды). С 1926 г. на карьерах СССР применяется метод камерных зарядов (массой до нескольких тыс. т ВВ), размещаемых в подземной горной выработке (камере), которую проходят из шурфов, штолен и т. д. Благодаря увеличению количества ВВ на единицу объема взрывающей горной породы (при котловых и камерных зарядах) стало возможным не только дробление пород, но и выброс их с образованием готовых выемок – траншей, каналов, котлованов. Приоритет в развитии метода взрывания камерных зарядов на выброс принадлежал СССР.

Камерные заряды получили широкое распространение и при подземной разработке мощных залежей крепких руд системами с минной отбойкой в Криворожье (заряды от 100 до 5 000 кг размещаются по возможности равномерно в плоскости отбойки). Помимо этого, камерные заряды применяют при разработке целиков и при ликвидации подземных пустот обрушением потолочины. Разнообразному применению метода камерных зарядов и его совершенствованию способствовали методы расчета величины таких зарядов, разработанные М.М. Фроловым и М.М. Боресковым на основе опыта минной войны при защите Севастополя (Крымская кампания 1853–1856 г.г.) и развитие в 50-е годы XX в. в работах Г.И. Покровского.

В эти годы совершенствуется буровая техника, что позволило увеличить диаметр и глубину скважин на карьерах, появилась целесообразность отказа от сосредоточенных камерных зарядов и перехода к скважинным зарядам.

Внедрение отбойки горных пород скважинными зарядами послужило первым шагом к интенсификации взрывного дробления за счет уменьшения количества негабаритных кусков во взорванной

горной массе. Развитие горной техники выдвинуло задачу получения равномерной кусковатости, позволяющей перейти на поточную технологию добычных работ.

Большим прорывом в этом вопросе явилось развитие средств электрического взрывания. Во второй половине XX в. были разработаны электродетонаторы обычной и повышенной иницирующей способности, непридохранительные и предохранительные, по времени срабатывания мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия со сравнительно небольшим временем разброса при срабатывании и высоким уровнем безотказности.

Наступил новый этап в обеспечении интенсификации взрывного дробления горной массы за счет применения короткозамедленного взрывания, перехода к многорядному короткозамедленному взрыванию с масштабом взрыва, достигающим нескольких млн. т; совершенствования схем короткозамедленного взрывания; рассредоточения скважинных зарядов осевыми воздушными промежутками, снижающими пиковое давление взрыва и увеличивающими длительность взрывного импульса; применения способа взрывания на частично необрушенную от предыдущего взрыва горную массу, а также на высоту 2–3 уступов; расчленения заряда скважины на части, взрываемые с внутрискважинным замедлением; наклонных зарядов, параллельных боковой поверхности уступа; совершенствования расчета параметров скважинных зарядов.

В 50-е годы сначала в Швеции, а затем в США, Канаде и СССР был разработан и внедрен метод контурного взрывания, обеспечивающий достижение ровной поверхности отрыва породы по заданному профилю.

Особое место при подземной разработке угольных месторождений заняли вопросы так называемого беспламенного взрывания, обеспечивающего безопасное ведение взрывных работ в шахтах, опасных по газу и пыли.

Вторая половина XX в. для взрывного дела характеризуется разработкой безопасных взрывчатых веществ. В первую очередь, простейших ВВ в виде смесей аммиачной селитры (АС) с горючими добавками. В СССР это были динамоны, в США с добавлением парафина – нитрамоны. В дальнейшем переход на гранулированные АС и жидкую горючую добавку – дизельное топливо (ДТ) привел к созданию нового класса наименее опасных, хорошо сыпучих,

пригодных для механизированного заряжания взрывчатых веществ – игданитов. Применение игданита обеспечило решение задачи механизации заряжания ВВ на открытых и подземных работах.

За счет использования сжатого воздуха, разработаны пневмоустройства для смешения АС и ДТ, их транспортировки и заряжания.

Вслед за игданитом (АС–ДТ) были созданы разнообразные сыпучие гранулированные ВВ заводского изготовления, пригодные для механизированного заряжания. Повышение плотности заряжания и концентрации энергии ВВ в единице объема достигается применением водонаполненных взрывчатых веществ.

В 60-х годах XX века, благодаря усилиям ученых СССР, были разработаны высокопредохранительные ВВ – углениты.

В области разрушения горных пород взрывом, наряду с расширением ассортимента взрывчатых веществ и средств иницирования зарядов, улучшения их качества, велись исследования в направлении совершенствования технологии производства взрывных работ, обеспечивающих полную безопасность и высокие технико-экономические показатели.

При добыче полезных ископаемых взрывные работы являются основным процессом. Эффективность разрушения пород при взрывании в значительной степени определяет производительность последующих технологических процессов – погрузки, транспортирования и т. д. В связи с расширением объемов производства в горно-добычной промышленности совершенствуются техника и технология взрывных работ. Широко внедряются более совершенные и эффективные буровые станки и машины, средства механизации заряжания ВВ, безопасные ВВ, способы управления действием взрыва.

Взрывное дело сделало большой шаг в своем развитии и стало применяемым во многих отраслях промышленности, там где машинам и механизмам не под силу выполнить работу.

5.2.3. Методы и технология взрывных работ

Взрывные работы в горном деле обеспечиваются наличием взрывчатых веществ, средств взрывания, контрольно-измерительной аппаратуры и емкости или полости для размещения заряда. Ниже мы познакомим читателя с основными элементами технологии взрывных работ.

Взрывчатые вещества. Взрывчатые вещества (ВВ) представляют собой высококонцентрированный химический источник энергии. 1 кг ВВ средней мощности высвобождает при взрыве за время 10^{-5} с около $4 \cdot 10^3$ кДж тепловой энергии. Взрывчатыми веществами являются такие вещества или смеси, способные при определенных видах внешнего воздействия к очень быстрому самораспространяющемуся химическому превращению с выделением тепла.

Взрывчатые вещества могут быть твердые, жидкие и газообразные. В горнодобывающей промышленности наиболее широкое применение имеют твердые и жидкие ВВ, называемые конденсированными ВВ.

Сегодня взрывное дело имеет в своем арсенале широкий ассортимент взрывчатых веществ, которые применяются для открытых и подземных работ, для шахт опасных по угольной пыли и газу.

По химическому составу наиболее распространенные ВВ объединяются в следующие группы:

- нитросоединения и их смеси, включая смеси с металлами: тротил (гранулотол), алюмотол, смеси ТГ (тротил-гексоген) и др.;

- аммиачно-селитренные ВВ, содержащие в качестве окислителя аммиачную селитру (нитрат аммония), в том числе:

- динамоны, простейшие ВВ, содержащие в качестве горючего невзрывчатые органические материалы (древесную муку, жидкие нефтепродукты и др.); гранулированные сорта этих ВВ называют гранулитами;

- аммоналы, содержащие в качестве горючего порошок алюминия или других металлов;

- аммониты – смеси аммиачной селитры с нитросоединениями. Двухкомпонентные смеси из гранулированной аммиачной селитры, чешуйчатого или гранулированного тротила называют граммонитами;

- водосодержащие аммиачно-селитренные ВВ – смеси, содержащие водный гель калиевой, аммиачной или натриевой селитры;

- нитроэфировые ВВ – порошкообразные ВВ, содержащие нитроглицерин или нитрогликоли не более 15 %.

В подземных условиях для обводненных шпуров и скважин рекомендуется применять только патронированные ВВ.

На открытых и подземных горных работах в шахтах и рудниках применяют как гранулированные, так и порошкообразные ВВ. Для шахт и рудников, опасных по газу и пыли, применяют предохранительные ВВ.

Предохранительные ВВ (ПВВ) отличаются пониженной способностью воспламенения смеси горючих рудничных газов (метана, водорода) или пыли (угольной, серной и др.) с воздухом в шахтных выработках при производстве взрывных работ. Это свойство достигается тем, что в состав ПВВ вводят специальные добавки соли – пламегасители (хлориды натрия, калия, аммония и др.), которые, как невзрывчатые материалы, понижают температуру продуктов взрыва.

Ниже приведен перечень основных взрывчатых веществ:

для открытых и подземных работ в шахтах и рудниках, не опасных по газу и пыли:

- гранулированные ВВ: зерногранулит, гранулит, граммонал, игданит;

- порошкообразные ВВ: аммонит, аммонал, детонит, динафталит;
для шахт и рудников, опасных по газу и пыли:

- предохранительные ВВ: аммонит АП-5ЖВ, аммонит ПЖВ-20, угленит Э-6, ионит.

Взрывчатые вещества поставляются как в патронированном, так и в рассыпном виде.

Средства взрывания. Для возбуждения детонации зарядов ВВ применяется взрыв небольшого по величине заряда инициирующего ВВ, размещенного в капсуле-детонаторе или электродетонаторе (ЭД). В качестве первичных инициирующих ВВ применяют гремучую ртуть, азид свинца и тетрил, а в качестве вторичных – тетрил, гексоген и ТЭН.

В зависимости от способа возбуждения взрыва ВВ в капсуле-детонаторе и электродетонаторе различают огневое, электроогневое и электрическое инициирование.

Помимо капсулей-детонаторов и электродетонаторов к средствам взрывания относятся огнепроводный шнур (ОПШ), электрозажигательные патроны, детонирующий шнур, электрозажигательные трубки.

Капсоль-детонатор (рис. 5.2) представляют собой цилиндрическую гильзу 1 диаметром 6,9–7,7 мм, снаряженную зарядами первичного 2, 3, 4 и вторичного 6 инициирующего ВВ.

Первичное инициирующее вещество находится в металлической чашечке 5 с отверстием в центре диаметром 2–2,5 мм.

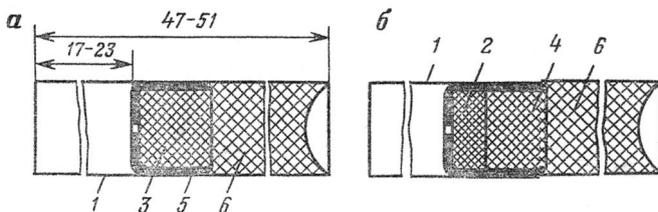


Рис. 5.2. Капсюль-детонатор:

а) – гремучертутно-тетриловый; б) – азидотетриловый;

Гремучертутно-тетриловые КД изготавливают в медных, бумажных или биметаллических гильзах. Они содержат заряд гремучей ртути 3 и тетрила 6 (рис. 5.2, а). Азидотетриловые КД изготавливают в алюминиевых или бумажных гильзах. Они содержат заряд ТНРС 2, азида свинца 4 и тетрила 6 (рис. 5.2, б).

Огнепроводный шнур (ОШ) применяется для подачи луча огня на некоторое расстояние в течение промежутка времени для возбуждения взрыва инициирующего ВВ в капсюле-детонаторе. ОШ представляет собой прессованную из дымного пороха сердцевину с центральной направляющей нитью, завернутой в нитяные оплетки с гидроизоляционными прослойками. Наружный диаметр ОШ составляет 5–6 мм. Для группового зажигания 10–38 отрезков ОШ, применяют зажигательные патроны (рис. 5.3).

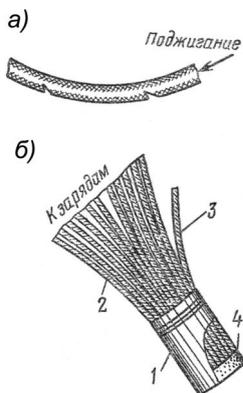


Рис. 5.3. Отрезок огнепроводного шнура (а) и зажигательный патрон (б):

1 – корпус патрона; 2 – отрезки шнуров от зарядов ВВ; 3 – воспламеняющий отрезок;
4 – зажигательный состав

Огневое инициирование применяется при взрывных работах на карьерах, рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли.

При проведении взрывных работ в сложных и небезопасных условиях (при углублении стволов шахт или шурфов, при проходке выработок, имеющих угол наклона свыше 30° и др.) применяют электроогневое инициирование – электрическое поджигание из безопасного места отрезков ОШ с помощью электрозажигателей.

Для группового зажигания применяются электрозажигательные патроны (рис. 5.4), а для зажигания одного отрезка – электрозажигательные трубки (рис. 5.5, а) и электрозажигатели огнепроводного шнура (рис. 5.5, б).

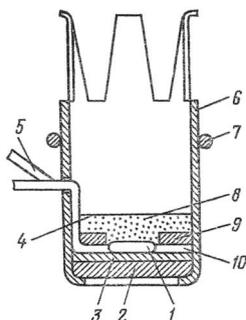


Рис. 5.4. Электрозажигательный патрон ЭЗП-Б:

1 – электровоспламенитель; 2 – дно гильзы; 3 – нижний вкладыш; 4 – слой лака; 5 – выводные провода; 6 – гильза; 7 – резиновое кольцо; 8 – зажигательный состав; 9 – верхний вкладыш; 10 – вкладыш

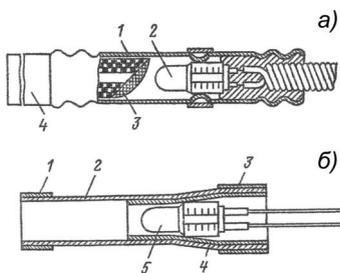


Рис. 5.5. Электрозажигательная трубка ЭЗТ-2 (а):

1 – биметаллическая гильза; 2 – электровоспламенитель; 3 – зажигательный состав; 4 – отрезок ОШ

электрозажигатель огнепроводного шнура ЭЗ-ОШ-Б (б):

1, 3 – стальные втулки; 2 – толстостенная гильза из прочной бумаги; 4 – бумажная втулка; 5 – электровоспламенитель

На рис. 5.6 показана конструкция заряда при огневом и электроогневом взрывании.

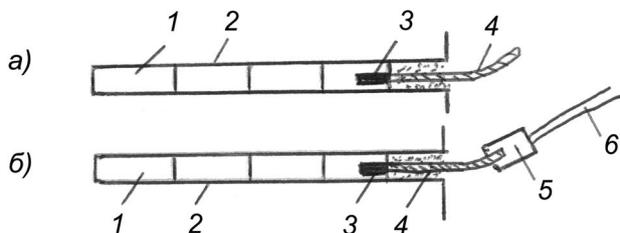


Рис. 5.6. Конструкция заряда:

а) – при огневом; б) – при электроогневом взрывании:

1 – взрывчатое вещество в патронах; 2 – шпур; 3 – капсуль-детонатор; 4 – огнепроводный шпур; 5 – электрозажигатель; 6 – провода

Наиболее прогрессивный и безопасный метод, который нашел применение в горном деле для инициирования зарядов – электрический. К средствам электрического взрывания относятся: электродетонаторы, взрывные и контрольно-измерительные приборы, магистральные провода.

В зависимости от времени задержки различают электродетонаторы мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия.

Электродетонаторы мгновенного (рис. 5.7) и короткозамедленного действия (рис. 5.8) представляют собой металлическую гильзу, внутри которой расположены бризантное и инициирующее вещества и электровоспламенитель.

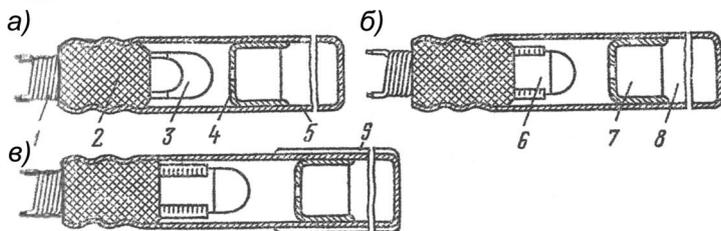


Рис. 5.7. Электродетонаторы мгновенного действия:

а), б) – неприохранительные; в) – предохранительные:

1 – концевые провода; 2 – пластиковая пробка; 3 – эластичный мостик; 4 – колпачок;
5 – гильза; 6 – жесткий мостик; 7 – инициирующее ВВ; 8 – бризантное ВВ;
9 – предохранительное покрытие

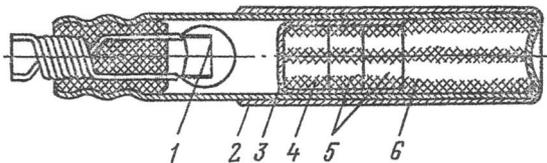


Рис. 5.8. Электродетонатор короткозамедленного действия (ЭД-КЗ-ПМ-25):

1 – эластичный электровоспламенитель; 2 – предохранительное покрытие; 3 – колпачок; 4 – замедляющий состав; 5 – инициирующее ВВ; 6 – бризантное ВВ

Взрыв инициирующего вещества электродетонатора происходит посредством нагревания мостика накаливания и сгорания воспламеняющего состава вокруг него. Замедление в электродетонаторе достигается с помощью столбика замедляющего состава, размещаемого между электровоспламенителем и инициирующим ВВ.

Электродетонаторы замедленного действия (ЭД-ЗД) имеют интервалы замедления от 0,5 до 10 с, короткозамедленного (ЭД-КЗ) – 25, 50, 75, 100, 125 мс.

С применением ЭД-КЗ осуществляется короткозамедленное взрывание, при котором один заряд по отношению к другому взрывается с замедлением, что обеспечивает высокую степень дробления, повышает производительность погрузочных машин на открытых разработках, в шахтах и рудниках, а также создает хорошее оконтуривание при проходке горных выработок.

В качестве источника для инициирования зарядов применяют взрывные машинки и взрывные приборы. На рис. 5.9 показан один из взрывных приборов.

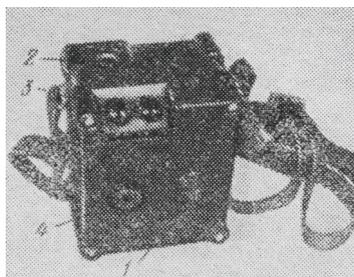


Рис. 5.9. Взрывной прибор КВП-1/100 м:

1 – корпус; 2 – окно сигнальной лампочки; 3 – линейные зажимы; 4 – установка ключа «Взрыв»

При использовании осветительной или силовой электролинии применяют взрывные станции (рис. 5.10).

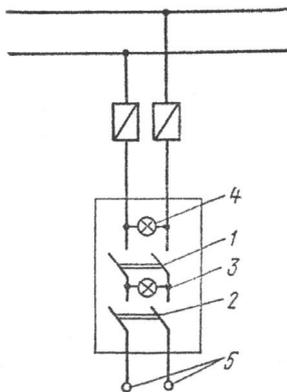


Рис. 5.10. Схема взрывной станции:

1 – вспомогательный рубильник; 2 – основной рубильник; 3, 4 – сигнальные лампы;
5 – зажимы

Методы взрывных работ. Особенности разработки месторождений полезных ископаемых с учетом залегания пластов и залежей, их мощностей, наличия различных нарушений, выдвигают необходимость применения различных методов ведения взрывных работ.

Существуют методы шпуровых, скважинных, камерных, котловых (малокамерных) и наружных зарядов.

Метод шпуровых зарядов характеризуется удлиненными зарядами в шпурах. Применяется: на подземных разработках при проведении горных выработок и частично при отбойке полезных ископаемых в очистных выработках; на открытых разработках при мощности пласта полезного ископаемого до 6 м; при селективной добыче, когда мощность отдельных пластов невелика; при разработке ценных полезных ископаемых, когда необходимо сохранить их структуру или избежать дробления.

Метод скважинных зарядов характеризуется удлиненными зарядами, размещаемыми в скважинах диаметром 75–300 мм. Применяется на открытых разработках при высоте уступа более 6 м, а также на подземных разработках для отбойки руды.

Метод камерных зарядов характеризуется применением сосредоточенных зарядов величиной от нескольких тонн до нескольких тысяч тонн, размещаемых в специально пройденных выработках – камерах. Применяется: на подземных разработках в рудной промышленности при отбойке полезных ископаемых, при взрывании междукамерных целиков и поглощении пустот после отработки камер; на открытых разработках при рыхлении больших масс породы на карьерах строительных материалов и при строительных работах.

Метод котловых (малокамерных) зарядов заключается в применении небольших зарядов ВВ, размещенных в котле, образованном в нижней части скважины. Применяется на открытых разработках при высоте уступа не более 6 м; глубина размещения котла не должна превышать 5 м.

Метод наружных (накладных) зарядов характеризуется применением зарядов, накладываемых на объект разрушения. Применяется: при дроблении негабаритных камней на открытых разработках; на горизонте грохочения при подземных разработках, а также при ликвидации заторов выше горизонта грохочения.

На рис. 5.11 показаны схемы размещения зарядов и методы взрывных работ.

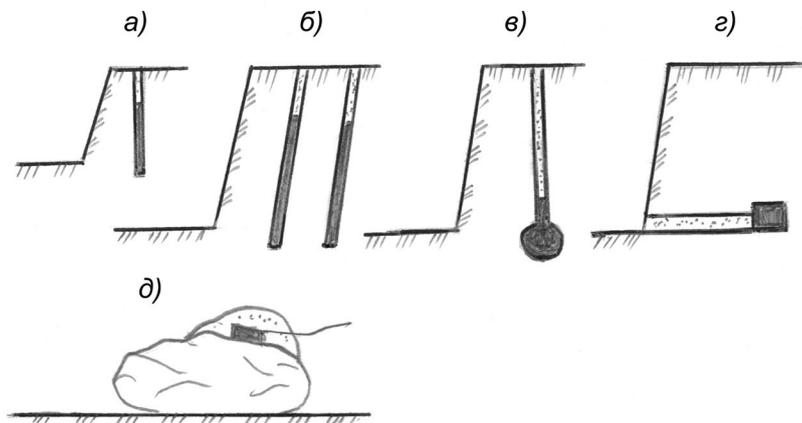


Рис. 5.11. Методы взрывных работ:

- а) – шпуровых зарядов; б) – скважинных зарядов; в) – котловых зарядов;
 г) – камерных зарядов; д) – накладных зарядов

Буровые работы. Для размещения взрывчатого вещества необходимо провести бурение шпуров и скважин. В зависимости от физико-механических свойств пород, бурение шпуров и скважин в условиях открытых и подземных работ выполняется различными способами: вращательное бурение, ударное бурение и ударно-вращательное бурение.

Вращательное бурение применяется в породах сравнительно небольшой крепости (коэффициент крепости по Протождяковому $f = 6 - 8$). В процессе бурения буровой инструмент непрерывно вращается вокруг своей оси, совпадающей с осью скважины (шпура) и одновременно подается вдоль нее на забой скважины. Разрушение породы производится в основном скалыванием с поверхности.

Ударное бурение используется в породах с коэффициентом крепости 6 и выше, требующих значительных усилий на единицу лезвия бурового инструмента.

При ударно-вращательном бурении происходит непрерывное разрушение породы без отрыва бурового инструмента от забоя шпура или скважины. Осуществляется буровыми агрегатами, состоящими из отдельных механизмов ударного действия.

Бурение шпуров и скважин выполняется различными бурильными машинами вращательного, ударно-поворотного, ударно-вращательного и термомеханического действия.

Для бурения шпуров в скальных породах глубиной до 2,5 м применяются ручные бурильные молотки типа ПР, а шпуры глубиной более 2,5 м в средних и крепких породах бурят с использованием тяжелых колонковых бурильных молотков.

При бурении пород средней крепости с небольшим количеством включений твердых пород применяют коронки с режущими элементами, армированными пластинками твердого сплава (рис. 5.12, а). Коронки спиралевидной формы (рис. 5.12, б) способствуют эффективной подаче буровой мелочи от забоя скважины к шнекам.

При бурении скважин в породах выше средней крепости применяют шарошечные долота (рис. 5.12, в) диаметром 76 мм.

Для бурения шпуров и скважин широко применяются самоходные бурильные машины БТС-60, БТС-150, БМ-276, БМ-253 (рис. 5.13).

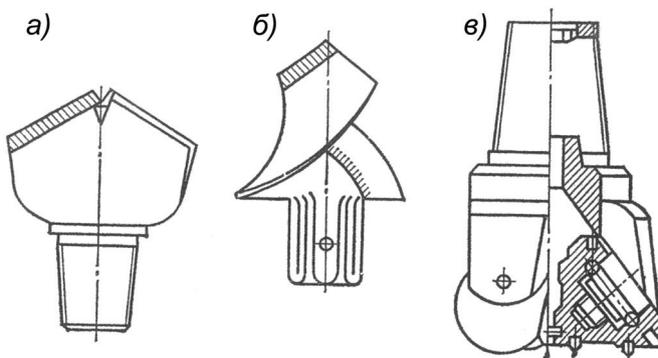


Рис. 5.12. Буровые коронки для вращательного бурения

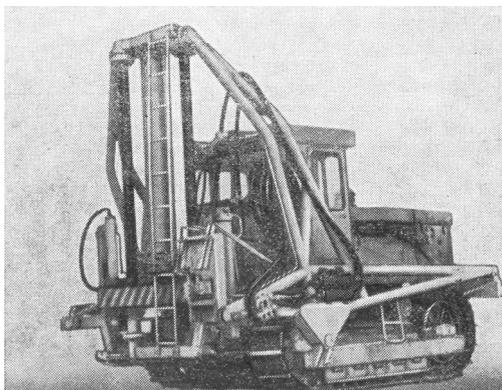
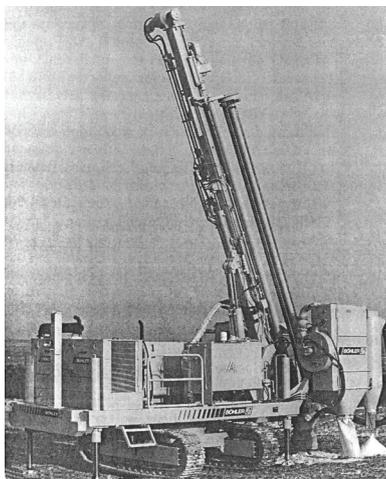


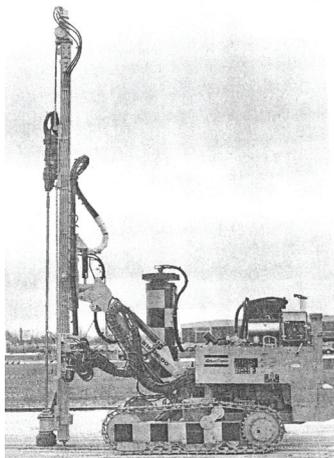
Рис. 5.13. Бурильная машина БМ-253

Буровым инструментом для данного типа буровых машин является трехшарошечное долото. С 60-х годов прошлого века в СССР был разработан типовой ряд шарошечных станков типа СБШ для бурения взрывных скважин диаметром 200–300 мм и глубиной до 30 м. Этими станками обеспечивается производительность бурения 20–70 м в смену.

Широкое развитие буровая техника получила во многих странах мира. Для бурения шпуров и скважин на открытых горных работах применяются различные типы машин (рис. 5.14).



а)



б)

Рис. 5.14. Образцы буровых машин:

а) – буровая машина STCD 222 (Австрия); б) – буровая машина ROC 512HC-00 (Швеция)

При подземной разработке наибольшее распространение имеют: бурение бурильными молотками и электросверлами – при разработке угольных месторождений; бурильными молотками, погружными пневмоударниками, шарошечными станками – при разработке рудных месторождений.

Выбор бурильных машин для проходки горизонтальных выработок осуществляется исходя из физико-механических свойств горных пород, параметров выработки и метода взрывных работ. При проходке выработок по породам с коэффициентом крепости $f = 4-6$ применяется вращательное бурение. Для бурения шпуров в породах с $f = 3-4$ применяются ручные электросверла, при $f = 5-6$ – колонковые. При вращательном бурении шпуров применяются резцы с лезвиями, армированными пластинками твердого сплава типа ВК (рис. 5.15).

Для бурения шпуров в крепких горных породах с $f = 8-10$ применяются ручные бурильные молотки, оборудованные приспособлением для их установки на пневмоподдержках и колонках типа ПР и колонковые бурильные машины типа ПК, устанавливаемые на буровых тележках и манипуляторах.

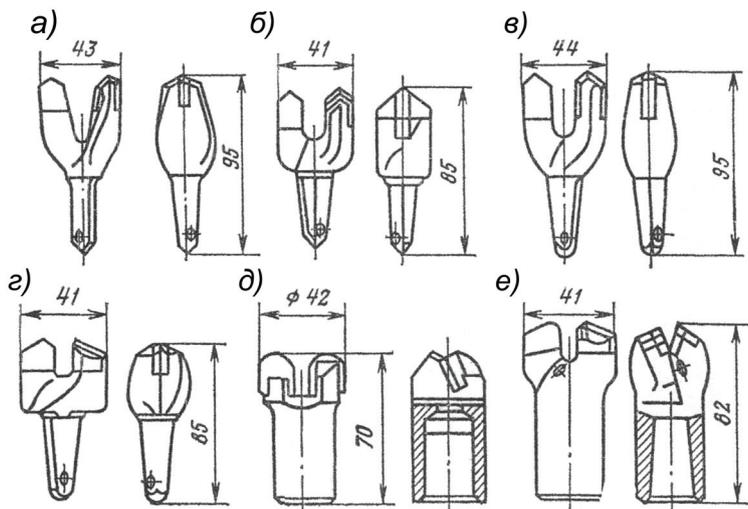


Рис. 5.15. Конструкция резцов для вращательного бурения:
а)–в) – для слабых пород; г)–е) – для крепких пород

В горной практике широко применяются установки, полностью механизующие процесс бурения и оснащенные бурильными машинами вращательно-ударного действия (рис. 5.16).

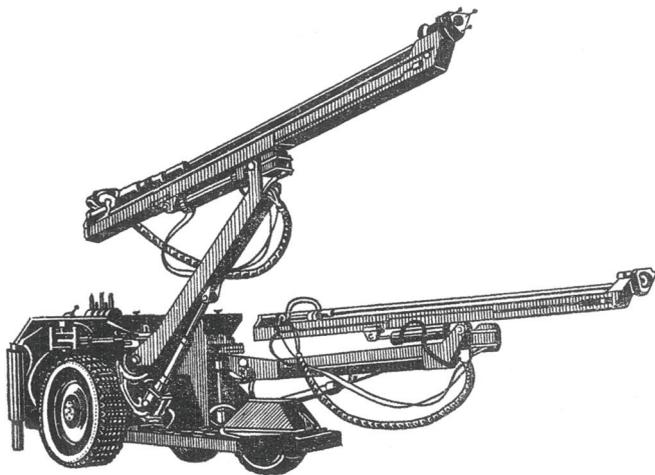


Рис. 5.16. Бурильная установка СБКН

Принципиальная особенность вращательно-ударного способа бурения шпуров заключается в одновременном использовании для разрушения породы удара, крутящего момента и осевого усилия на бурильный инструмент. Данный способ позволяет бурить шпуры с высокой скоростью в породах с $f = 12-14$ при нормальной стойкости бурильного инструмента.

Развитие горной промышленности требует увеличения производительности бурения в 2–7 раз. Для этого необходимо совершенствование механических способов бурения и изыскания новых. Над этим работают ученые и конструкторы во многих странах.

Заряжание шпуров и скважин. После бурения шпуров и скважин приступают к их заряжанию взрывчатыми веществами. Эти работы ведутся с помощью различных типов пневмозарядчиков, зарядных машин и установок, обеспечивающих механизацию и безопасность работ.

Механизированное заряжание шпуров и скважин имеет ряд достоинств. Важным достоинством механизированного заряжания является увеличение плотности заряда в шпурах и скважинах с 0,8–0,9 до 1,0–1,15 г/см³. Это обеспечивает размещение большего заряда ВВ в одном шпуре или скважине и, как следствие, снижение расходов на буровые работы (при постоянстве коэффициента заряжания и удельного расхода ВВ), а также улучшение эффекта взрыва, особенно при применении ВВ средней мощности в крепких породах. Улучшение качества заряжания позволяет применять в зарядах небольшого диаметра более дешевые гранулированные ВВ.

Для заряжания шпуров и скважин в подземных рудниках зарядные машины и устройства разделены на 5 групп.

I группа – зарядчики для шпуров диаметром 32–46 мм, длиной до 2 м и расходом ВВ на взрыв до 50 кг в выработках с высотой забоя 2 м при максимальной вместимости шпура 5 кг.

II группа – зарядчики для шпуров и скважин диаметром 32–65 мм длиной 5 м, расходом ВВ на один взрыв до 800 кг и максимальной вместимостью шпура или скважины не более 40 кг.

III группа – зарядные устройства и машины для скважин диаметром 56–125 мм, глубиной до 50 м со сменной производительностью до 4 000 кг при максимальной вместимости скважин до 120–150 кг.

IV группа – зарядные устройства и машины для скважин диаметром до 200 мм, для массовых взрывов со сменной

производительностью более 4 000 кг при максимальной вместимости скважин до 400 кг.

V группа – зарядно-доставочные самоходные машины предназначенные для доставки ВВ в забой и заряжания шпуров в выработках площадью сечения более 16 м² при высоте забоя 3,5 м и более и объема заряжания шпуров до 1 000–1 200 кг/смену, а также в скважину любого направления диаметром 56–200 мм.

Конструкция зарядчика первой группы «Курама» представлена на рис. 5.17.

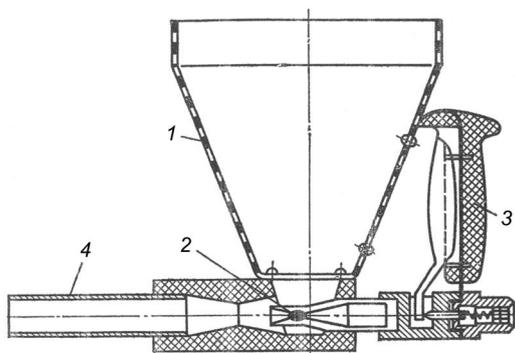


Рис. 5.17. Схема зарядчика «Курама»:

1 – бункер; 2 – эжектор, 3 – клапанное устройство с ручным управлением;
4 – зарядная трубка;

Процесс заряжания зарядчиком следующий: после подключения воздушного шланга и продувки зарядчика в корпус засыпается ВВ. Зарядная трубка вводится в шпур и после упора в патрон-боевик или забой отводится назад на 10–15 см. Нажатием рычага ручного управления открывается воздушный клапан. Зарядчиком управляет один человек.

Для транспортирования и заряжания скважин гранулированными ВВ (игданитом, гранулитом) применяются зарядно-доставочные машины типа ЗДУ (рис. 5.18).

Установка обычно располагается в горизонтальной выработке и от нее до места заряжания прокладываются магистрали зарядных шлангов и дистанционного управления. Зарядный шланг пропускается через пневмопробку, служащую для герметизации устья скважин и для пылеулавливания при заряжании.

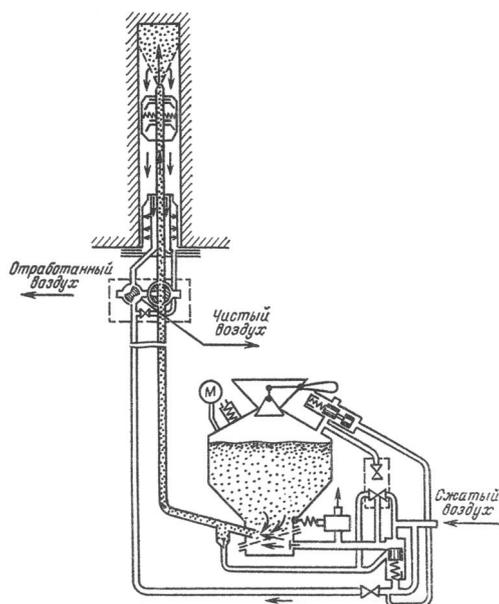


Рис. 5.18. Схема установки ЗДУ-50

По мере заполнения скважины зарядный шланг вручную или автоматически выводится из скважины с тем, чтобы расстояние между заряженной частью скважины и соплом зарядной головки находилось в пределах 0,5–1,0 м в зависимости от отношения диаметра скважины к диаметру сопла. В этом случае плотность заряжения будет максимальной, а вынос частиц ВВ минимальным. Производительность установки 44–55 кг/мин.

В настоящее время на карьерах для зарядки взрывных скважин, имеющих большую единичную мощность, применяются самоходные комплексы машин: зарядные, смесительно-зарядные для гранулированных и водосодержащих ВВ. На рис. 5.19 приведена зарядная машина МЗ-8.

Машина МЗ-8 представляет собой бункер, смонтированный на автомобиле, с размещенными внутри него пневматическими диафрагмами для перемещения ВВ. Взрывчатое вещество из бункера самотеком поступает в скважину. На машине смонтирована приставка для изготовления игданита. Грузоподъемность машины МЗ-8 – 7 т, производительность – 650 кг/мин.

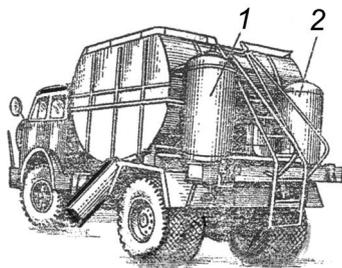


Рис. 5.19. Зарядная машина МЗ-8 с приставками для приготовления игданита: 1 и 2 – емкости для жидкого горючего и порошкообразной добавки, соответственно

5.3. Добыча полезных ископаемых открытым способом

5.3.1. Общие сведения

Когда полезные ископаемые выходят на поверхность, или залегают под небольшим (до 80–120 м) слоем пустых пород, они разрабатываются открытым методом. Этот метод разработки широко применяют при добыче угля, руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья и строительных материалов.

Открытая добыча полезных ископаемых была известна человечеству с давних времен и датируется 6-м тыс. до н. э. Полиметаллические руды для выплавки бронзы извлекались открытым способом в 4-м тыс. до н. э. в Индии, на Синайском полуострове, в районе Кавказа, в Северной Эфиопии и др. Во 2-м тыс. до н. э. в Индии и на Ближнем Востоке открытым способом добывали железные руды.

В средние века в значительных масштабах осуществлялась открытая разработка месторождений руд цветных металлов в Испании, мрамора в Италии, медных и железных руд на территории России (Урал).

Начиная с XX века, в связи с развитием машинной техники, открытая разработка месторождений применяется во многих странах и в первую очередь в США, Германии, России, Канаде и др.

Открытая разработка месторождений обеспечивает 60–65 % мирового потребления рудного и нерудного сырья и 30–35 % твердого топлива. Это объясняется экономической эффективностью открытой разработки. Стоимость открытой добычи угля в 2,5–3,0, руды в 1,5–2,0 раза ниже, чем при подземной разработке

месторождений, а производительность труда в 2–3 раза выше. При использовании мощного горного и транспортного оборудования, средств автоматизации и вычислительной техники открытыми работами осваиваются крупные месторождения с низким содержанием металла в руде и тем самым увеличиваются запасы дефицитных сырьевых ресурсов. По сравнению с подземной разработкой потери полезного ископаемого снижаются в 4–5 раз. В связи с этим генеральное направление развития горнодобывающей промышленности многих стран – рост добычи открытым способом.

Данные об удельном весе открытой разработки месторождений в общей добыче по отраслям горнодобывающей промышленности СССР приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8. Удельный вес открытой разработки месторождений в общей добыче по отраслям горнодобывающей промышленности

Отрасль горнодобывающей промышленности	Удельный вес, %
Угольная	28,3
Железорудная	79,2
Марганцеворудная	61,0
Цветных металлов	67,0
Горно-химическая	56,0

На базе открытой разработки месторождений создаются крупные комплексы по добыче, переработке и потреблению сырья, отличающиеся высокой концентрацией производства, развитой сетью транспортных коммуникаций, минимальным расстоянием перевозок сырья и низкими затратами на производство.

В странах СНГ открытая разработка полезных ископаемых базируется на разработке углей Кузнецкого, Канско-Ачинского бассейнов (Россия), добыче железной руды в Криворожском бассейне (Украина), Курской магнитной аномалии (Россия), Соколовско-Сарбайском и Кагарском месторождениях (Казахстан). Добыча руд цветных металлов открытым способом осуществляется в Сибири и на Урале.

В среднем в мире открытым способом добывается примерно 30 % угля, около 75 % железных руд, до 80 % руд цветных металлов; свыше 90 % неметаллических полезных ископаемых (асбест, графит, каолин, слюда, тальк), почти 100 % нерудных строительных

материалов. Наибольшее количество открытых разработок имеется в США; открытым способом ведется добыча полезных ископаемых в Австралии, странах Южной Америки (Бразилии, Венесуэле и др.), Канаде, Китае, Европе (ФРГ, ПНР, Чехии и др.).

Добыча полезных ископаемых открытым способом ведется на карьерах (рис. 5.20).



Рис. 5.20. Общий вид карьера

Глубина отдельных карьеров достигает нескольких сотен метров. Так, в СССР карьеры проектировались глубиной 500–700 м. Например, глубина Корнинского карьера составляет 300 м.

Карьеры представляют собой крупные комплексы с годовой производительностью 40–50 млн. т по полезному ископаемому и свыше 100 млн. т по вскрышным породам.

5.3.2. Технология открытых горных работ

Открытая разработка месторождений полезных ископаемых включает следующие этапы: подготовка поверхности, осушение месторождения, вскрышные работы, добычные работы, восстановление земель, нарушенных горными работами (рекультивация).

Вскрышные работы, обеспечивающие доступ к полезному ископаемому, заключаются в удалении пустых пород, покрывающих или вмещающих полезное ископаемое. При этом осуществляется проведение капитальных и разрезных траншей (рис. 5.21).

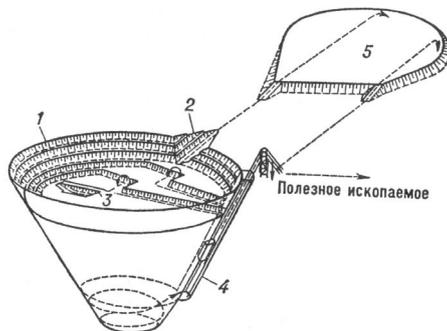


Рис. 5.21. Вскрытие месторождения при открытой разработке:

1 – карьер; 2 – капитальная траншея; 3 – разрезная траншея; 4 – наклонная выработка для транспортировки полезного ископаемого; 5 – отвал пустых пород

Капитальные траншеи представляют собой открытые выработки с поперечным сечением ступенчатой, трапециевидальной или треугольной формы, проводимые с поверхности земли или от разрабатываемой части карьера к вновь создаваемым рабочим горизонтам. Непосредственным продолжением капитальной траншеи является горизонтальная выработка с трапециевидальным (треугольным) поперечным сечением, так называемая разрезная траншея, проводимая для создания первоначального фронта горных работ.

Разработка вскрышных пород и полезного ископаемого ведется уступами. На уступах размещаются все механизмы и оборудование – драглайны, экскаваторы, буровые станки (рис. 5.22).

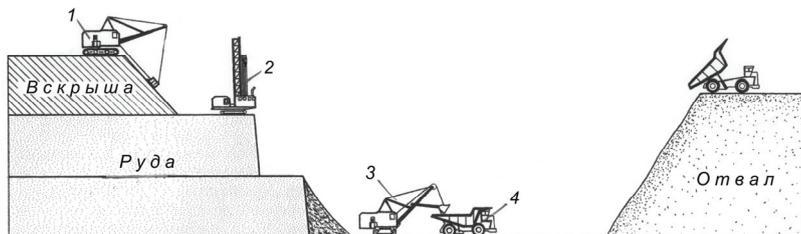


Рис. 5.22. Схема размещения оборудования и механизмов в карьере по добыче руды:

1 – драглайн; 2 – буровая машина; 3 – экскаватор; 4 – автосамосвал

Верхние уступы опережают нижние. При разработке горизонтальных залежей глубина карьера постоянна, а подвигание уступов ведет к увеличению в плане выработанного пространства карьера, в котором обычно размещаются вскрышные породы. Горные работы на наклонных и крутопадающих залежах обуславливают углубление карьера и создание (нарезку) новых уступов путем проходки разрезных траншей; при этом необходима опережающая отработка вышележащих уступов. Для обеспечения транспортной связи между поверхностью и забоями в карьере проводятся наклонные капитальные траншеи. Строительство карьеров предусматривает вскрытие и нарезку уступов по залежи при опережающей отработке уступов в покрывающих вскрышных породах и сооружение подъездных транспортных коммуникаций.

Вскрышные и добычные работы являются основными технологическими процессами. Выемка и погрузка горных пород и полезного ископаемого ведется в зависимости от залегания и мощности пласта или залежи и их физико-механических свойств. Осуществляется с помощью взрывных работ или экскаваторами и драглайнами, скреперами и погрузчиками.

Горную массу перемещают из забоя средствами карьерного транспорта. Массив, сложенный некрепкими горными породами, не требует предварительного рыхления. В этом случае отбойка и погрузка составляют единый процесс, осуществляемый экскаваторами, скреперами, погрузчиками, бульдозерами или другими механическими средствами, либо с помощью гидромеханизации.

Полезное ископаемое транспортируется на склады или места их переработки, пустая порода – в отвалы вскрышных пород. Объем пустых пород при разработке открытым способом обычно значительно превышает объем добываемого полезного ископаемого. Отношение этих объемов характеризуется коэффициентом вскрыши, который иногда достигает 25, т. е. на 1 т полезного ископаемого приходится 25 т вскрышных пород.

Технология открытой разработки полезных ископаемых осуществляется по трем видам: цикличной, циклично-поточной и поточной. При цикличной технологии процессы выемки и транспортирования прерываются паузами.

При циклично-поточной технологии выемка осуществляется машинами цикличного действия – одноковшовыми экскаваторами

или погрузчиками, а перемещение – ленточными конвейерами или сочетанием конвейерного транспорта с автомобильным (иногда с применением самоходных дробильных агрегатов или полустационарных и стационарных дробильных, дробильно-сортировочных или сортировочных установок) или железнодорожным транспортом (рис. 5.23).

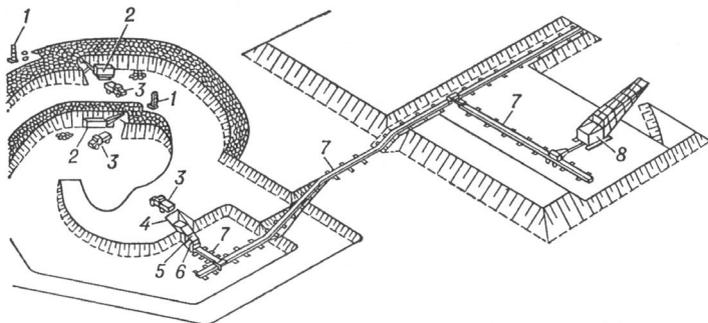


Рис. 5.23. Циклично-поточная технология открытой разработки месторождений:
 1 – буровой станок; 2 – экскаватор; 3 – автосамосвал; 4 – бункер; 5 – грохот; 6 – дробилка;
 7 – ленточный конвейер; 8 – перегружатель

На рис. 5.24 приведена схема размещения оборудования при добыче угля.

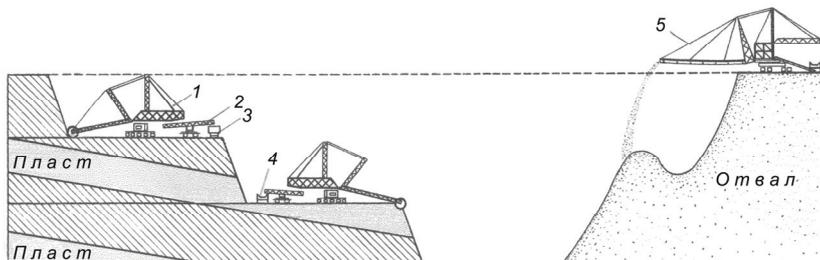


Рис. 5.24. Схема размещения оборудования и механизмов на уступах при добыче угля:

- 1 – драглайн; 2 – перегружатель; 3 – рельсовый путь с вагонами; 4 – транспортер;
 5 – транспортно-отвальный мост

При поточной технологии процессы отбойки, выемки, транспортировки, разгрузки выполняются механизмами непрерывного действия: роторными, многочерпаковыми экскаваторами, ленточными конвейерами или гидромеханизацией.

Техника непрерывного действия при поточной технологии создается на базе комплекса оборудования с роторными экскаваторами производительностью 630, 1 250, 2 500, 5 000, 10 000 и 12 500 м³/час. На угольных карьерах работают мощные роторные экскаваторы для выемки угля и вскрышных пород (рис. 5.25).



Рис. 5.25. Роторный экскаватор большой мощности

Выбор рациональных параметров открытой разработки месторождений и оборудования производится с учетом климатических особенностей района разработки, свойств горных пород, запасов полезного ископаемого, формы месторождения и др., а также требований, предъявляемых к качеству готовой продукции.

Порядок открытых горных работ, обеспечивающих экономичную и безопасную эксплуатацию месторождения, называется системой разработки.

Существует ряд классификаций систем разработки. Наиболее распространена классификация, разработанная академиком Н.В. Мельниковым. Классификация основана на способе перемещения пустых пород вскрыши в отвалы и типе применяемого оборудования и состоит из 5 групп:

- бестранспортные системы, при которых вскрышные породы перемещаются из забоя в выработанное пространство вскрышным экскаватором.

- транспортно-отвальные, характеризующиеся перемещением вскрышных пород в отвалы транспортно-отвальными мостами или отвалообразователями. Погрузка породы на ленточные конвейеры транспортно-отвальных мостов и консольных отвалообразователей

осуществляется обычно многочерпаковыми, а иногда одноковшовыми экскаваторами.

- транспортные системы, при которых перемещение пород во внутренние (расположенные в выработанном пространстве) или внешние (расположенные за границами карьера) отвалы производится железнодорожным, автомобильным, конвейерным, скиповым и комбинированным транспортом.

- специальные системы, при которых вскрышные породы удаляются экскаваторами, бульдозерами, колесными скреперами или средствами гидромеханизации.

- комбинированные системы, при которых вскрышные породы верхней зоны месторождения средствами транспорта вывозятся на внешний или внутренний отвалы; породы нижней зоны перемещаются во внутренние отвалы экскаваторами, транспортно-отвальными мостами или отвалообразователями.

При добыче руд наибольшее распространение имеет транспортная система, применяющая транспортные средства большой грузоподъемности (например, автосамосвалы с емкостью кузова свыше 100 м^3) и экскаваторы с большими параметрами (емкость ковша мехлопаты до 20 м^3). При добыче угля в США и ФРГ распространена бестранспортная система разработки с экскаваторами больших параметров с емкостью ковша до 150 м^3 , драглайнами – до 160 м^3 и мощными транспортно-отвальными комплексами (рис. 5.26).



Рис. 5.26. Транспортно-отвальный комплекс (ФРГ)

При добыче крепких полезных ископаемых отбойка горной массы ведется с применением взрывных работ.

На карьерах применяют отбойку горной массы вертикальными и наклонными скважинными зарядами диаметром 100–320 мм, шпуровыми зарядами диаметром до 70 мм и редко – камерными.

Бурение скважин осуществляется буровыми станками различных конструкций и типов (рис. 5.27).



Рис. 5.27. Буровые работы в карьере

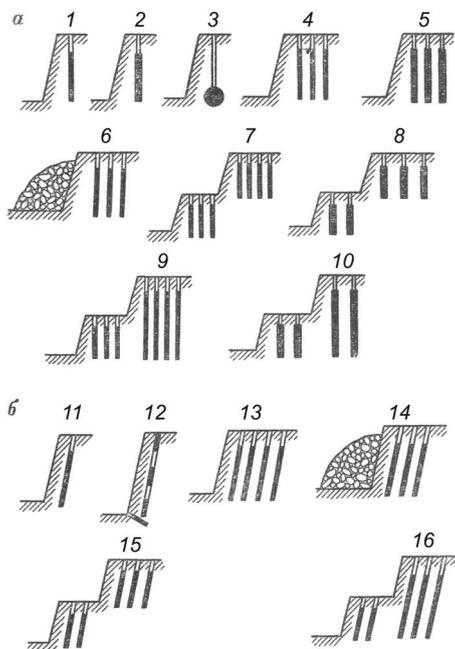


Рис. 5.28. Схемы расположения вертикальных (а) и наклонных (б) скважин

При отбойке горной массы скважинными зарядами применяют различные конструкции зарядов и их расположение (рис. 5.28).

В зависимости от объема взрываемай массы расположение скважин может быть однорядное (1, 2, 11, 12) и многорядное (4–10, 13–16). В условиях трудновзрываемай полезных ископаемай применяются котловые заряды (3) с размещением котла в нижней части уступа и заряды с воздушными промежутками (12).

Производительность погрузочных машин и механизмов напрямую зависит от качества дробления горной массы при взрыве. Это достигается широким применением короткозамедленного взрывания зарядов. На открытых разработках применяются различные схемы короткозамедленного взрывания (рис. 5.29).

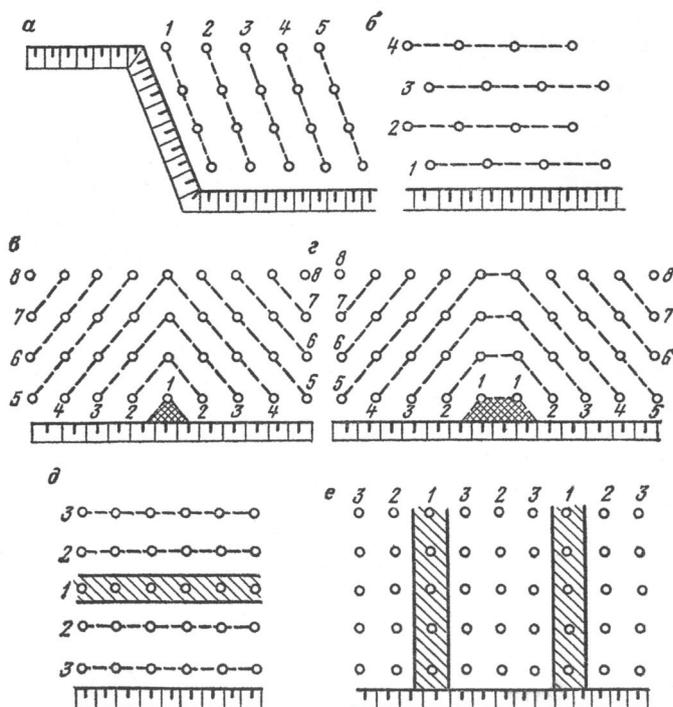


Рис. 5.29. Схемы короткозамедленного взрывания зарядов (цифрами указана последовательность взрывания):

а, б – порядные схемы, *в* – клиновидный вруб; *г* – трапециевидный вруб; *д* – продольный вруб; *е* – поперечный вруб

На карьерах по добыче строительных материалов в зависимости от крепости пород применяют различные технологии (рис. 5.30).



Рис. 5.30. Карьер по добыче каолина (ФРГ)

Одним из основных производственных процессов в технологии открытых разработок является перемещение карьерных грузов – карьерный транспорт.

Основной карьерный груз – горная масса (полезное ископаемое или пустые породы). Начальный пункт – забой, конечный – место разгрузки (отвалы для пустых пород, некондиционных руд и приемные бункера погрузочных станций, дробильные, обогатительные, брикетные фабрики, временные или постоянные склады – для полезного ископаемого).

Особенностями карьерного транспорта являются большие объемы перевозок (например, при расстоянии до 15–20 км на карьерах перемещается от нескольких десятков тысяч до десятков млн. тонн грузов в год), а также односторонняя направленность перемещения от забоев к пунктам приема грузов, большие уклоны на трассе, нестационарность пунктов погрузки горной массы и пунктов приема пустых пород.

Карьерный транспорт – связующее звено всех технологических процессов разработки горных пород в карьере; на него приходится около половины всех трудовых и стоимостных затрат на добычу полезного ископаемого.

Все виды карьерного транспорта делятся на две группы: транспорт прерывного действия – железнодорожный, автомобильный (рис. 5.31) и непрерывного – конвейерный (рис. 5.32), канатные дороги (рис. 5.33) и транспортно-отвальные мосты (рис. 5.34).



Рис. 5.31. Погрузка горной массы в забое карьера на автотранспорт

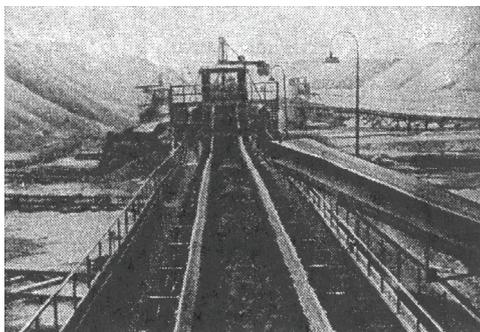


Рис. 5.32. Перемещение вскрышных пород конвейерным транспортом

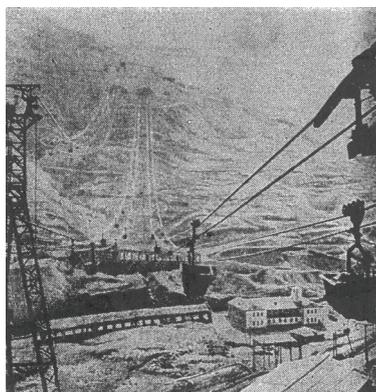


Рис. 5.33. Подвесная канатная дорога для транспортировки руды в горных условиях



Рис. 5.34. Транспортно-отвальный мост на угольном карьере (ФРГ)

Вследствие изменяющихся условий как в глубоких, так и в нагорных карьерах широко применяют комбинации различных видов транспорта.

5.4. Подземная добыча полезных ископаемых

Подземным (шахтным) называется способ добычи полезных ископаемых с помощью подземных горных выработок. Подземный способ широко применяется при добыче углей, сланцев, рудных и нерудных ископаемых, горно-химического сырья, солей, россыпей.

В процессе разработки месторождений подземным способом выделяют три стадии горных работ: вскрытие, подготовку и очистную выемку.

Под вскрытием понимают проходку комплекса подземных горных выработок, открывающих доступ с поверхности земли и создающих возможность проведения подготовительных выработок для подготовки и добычи полезного ископаемого.

Способы вскрытия определяют структуру шахты или рудника, пространственное расположение основных вскрывающих выработок, транспортную связь забоев с поверхностью, порядок и направление отработки месторождения.

Весь технологический процесс по добыче полезных ископаемых подземным способом включает: проведение горных выработок, их крепление, подготовку полезного ископаемого к выемке и саму выемку (отбойку, доставку, погрузку, перевозку горной массы

подземным транспортом и подъем на поверхность), организацию водоотлива и проветривание шахты.

5.4.1. Проходка горных выработок

Проходка горных выработок – это процесс искусственного образования в земной коре полостей путем выемки горных пород для вскрытия месторождения, проведения добычных работ, транспортировки, вентиляции, водоотлива. Этим целям служат: шахтные стволы, штольни, квершлагги, горизонтальные и наклонные выработки (штреки, бремсберги, уклоны) и др.

Проходка стволов. Шахтные стволы – главные горные выработки. Они сооружаются на первом этапе строительства шахты или рудника. От них и разворачиваются основные горные работы. Глубина вертикальных стволов составляет до 1 200 м и более. Поперечное сечение стволов прямоугольное или круглой формы с диаметром до 8,0 м.

В зависимости от физико-механических свойств пород и горнотехнических условий в мировой практике применяются обычные и специальные методы проходки. Обычные способы применяются при устойчивых породах и небольшом притоке воды. К ним относятся два основных метода: с помощью взрывных работ и бурение стволов буровыми установками (агрегатами). К специальным способам относятся: замораживание пород или их тампонаж различными смесями.

При взрывном способе в забое ствола бурятся шпуры или скважины, производится их зарядка и взрывание.

В стволах круглого поперечного сечения шпуры располагают по нескольким концентрическим окружностям (рис. 5.35, а). Вруб состоит из 6–12 шпуров, глубина их на 15–20 см больше остальных. Наиболее широко применяют врубы с параллельными шпурами, обеспечивающими меньший выброс породы вверх.

Для усиления действия врубовых шпуров по центру ствола бурят скважину диаметром 200 мм, опережающую забой на 10–20 м. Эта скважина не заряжается, а используется как дополнительная открытая поверхность (рис. 5.35, б).

Шпуры или скважины бурятся перфораторами и бурильными машинами. Каждое кольцо зарядов взрывается с интервалом замедления 50, 75, 100 мс.

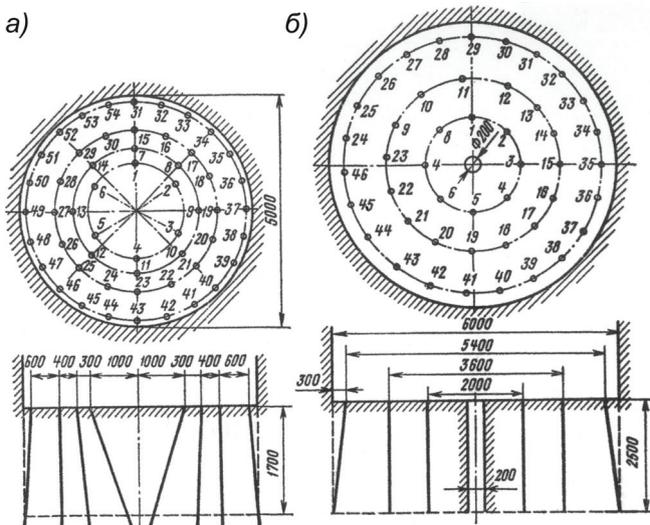


Рис. 5.35. Схема расположения шпуров при проходке стволов круглого сечения: а) – с врубом из шести шпуров; б) – с опережающей скважиной диаметром 200 мм

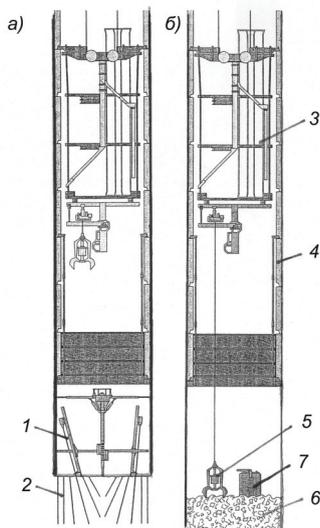


Рис. 5.36. Сооружение шахтного ствола:

а) – бурение взрывных скважин; б) – отгрузка разрушенной породы; 1 – буровая машина; 2 – взрывные скважины; 3 – монтажная рама; 4 – тубинговое крепление; 5 – грейферный погрузчик; 6 – порода, разрушенная взрывом; 7 – бадня

После разрушения горной породы взрывом, выемка ее и транспортировка осуществляется в специальных сосудах – бадьях. Погрузка породы в бадьи осуществляется с помощью грейферных погрузчиков (рис. 5.36, б).

Качественно новым этапом в развитии техники сооружения шахтных стволов была разработка и внедрение механизированных стволопроходческих агрегатов. В этом направлении большие работы были проведены в СССР и созданы различные образцы стволопроходческой техники.

Стволопроходческие агрегаты устранили тяжелый физический труд шахтостроителей и обеспечили повышение производительности труда в 5 раз и высокую безопасность ведения горных работ. Этими установками было пройдено много стволов в России, Украине и Казахстане. В установках совмещаются процессы механического разрушения пород, погрузка горной массы и возведение постоянного крепления ствола. Применяются в породах средней крепости.

На рис. 5.37 представлен стволопроходческий комплекс.

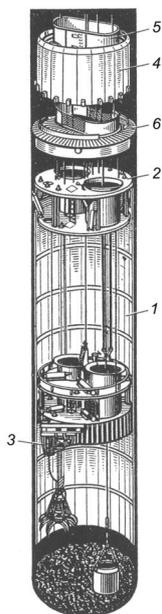


Рис. 5.37. Стволопроходческий комплекс КС-1м/6,2:

1 – металлический щит; 2 – натяжной полок; 3 – каретка с породопогрузочной машиной КС-1м; 4 – опалубка; 5 – балкон опалубки; 6 – опускное пикотажное кольцо

В состав комплекса входит бурильная установка типа БУКС, подвешиваемая вместо грейфера на тельфер породопогрузочной машины, которой осуществляется групповое бурение шпуров; саморазгружающиеся бады для выдачи погруженной породы на поверхность и металлическая передвижная опалубка. При наиболее распространенной совмещенной технологической схеме проходки стволов опалубка устанавливается на забой.

Для скоростного прохождения стволов в устойчивых породах применяется скоростной комплекс типа КС-1м/6,2, рассчитанный на параллельно-одновременное производство работ по выемке породы и возведении крепи. При использовании этого комплекса достигнуты скорости проходки ствола 401,3 м/мес.

При сооружении шахтных стволов применяют также проходческие полки, представляющие собой проходческий комплекс. Полок располагается в 10–20 м от забоя и снабжается временным подъемом с сосудами в виде саморазрушающихся на поверхности бадей, обеспечивающим транспортную связь забоя с поверхностью (рис. 5.38).

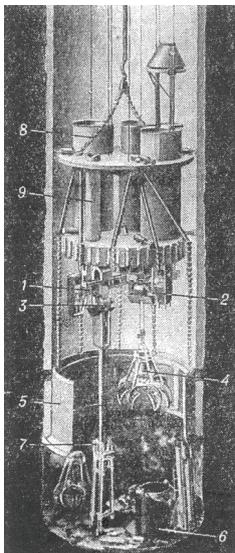


Рис. 5.38. Схема проходки ствола механизированным комплексом:

- 1 – погрузочная машина; 2 – кабина машиниста; 3 – спаренный пневмотельфер;
4 – грейфер; 5 – передвижная опалубка; 6 – саморазгружающаяся бадья; 7 – бурильная установка; 8 – бетонораспределитель; 9 – двухэтажный подвесной полк

Большим достижением в мировой практике было создание буровых агрегатов на принципах роторного колонкового реактивно-турбинного бурения. Представителем такого агрегата может быть установка УЗТМ-8,75 (рис. 5.39).

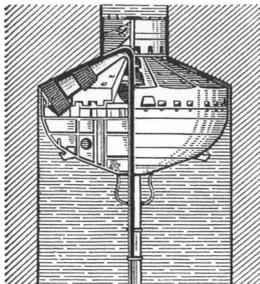


Рис. 5.39. Бурение ствола установкой УЗТМ-8,75

Этой установкой бурят стволы диаметром 7,5 и 8,5 м на глубину до 600 м. Рабочим инструментом является шарошечное пилот-долото и расширитель. С помощью этой установки работы ведутся в два этапа: сначала бурится пилотная скважина, а затем расширяющей головкой разбуривается ствол до проектного диаметра.

В конструкциях бурового агрегата ФРГ режущая головка (ротор) имеет режущие коронки, а пилотная скважина пробуравливается диаметром 1,4 м (рис. 5.40).

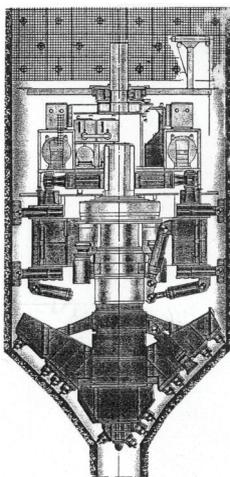


Рис. 5.40. Общий вид ротора бурового агрегата (ФРГ)

При бурении стволов диаметром до 5,0 м применяется реактивно-турбинная установка РТБ, имеющая в своем комплекте два и более турбобуров (рис. 5.41).

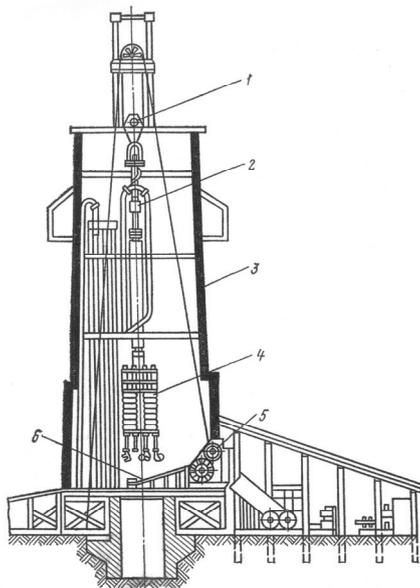


Рис. 5.41. Схема буровой установки РТБ-2080:

1 – талевая система; 2 – вертлюг; 3 – вышка; 4 – реактивный турбинный блок;
5 – буровая лебедка; 6 – ротор

Основными элементами этих установок являются: вышка 3, буровая лебедка 5, ротор 6, талевая система 1, вертлюг 2 и реактивный турбинный блок 4 типа РТБ-6м, состоящий из четырех турбобуров.

Турбобуры вращаются под действием проходящего через них глинистого раствора, нагнетаемого с поверхности. При бурении скважины диаметром 2,08 м одновременно работают три турбобура, из которых один (головной) разбуривает центральную часть забоя диаметром 1,02 м, а два других – периферийную его часть.

Внедрение РТБ обусловлено существенными достоинствами этого вида буровой техники, главные из которых: применение в агрегате турбобуров, буровых вышек, бурильных труб, долот и др.,

серийно выпускаемых для бурения на нефть и газ; планетарный принцип разработки забоя, не требующий больших осевых усилий; высокая грузоподъемность буровой установки; обеспечение относительно небольших искривлений выработки в процессе ее бурения; простота конструкции и надежность в эксплуатации, позволяющие путем простейших изменений в пространственной компоновке турбобуров оснащать их долотами различных конструкций.

В последние годы в Украине были разработаны методы интенсификации проходки и углубления стволов. Заслуживает внимания технология, разработанная ДонНТУ, предусматривающая комбинированную схему: буровую и взрывную.

При такой схеме работы ведутся в два этапа: сначала бурением проходится передовая выработка, а затем бурением шпуров и их взрыванием производится расширение ствола до проектных размеров (рис. 5.42).

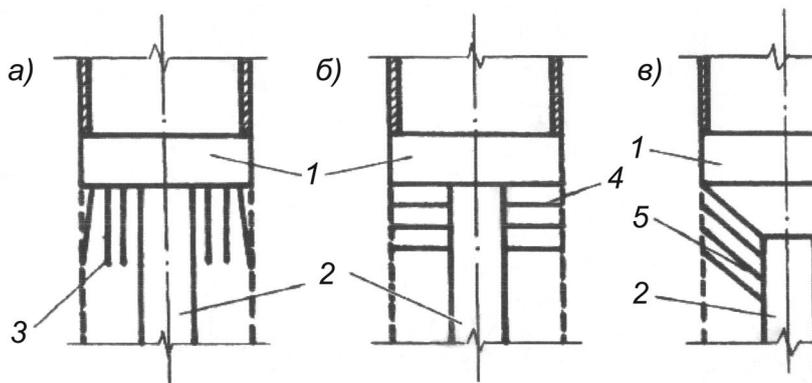


Рис. 5.42. Схемы отбойки породы при углублении стволов с расширением восстающего сверху вниз:

- 1 – углубляемый ствол; 2 – передовой восстающий; 3 – нисходящие продольные шпуров;
4 – горизонтальные шпуров; 5 – торцевые шпуров

Отбойку породы при расширении передового восстающего сверху вниз обычно производят с помощью нисходящих продольных шпуров (рис. 5.42, а). Находят также применение горизонтальные (рис. 5.42, б) или наклонные торцевые шпуров (рис. 5.42, в), выбуриваемые из восстающего со специальных буровых полков.

Данная технологическая схема углубления первоначально получила широкое применение на рудниках. В дальнейшем ее успешно внедрили и на угольных шахтах, где были достигнуты рекордные темпы углубления стволов с ее применением. Технология углубления стволов с расширением восстающего сверху вниз с помощью продольных шпуров является достаточно универсальной и может применяться в скальных и полускальных породах. При этом обеспечивается удовлетворительное качество оконтуривания стволов, высокое значение коэффициента использования шпуров.

За последние годы в промышленно развитых странах дальнего зарубежья созданы высокоэффективные буровые установки для подземного бурения вертикальных выработок диаметром до 2,4 м и более. Эти установки позволяют успешно проводить передовые выработки при углублении (проходке) стволов в скальных породах любой крепости. С увеличением диаметра передовой выработки, проводимой буровым способом, уменьшается удельный вес работ по расширению передовой выработки взрывным способом.

В Западной Европе для проходки стволов диаметром до 8,5 м на глубину до 750 м в сложных гидрогеологических условиях применяется роторная буровая установка, работающая по принципу последовательного расширения ствола с извлечением породы через бурильные трубы эрлифтом. В США получили распространение роторные установки, которыми проходят стволы диаметром от 1,5 до 4,0 м. В установках используют тяжелое нефтебуровое и специальное наземное оборудование, трубы, многшарошечные долота, расширители, грузы. Кроме обратной промывки, применяется система обратной продувки воздухом.

По мере углубления ствола стенки его закрепляются бетоном или тубингами. Современная технология проходки стволов стволопроходческими агрегатами и комплексами позволяет одновременно с проходкой ствола производить его крепление.

Когда ствол пройден и достиг проектной глубины, от него проходится комплекс выработок околоствольного двора для обслуживания подземного хозяйства.

Над стволом размещают копер (рис. 5.43), вблизи которого в специальном помещении устанавливается подъемная машина.

Совокупность машин и механизмов, предназначенных для подъема (спуска) людей и грузов по шахтному стволу, называется шахтным подъемом (рис. 5.44).



Рис. 5.43. Надшахтный копер

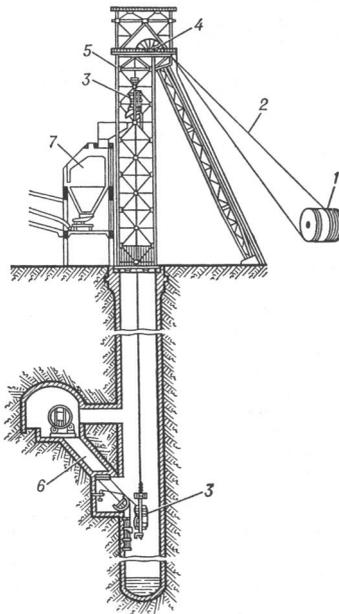


Рис. 5.44. Схема шахтного подъема, оборудованного скипами для поднятия грузов:
 1 – подъемная машина; 2 – подъемные канаты; 3 – скипы; 4 – направляющие шкивы;
 5 – копер; 6 – загрузочное устройство; 7 – бункер

Шахтный подъем включает подъемную машину, подъемные канаты, сосуды и направляющие шкивы, смонтированные на копре. Для загрузки подъемных сосудов полезным ископаемым служит загрузочное устройство, разгрузка производится в бункер.

Подъемная машина состоит из органа навивки, тормозной системы, редуктора, электродвигателя, пульта управления (рис. 5.45).

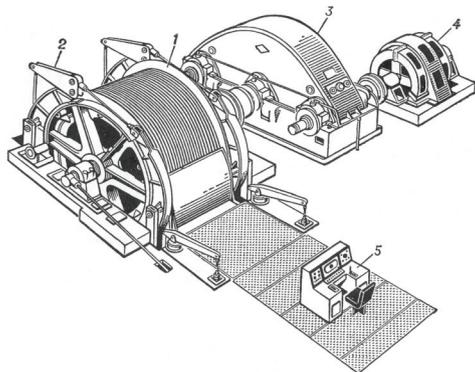


Рис. 5.45. Подъемная машина с цилиндрическим барабаном:

1 – аппарат навивки; 2 – тормозное устройство; 3 – редуктор; 4 – электродвигатель;
5 – пульт управления

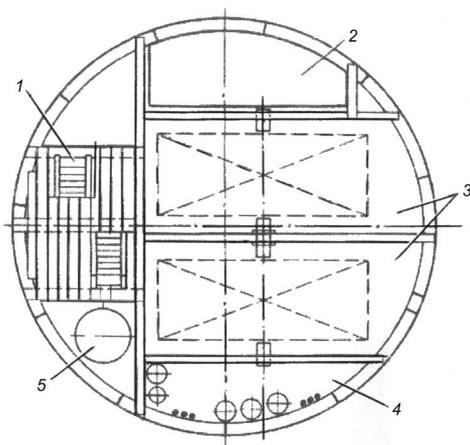


Рис. 5.46. Сечение шахтного ствола:

1 – лестничное отделение; 2 – лесопуск; 3 – клетевое отделение (на две клетки);
4 – отделение для трубопроводов и кабелей; 5 – вентиляционная труба

По назначению шахтные подъемы различают: главные (для подъема полезного ископаемого, а также породы на поверхность); вспомогательные (для подъема и спуска людей и различных грузов); проходческие (при проходке и углублении стволов шахты) и инспекторские или аварийные (для ревизии ствола и подъема людей в аварийных случаях). По типу подъемных сосудов – клетевые, скиповые и бадьевые. На рис. 5.46 показано сечение шахтного ствола при клетевом подъеме.

Проходка горизонтальных выработок. При добыче полезных ископаемых приходится создавать целую систему горных выработок, являющихся основой горных работ и предназначенных для выполнения принятого способа вскрытия и подготовки шахтного поля, воспроизводства фронта добычных работ.

При проведении подземных горных выработок решаются три основные задачи: разрушение массива горных пород, удаление продуктов разрушения за пределы выработки, обеспечение устойчивости обнаженных поверхностей в течении определенного срока. Согласно конкретным горно-геологическим условиям, форма поперечного сечения горизонтальных выработок может быть: прямоугольной, квадратной, трапециевидной, арочной, сводчатой и круглой. В зависимости от крепости пород и условий проходки горные выработки проходятся взрывными работами и комбайнами.

При проведении выработок взрывным способом выполняют следующие операции: бурение шпуров (скважин), зарядание и взрывание, проветривание, уборку породы и крепление выработки. При проведении выработок имеется, как правило, одна открытая поверхность – полость забоя, к которой перпендикулярно бурят шпуров (от 10 до 60). Для достижения эффективности взрыва шпуров располагаются в забое по определенной схеме (рис. 5.47).

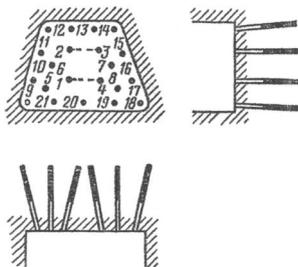


Рис. 5.47. Схема расположения шпуровых зарядов при проведении выработок

В центре бурятся врубовые шпуровые (1–4), задача которых состоит в создании дополнительной (второй) открытой поверхности в забое и улучшении условий действия остальных шпуров. Следующие шпуровые (5–8) называются отбойными, заряды в которых взрываются после врубовых и предназначены для расширения полости, образованной врубом. Оконтуривающие шпуровые (9–21) взрываются последними и предназначены для придания выработке проектного сечения.

В зависимости от формы и площади поперечного сечения выработки и крепости пород существуют различные типы врубов (рис. 5.48).

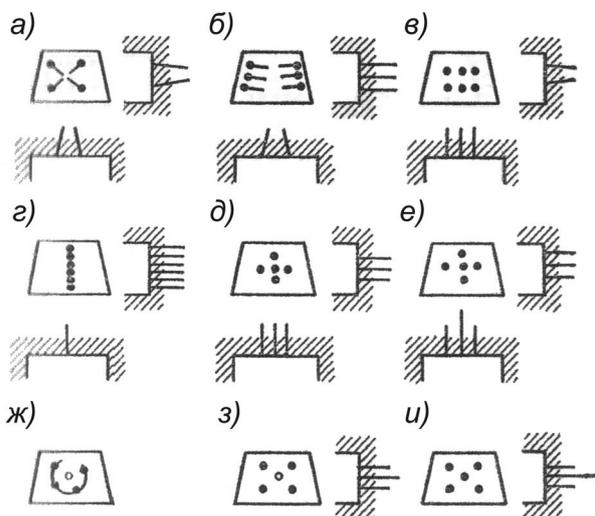


Рис. 5.48. Типы врубов:

- а) – пирамидальный; б) – вертикальный клиновой; в) – горизонтальный клиновой;
 г) – щелевой; д), е) – призматический; ж) – спиральный; з) – вруб со скважиной;
 и) – шагающий

Для проходки выработок врубом со скважиной, что повышает эффективность взрыва, в центре забоя буровой машиной пробуривается скважина диаметром до 200 м.

После взрывания шпуров, разрушенная горная масса погружается погрузочными машинами в вагонетки (рис. 5.49).

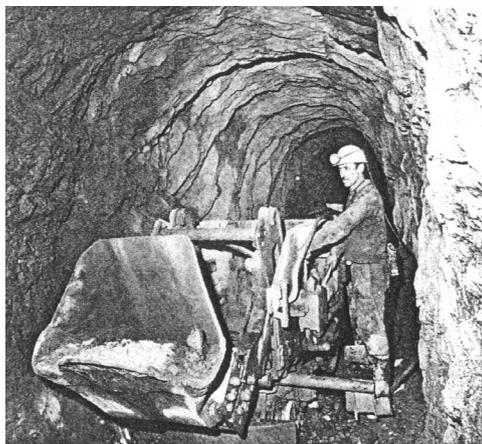


Рис. 5.49. Погрузка горной массы в вагонетки

Большим достижением в горном деле было широкое применение при проходческих работах комбайнов. Во многих странах мира комбайновый способ проведения выработок составил 60–80 % от общего объема.

В горнодобывающей промышленности Украины объемы проведения выработок проходческими комбайнами выросли с 31 % в 1995 г. до 45 % в 2003 г. В 2005 г. комбайнами было пройдено 350 км, что составляет 55 % от общего объема. Применение комбайнов позволило повысить темпы проходки выработок до 110 м/месяц.

За последние 6 лет в Украине наметились определенные сдвиги в области создания проходческих комбайнов, выпуск которых освоен Ново-Краматорским и Ясиноватским машиностроительными заводами.

Специалистами института «Донгипроуглемаш» разработаны базовые модели комбайнов: среднего класса КПД, тяжелого класса КПУ и проходческий комплекс для проведения выработок с анкерной крепью КПА.

Проходческий комбайн КПД (рис. 5.50) предназначен для механизации отбойки и погрузки горной массы при проведении выработок арочной, трапециевидной и прямоугольной форм сечением от 7,0 до 20 м² по угля и смешанному забою.

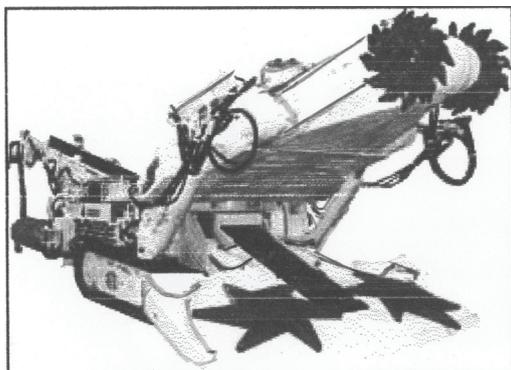


Рис. 5.50. Общий вид комбайна КПД

Одним из представителей комбайнов тяжелого класса является комбайн КПУ (рис. 5.51). Этот комбайн проходит выработки сечением от 9 до 30 м², как по углю, так и смешанному забою по породах крепостью f до 8.



Рис. 5.51. Проходческий комбайн КПУ

Комбайны КПД и КПУ оснащены бурильными установками для возведения анкерной крепи.

Лучшие зарубежные аналоги уступают комбайнам КПД и КПУ по энергоёмкости в 1,3–1,5 раза и по области применения (крепость разрушаемых пород) – в 1,2–1,3 раза.

Для проведения горных выработок арочной формы на калийных и каменно-соляных рудниках применяются комбайны бурового типа

ПК. Одним из представителей этой серии является комбайн ПКС-8М. Комбайном проходятся выработки диаметром 8,0 м. Эти типы комбайнов применяются и для добычных работ. Производительность при проходке составляет 0,28 м/мин., по добыче – 4,5 т/мин. (рис. 5.52).

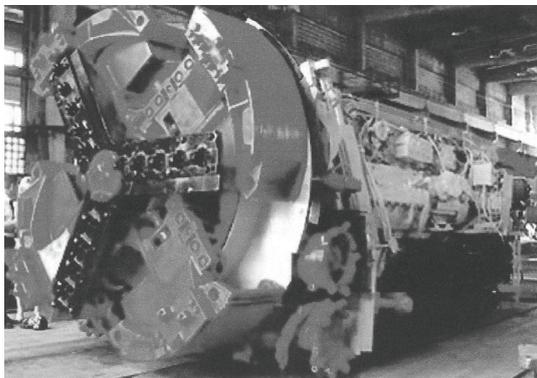


Рис. 5.52. Общий вид комбайна ПКС-8М

Комбайн представляет собой самоходный комплекс, агрегаты и узлы которого смонтированы на гусеничном ходу. Разрушение забоя производится вращением ротора, на котором размещены резцы.

На рис. 5.53 представлена схема технологии проведения штрека комбайном.

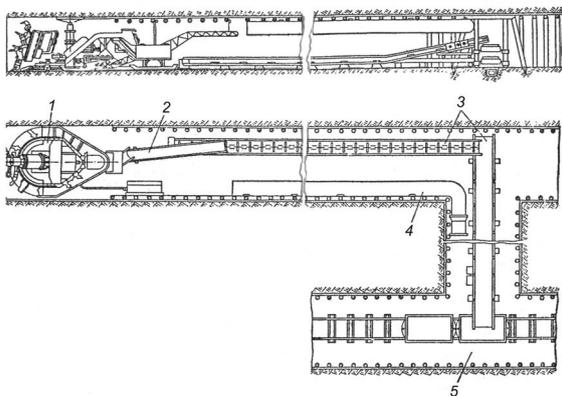


Рис. 5.53. Схема проведения штрека комбайном:

1 – комбайн; 2 – перегружатель; 3 – конвейер; 4 – вентилятор; 5 – загрузочный пункт

Для проведения выработок большого поперечного сечения на калийных рудниках Украины и России применяются комбинированные схемы:

- прохождение штреков двумя ходами комбайна и взрыванием шпуров;
- прохождение штреков одним ходом комбайна и взрыванием шпуров;
- веерообразная схема взрывания шпуров из выработки, пройденной комбайном.

Один из комбинированных методов проходки выработок большого поперечного сечения изображен на рис. 5.54.

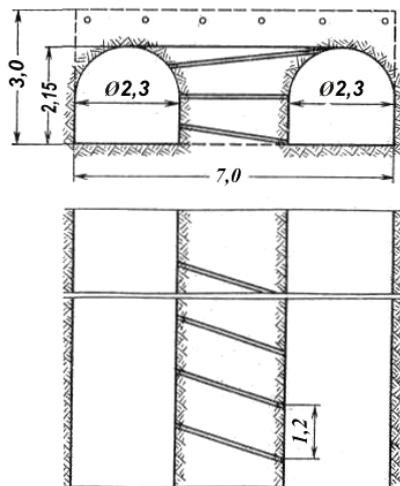


Рис. 5.54. Схема проходки штреков двумя ходами комбайна и взрыванием шпуров

Комбайном ПК-6 проходят параллельно две выработки сечением $4,32 \text{ м}^2$. Целик, который находится между выработками, разрушается взрывным методом.

5.4.2. Крепление горных выработок

По мере проведения горных выработок, осуществляется их крепление. Горная крепь – это искусственное сооружение, возводимое в подземных выработках для предотвращения обрушения и вспучивания окружающих горных пород, сохранения необходимых размеров сечения выработок, а также для восприятия и управления

горным давлением. Горная крепь должна обеспечить безопасную работу в выработке, быть экономичной, транспортабельной и удобной для обслуживания, не осложнять выполнение производственных процессов. Сам процесс возведения крепи называется креплением горных выработок.

Крепь горных выработок подразделяется по характеру работ – на жесткую, податливую, шарнирную; по сроку службы – на постоянную и временную; по форме сечения выработки – на трапецевидную, арочную, эллиптическую.

В капитальных горных выработках (стволы, околоствольные выработки, квершлагги, камеры и др.), имеющих большой срок службы, применяют монолитные бетонные и железобетонные крепи, сборные металлические и железобетонные крепи.

Бетонная круглая крепь (рис. 5.55, *а* и *з*) представляет собой монолитный цилиндр, плотно примыкающий своей внешней поверхностью к окружающим горным породам, с толщиной стенки 20–25 см и более в зависимости от величины горного давления и диаметра выработки. Бетонную сводчатую крепь (рис. 5.55, *б* и *в*) применяют в горизонтальных и наклонных (до 30–35°) выработках при средней крепости и крепких породах; при наличии бокового давления стенки сводчатой крепи изготавливают криволинейными. Железобетонная монолитная крепь отличается от монолитной бетонной наличием арматуры (гибкой из стальных прутьев или жесткой из металлических балок), позволяющей воспринимать растягивающие усилия от значительного горного давления.

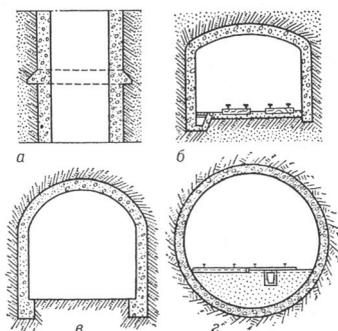


Рис. 5.55. Крепи капитальных выработок:

а) – бетонная круглая крепь вертикального ствола (продольный разрез); *б*) и *в*) – бетонные монолитные сводчатые крепи горизонтальных выработок; *г*) – бетонная монолитная круглая крепь горизонтальной выработки

В горизонтальных капитальных выработках наряду с монолитной бетонной крепью применяют также сборные железобетонные крепи: сплошную тубинговую (рис. 5.56, *а*), арочные (рис. 5.56, *б*), кольцевые или эллиптические (рис. 5.56, *в*).

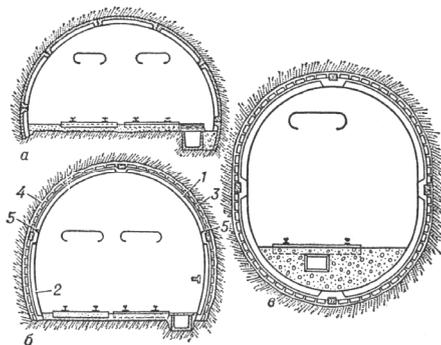


Рис. 5.56. Сборные железобетонные крепи:

а) – тубинговая; *б*) – арочная шарнирная; *в*) – эллиптическая замкнутая
 1 – верхний сегмент; 2 – стойка; 3 – затяжка; 4 – забутовка; 5 – соединительные болты

Для крепления подготовительных выработок наибольшее распространение получили металлические арочные и кольцевые податливые рамные крепи (рис. 5.57, *а*, *б*).

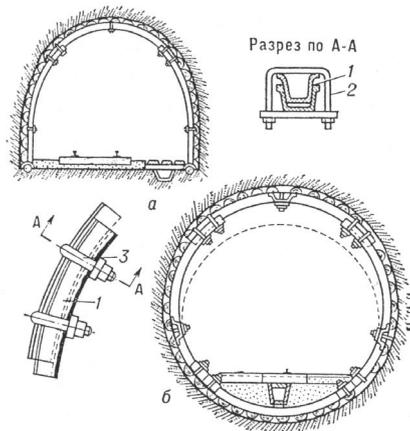


Рис. 5.57. Металлические крепи из спецпрофиля:

а – арочная податливая; *б* – кольцевая податливая;
 1 – верхняк; 2 – соединительный хомут; 3 – болт

Податливые крепи способны под действием давления горных пород сокращать свои размеры, а следовательно, и поперечное сечение выработки в результате смещения элементов или их деформации при сохранении несущей способности и работоспособности конструкции. Элементы металлических податливых рам выполняют из спецпрофиля, соединяя их между собой внахлестку с помощью хомутов и болтов; податливость крепи достигается за счет скольжения элементов крепи в местах их соединения.

Выработки с незначительным сроком службы и устойчивыми боковыми породами закрепляются деревянными крепями (рис. 5.58).

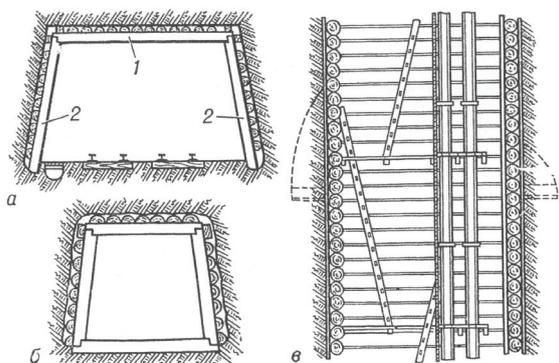


Рис. 5.58. Конструкции деревянных крепей:
a – трапециевидная крепежная рама; *б* – полная рама (с лежнем);
в – сплошная венцовая крепь;
 1 – верхник; 2 – стойки

В последние годы в горнодобывающей промышленности намечалась тенденция широкого применения анкерного крепления горных выработок. Промышленное применение анкерной крепи на шахтах стран с развитой горнодобывающей промышленностью позволило в 5–10 раз уменьшить расход металла, бетона, леса и в 2–3 раза повысить темпы проходки выработок.

Анкерное крепление представляет собой ряд пробуренных в стенке скважин глубиной 150–180 см, в которых устанавливаются специальные стержни диаметром 25–45 мм. Конец стержня в скважине снабжен закрепляющей распорной муфтой. На выступающую часть стержня надевается тяжелая опорная плита, на

крепежное устройство навинчивается натяжная гайка. Анкерная крепь чаще всего устанавливается рядами с интервалом 150–300 см или по квадратной сетке с шагом 1–2 м. Во многих шахтах вместо анкеров с механическими замками применяют системы с закреплением анкеров полимерами.

Для существенного снижения трудоемкости возведения анкерной крепи, обеспечения устойчивых темпов проходки 600–800 м/мес. «Донуглемашем» (Украина) создается базовая модель проходческого комплекса КПА. Этот комплекс, наряду с механизацией отбойки и погрузки горной массы, обеспечит возведение анкерного крепления.

5.4.3. Добыча угля

После вскрытия месторождения путем проведения выработок, что обеспечило нам доступ с поверхности к полезному ископаемому – углю, приступают к подготовительным работам. Подготовительные работы заключаются в том, что системой подготовительных выработок шахтное поле разделяется на этажи, панели, блоки, что обеспечивает условия для ведения очистных работ – добычи угля в очистном забое. На угольных шахтах к очистным выработкам относятся лавы.

Лавы – это выработка, имеющая забой значительного протяжения (до 200 м). Под забоем понимают поверхность полезного ископаемого, которая ограничивает лаву и перемещается в результате проведения горных работ. Принципиальная схема механизированной добычи угля в лаве изображена на рис. 5.59.

При разработке пластовых месторождений угля тонкой и средней мощности (от 0,5 до 3,5 м), уголь вынимается сразу на всю толщину, а при большей (больше 3,5 м) – разработка пласта ведется послойно.

Работы по выемке угля в лаве можно разделить на следующие отдельные операции: отбойка и погрузка, доставка из очистного пространства, крепление и управление горным давлением.

При применении взрывных работ к общему процессу добавляется еще одна операция – подрубка пласта врубовой машиной, а затем бурение шпуров и их взрывание.

Существуют различные способы выемки угля: комбайнами, стругами, отбойными молотками или взрывчатыми веществами.

Наиболее широко в мировой практике выемка угля производится комбайнами и стругами в сочетании с механизированными крепями, так называемыми механизированными комплексами (рис. 5.60).

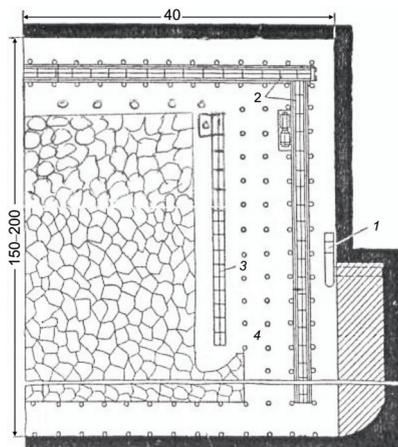
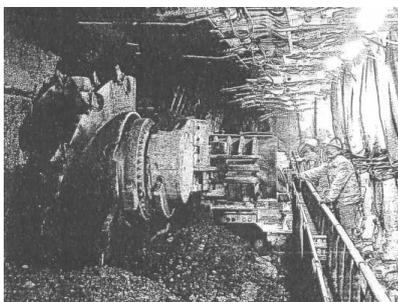


Рис. 5.59. Схема добычи угля в лаве:

1 – комбайн; 2 – конвейеры для транспортировки угля из лавы; 3 – конвейер для транспортировки породы в отработанное пространство лавы; 4 – крепление лавы



а)



б)

Рис. 5.60. Разработка угольного пласта:

а) – стругом; б) – комбайном

Принцип работы струга заключается в следующем: стальной резец – струг, закрепленный на цепях, прижимается к угольному пласту и с большой скоростью движется вдоль лавы, как бы «выстругивая» уголь. Уголь при этом разрушается и падает на ленточный конвейер, транспортирующий уголь в выработку – штрек.

Комбайн – комбинированная машина для одновременного выполнения операций по отделению от массива угля или породы и погрузки их на транспортные средства.

По конструкции и способу отделения горной массы различают несколько типов исполнительных органов горных комбайнов: барабанные, шнековые и буровые. На рис. 5.61 показаны некоторые конструкции горных комбайнов, освоенных в СССР.

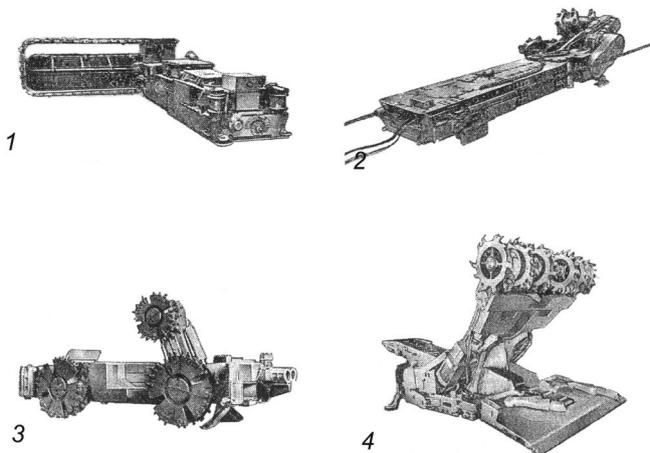


Рис. 5.61. Типы комбайнов для очистных работ:
1 – «Донбасс»; 2 – 2К-52; 3 – МК-67; 4 – 6К-52

В настоящее время во многих странах разработаны и внедрены различные типы и конструкции горных комбайнов. Так, широкое применение получили баровые добычные комбайны. Они, как правило, устанавливаются на гусеничном шасси и оснащены рядом резцов, укрепленных на нескольких параллельных цепях, формирующих режущую головку шириной не менее 60 см. Эти цепи вращаются вокруг ведущих звездочек на режущей головке, внедряющейся в глубь забоя. Продвижение исполнительного органа вперед достигается с помощью гидравлической системы или путем перемещения всей машины. Добытая горная масса направляется по резцам и цепям на конвейер, подающий ее в вагонетки, откатываемые к главной конвейерной системе.

В угольных шахтах США широко применяются дисковые добычные комбайны, действие которых аналогично баровым комбайнам, но они оснащены режущими дисками. Их исполнительный орган движется в вертикальной плоскости, срезая

уголь по всей высоте пласта и формируя камеры шириной 4,5–6 м. Часто после того, как уголь отбит по всему простиранию пласта, извлекаются целики, оставленные для поддержания кровли (на этапе отработки обратным ходом кровля поддерживается деревянной крепью до завершения отработки пласта, после чего обрушается).

По мере продвижения комбайна или струга проводится крепление пространства, образуемого от вынимания угля. Это крепление также продвигается (переставляется). Часть забоя, освобожденного от угля и крепления, заполняется пустой породой, которая обрушается или закладывается.

Крепь очистных выработок предназначена для поддержания призабойной части очистной выработки, где размещается оборудование и производятся работы по добыче полезного ископаемого. Эту крепь, так называемую индивидуальную крепь, выполняют в виде рам, состоящих из металлических или деревянных стоек и верхняков. Рамы располагают правильными рядами вдоль линии очистного забоя и переносят по мере продвижения забоя. Схемы установки крепи различаются для пологих (рис. 5.62, *а*) и крутопадающих (рис. 5.62, *б*) угольных пластов.

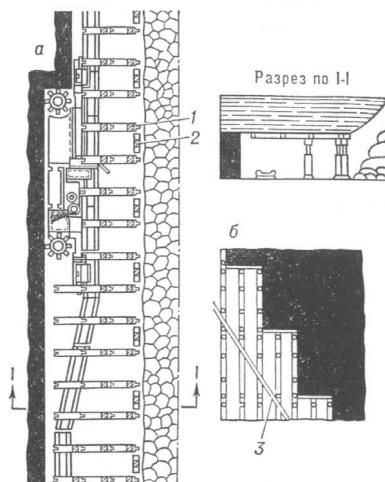


Рис. 5.62. Крепление очистного забоя (лавы) индивидуальной крепью:

а – на пологом пласте; *б* – на крутопадающем пласте;

1 – металлическая стойка; 2 – металлическая посадочная стойка (тумба);

3 – углеспускной рештак

В современных условиях в очистных забоях (лавах) угольных шахт получил распространение более прогрессивный вид крепи – передвижная механизированная крепь.

Теперь мы можем себе представить угольную лаву, которая снабжена комбайном, конвейером и механизированной крепью. В совокупности эти механизмы составляют комплексно-механизированный комплекс.

Имея такой комплекс, участок шахты может разбиваться на блоки. Ширина блока обычно 180 м, длина достигает 900–1 800 м.

Для управления кровлей и почвой, а также для защиты людей и оборудования после подготовки блока вдоль его меньшего измерения устанавливается гидравлическая крепь. Добычная машина обычно представляет собой два вращающихся режущих барабана, укрепленных на гидравлических консолях на каждом из концов корпуса машины таким образом, что один из барабанов срезает верхнюю часть пласта, а другой – нижнюю. Выбирая диаметр барабанов и выдвигая гидравлические консоли, можно отрабатывать пласты с меняющейся мощностью. Добычная машина связана со скребковым конвейером, бегущим по всей ширине блока. Этот конвейер присоединяется к крепи посредством гидравлических цилиндров, которые после каждой заходки вдоль блока или забоя проталкивают всю систему к забою. Врубовые барабаны срезают полосу шириной около 1 м на забое, после чего с помощью гидравлических плунжеров, установленных на крепи, конвейер проталкивается вперед. Затем крепь забоя опускается и передвигается вперед для следующего прохода комбайна. Кровля выработки за крепью обрушается. Таким способом из недр извлекается до 90 % угля. В среднем за смену каждой такой системой добывается около 3 000 т, а рекордная производительность за сутки составила 20 тыс. т с одного забоя.

Добычу угля во времени и пространстве определяет система разработки. Вариантов систем разработки угольных месторождений много. Различают системы разработки с длинными и короткими забоями. В свою очередь система с длинными забоями может быть сплошной, столбовой и комбинированной, а с короткими забоями – камерной и камерно-столбовой. Ниже на рис. 5.63 и 5.64 показаны некоторые варианты систем разработки угольных месторождений.

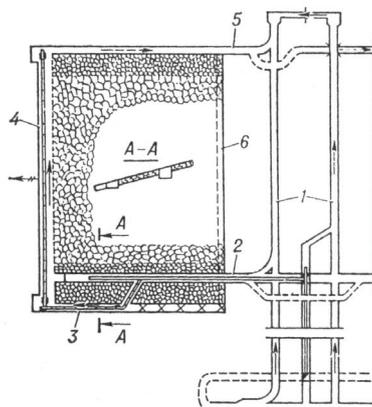


Рис. 5.63. Сплошная система разработки «лава-этаж»:

1 – наклонные выработки; 2 – этажный конвейерный штрек; 3 – просек; 4 – очистной забой (лава); 5 – этажный вентиляционный штрек; 6 – разрезная печь

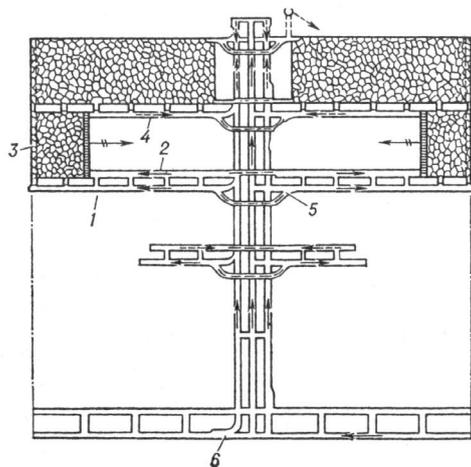


Рис. 5.64. Система разработки длинными столбами по простиранию:

1 – откаточный штрек; 2 – конвейерный ярусный штрек; 3 – разрезная печь; 4 – вентиляционный ярусный штрек; 5 – промежуточная приемно-отправительная площадка; 6 – нижняя приемно-отправительная площадка

Характерной для сплошной системы разработки является одновременность проведения подготовительных выработок и очистной выемки угля в этаже (панели). Подготовка очистного забоя

производится на расстоянии не менее 25–50 м от наклонных (бресберга, уклона, ствола с ходками) или горизонтальных выработок путем проведения транспортной и вентиляционной выработок и разрезной печи между ними. В разрезной печи монтируют средства механизации и приступают к очистной выемке угля; очистной забой перемещается от наклонной (горизонтальной) выработки к границе этажа (панели).

Для столбовой системы разработки характерным является проведение подготовительных выработок до начала очистных работ; эти выработки оконтуривают запасы угля в пределах этажа, яруса, выемочного столба.

Вариант столбовой системы разработки по простирацию при панельном способе подготовки шахтного поля представлен на рис. 5.64. Около главного откаточного штрека у наклонных выработок сооружают площадку, обеспечивающую прием и отправление грузов от околоствольного двора к очистным забоям и обратно. От площадки до верхней (или нижней) границы панели проводят наклонные выработки: бресберг (уклон) и ходки, используемые для подачи воздуха, вспомогательного транспорта и спуска–подъема людей.

Подземный транспорт угля осуществляется двумя видами транспорта в вагонетках электровозом или ленточными конвейерами (рис. 5.65).

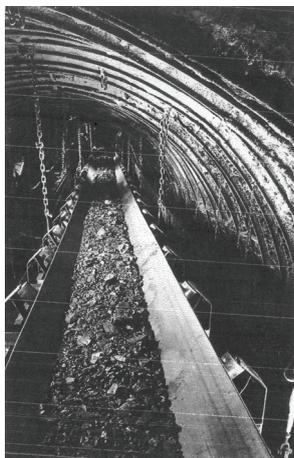


Рис. 5.65. Транспортировка угля к главному стволу ленточным конвейером

5.4.4. Добыча рудных и нерудных полезных ископаемых

Месторождения этой группы характеризуются формой рудных тел: пласты, пластообразные залежи, линзы, жилы и т. д. Мощность рудных тел колеблется от нескольких сантиметров (месторождения редких металлов и золота) до десятков и сотен метров (железорудные месторождения Курской магнитной аномалии, апатитовые месторождения Кольского полуострова (Россия), Солотвинское соляное месторождение (Украина)).

Угол падения залежей – от горизонтального и пологого ($0-25^\circ$) до крутого ($45-90^\circ$). Протяженность залежей достигает десятков километров (фосфоритовые месторождения Каратау); глубина распространения рудных тел иногда превосходит несколько километров. Такое разнообразие геологических условий, а также физико-механических свойств горных пород обуславливает технологию разработки, в частности, технику отбойки (отделение полезного ископаемого от массива с дроблением на куски заданной крупности), доставки, выпуска, крепления и поддержания выработанного пространства. Отбойку пород средней и высокой крепости ведут взрывным способом, в слабых породах – механическим способом (с помощью проходческих и добычных комбайнов).

Отбитое в очистном пространстве полезное ископаемое выпускают из выработок, пройденных в днище блоков или торцов горизонтальных выработок. Применяют самотечную и механизированную доставку. Механизированная доставка осуществляется скреперами, конвейерами, самоходными машинами и комплексами, состоящими из погрузочных машин и самоходных вагонов, а при большой мощности рудных залежей применяются экскаваторы. Самотечная доставка (под действием собственного веса) осуществляется непосредственно по очистному пространству по специальным горным выработкам (рудоспускам).

При разработке рудных месторождений поддержание выработанного пространства осуществляется целиками или крепями.

В ряде случаев технология очистной выемки предусматривает управление горным давлением путем обрушения вмещающих пород.

Разработка железорудных месторождений.

При разработке железорудных месторождений, мощность залежей которых достигает до 100 м и больше, применяются системы

разработки и технология добычи, отличающиеся от добычи угля. Шахтное поле разделяется на этажи, высота которых изменяется от 25 до 100 м. Ввиду того, что железные руды имеют высокую прочность, их добыча осуществляется преимущественно с помощью взрывных работ. На рис. 5.66 показаны типичные схемы разработки рудной залежи большой мощности.

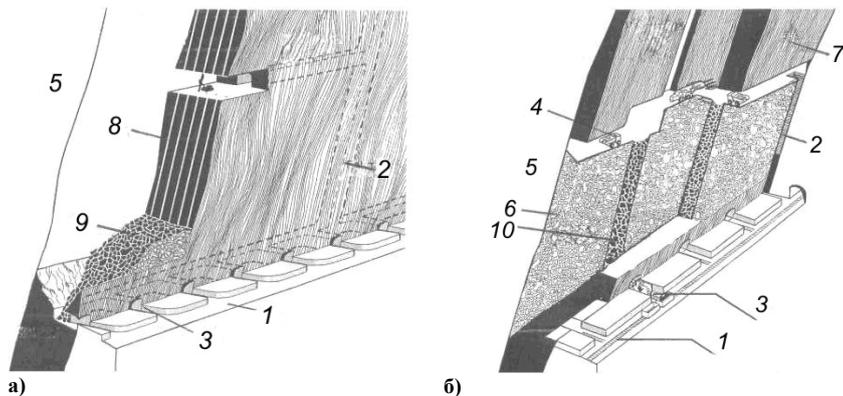


Рис. 5.66. Схемы разработки железных руд:

- а) – вертикальными слоями; б) – горизонтальными слоями
 1 – транспортный (откаточный горизонт); 2 – вертикальная ходовая выработка;
 3 – откаточный штрек; 4 – буровые и транспортные машины; 5 – целик;
 6 – закладывание пустой породой; 7 – железная руда; 8 – взрывные скважины;
 9 – раздробленная руда после взрыва; 10 – рудоспуски

На рис. 5.66, *а* размельчение руды осуществляется с помощью вертикальных или наклонных глубоких скважин. Раздробленная взрывом руда попадает через бункера на откаточный горизонт, где погружается в вагонетки. На второй схеме (5.66, *б*) отбойка руды от массива осуществляется горизонтальными скважинами. Отбитая руда самоходными вагонами транспортируется к рудоспускам, по которым она попадает на откаточный штрек и транспортируется к главному стволу в вагонетках или конвейерами.

Ввиду широкого разнообразия горнотехнических и горно-геологических условий залегания рудных месторождений существует более 200 разновидностей систем их разработки. Ниже мы рассмотрим некоторые из них.

При разработке месторождений любой формы с устойчивой рудой и вмещающими породами применяют системы с открытым

очистным пространством, которое в период выемки не заполняется закладочным материалом, отбитой рудой или обрушенными породами; для поддержания кровли и боков открытого очистного пространства оставляют постоянные или временные целики.

Крутопадающие жилы и пластообразные залежи мощностью до 3 м обрабатывают с потолкоуступной и почвоуступной выемкой. Для подготовки блоков проходят восстающие и откаточные штреки (рис. 5.67). При потолкоуступной выемке для сохранения откаточного штрека на период отработки блока оставляют временные надштрековые целики, либо устраивают прочный настил на крепи. Отбитую руду опускают через люки.

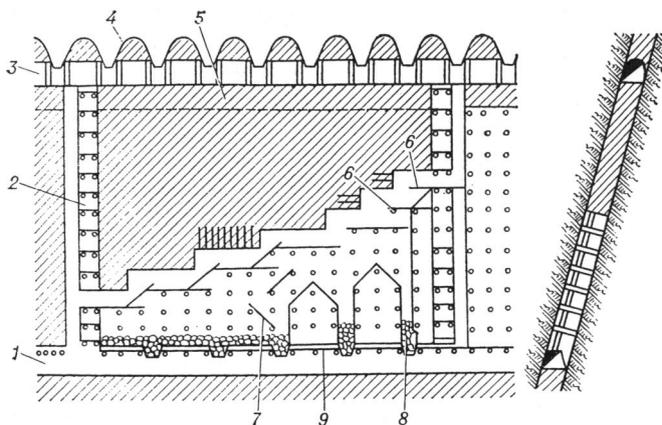


Рис. 5.67. Система разработки с открытым очистным пространством (вариант с потолкоуступной выемкой):

- 1 – откаточный штрек; 2 – блоковые восстающие; 3 – вентиляционный штрек;
4 – надштрековые целики; 5 – потолочина; 6 – полки; 7 – наклонные настилы-решетки;
8 – рудоспуски; 9 – настил над откаточным штреком

В горизонтальных и пологопадающих залежах средней и большой мощности (до 30 м) получила распространение камерно-столбовая система разработки с регулярным расположением постоянных поддерживающих рудных целиков (рис. 5.68). Полезное ископаемое отбивают потолкоуступно, почвоуступно или сплошным забоем на всю высоту камеры. При мощности залежи до 15 м обычно сооружают верхнюю подсечку, что позволяет тщательно оформлять кровлю очистного пространства и упрощает штанговое крепление.

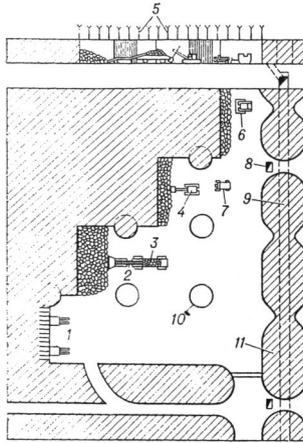


Рис. 5.68. Камерно-столбовая система разработки (вариант с самоходным оборудованием):

- 1 – самоходные буровые каретки; 2 – погрузочная машина; 3 – самоходный вагон;
 4 – подземный экскаватор; 5 – штанговая крепь; 6 – электрический бульдозер;
 7 – автосамосвал; 8 – рудоспуск; 9 – откаточный штрек; 10 – целики;
 11 – междупанельный целик

В зависимости от принятой системы разработки и мощности рудной залежи применяются различные схемы расположения взрывных скважин (рис. 5.69).

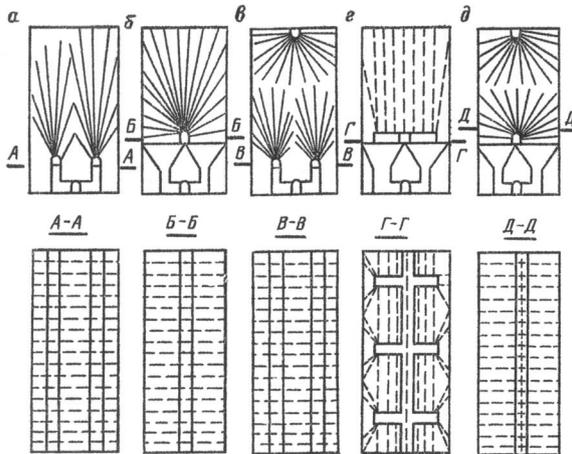


Рис. 5.69. Схемы расположения взрывных скважин при обустройстве камер

Подземная разработка железорудных месторождений развита во многих странах, особенно в странах СНГ, Канаде, США, Мексике, Чили, ЮАР, Австралии, Швеции, Франции, ФРГ, на Филиппинах. Наиболее часто разработку ведут системами этажного, подэтажного самообрушения, камерно-столбовыми, с креплением и закладкой очистного пространства. Применяется комплексная механизация основных и вспомогательных процессов, широко используется самоходное оборудование. Диаметр взрывных скважин обычно не превышает 56 мм, что обеспечивает хорошее дробление руды и высокую производительность погрузочно-транспортного оборудования.

Разработка калийных и каменно-соляных месторождений.

На калийных и каменно-соляных рудниках в основном применяется камерно-столбовая система разработки. Этой системой ведут добычу солей в Украине, России, Беларуси, США, Канаде и других странах.

Каменная соль обычно залегает в виде штоков значительных размеров или мощных пластов. Такие месторождения разрабатываются камерной системой. Ширина камер составляет 15–30 м, длина 25–50 м и более. Высота камер может достигать 25–30 м и более. Между камерами, для поддержания толщи пород в кровле, оставляются целики соли шириной, приблизительно равной ширине камеры. Камерной системой разрабатываются месторождения каменной соли в Украине, России и др. Отбойка соли от массива осуществляется при помощи взрывных работ и комбайнами.

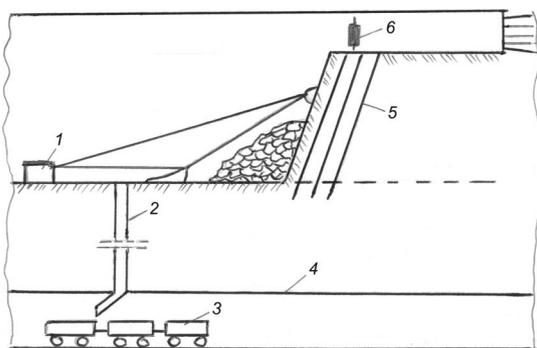


Рис. 5.70. Добыча каменной соли на Солотвинском руднике (Украина):

1 – скрепер; 2 – гезенк; 3 – вагонетки; 4 – откаточный горизонт; 5 – взрывные скважины; 6 – буровая машина

Взрывная отбойка каменной соли применяется на Солотвинском солеруднике (Украины). Камеры разрабатываются почвоуступно вертикальными зарядами. Разрушенная горная масса скреперами подается в гезенк, откуда через бункер поступает на откаточный горизонт в вагонетки (рис. 5.70).

На Артемовском месторождении соли (Украина) камеры обрабатываются комбайном, что значительно повышает производительность труда и устойчивость выработок (рис. 5.71).



Рис. 5.71. Камера, отработанная комбайнами (Артемовск, Украина)

Добыча соли комбайнами применяется и на соляных рудниках России. На Илецком солеруднике камеры обрабатываются комбайнами послойно. Ширина камеры 30 м, длина 500 м. Разрушаемая соль в камерах поступает к главному стволу транспортерами. В камерах высотой 2,5 м, соль выпиливается камнерезными машинами блоками размерами 20×20×40 см (рис. 5.72).



Рис. 5.72. Добыча соли на Илецком руднике (Россия) камнерезными машинами

При необходимости применения анкерного крепления применяется камерно-столбовая система с механизацией работ по бурению, добыче, погрузке, транспортировке и возведению анкерного крепления (рис. 5.73).

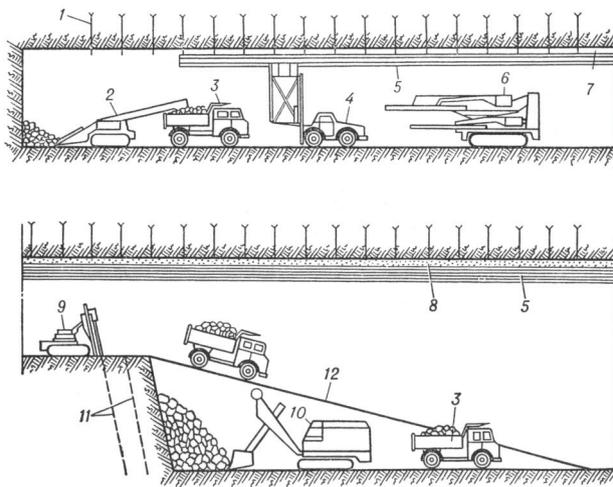


Рис. 5.73. Схема сооружения камер уступным забоем:

- 1 – анкерное крепление; 2 – породопогрузочная машина; 3 – автомобиль-самосвал;
- 4 – автопогрузчик с рамой; 5 – вентиляционный трубопровод; 6 – самоходная буровая установка; 7 – предохранительная металлическая сетка; 8 – бетонная крепь; 9 – буровой станок; 10 – подземный экскаватор; 11 – взрывные скважины; 12 – пандус

Камерно-столбовая система применяется и при разработке калийных месторождений.

В Украине калийные руды представлены месторождениями Прикарпатья: Калуш-Голыньским и Стебниковским. На Калуш-Голыньском руднике добыча руды ведется с помощью взрывных работ с расположением скважин параллельно, или вееро-пучково (рис. 5.74).

Отбитая от массива руда отгружается из камеры скреперными лебедками. Камера обрабатывается в одну стадию, когда толщина пласта не превышает 3–4 м, или в две стадии при большей мощности пласта. При этом сначала осуществляется выемка нижнего слоя камеры высотой 3 м, а затем разрабатывается верхний слой.

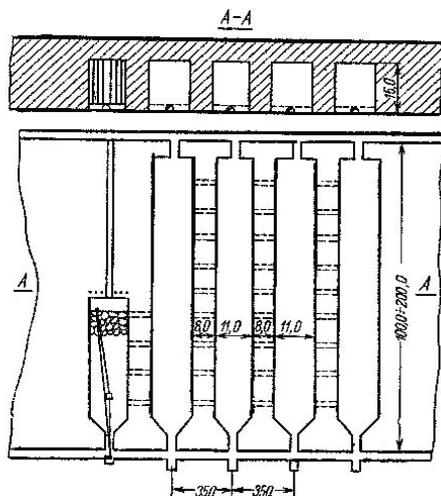


Рис. 5.74. Камерная система разработки на Калуж-Гольинском руднике

На Стебниковском калийном месторождении калийные руды имеют значительную толщину. Здесь применяют камерную систему разработки с обрушением руды глубокими скважинами. Камеры размещаются вкрест простиранию залежей. Основные параметры системы: ширина камеры 8–15 м, ширина целиков 6–12 м, длина камеры составляет 30 м. Обойка руды осуществляется системой веерообразных скважин (рис. 5.75).

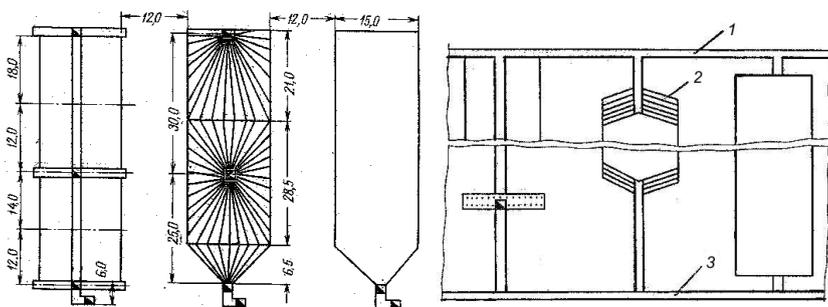


Рис. 5.75. Система разработки Стебниковского рудника:
1 – штрек висячего бока; 2 – буровые скважины; 3 – штрек лежащего бока

На калийных рудниках России при толщине пласта до 4,0 м применяется так называемый «штрековый» вариант камерной системы разработки (рис. 5.76).

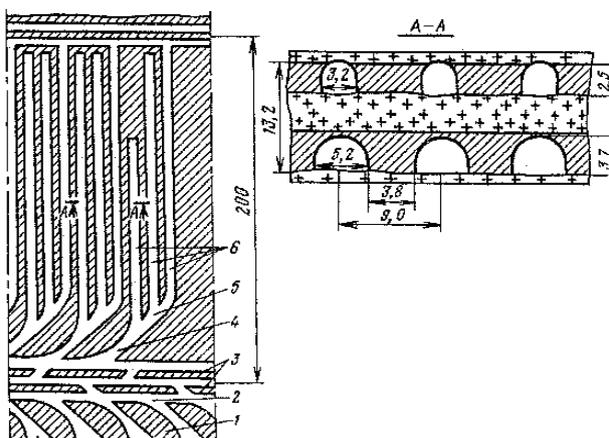


Рис. 5.76. Штрековая система разработки на Березниковском руднике (Россия):
 1 – окоштрековый целик; 2 – сопряжение штрека; 3 – целик; 4 – горловина;
 5 – сопряжение ходов; 6 – комбайновые ходы

Камеры проходят комбайнами «Урал 20 КС» и «Урал 10 КС». Руда из камер доставляется на транспортный штрек, а затем через рудоспускные скважины подается на панельный штрек. При толщине пласта более 4,0 м применяют двухслойную систему отработки камер комбайнами. При этом варианте камеры разрабатываются двумя двухслойными выработками. Ширина камер – 12,4 м, междукамерных целиков – 10,6 м. Отработка каждой выработки осуществляется двумя ходами комбайна «Урал 20 КС». Транспортировка руды от комбайна осуществляется самоходными вагонами.

Наряду с разработкой калийных руд комбайнами широко применяются взрывные работы. На рис. 5.77 приведен вариант разработки камер с применением веерно расположенных скважин.

Такая схема внедрена на калийных рудниках Верхней Камы (Россия) при длине камер 150–200 м. При такой схеме сначала одним ходом комбайна ПК–8 проходят по центру камеры нарезную выработку, а затем при помощи буровых агрегатов разбуривают камеру.

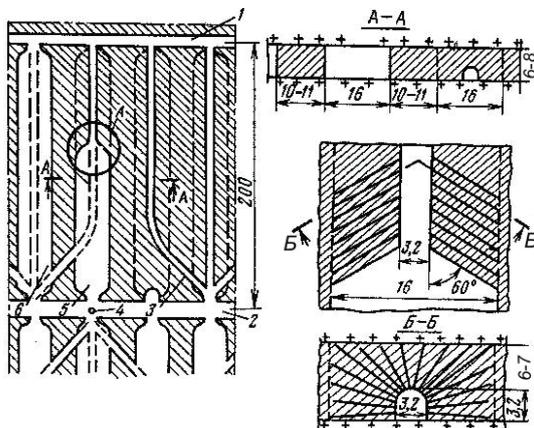


Рис 5.77. Камерная система разработки с применением вееро расположенных скважин:

- 1 – вентиляционный панельный штрек; 2 – откаточный панельный штрек;
- 3 – комбайновый ход в камере; 4 – рудоспускной гезенк; 5 – рабочая камера;
- 6 – отработанная камера

На калийных рудниках ФРГ камерная система разработки заключается в том, что камеру разбивают на две части: верхнюю и нижнюю. Верхнюю часть высотой до 3–4 м и шириной, которая равняется ширине камеры, проходят на всю ее длину узким забоем, а затем нижнюю часть высотой 5–6 м отбивают параллельными скважинными зарядами. Бурение ведется самоходным буровым агрегатом (рис. 5.78).



Рис. 5.78. Бурение скважин буровыми агрегатами

После отбойки руды, она погружается самоходным погрузчиком и транспортируется самоходными вагонами (рис. 5.79).



Рис. 5.79. Самоходный погрузчик

На рудниках США при камерной системе разработки месторождение разбивается на панели, размер которых, в зависимости от местных условий, изменяется от 150 до 200 м. Ширина камер 9–11 м, ширина целиков 10–14,6 м, длина 18–25 м. При такой системе разработки достигается высокий процент извлечения руды. После основных добычных работ в камерах вынимаются и целики.

Камерная система разработки имеет свои положительные и отрицательные стороны. Положительные – небольшой объем подготовительных работ, высокая производительность подземных рабочих, хорошие условия вентиляции; отрицательные – высокие потери руды из-за того, что нужно оставлять столбы руды (целики) между камерами. Эти потери составляют до 50 %.

Для повышения коэффициента извлечения руды и уменьшения потерь в целиках на многих калийных рудниках разработку камер ведут с закладкой отработанного пространства пустыми породами, или отходами калийного производства. Это позволяет уменьшить размеры междукамерных целиков и повысить процент выемки руды.

Подземная добыча строительных материалов.

Подземным методом добывается и целый ряд строительных материалов: ангидриты, гипсы, песчаники, ракушечники и др. На шахтах, в основном, применяются камерные системы разработки с

выемкой полезных ископаемых уступами, а также послойная отработка пластов на всю их толщину (рис. 5.80).

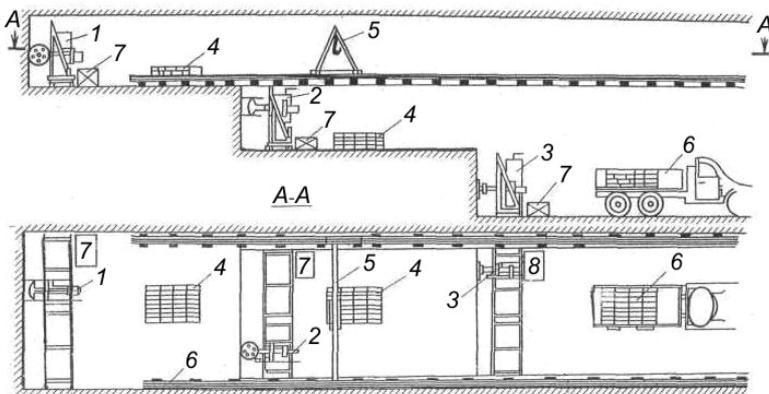


Рис. 5.80. Подземная добыча строительных материалов

Шахтное поле разбивается на столбы. Длина столба равняется длине шахтного поля, ширина составляет 180–250 м. Добычные работы ведутся с помощью камнерезных машин 1, 2, 3, которые выпиливают искусственные камни. Камни укладываются на поддоны – 4. С помощью тельферной балки – 5 поддоны доставляются на погрузочный пункт и погружаются в транспортные средства. Отходы от камнепиления, укладываются в контейнеры – 7 и 8 с помощью тельферной балки, перегружаются в транспортные средства 6. Такая технология выемки камер применяется для разных горно-геологических условий, но наиболее эффективна при мощности пласта более 4 м.

Итак, мы с вами узнали, как добываются полезные ископаемые непосредственно под землей. Теперь их путь пролегает к земной поверхности. Они транспортируются в вагонетках, или транспортерами к главному стволу шахты или рудника и поднимаются «на гора» (на поверхность) клетями, или в больших металлических сосудах – скипах.

Поверхностный комплекс современной шахты представляет собой комплекс сооружений для переработки (обогащения) полезных ископаемых, обслуживания горняков и технического обеспечения подземных производственных процессов (рис. 5.81).

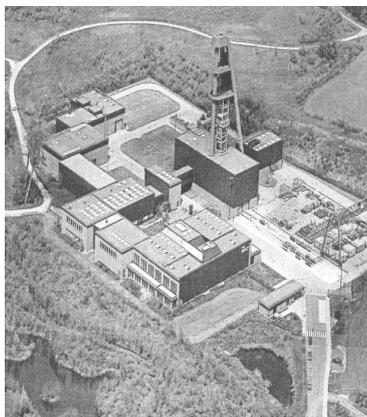
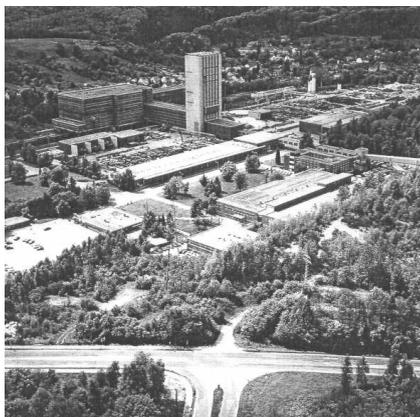
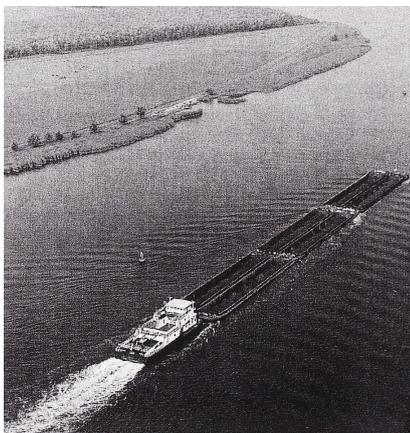
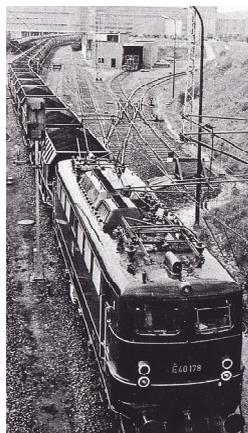


Рис. 5.81. Так выглядит поверхностный комплекс современной шахты и рудника

Полезные ископаемые, добытые из недр Земли, держат путь на перерабатывающие заводы и комбинаты, тепловые электростанции и предприятия. По железным дорогам и водным артериям транспортируются уголь, руды, строительные материалы, горнохимическое сырье (рис. 5.82).



а)



б)

Рис. 5.82. Транспортировка полезных ископаемых:
а) – водным путем; б) – железными дорогами

Добыча полезных ископаемых подземным методом – это сложный технологический процесс, происходящий в условиях, резко отличающихся от поверхностных. Во-первых, в подземных выработках накапливается вода. Она собирается в водосборниках, а затем поднимается на поверхность насосами, установленными в насосных камерах. Ежегодно из подземных выработок откачивается до 600 м^3 воды.

Во-вторых, для нормальной и безопасной работы под землей все подземные выработки должны быть обеспечены свежим воздухом. Это достигается применением специальных вентиляционных установок, нагнетающих воздух в подземное пространство. Отработанный воздух, насыщенный газом и продуктами взрывных работ, через вентиляционные стволы удаляется на поверхность. Технологический процесс добычи требует подачи свежего воздуха в объеме $20\text{--}30 \text{ м}^3/\text{мин}$.

В-третьих, горное давление, сопровождающее весь технологический процесс, выдвигает проблемы в охране выработок от разрушения. Для этого применяются крепления горных выработок. Кроме того, охрана и стойкость очистных выработок обеспечивается оставлением целиков полезных ископаемых или закладкой вынутаго пространства пустыми породами.

И, главное, подземные работы связаны с определенной опасностью и не освобождают людей от тяжелого труда. Обеспечение безопасных условий труда горняков – важная задача. Недаром в мире труд шахтеров является почетной профессией.

5.5. Скважинные методы добычи твердых полезных ископаемых

Выше, мы вас ознакомили с традиционными методами разработки месторождений, основанных на механическом отрыве полезных ископаемых от массива, необходимости перемещения миллионов тонн пустых пород и переработки всей горной массы.

И вот человечество научилось, кроме шахтного метода, добывать полезные ископаемые из недр Земли другими бесшахтными методами: путем подземного растворения солей, выщелачиванием руд некоторых металлов (уран), подземной выплавкой серы, подземной газификацией угля. Эти методы, позволяющие вести процесс добычи полезных ископаемых непосредственно на месте залегания, называются геотехнологическими.

Геотехнологический способ разработки месторождений основан на переводе полезных ископаемых с помощью тепловых, гидродинамических и химических процессов прямо в недрах Земли из твердого в жидкое состояние, в результате чего они становятся пригодными для транспортировки в виде растворов или пульпы через скважины на поверхность земли.

Геотехнология добычи полезных ископаемых обуславливает применение различных методов, которые разделяются на химические, физические и комбинированные.

К химическим методам относятся:

1. Растворение водой (каменная, калийная, магниевая и урановая соли, сульфаты, соды, сульфат-карбонаты и др.).

2. Выщелачивание растворами кислот – серной (азурит, куприт, некоторые урановые руды, минералы и т. д.), соляной (уранит, цинковая обманка, молибденит и т. п.) и азотной (серебряный и висмутовый блески), щелочей (бокситов, цинк и т. д.).

3. Термическая переработка полезных ископаемых сжиганием (подземная газификация угля, сланца, нефти).

К физическим методам относятся:

1. Выплавка (сера, озокерит и т. д.).

2. Разрушение рыхлых пород струей воды (скважинная гидродобыча рыхлых руд) и преобразование их в плавучее состояние вибрацией или другими методами.

К комбинированным методам относят использование как химических, так и физических процессов (например, выщелачивание металлов в электрических полях). К этим методам относится и бактериальное выщелачивание.

Геотехнология родилась на стыке горного дела, металлургии, химии и биохимии. Она имеет ряд положительных качеств: не нуждается в сложных машинах, обеспечивает высокую производительность труда при добыче, мало нарушается земная поверхность и меньше вреда наносится окружающей среде. Геотехнология освобождает человека от труда под землей.

5.5.1. Подземное растворение солей

В мировой практике получил распространение скважинный метод добычи солей путем подземного растворения водой. Этот метод применяется для добычи каменной, калийной и урановых

солей, сульфатов, соды и др. Рассмотрим этот метод на примере добычи каменной соли. Он был известен давно. Поваренную соль в Европе издавна испаряли из рассола, добываемого из колодцев или скважин глубиной до 60–70 м. В настоящее время методом подземного растворения добывают каменную соль в Украине, Беларуси, России, Армении. Технологический процесс добычи соли растворением заключается в том, что в месте ее залегания пробуривают скважину. Скважину обустроивают и подают в нее воду, которая растворяя соль, превращается в рассол. Рассолопромысел представляет собой комплекс наземных и подземных сооружений (рис. 5.82).

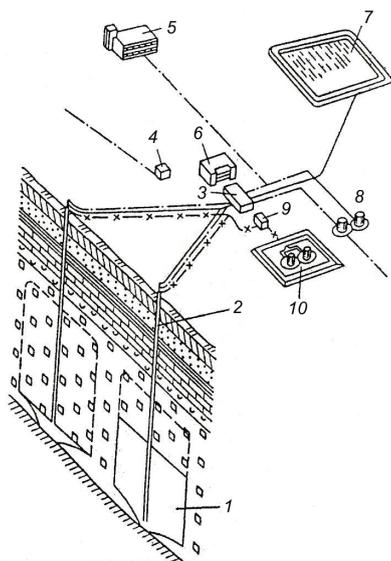


Рис. 5.82. Схема рассолопромысла:

1 – добычная камера; 2 – рассолодобычная скважина; 3 – контрольно-распределительный пункт; 4 – трансформаторная подстанция; 5 – завод-потребитель; 6 – административный дом; 7 – хранилище слабого рассола; 8 – резервуары воды и рассола; 9 – насосная станция нерастворителя; 10 – резервуары для нерастворителя

В пробуренную и обсаженную в кровле соляной залежи скважину опускают водоподающую и рассолоподъемную колонны труб. Вода, подаваемая в пласт через скважину, растворяет соль, а полученный рассол под давлением нагнетаемой воды поднимается на поверхность.

Методы подземного растворения солей разделяются на неуправляемые и управляемые. К первым относятся методы прямоточного и противоточного размыва (рис. 5.83). Растворение соли ведется по всей раскрытой толще соляной залежи, а скважины обустраиваются одной рабочей колонной труб. При прямоточном методе (рис. 5.83, а), вода подается прямым потоком к забою скважины, а рассол поднимается вверх между обсадной и водоподающей колоннами. При противоточном – вода подается по обсадной колонне, а рассол отбирается наверх через рабочую колонну труб (рис. 5.83, б).

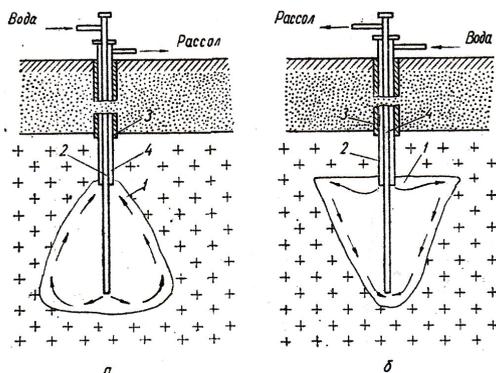


Рис. 5.83. Схема добычи каменной соли прямоточным (а) и противоточным (б) методами:

- 1 – камера размыва; 2 – водоподающая колонна; 3 – тампонажный цемент;
4 – рассолоподъемная колонна

При управляемом методе размыва, для получения рассола промышленной концентрации (305–310 г/л) отработка продуктивной толщи ведется в камерах ступенями снизу вверх. К кровле камеры подается нерастворитель (нефть, керосин, воздух), предохраняющий потолочину от растворения.

Нерастворитель легче рассола, поэтому он находится всегда в верхней части камеры размыва. Рассол под давлением извлекается по рассолоподъемной колонне на поверхность (рис. 5.84).

От скважины по трубопроводам рассол направляется через контрольно-распределительный пункт в резервуар некондиционного рассола, затем транспортируется к потребителю – солезаводу.

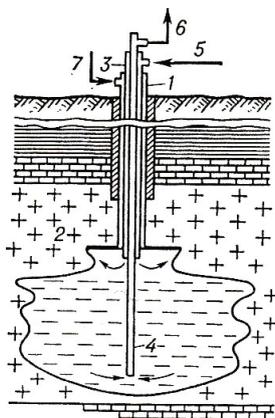


Рис. 5.84. Схема добычи каменной соли управляемым методом растворения:

1 – основная колонна; 2 – соляной пласт; 3 – водоподводящая колонна;
4 – рассолоподъемная колонна; 5 – водопровод; 6 – рассолопровод; 7 – трубопровод
нерастворителя

Растворы, получаемые методом подземного растворения, являются исходным сырьем для извлечения пищевой соли, хлора, соды и других продуктов.

5.5.2. Подземная выплавка серы

Этот процесс основан на применении геотехнологических методов добычи с термическим действием на горные породы, в результате чего полезное ископаемое, в данном случае сера, переходит из твердого состояния в жидкое, то есть происходит процесс плавления. Тепловым агентом в этом случае является горячая вода.

Промышленные скопления серы находятся в известняковых рудах. Глубина залегания известняков с серой находится в пределах от нескольких метров до 450 м и более. Мощность этих пластов составляет от нескольких сантиметров до 20–25 м, содержание серы – от 2 % до 30 %. В Европе наиболее известные месторождения находятся в Прикарпатье (Украина) и на границе Польши с Украиной (Яворивское месторождение).

Для добычи серы на месте залегания используют её свойство плавиться при температуре 112,8–119 °С. Принципиальная технологическая схема добычи серы методом подземной выплавки показана на рис. 5.85.

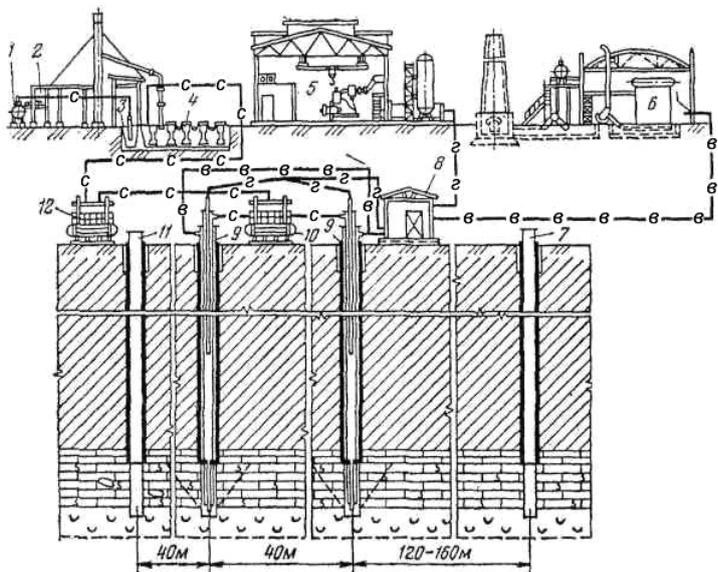


Рис. 5.85. Принципиальная технологическая схема добычи серы методом подземной выплавки:

- 1 – железнодорожная цистерна; 2 – эстакада; 3 – насос для жидкой серы;
- 4 – подогреватели на складе жидкой серы; 5 – компрессорная; 6 – котельная;
- 7 – водоотливная скважина; 8 – пункт для измерения; 9 – добывающие скважины;
- 10 – станция переагрузки серы; 11 – отработанная добывающая скважина;
- 12 – участковая станция переагрузки серы;
- с – пути серы; – в – пути воды; – г – пути сжатого воздуха

Добывающие скважины обсаживают колонной и цементируют их в кровле пласта, содержащего серу. После этого разбуривают весь продуктивный пласт и в скважину опускают три колонны – водоподающую, серную и воздушную диаметрами 168, 89, 34 мм. Горячая вода через фильтр попадает в серную залежь и разогревает серу. Расплавленная сера, как более тяжелая, стекает вниз и по серной трубе поднимается на высоту, равную гидростатическому давлению в пласте. Благодаря подаче сжатого воздуха сера эмульгируется и поднимается на поверхность через серную колонну. В дальнейшем расплавленная сера направляется через отстойные резервуары и фильтры для очистки на склад готовой продукции. Все коммуникации, в которых циркулирует расплавленная сера, подогреваются.

5.5.3. Подземная газификация угля

К геотехнологии относится также подземная газификация угля (ПГУ). Еще в 1887 г. Д.И. Менделеев, изучая технологию добычи угля и данные о пожарах в шахтах Донбасса и Урала, пришел к выводу о возможности газификации угля на месте его залегания путем сжигания угля под землей и выведения продуктов сжигания на поверхность (посредством скважин) в виде газов для последующего их использования. В 1888 г. он писал: “Настанет, вероятно, со временем даже такая эпоха, что уголь из земли вынимать не будут, а там в земле, его сумеют превратить в горючие газы и их по трубам будут доставлять на далекие расстояния”.

И уже в конце XIX века искусственный газ, добываемый из угля, широко использовался для отопления и освещения более чем в 40 странах мира. В настоящее время проявляют интерес к технологии подземной газификации угля в Китае, где в последние годы построено 10 промышленных станций ПГУ. В 2003 году вступила в строй крупная станция в Австралии, ведутся работы в этом направлении в Индии, КНДР, Южной Корее.

Россия обладает передовыми позициями в мире в области ПГУ. В этой стране в течение 40 лет (с 1955 г.) эксплуатировалась Южно-Абинская станция ПГУ. Сегодня в России разрабатываются новые технологии газификации угольных пластов с целью получения горючих газов со значительно большей теплотворной способностью.

Внедрение подземной газификации угля способствует более полному использованию угольных ресурсов и увеличению коэффициента извлечения запасов за счет введения в эксплуатацию некондиционных и многозольных пластов.

Подземная газификация – это получение газа из угля. Та часть пласта, в которой происходит процесс газификации, называется «подземный газогенератор». На рис. 5.86 показана технологическая схема подземной газификации угля, предложенная английским химиком В. Рамзеем.

Важным элементом подземного газогенератора являются каналы газификации, образующиеся по простиранию или по падению пластов. В эти каналы к угольным пластам поступает кислород, подаваемый с поверхности. Входя в канал газификации, кислород прогревается. Двигаясь дальше, он вступает в реакцию с углеродом угля, образуя окись и двуокись углерода. Образованная двуокись

углерода, а также водяной пар, поступающий из угольного пласта, омывают его поверхность и частично возобновляются углеродом до окиси углерода и водорода.

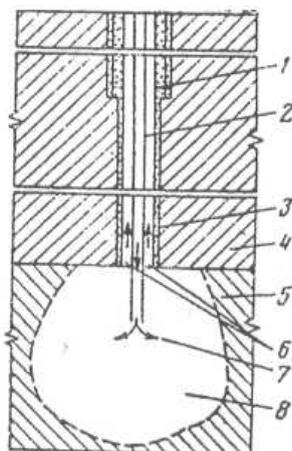


Рис. 5.86. Схема подземной газификации угля (по В. Рамзею):

1 – обсадная колонна; 2 – колонна для дутья; 3 – цементное кольцо; 4 – кровля; 5 – уголь; 6 – газ; 7 – дутье; 8 – загазованное пространство

При последующем движении через канал горючие газы нагревают уголь, в результате чего происходит термическое разложение его горючей массы с выделением летучих составляющих, поступающих в газовый поток. Дальше эта смесь, имеющая еще достаточно высокую температуру, омывает остальную поверхность канала, подсушивая уголь. Таким образом, процесс газообразования в канале газификации условно разделяют на четыре зоны: окисления или горения, возобновления, термического разложения угля и осушения.

Методом подземной газификации угля можно надежно, в любое время года, без применения труда шахтеров под землей, получать энергетический газ в промышленных масштабах и полностью заменить в котельных твердое и жидкое топливо энергетическим газом. Кроме того, коэффициент полезного действия газового топлива на 20–25 % выше, чем твердого.

Сегодня во многих странах мира работают электростанции на газе, полученном от подземной газификации и создаются горно-энергетические комплексы (рис. 5.87).

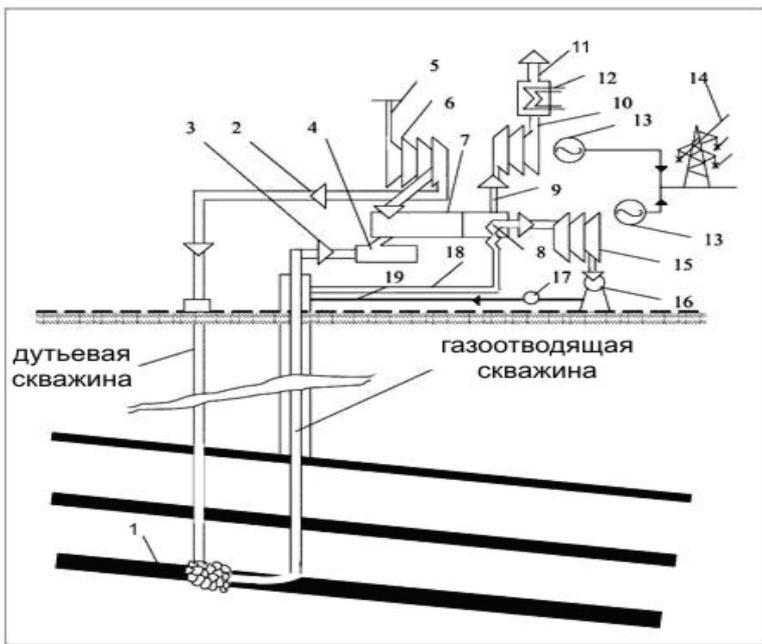


Рис. 5.87. Принципиальная схема автономного горно-энергетического комплекса на базе подземной газификации угля:

- 1 – подземный газогенератор; 2 – сжатый воздух; 3 – низкокалорийный газ; 4 – установка очистки газа; 5 – воздух; 6 – компрессор; 7 – камера сгорания; 8 – паропрогреватель; 9 – дымовые газы с температурой 800-850 °С; 10 – газовая турбина; 11 – вытяжная труба; 12 – экономайзер; 13 – генератор переменного тока; 14 – электросеть; 15 – паровая турбина; 16 – конденсатор; 17 – насос; 18 – пар с температурой 250 °С; 19 – вода

5.5.4. Подземная переработка сланцев

Горючие сланцы используются в качестве энергетического и технологического сырья. Технологическое использование сланцев основано на их свойствах при нагревании выделять значительно больше, чем любой другой вид топлива, высокосортных жидких и газообразных продуктов. Подземная газификация сланцев хорошо отработана в Эстонии, ФРГ, Швеции, США, Канаде.

Эта технология заключается в подготовке подземных камер, бурении скважин и их соединении. Сланцы сначала нагревают посторонним источником энергии, потом нагревание прекращают. Подается воздух и происходит термическое сгорание остаточного углерода и части сланцевой смолы. В процессе переработки можно

выделить четыре основные зоны. Первая – зона предварительного нагрева, в которой исходный газ нагревается за счет контакта с горячим отработанным сланцем. Потом газ проходит ниже, в зону сгорания остаточного углерода (при этом потребляется кислород, который содержится в газе, подаваемом к пласту). Здесь сгорает также часть жидких и газообразных углеводородов. Ниже располагается зона перегонки – термического разложения органических веществ сланца с получением жидких и газообразных углеводородов. В последней зоне газы и продукты сгорания охлаждаются, вода и жидкие компоненты частично конденсируются и стекают на дно, откуда они откачиваются на поверхность.

5.5.5. Подземное выщелачивание полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – метод добычи руд путем их растворения химическими реагентами в рудном теле на месте залегания с извлечением на поверхность.

Этот метод для добычи цветных металлов известен с XVI столетия. В XX столетии этот метод был освоен в крупных промышленных районах на медных рудниках в Мексике (1924 г.), медноколчедановых рудниках Урала (1939–1942 гг.). В настоящее время он применяется в России, США, Португалии, Австралии, Мексике, Японии, ФРГ и других странах.

При подземном выщелачивании проницаемых рудных тел, месторождение вскрывается системой скважин. В скважины подают растворитель, который, фильтруясь по пласту, выщелачивает полезные компоненты. Продуктивный раствор откачивается через другие скважины.

Особенностью месторождений, пригодных для подземного выщелачивания, является наличие минералов, вмещающих металл, способный легко разрушаться рабочим раствором. Вмещающие породы должны быть инертными к рабочим растворам, а руды иметь естественную или искусственную проницаемость. Схема разработки пластового месторождения методом выщелачивания через скважины показана на рис. 5.88.

В практике подземного выщелачивания, в зависимости от состава вещества руд, используют водные растворы минеральных солей, солей карбонатов щелочных металлов и растворители на базе серной кислоты.

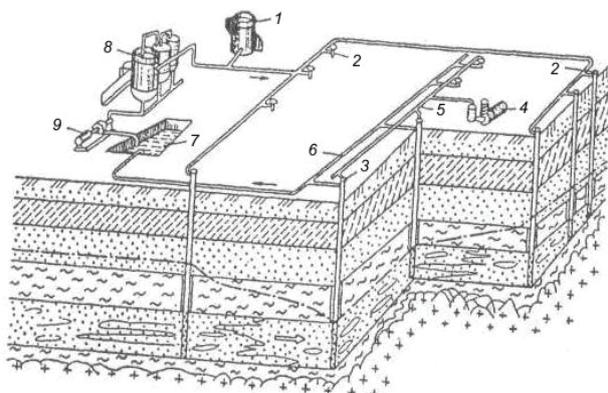


Рис. 5.88. Схема разработки пластового месторождения выщелачиванием через скважины:

- 1 – узел приготовления раствора; 2 – нагнетательная скважина; 3 – дренажная скважина; 4 – компрессор; 5 – воздухопровод для эрлифта; 6 – коллектор для продуктивных растворов; 7 – отстойник; 8 – установка для переработки раствора; 9 – насос

С 1957 года подземным выщелачиванием начали разрабатывать месторождения урана. При этом технологический процесс подземного выщелачивания урана проводится в несколько стадий: закисленность (осуществляется более слабыми растворами до появления промышленной концентрации урана); обработка руд рабочими растворами; вытеснение растворов из пласта водой (рис. 5.89).

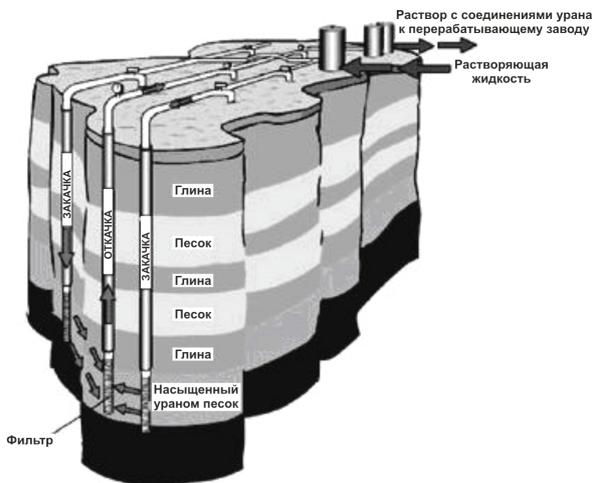


Рис. 5.89. Схема добычи урана подземным выщелачиванием

5.5.6. Добыча полезных ископаемых гидравлическим способом

Способ основан на процессе гидравлического разрушения горных пород, при котором нарушаются связи в горной породе и образуется дисперсная система, в которой дисперсная фаза представлена рудой грубого гранулометрического состава, а дисперсная среда – рабочим агентом (жидкостью). На рис. 5.90 показана принципиальная схема скважинной добычи твердых полезных ископаемых гидравлическим способом.

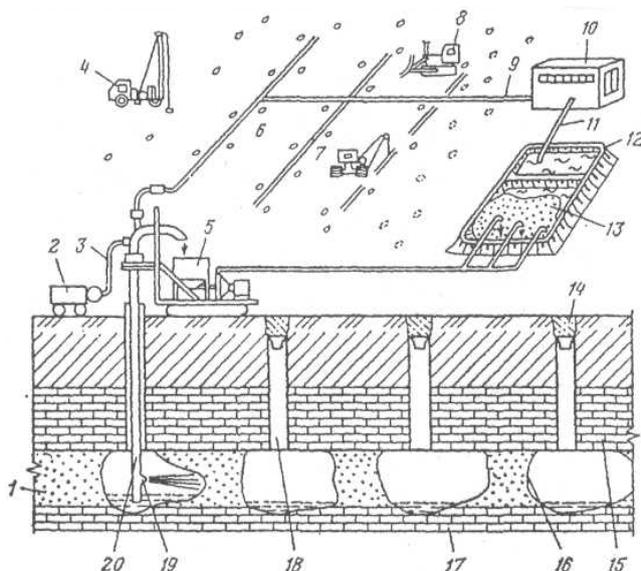


Рис. 5.90. Принципиальная технологическая схема скважинной гидродобычи:

- 1 – рудный пласт; 2 – компрессор; 3 – воздухопровод; 4 – буровой станок;
- 5 – добывающий агрегат; 6 – добывающее поле; 7 – трубоукладчик; 8 – бульдозер;
- 9 – водовод; 10 – насосная станция; 11 – всасывающая станция; 12 – бассейн с водой;
- 13 – карта намыва руды; 14 – тампонажные трубки; 15 – кровля пласта; 16 – целик;
- 17 – почва пласта; 18 – добывающая скважина; 19 – гидромонитор; 20 – эрлифт

Способ заключается в приведении руды на месте ее залегания в подвижное состояние путем гидромеханических воздействий и поднятия ее в виде гидросмеси на поверхность с дальнейшим транспортированием на обогатительную фабрику. Наиболее целесообразно разрушать связанные породы струей воды, создаваемой гидромонитором.

Струей гидромонитора можно практически разрушить породу любой прочности. Массив руды разрушается благодаря гидравлическому градиенту давления. Технологическая схема скважинной гидродобычи полезных ископаемых предусматривает бурение к рудному телу скважин диаметром 250–500 мм. Подземная гидродобыча с успехом применяется и при разработке месторождений, залегающих под водоемами.

5.6. Подводная добыча полезных ископаемых

Подводная добыча полезных ископаемых – это разработка месторождений полезных ископаемых под водами Мирового океана. Разработка поверхностных месторождений шельфа и ложа океана производится открытым способом через водную толщу. На поверхности шельфа и ложа океана сосредоточены огромные минеральные ресурсы марганца, кобальта, никеля, меди, россыпные месторождения минералов и металлов.

Подводная добыча полезных ископаемых имеет свою историю.

Первые попытки освоения шельфа предприняты в XI в. до н. э., когда финикийцы из отложений морских ракушек добывали сырье для производства пурпурной краски. Позднее (VI в. до н. э.) на островах Полинезии велась разработка коралловых рифов для получения строительных материалов. В III в. до н. э. с глубины 4 м у о. Халка в проливе Босфор, ныряльщики добывали медную руду. В конце XIX в. началось освоение россыпей золота, затем ильменита, рутила, циркона, монацита на побережье Австралии (1870 г.), Бразилии (1884 г.), Индии (1909 г.).

В начале XX века появились первые паровые многоковшовые драги с емкостью ковша 20 л, позволившие добывать полезные ископаемые на глубине до 12 м. В 20-х гг. XX в. была начата добыча олова из морских россыпей Индонезии, в 1963 г. – алмазов на шельфе Юго-Западной Африки. В начале 60-х гг. XX в. железная руда добывалась из россыпей залива Ариаке (Япония). В СССР работы по освоению морских россыпей были начаты в 1966 г. на шельфе восточной части Балтики, где добывались титано-цирконовые концентраты.

В заливе Кара-Богаз-Гол, как в огромном мелководном испарительном бассейне в пустыне, добывают минеральное сырье из вод Каспийского моря. Это уникальная кладовая природы, из которой

на основе комплексного использования морской воды, рапы, погребенных рассолов и пластовых залежей солей Кара-Богаз-Гола извлекают сульфат натрия, сернокислый магний, хлористый магний, бром, хлориды, сернокислый калий и другие элементы. Сиваш в Крыму – еще одно естественное хранилище химического сырья.

Из коренных месторождений морского дна извлекают уголь, железные руды, олово, серу. Шахты и рудники под дном моря имеют разветвленную сеть горных выработок.

В пляжной и прибрежно-морской зонах уже разрабатывают россыпные месторождения олова, золота, платины, редкоземельных элементов, железистых песков. Добыча в прибрежной зоне строительных материалов (песок, гравий, ракушечник) средствами современной техники позволяет получать высококачественное сырье по приемлемой себестоимости. Около одной трети потребляемой поваренной соли добывается из морской воды выпариванием.

В зависимости от горно-геологических и гидрологических условий, глубины разработки полезного ископаемого применяют различные технические средства (рис. 5.91), а также способы подводной добычи. Разработка ведется драгами, земснарядами, скреперами и т. д.

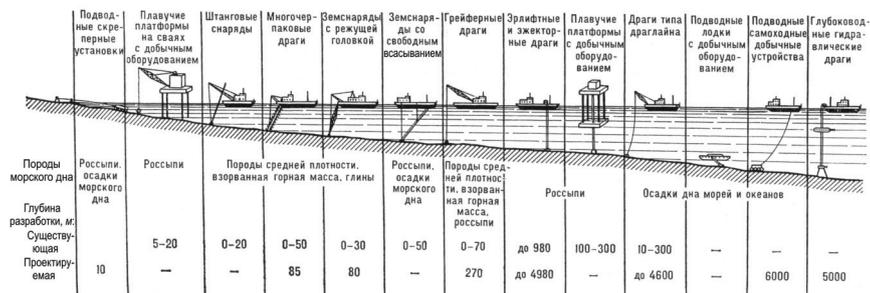


Рис. 5.91. Технические средства подводной добычи полезных ископаемых

Дражная разработка заключается в том, что полезное ископаемое извлекается драгами. Драга – комплексно-механизированный горно-обогатительный агрегат, работающий по принципу многоковшового цепного экскаватора, установленный на плавучую платформу. Имеет многочерпаковый рабочий орган для подводной разработки,

используется для разработки россыпей, извлечения из них ценных минералов.

В России драги широко применяются на россыпных золотых приисках Урала, Восточной Сибири и Дальнего Востока. Также иногда драгой называют судно, на которое установлен такой агрегат.

Существуют драги, работающие по принципу землесоса, то есть засасывают породу и перекачивают ее на обогатительную фабрику.

Для обеспечения эффективной работы драги проводятся подготовительные работы, требующие сооружения канав для подачи воды, сооружения насосных станций и трубопроводов.

Современные драги разделяются на континентальные и морские. Континентальные драги – плоскодонные. Морские драги монтируются на самоходных или буксирных судах. Драга оснащена рабочим органом для добычи продуктивных пород из-под воды, промывочно-обогатительными агрегатами для их обогащения и извлечения ценных минералов и отвальным оборудованием для укладки пустых пород (хвостов промывки) в отвале.

Кроме дражной разработки широко применяются при подводной добыче полезных ископаемых земснаряды. Земснаряд состоит из грунтового насоса, двигателя, свайного агрегата, грунтозабирающего насоса, аварийной системы и контрольно-регулирующей аппаратуры. Для обеспечения работы земснаряда, сооружаются подготовительные выработки (котлованы), заполняемые водой. После заполнения забоя водой, земснаряд углубляет начальный котлован до необходимой отметки и начинает планомерное вынимание породы.

Перспективы открытой подводной добычи на шельфе определяются ее преимуществами по сравнению с разработкой месторождений на суше. При этом строительство дражных и других технических судов на крупных судостроительных заводах исключает период строительно-монтажных работ на месторождении; значительно уменьшаются объемы по вскрытию месторождений полезных ископаемых; исключается строительство подъездных путей, линий электропередач и жилых поселков, а также отпадает необходимость отчуждения сельскохозяйственных земель и последующей их рекультивации.

Разработка месторождений недр Мирового океана осуществляется и подземными горными выработками. Подземная добыча из коренных месторождений с применением методов выемки руд полезных ископаемых мало чем отличается от добычи на суше.

На большинстве подводных шахт стволы закладываются на суше, вследствие этого откаточные выработки имеют протяженность в несколько километров. Применяют вскрытие шахтных полей стволами с искусственных островов (например, шахта «Майке», Япония). Глубина заложения горных выработок под дном, исключая их затопление, зависит от свойств вышележащих пород и обычно равна 65–80 м. Разработка месторождений ведется с закладкой выработанного пространства; проветривание морских шахт осуществляется через один ствол по трубам.

В настоящее время известно более 100 шахт и рудников, эксплуатируемых из системы подводных выработок, пройденных с берега естественных или искусственных островов. В основном в них добывают уголь, железные и медно-никелевые руды, олово, ртуть, другие ископаемые.

Наибольший объем подводной добычи приходится на добычу нефти и газа из-под Мирового океана.

Из числа эксплуатируемых в настоящее время прибрежно-морских месторождений наиболее известны: оловоносные пески у берегов Индонезии, Таиланда и Малайзии; золотосодержащие россыпи у берегов Северной Америки; алмазосодержащие гравийные отложения у берегов Юго-Западной Африки; прибрежные редкоземельные и магнетитовые россыпи у берегов Австралии, Индии, Японии; баритовые месторождения у берегов США и янтареносные отложения в юго-восточной части Балтийского моря.

Горно-морское предприятие для разработки россыпного месторождения должно располагать технологическим комплексом, добычной установкой с рыхлящим и транспортирующим механизмами, вспомогательными системами. Основные технологические операции включают вскрышные работы, разработку донных или пляжных отложений (содержащих полезное ископаемое), получение черного концентрата, доставку добытого материала к местам переработки или складирования, удаление отходов обогащения и др.

Основным функциональным элементом горно-морского предприятия, определяющим эффективность его работы, является добычная установка, состоящая из рыхлящего механизма с приводом и транспортирующего агрегата.

Система разработки морского россыпного месторождения выбирается в зависимости от вида технологического комплекса, его

добычной и транспортирующих установок и рыхлящего механизма с учетом последовательности отработки россыпи и забоя. При этом применяют следующие системы разработок: заходками, спиральями, веерами, полигонами, траншеями.

Сегодня основные направления по дальнейшему освоению шельфа сводятся к разработке методов геологических поисков и опробования морских россыпей шельфа с установлением их геолого-экономической оценки; разработке научных основ технологии подводной добычи полезных ископаемых в районах континентального шельфа и океанического ложа без ущерба для водных организмов; созданию машин, производящих добычу и обогащение полезных ископаемых на всех глубинах шельфа.

5.7. Гидромониторная добыча полезных ископаемых

Гидромониторная разработка полезных ископаемых – это ведение горных пород путем разрушения массива водами гидромониторов. Гидромониторная добыча полезных ископаемых применяется как на открытых, так и на подземных разработках.

Гидромонитор – устройство, служащее для создания плотной, летящей с большой скоростью водяной струи и управляемой при размыве и отбойке полезного ископаемого или породы (рис. 5.92).

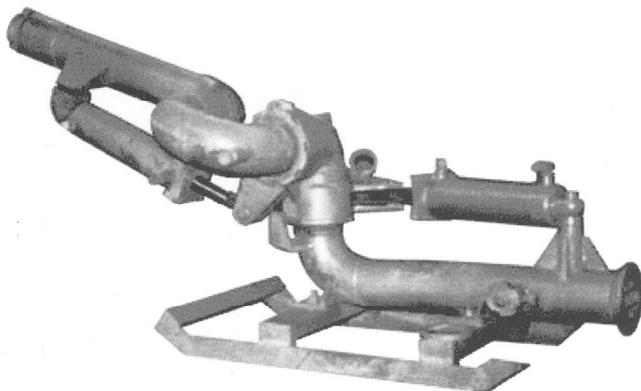


Рис. 5.92. Общий вид гидромонитора

Гидромонитор состоит из подвижной части, к которой подводится по трубопроводу под напором вода от насоса и,

соединенного с ней с помощью двух шарниров, ствола с насадкой на конце. Гидромониторы, в зависимости от условий применения, различают для открытых и подземных работ (табл. 5.9).

Таблица 5.9. Гидромониторы для открытых и подземных работ

Условия работы	Система управления	Тип, марка
Открытые	с ручным управлением	ГМ-2, ГМП
	с гидравлическим дистанционным управлением	ГМП-250 с, ГУЦ-ДУ
Подземные	с ручным управлением	ГМ-2
	с гидравлическим дистанционным управлением	ГМДЦ, ГМДЦ-2
	с программным управлением	ГПС-1

Гидромониторы для подземных работ делятся: по назначению – для очистных и подготовительных работ; по характеру перемещения за забоем – переносные, самоходные, подвесные и передвигаемые гидрпередвижником.

Гидромонитор с дистанционным программным управлением ГПС-1 предназначен для производства гидроотбойки в очистных и подготовительных забоях гидрошахт при разработке пластов средней мощности и мощных при любых углах падения. Состоит из поворотного ствола, автоматов горизонтального и вертикального качания стволов, турбонасосного агрегата, гусеничного хода и пульта дистанционного управления со шлангами.

Гидромониторная разработка горных пород на открытых работах происходит встречным, попутным и попутно-встречным забоями. Размытая порода с водой от забоя по площадке уступа или канавы поступает в зумпф, откуда грунтовым насосом передвигается трубопроводом к месту укладки. Гидромониторная разработка применяется как при снятии пород вскрыши, так и при добыче полезных ископаемых. На открытых работах все чаще используют гидромониторно-землесосные установки, представляющие комплекс оборудования для разработки забоя струей воды и напорного транспортирования образовавшейся гидросмеси. Установка состоит из гидромониторов и насосной установки.

Гидромониторная разработка применяется и при подземной добыче полезных ископаемых и в первую очередь угля. Гидравлическая добыча угля – это процесс подземной выемки угля, его транспортировки и подъема на поверхность с использованием жидкостных струй.

В качестве источника жидкостей чаще всего используется приток подземных вод в шахту.

Гидравлический способ добычи угля был впервые применен в СССР на угольной шахте Кизила в 1936–1937 г.г., а широкое его использование в угольной промышленности страны началось практически с 1952 года. В Кузнецком, Донецком и Карагандинском бассейнах гидравлическим способом за период с 1952 по 1980 г.г. было добыто более 150 млн. тонн угля. В последующие годы в этих бассейнах добыча угля гидравлическим способом производилась на 9 гидрошахтах.

Гидравлическая добыча угля получила широкое развитие и применение и определилась как самостоятельное прогрессивное технологическое направление. Она отличается малооперационностью технологического процесса, высокой производительностью труда, низкой себестоимостью, улучшением труда и безопасности ведения горных работ в очистных и подготовительных забоях.

В СССР, а затем в СНГ и ряде зарубежных стран проводятся научно-исследовательские работы в области изыскания новых методов разрушения и средств выемки полезных ископаемых. Результатом этих работ явилось совместное использование высокоскоростных жидкостных струй и работы горных комбайнов для разрушения пород. Появилось новое направление – механогидравлическая выемка, т. е. применение струй в качестве инструмента разрушения в исполнительных органах очистных и проходческих комбайнов.

В последние годы механогидравлическая выемка и гидроотбойка являются основными способами при очистной и подготовительной выемке угля. Механогидравлическая выемка с успехом применяется при добыче крепких, малотрещиноватых углей, где механическая и гидроотбойка малоэффективны, и обладает более низкой энергоемкостью. К недостаткам механогидравлической выемки угля относятся: непрерывный контакт рабочего органа комбайна с забоем, трудоемкость замены изношенного инструмента (зубцов), ограниченность выемки по углу падения пластов, зависимость производительности от абразивности горных пород.

И все же, механогидравлическая добыча угля, благодаря лучшим, по сравнению с традиционной технологией показателям, получила свое развитие и внедрение.

Раздел 6

ДОБЫЧА НЕФТИ И ГАЗА

В этом разделе речь пойдет о добыче нефти и газа, методах бурения скважин и разработки нефтегазовых месторождений.

6.1. Основные формы залегания и характеристика пород, вмещающих нефть и газ

Процессы добычи нефти и газа связаны с особенностями строения горных пород, в которых залегают нефть и газ. В основном это осадочные породы земной коры. Главные составляющие – это песчаники, глины и алевролиты. Нефть и газ в осадочных породах находятся в пустотах между зернами песчаника или в трещинах пород, представленных известняками.

Формирование осадочных пород происходит в водной среде за счет разрушения пород поверхности суши и смывания их водными потоками (реками) в морские или океанические водоемы. Непосредственно возле береговой линии оседали крупнозернистый песок и галька, а в более глубоководных, отдаленных от берегов частях моря, откладывались мелкие частички в виде мула. На протяжении исторического периода изменялись условия осадконакопления и образовывались слои различного состава. Слой осадочной горной породы, характеризующийся одинаковым минералогическим составом, называется пластом. Поверхность, ограничивающую пласт сверху, называют покрытием, а поверхность, ограничивающую его снизу – подошвой.

В результате тектонических движений земной коры, когда ее отдаленные участки то поднимаются, то опускаются, что нередко сопровождается разрывными нарушениями, пласты изменяют свое горизонтальное положение и образуют складки разной структурной формы: антиклинальной и синклиальной. Антиклинальной называется складка слоев горных пород, повернутая выпуклостью вверх, синклиальной – складка, повернутая выпуклостью вниз.

На рис. 6.1 показано залегание нефти в геологических структурах.

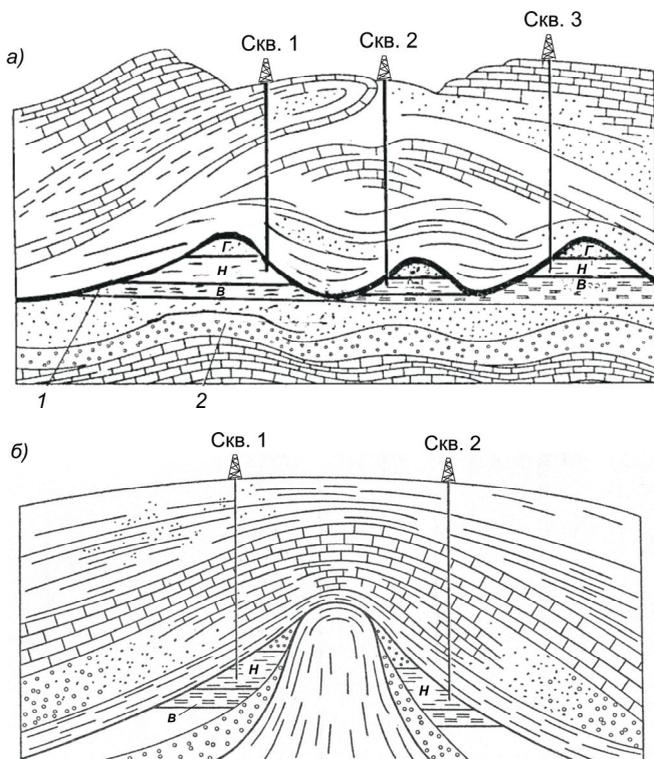


Рис. 6.1. Залегание нефти в геологических структурах:

а) – в глинах и песчаниках; б) – в солях

Скв. 1, Скв. 2, Скв. 3 – скважины

1 – непроницаемый пласт глины; 2 – песчаник; 3 – соляной купол

Г – газ; H – нефть; В – вода

Горные породы, способные вмещать нефть, газ и воду и отдавать их в процессе разработки, называются коллекторами.

Большинство пород-коллекторов имеют осадочное происхождение. Коллекторами нефти и газа являются пески, песчаники, алевролиты, известняки, доломиты, соли.

Главные свойства пород-коллекторов – пористость и проницаемость. Пористость характеризует объем пустот в породе, а проницаемость – способность породы пропускать через себя нефть, газ и воду под действием перепадов давления.

Для обеспечения накапливания и сохранения нефти и газа в пористом и проницаемом пространстве, необходимо чтобы оно было

перекрыто непроницаемыми породами. Такими породами могут быть глины и каменные соли.

Залежи нефти и газа – это их природное накопление в проницаемых пористых или трещиноватых коллекторах. Газ, нефть и вода размещаются в залежи нефти, согласно их плотностей (рис. 6.2): газ – в верхней части залежи (покрышке), ниже – нефть, еще ниже – вода.

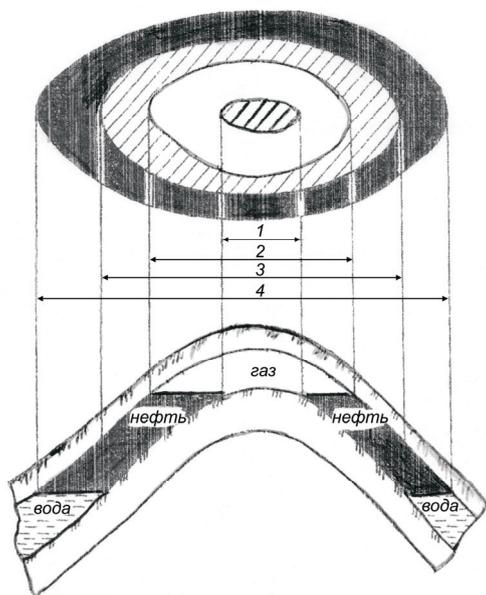


Рис. 6.2. Схема залежей и контуров нефти и газа:

- 1 – внутренний контур газонасыщенности; 2 – внешний контур газонасыщенности;
- 3 – внутренний контур нефтенасыщенности; 4 – внешний контур нефтенасыщенности

Совокупность залежей нефти и газа, относящаяся к одной или нескольким ловушкам в недрах земной коры одной и той же ограниченной географической площади, называется месторождением нефти и газа. Группы нефтяных и газовых месторождений, подобно месторождениям ископаемого угля, образуют нефтегазовые бассейны. Они, как правило, приурочены к прогибам земной коры, в которых залегают осадочные породы. Примером нефтегазовых бассейнов являются: Каспийский нефтеносный бассейн, Волго-Уральский

бассейн, Западно-Сибирский бассейн. Крупные бассейны известны и в других регионах и странах. Они расположены как на материках, так и под дном морей и океанов.

6.2. Как же образовались нефть и газ?

О том, как образовались месторождения нефти и газа, ученые много спорят. Существуют разные гипотезы о происхождении нефти и газа. Одни ученые, геологи – сторонники гипотезы неорганического происхождения – утверждают, что нефтяные и газовые месторождения образовались вследствие просачивания из глубины земли углерода и водорода, их объединений в форме углеводородов и накопления в породах-коллекторах.

Наиболее аргументированную гипотезу неорганического происхождения нефти и газа выдвинул Д.И. Менделеев, согласно которой, образование углеводородов нефти происходит по такой схеме. Трещины в недрах Земли могут быть каналами, по которым поверхностные воды проникают вглубь Земли; под действием высоких температур и давлений могут происходить реакции взаимодействия воды с карбидами меди, в результате чего образуются углеводороды и окиси металлов.

Другие геологи, ученые, которых большинство, полагают, что нефть, подобно углю, возникла из органической массы, погребенной на глубине под морскими осадками, где из нее выделялись горючие жидкости и газ.

Еще в доисторические времена в морях и озерах обитали бесчисленные микроорганизмы, бактерии и водоросли, именуемые в своей совокупности планктоном. Отмирая, планктон оседал на дно водоемов и смешивался с седиментами глины и известняка. В дальнейшем процессе, происходящем с органической материей без доступа кислорода, образовывался исходный материал для нефти и газа, так называемая материнская порода. В дальнейшем на материнской породе оседали другие слои отложений, под тяжестью которых, в результате смещения земной коры, материнская порода опускалась все глубже и глубже. По мере опускания на глубину в несколько тысяч метров давление на пласт породы, содержащей органический материал, возрастало, а плотность и температура увеличивались. Из органического материала образовывалась нефть.

Обе гипотезы происхождения нефти (газа) – неорганическая и органическая объясняют часть фактов, но оставляют без ответа другую их часть. Полная разработка теории образования нефти и газа еще ждет своих будущих исследователей.

6.3. Поиски и разведка нефтегазовых месторождений

Прошли столетия, когда человек добывал нефть из ям и колодцев, а газ сам поступал на поверхность из недр Земли. Сегодня нефтяные и газовые месторождения залегают глубоко под землей в разных геологических структурах и чтобы найти и добраться до них, надо провести комплекс поисково-разведочных работ.

Цель нефтегазоразведки – выявление, геолого-экономическая оценка и подготовка к разработке промышленных залежей нефти и газа. Поисково-разведочные работы производятся с помощью геологических, геофизических, геохимических и буровых работ. Они включают два этапа: поисковый – подготовка площадей к глубокому поисковому бурению и поиску месторождений и разведочный – подготовка месторождений к разработке.

В процессе проведения геологических работ производится геологическая и структурно-геологическая съемки, а также геоморфологические исследования. Изучаются состав пород, характер их залегания, особенности строения верхней части земной коры.

Геохимические методы поисков полезных ископаемых ставят своей целью изучение органических веществ, физико-химические характеристики и состав пластовых вод и газов.

В последнее время наиболее распространенными в разведке залежей нефти и газа стали геофизические методы, а именно гравиметрическая, магнитная, электрическая и сейсмическая разведки.

Сейсмическая разведка базируется на изучении процессов распространения искусственных упругих волн в земной коре.

Электроразведка используется для интерпретации разреза в пробуренных скважинах и называется электрическим каротажем. Электрический каротаж в скважинах выполняется путем применения специального комплекса, в котором измерительная техника находится на поверхности в специальном автомобиле, а скважинный прибор опускается в скважину.

Разведочный этап – завершающий в геологоразведочном процессе.

Основная цель этого этапа – подготовка месторождения к разработке. В процессе разведки должны быть оконтурены залежи, определены литология, состав, мощность, нефтегазонасыщенность, коллекторские свойства продуктивных горизонтов, изучены изменения этих параметров по площади, исследованы физико-химические свойства нефти, газа и воды, установлены продуктивности будущих скважин.

Теперь мы знаем, чтобы вскрыть продуктивную залежь, необходимо ее досконально изучить, оценить, подготовить к разработке и в конечном итоге начать бурить скважины.

6.4. Бурение скважин

Бурение скважин – это единственный способ поиска, разведки, прироста запасов и добычи нефти и газа. Скважиной называют цилиндрическую горную выработку большой длины и малого (в сравнении с длиной) диаметра, сооружаемую с помощью специальных инструментов и механизмов. Начало скважины на поверхности называют устьем, а дно – забоем. Там, где должна буриться скважина, оборудуется буровая вышка с комплексом механизмов и оборудования (рис. 6.3).

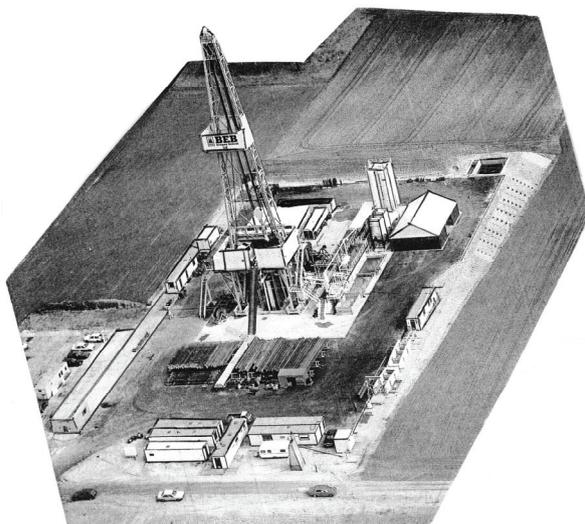


Рис. 6.3. Так выглядит буровая вышка

Скважины выполняют широкую гамму функций: открытие новых месторождений и новых залежей, изучение геологического строения, условий залегания пластов, оконтуривание месторождений, эксплуатация месторождений на полностью подготовленных площадях.

И, наконец, еще одна важная функция скважин – захоронение промышленных отходов, ликвидация открытых фонтанов нефти и газа, подготовка структур для подземных хранилищ газа. Эти функции выполняют специальные скважины.

Существуют разные способы бурения скважин, зависящие от принципа разрушения горных пород: механический, гидродинамический, термический, электрофизический и химический.

Основной способ бурения – механический. При этом способе горная порода разрушается механическим действием породоразрушающего инструмента. Механические способы бурения включают в себя: ударное бурение, когда горная порода разрушается периодическим действием ударов породоразрушающего инструмента; вращательное бурение – когда горная порода разрушается за счет непрерывного вращения породоразрушающего инструмента с прилагаемой к нему осевой нагрузкой; и ударно-вращательное бурение – при котором горная порода разрушается за счет непрерывного действия ударов и вращения породоразрушающего инструмента.

Наиболее широкое промышленное применение при сооружении нефтяных и газовых скважин нашли способы вращательного бурения, при которых породы разрушаются в результате непосредственного вращения породоразрушающего инструмента – долота, а обломки породы выносятся на дневную поверхность.

В зависимости от вида механизма, приводящего во вращательное движение долото, различают такие способы бурения: роторный, турбинный и электробурение.

При роторном бурении долото приводится в движение с помощью механизма (ротора), установленного на поверхности. На рис. 6.4 показана буровая и ее механизмы при роторном бурении.

При роторном бурении разрушающий инструмент вращается вместе с бурильной колонной с помощью роторного механизма бурового станка. Роторный способ бурения с промыванием забоя циркулирующим потоком жидкости широко распространен в мировой

практике. Этот метод бурения впервые был применен в США в 1905 году. Он постоянно совершенствуется.

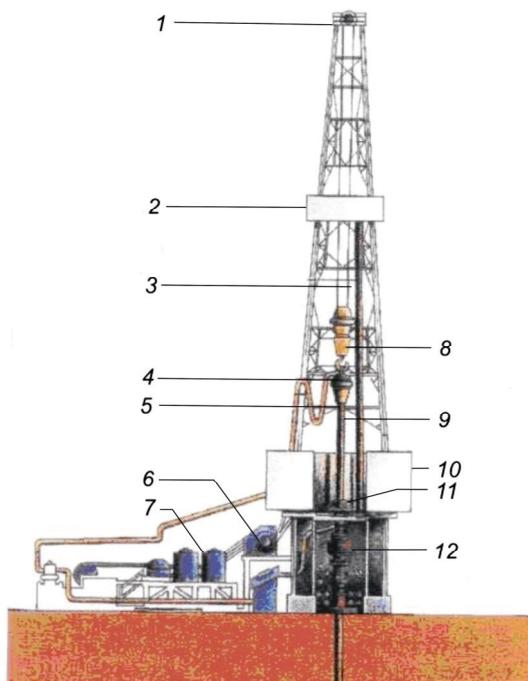


Рис. 6.4. Буровая установка роторного бурения:

- 1 – кран-блок; 2 – буровая площадка; 3 – буровые трубы; 4 – промывочная головка;
5 – грязевой промывочный шланг; 6 – лебедка; 7 – привод; 8 – талевая система;
9 – ведущая бурильная труба; 10 – индикатор веса; 11 – роторный стол; 12 – заслонка

При бурении турбобурами бурильная колонна, представляющая собой трубы, соединенные в одну нить, не вращается. Турбинный способ бурения скважин был разработан в СССР. В 1923 году М.А. Капелюшников создал турбобур с одноступенчатой осевой турбиной и уже в 1924 году в Азербайджане была пробурена первая скважина с помощью этого турбобура. Позже были созданы многоступенчатые турбобуры.

Турбинный способ бурения более прогрессивный, чем роторный, поскольку бурильная колонна не вращается, что обеспечивает

высокий коэффициент передачи мощности от источника энергии (турбины) к породоразрушающему инструменту (рис. 6.5).

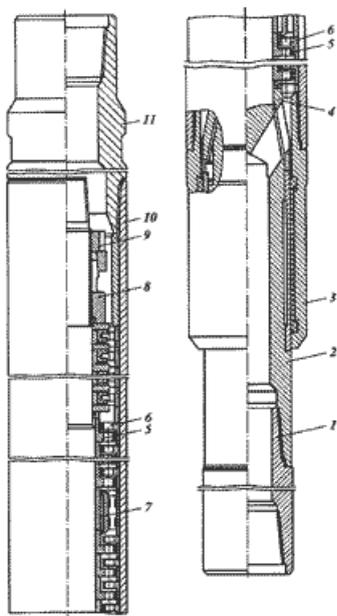


Рис. 6.5. Турбобур типа Т12МЗБ-240:

1 – переводник вала; 2 – вал; 3 – ниппель; 4 – упор; 5 – ротор; 6 – статор; 7 – опора средняя; 8 – гайка роторная; 9 – контргайка; 10 – корпус; 11 – переводник верхний

При турбинном бурении основной параметр, от которого зависят режимы работы – количество прокачиваемой промывочной жидкости. Изменение подачи промывочной жидкости влечет за собой изменение частоты вращения снаряда и изменение нагрузки, прилагаемой к долоту.

При постоянном расходе промывочной жидкости увеличение осевой нагрузки на долото вызывает автоматическое уменьшение частоты вращения вала турбобура. Постепенно, изменяя осевую нагрузку на долото, можно найти такую частоту вращения, при которой мощность и КПД турбобура, а также механическая скорость бурения, достигают максимальной величины. Турбинное бурение обеспечивает бурение скважин глубиной до 7 000 м.

Следующим этапом в совершенствовании процессов бурения была конструкция забойного двигателя – электробура, разработанного в 1937–1940 гг. в СССР А.П. Островским, Н.Г. Григоряном, А.А. Богдановым. Преимущества электробуров по сравнению с гидравлическими забойными двигателями (турбинами) – независимость параметров режима бурения, возможность контроля процесса работы двигателя с поверхности, наличие электрического канала связи между забоем скважины и поверхностью (рис. 6.6).

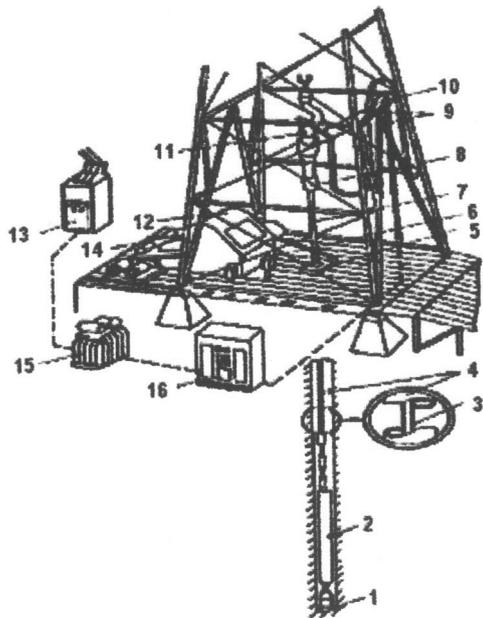


Рис. 6.6. Схема установки для бурения электробуром:

1 – долото; 2 – электробур; 3 – кабель; 4 – бурильная труба; 5 – ротор; 6 – пульт управления; 7 – ведущая труба; 8 – токоприемник; 9 – наружный кабель; 10 – гибкий шланг; 11 – вертлюг; 12 – лебедка; 13 – распределительное устройство; 14 – регулятор подачи инструмента; 15 – трансформатор; 16 – станция управления электробуром

Из каких операций и видов работ состоит процесс бурения?

Процесс бурения скважин состоит из таких основных операций: 1 – опускание бурового инструмента в скважину; 2 – вращение долота и разрушение породы; 3 – наращивание бурового инструмента с углублением скважины; 4 – промывание забоя глинистым раствором

для удаления выбуренной породы на поверхность; 5 – подъем бурового инструмента с целью замены изношенного долота.

По мере углубления скважины в нее опускают обсадные трубы, для предохранения стенок скважины от обвалов.

Все виды работ разделяются на группы:

1. Подготовительные работы по монтажу бурового оборудования (планирование и обустройство площадок под буровые, сооружение подъездных дорог, проведение водопровода, электролиний, телефонной связи, обеспечение буровой бурильными трубами, оборудованием, инструментами и т. п.).

2. Монтаж буровой вышки (рис. 6.7), бурового оборудования и наземных сооружений.

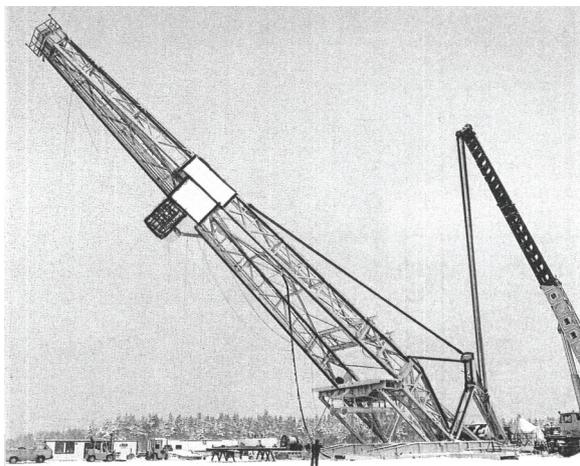


Рис. 6.7. Монтаж буровой вышки и ее подъем в вертикальное положение

3. Подготовительные работы для бурения скважин (установление направления оснастки талевой системы, проверка и испытание бурового оборудования, приготовление бурового раствора).

4. Бурение скважин, крепление их стенок и разграничение пластов.

5. Испытание продуктивных горизонтов, освоение скважин и сдача их в эксплуатацию.

6. Демонтаж бурового оборудования.

Основным заданием буровых является доведение скважин до проектной глубины и выполнение всех технических частей проекта.

Соединение устанавливаемых в скважине труб, называют колонной. Первая колонна, устанавливаемая в горловине скважины, является направляющей. Она устанавливается строго вертикально, ее высота составляет 5–10 м. Заколонное пространство цементируется.

Первая колонна предназначена для направления потока бурового раствора, используемого для разрушения и выноса выбуренной из скважины породы в желобную систему, она также оберегает скважину от размыва потоком раствора.

Следующей колонной является кондуктор, опускаемый в скважину в зависимости от геологической обстановки на глубину 100–500 м. Он предназначен для предотвращения загрязнения питьевых водных горизонтов фильтратом бурового раствора и защиты скважины от возможных осложнений.

За кондуктором в скважину опускается эксплуатационная колонна. Такая конструкция скважины считается одноколонной.

При сложных условиях залегания пластов и высокой прочности горных пород в скважину могут опускаться, кроме эксплуатационной, две и более промежуточные (технические) колонны. Тогда конструкции считаются дву- триколонные и более.

Горная порода при бурении разрушается породоразрушающими инструментами – буровыми долотами (рис. 6.8, а).

При взаимодействии долота с породой образуется цилиндрическая горная выработка. Долото вращается при осевой нагрузке на забой вместе с бурильной колонной (при роторном бурении) или вместе с валом забойных двигателей (турбобуров, электробуров). В зависимости от прочности горных пород, хрупкости, абразивности, используются разные типы буровых долот (рис. 6.8, б, в).

Мы уже упоминали о том, что в скважину во время процесса бурения подается буровой промывочный раствор (рис. 6.8, г). К нему предъявляются определенные требования: способствовать разрушению пород, очистке забоя и транспортировке породы на поверхность, поддержанию прочности стенки скважины, невозможности процесса осаждения обломков породы в стволе скважины.

Буровые растворы могут быть разного состава и изготовлены на разных основах: водной, нефтяной и газообразной. В состав буровых

растворов входят естественные минералы (глины, гидрослюды), а также различные химические реагенты.

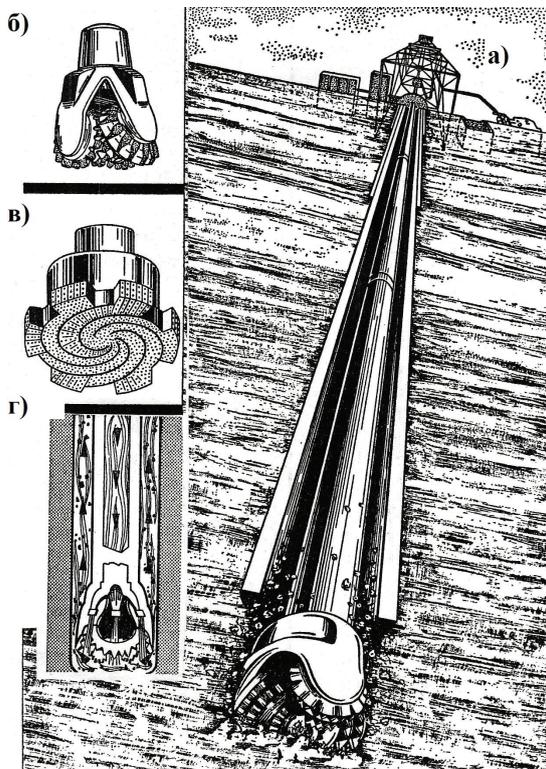


Рис. 6.8. Технологические элементы бурения скважин:

а) – разрушение породы при бурении; б) – буровое долото шарошечного типа; в) – долото алмазное; г) – подача бурового раствора в забой скважины

Основным агрегатом бурового комплекса являются буровые установки. Габариты и масса установок зависят главным образом, от глубины бурения скважин, типа силового привода и географических условий района бурения.

Использование современных буровых установок для глубокого разведочного и эксплуатационного бурения на нефть и газ позволяет бурить скважины глубиной от 2 до 10 тыс. м и более.

В странах СНГ, и в частности в Украине, широко используются буровые установки, выпускаемые «Уралмашем», типа БУ-2 500, ДТУ, Уралмаш 3 000 ЕУБ, Уралмаш 15 000 и др.

Сегодня уже освоен выпуск целых буровых комплексов. Так, для сибирских нефтяников компания «Кунгур» (Россия) освоила выпуск мобильных буровых комплексов (рис. 6.9), состоящих из отдельных производственных модулей.

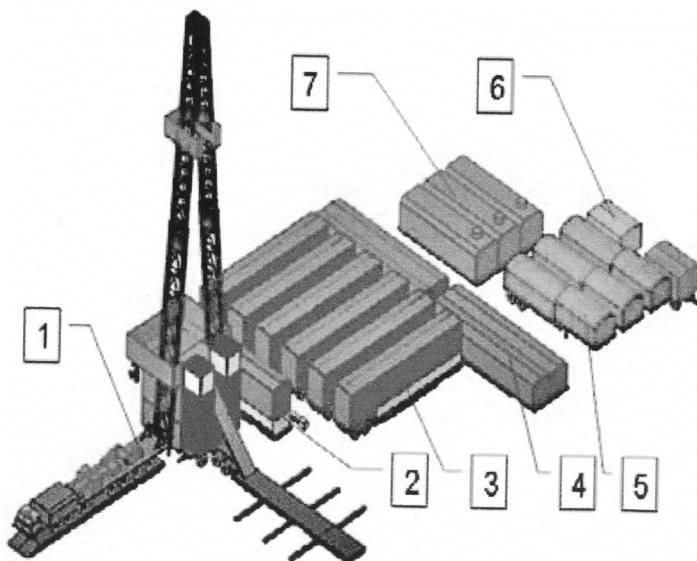


Рис. 6.9. Схема бурового комплекса, состоящего из модулей:

1 – лебедочный блок; 2 – блок очистки бурового раствора; 3 – блоки приготовления и хранения бурового раствора; 4 – насосно-компрессорные блоки; 5 – электростанция 1 000 кВт; 6 – электростанция 315 кВт; 7 – блочно-модульная котельная установка

Современная техника позволяет применять разные виды бурения в зависимости от технических и геологических условий: вертикальное, наклонно-направленное, горизонтальное, кустовое, бурение на акваториях (морское бурение). Наиболее распространено бурение вертикальных скважин. В последние годы также применяется горизонтальное бурение, вызванное интенсификацией добычи нефти, повышением нефтеотдачи пластов, уменьшением количества скважин. Первые скважины такой конструкции были пробурены в

СССР в 1941 г. С 70-х годов прошлого века этот метод интенсивно развивается.

Наряду с механическими методами бурения разрабатывались и исследовались другие методы. Перспективным считается термический способ, при котором горная порода разрушается тепловым действием с помощью лазеров. Лазеры – это квантовые генераторы в оптическом участке спектра, работающие по принципу излучения. Активными веществами в лазерах могут быть разные диэлектрические кристаллы, стекло, газы, полупроводники, плазма. Большая мощность лазеров с высокой плотностью излучения достаточна для расплавления горных пород.

По окончании бурения скважины проводится комплекс работ по ее исследованию геофизическими и гидродинамическими методами. Геофизическими методами изучается геологический разрез скважины, поиск производительных горизонтов, изучается техническое состояние скважины. Гидродинамическими методами изучаются характеристики пластов-коллекторов, а именно: эффективная толщина пластов, границы их распространения, коллекторские параметры пластов, их температурный режим, физико-химические параметры пластовых флюидов.

Таким образом, скважина пробурена, исследована и далее ее сдают в эксплуатацию.

6.5. Способы добычи нефти

Когда скважина пробурена, ее устье оборудуют колонной головкой, назначение которой – обеспечение необходимой герметизации затрубного пространства между эксплуатационной и промежуточной колоннами, удержание в подвешенном состоянии насосно-компрессорных труб, находящихся в скважине. Колонная головка монтируется на весь период эксплуатации. Опущенные в скважину насосно-компрессорные трубы предназначены для поднятия нефти и газа на поверхность. В зависимости от способа эксплуатации скважин эти трубы называют фонтанными, компрессорными, насосными и подъемными. Насосно-компрессорные трубы имеют диаметр от 33 до 104 мм при толщине стенок от 4 до 7 мм. Длина труб – от 5 до 9,5 м. Трубы имеют на конце резьбу и соединяются с помощью специальных резьбовых муфт.

Процесс эксплуатации нефтяных скважин заключается в поднятии нефти от уровня продуктивных пластов на поверхность земли. На практике эксплуатация нефтяных скважин производится тремя способами: фонтанным, газлифтным и насосным (механическим). Выбор способа эксплуатации определяется пластовым давлением. Пластовое давление – это давление, под которым находится нефть на нефтяных месторождениях в тонких каналах – капиллярах.

Рассмотрим способы эксплуатации нефтяных скважин.

6.5.1. Фонтанный способ добычи нефти

Нефть находится под землей под давлением. При прокладке к ней пути в виде скважины, она устремляется на поверхность. В давние времена первые добытчики нефти с радостью воспринимали фонтан нефти из подземных кладовых.

Фонтанный способ добычи нефти был широко распространен в XIX веке. Долгое время он не нуждался в дополнительных технических средствах. Нефть била фонтаном из скважины, образуя нефтяные озера. Это приводило к большим потерям нефти, наносило вред окружающей среде, иногда приводило к пожарам. Нефтяной фонтан показан на рис. 6.10.



Рис. 6.10. Нефтяной фонтан на Бакинских нефтепромыслах (1911 г.)

С годами нефтяники научились руководить нефтяными фонтанами и укротили энергию пластового давления. При этом способе на колонную головку скважины монтируют фонтанную арматуру, предназначенную для контроля и регулирования режима эксплуатации нефтяной скважины. Фонтанную арматуру называют «елкой» за подобие ее контура с елкой. Задвижки, установленные на ветвях фонтанной елки, дают возможность направить поток нефти из скважины в одну или другую линию промыслового трубопровода. В случае необходимости можно перекрыть подачу нефти из скважины. Фонтанная арматура выпускается на давление 70 и 105 МПа.

Для контроля давления на устье скважины на фонтанной елке устанавливают манометры. С помощью фонтанной арматуры можно регулировать добычу нефти – уменьшать вплоть до остановки добычи. Как правило, фонтанируют скважины только в начале своего «жизненного пути», т. е. сразу после бурения. Через некоторое время давление в пласте снижается и фонтан иссякает.

Когда уровень пластового давления является недостаточным для поднятия нефти на поверхность, переходят к механизированным способам эксплуатации нефтяных скважин – газлифтному или насосному.

6.5.2. Газлифтный способ добычи нефти

Газлифтную эксплуатацию нефтяных скважин осуществляют путем закачивания в скважину газа или воздуха. В первом случае метод эксплуатации называется газлифтным, во втором – эрлифтным. Название методов добычи происходит от слов «газ» и «лифт» (подъемник) и «эйр» – воздух и лифт.

Газ поступает с поверхности в скважину под давлением путем его сжатия специальными газлифтными компрессорными станциями. Такой способ называется компрессорным.

Газ можно подавать в нефтяную скважину под давлением и без его дополнительной компрессии из газовых пластов. Тогда такой способ называется безкомпрессорным.

В практике добычи нефти в основном используется газлифтный способ. Он заключается в следующем. В затрубное пространство нагнетают газ высокого давления, в результате чего уровень жидкости в нем будет понижаться, а в насосно-компрессорных трубах (НКТ) – повышаться. Когда уровень жидкости понизится до нижнего

конца НКТ, сжатый газ начнет поступать в НКТ и перемешиваться с жидкостью. В результате плотность такой газожидкостной смеси становится ниже плотности жидкости, поступающей из пласта, а уровень в НКТ будет повышаться. Чем больше будет введено газа, тем меньше будет плотность смеси и тем на большую высоту она поднимется. При непрерывной подаче газа в скважину газожидкостная смесь поднимается до устья и изливается на поверхность, а из пласта постоянно поступает в скважину новая порция жидкости.

Дебит газлифтной скважины зависит от количества и давления нагнетания газа, глубины погружения НКТ в жидкость, их диаметра, вязкости жидкости и т. п. Конструкции газлифтных подъемников определяются в зависимости от числа рядов насосно-компрессорных труб, спускаемых в скважину, и направления движения сжатого газа. По числу спускаемых рядов труб подъемники бывают одно- и двухрядными, а по направлению нагнетания газа – кольцевыми и центральными.

Газлифтный способ имеет ряд преимуществ: возможность отбора больших объемов жидкости практически при всех диаметрах эксплуатационных колонн и форсированного отбора из сильнообводненных скважин; эксплуатация скважин с большим газовым фактором, то есть использование энергии пластового газа; малое влияние профиля ствола скважины на эффективность работы газлифта, что особенно важно для наклонно направленных скважин (особенно для условий морских месторождений и районов освоения Севера и Сибири); отсутствие влияния высоких давлений и температуры продукции скважин, а также наличия в ней мехпримесей (песка) на работу скважин; простота обслуживания и ремонта газлифтных скважин и большой межремонтный период их работы при использовании современного оборудования.

6.5.3. Насосный способ добычи нефти

Насосный способ добычи нефти применяют после прекращения фонтанирования скважины и снижения уровня нефти в скважине к пределу, когда использование газлифтного способа эксплуатации является неэкономичным. Насосная эксплуатация скважин осуществляется с помощью насоса (рис. 6.11).



Рис. 6.11. Общий вид скважины, оборудованной для насосной добычи нефти

При насосном способе используют штанговые и погружные насосы. Наиболее часто применяют штанговые скважинные насосы (рис. 6.12).

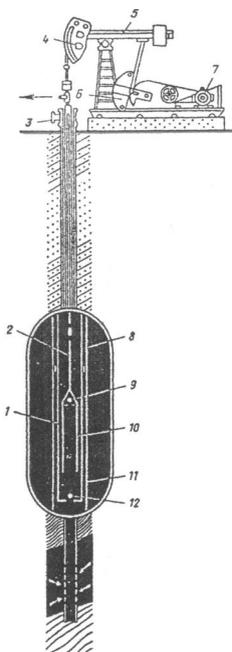


Рис. 6.12. Штанговая насосная установка:

- 1 – штанговый насос; 2 – штанга; 3 – тройник; 4 – головка качели; 5 – баланси́р;
6 – кривошипно-шатунный механизм; 7 – электродвигатель; 8 – обсадная колонна;
9 – нагнетательный клапан; 10 – плунжер; 11 – цилиндр; 12 – вспомогательный клапан

Установка работает следующим образом. При движении плунжера вместе с колонной штанг вверх в цилиндре под плунжером образовывается разрежение. Всасывающий клапан под давлением нефти, находящейся в скважине, открывается и нефть проходит в пустоту цилиндра. В насосе шариковый клапан открывается штоком, соединенным с плунжером. При движении плунжера вниз всасывающий клапан закрывается, а при сжатии жидкости открывается нагнетательный клапан и порция жидкости попадает из плунжера в колонну насосно-компрессорных труб. Такие циклы работы насоса непрерывно повторяются и нефть по колонне насосно-компрессорных труб под давлением, создаваемым насосом, поступает на поверхность земли.

Штанговые насосы имеют определенные недостатки. Основной из них – ограниченность глубины (до 3 500 м) и малая выдача нефти из скважины (от 0,5 до 50 т/сут.). Наиболее экономичными и эффективными являются погружные центробежные электронасосы. Эти насосы с приводом от электродвигателя размещаются вместе с электродвигателем в скважине на необходимой глубине (рис. 6.13).

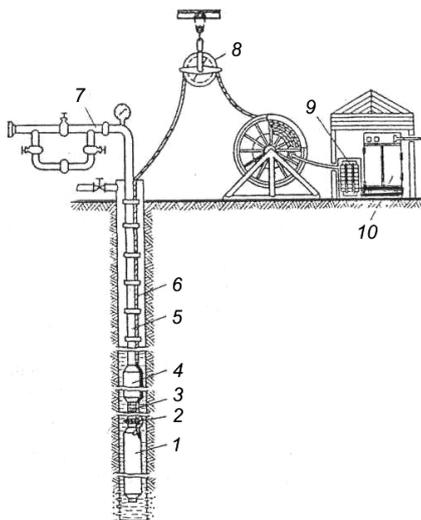


Рис. 6.13. Установка погружного центробежного электронасоса:

- 1 – погружной электродвигатель; 2 – протектор; 3 – фильтр-сетка; 4 – центробежный насос; 5 – подъемные трубы; 6 – бронированный кабель; 7 – устьевая арматура; 8 – кабельный барабан; 9 – автотрансформатор; 10 – станция управления

Погружные насосы подвешивают на насосно-компрессорных трубах, в последнее время – на специальных кабельных канатах. Насосы обеспечивают подачу нефти от 40 до 700 т/сутки. Насосная установка состоит из следующих частей: насосного агрегата 4, бронированного кабеля 6, устьевой арматуры 7, автотрансформатора 9 и станции управления 10.

В настоящее время для механизированной добычи нефти используются винтовые и гидропоршневые насосы и насосно-эжекторные установки.

Винтовой насос – это погружной насос с приводом от электродвигателя, в котором жидкость перемещается за счет оборотов ротора – винта. Гидропоршневой насос – это заглубленный поршневой насос, приводимый в действие потоком жидкости. Гидропоршневые насосы могут работать до глубины 4 000 м с производительностью 20 м³/сутки.

Для эксплуатации скважин с аномальными условиями (высокой температурой и вязкостью, большим содержанием газа и песка) используют насосно-эжекторные установки. В США такие установки разработаны фирмой «Кове».

6.5.4. Шахтный способ добычи нефти

Шахтная добыча нефти – способ добычи нефти, основанный на проведении системы подземных горных выработок. Применяется для разработки залежей с высоковязкими нефтями (битумами), а также неоднородных энергетически истощенных залежей нефти средней вязкости. Шахтная добыча нефти может осуществляться с помощью очистных или дренажных систем разработки.

При очистных системах нефтенасыщенная порода отбивается (разрушается), как правило, при помощи взрывных работ, грузится в забое погрузочными машинами на средства подземного транспорта и через шахтный ствол подается на поверхность, где перерабатывается на специальных установках с выделением нефтяных фракций. При этом возможно комплексное использование минерального сырья (вмещающие породы продуктивного пласта после выделения нефтяной фракции – строительный материал, сырье для химической промышленности и др.).

При дренажных системах разработки нефть извлекается посредством буровых скважин, пробуренных из предварительно сооруженных горных выработок. Применяются в тех случаях, когда

природное углеводородное сырье либо находится в подвижном (текучем) состоянии, либо может быть приведено в такое состояние искусственно. Подземные скважины (вертикальные, наклонные, горизонтальные) могут быть пробурены на значительную глубину. Сбор нефти производится в горных выработках, откуда она насосами подается на поверхность земли. Впервые этот метод в промышленных масштабах нашел применение во Франции (Эльзас). Здесь в 1917 году на Пешембронском месторождении началась добыча нефти из дренажных штреков. К началу 1920 года таким способом здесь было добыто 295 тонн нефти. В 1930 году в этом районе были построены три шахты на глубинах 150–250 м с длиной горных выработок около 100 км.

В 1920 году началась шахтная добыча нефтяного месторождения около Ганновера (Германия), в 1930 году – на месторождении Сарата-Монтеору (Румыния).

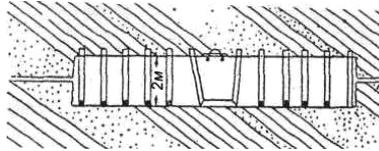
В Германии добыча нефти велась с помощью дренажных штреков, в Румынии – с помощью галерей. На рис. 6.14, а показаны элементы шахтной добычи нефти. Перпендикулярно главной галерее проходились поперечные галереи. Нефть стекала по канавам галереи. В галерее в нефтяном пласте на расстоянии 10 м один от другого выкапывали колодцы. Нефть откачивалась из них с помощью ручных насосов в общий желоб из разрезанных стальных труб.

В 1932 году был применен комбинированный способ шахтной эксплуатации, заключающийся в том, что из забоев поперечных галерей бурились горизонтальные скважины с применением вращательного метода (рис. 6.14, б).

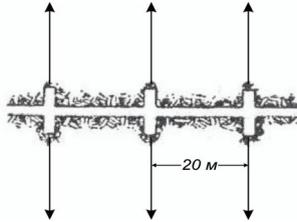
Более известна в мире система Райта (рис. 6.14, в), суть которой заключается в прокладке шахты через всю толщу продуктивных пластов и бурении длинных радиальных скважин во всех направлениях для дренирования отдаленных участков пласта. Добытая нефть собирается в коллекторе и откачивается на поверхность. Скважины бурятся диаметром 50–75 мм и длиной 800 м.

Шахтным методом ведется добыча нефти в России на Ярегском месторождении (Республика Коми), разрабатываемом с середины 30-х годов прошлого столетия.

а)



б)



в)

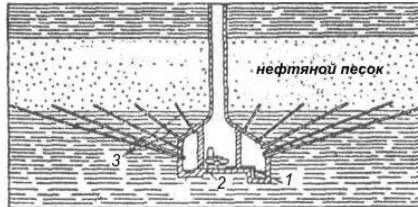


Рис. 6.14. Схема шахтной добычи нефти:

а) – профиль галереи, б) – поперечные галереи с горизонтальными скважинами;
в) – схема добычи по Райту:

1 – коллектор для нефти; 2 – насосы; 3 – пробуренные наклонные скважины

Шахтная добыча нефти имеет свои положительные и отрицательные моменты. Положительными можно считать непосредственный доступ к продуктивному пласту, что позволяет свести к минимуму потери теплоносителей до внесения их в продуктивный пласт, осуществить более полное вскрытие продуктивного пласта и использование запасов нефти, а также независимость выполнения всех работ от погодных условий. Однако шахтная добыча нефти сопряжена с необходимостью работы людей под землей. Наличие активных газопроявлений, газовой шапки, активных подошвенных или контурных вод, рыхлых пород или плавунув, осложняют такой способ добычи.

Шахтная добыча нефти возможна лишь в условиях низких пластовых давлений.

6.6. Добыча газа и газового конденсата

Газовые месторождения разделяются на две группы: чисто газовые и газоконденсатные. На газовых месторождениях из скважин поступает чистый газ, его называют природным газом. Природный газ состоит в основном из легкого углерода – метана (94–98 %), который не конденсируется при изменении пластового давления.

Чистые газовые месторождения встречаются очень редко. В состав газоконденсатных месторождений входят не только легкий углеводород, но и более тяжелые углеводороды парафинового ряда. При этом содержание метана в газе снижается до 70–90 % по объему. Углеводороды, тяжелее чем метан, при изменении пластового давления переходят в жидкое состояние (конденсируются), образуя так называемый конденсат.

На многих месторождениях газы вмещают достаточно большое количество сероводорода и углекислого газа, так называемых вредных примесей. Вместе с газом и конденсатом из забоя скважины поступают вода и твердые частицы механических примесей.

Оборудование газовых и нефтяных скважин во многом одинаково. Отличия обусловлены особенностями технологии эксплуатации скважин. В газовых скважинах, вследствие небольшой вязкости газа, давление в верхней части скважины приблизительно равно забойному, что повышает возможность вытекания газа через негерметические соединения в эксплуатационной колонне и оборудовании горловины.

Если газовая скважина эксплуатируется на месторождениях с газами, вмещающими большое количество сероводорода и углекислого газа, возникает необходимость защиты обсадных и фонтанных труб и оборудования от коррозии.

На практике для защиты труб применяют разные методы: применение ингибиторов коррозии, использование в процессе производства труб легированных эрозийно-стойких сталей и сплавов, использование электрохимических методов защиты от коррозии, использование специальных технических режимов эксплуатации оборудования.

Основной метод добычи газа и газового конденсата – фонтанный, поскольку газ в продуктивном пласте имеет достаточно большую энергию, обеспечивающую его перемещение капиллярными каналами

пласта к забою газовых скважин. Как и при фонтанной добыче нефти, газ поступает с забоя к устью скважины по колонне фонтанных труб.

Газовые скважины, как и нефтяные, оборудуются фонтанной арматурой (рис. 6.15).

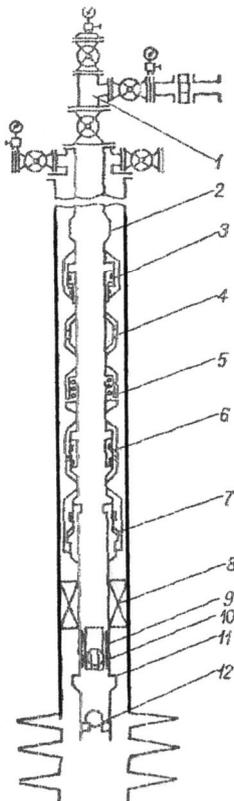


Рис. 6.15. Комплекс скважинного оборудования для добычи газа:

- 1 – фонтанная арматура; 2 – nipple; 3 – телескопическое соединение;
- 4, 6, 7 – разъединитель колонны; 5 – ингибиторный клапан; 8 – пакер; 9 – замок;
- 10 – клапан-отсекатель; 11 – nipple для клапана-отсекателя; 12 – срезающий клапан пакера

Современный комплекс оборудования газовых скважин позволяет производить все технологические операции, связанные с эксплуатацией и ремонтом, обеспечивает автоматическое раскрытие

ствола во время разгерметизации горловины скважины и поднятия труб, а также при резком увеличении дебита и возникновении пожара.

Комплекс состоит из фонтанной арматуры, подъемных труб и приспособления для управления работой скважины.

На практике эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений встречаются однопластовые и многопластовые месторождения. Эксплуатация многопластовых месторождений проводится двумя способами. При первом способе для добычи газа из пластов на каждый пласт пробуривается своя скважина. При втором – добыча газа ведется из одной скважины. При этом сокращается количество скважин. Разработка пластов ведется с использованием пакеров – разделителей пластов.

6.7. Добыча нефти и газа на морском шельфе

В настоящее время проблема добычи нефти и газа на морском шельфе, а просто – морская добыча, является актуальной и перспективной.

Первая скважина на море была пробурена в 1897 г. в Тихом океане в районе острова Сомерленд (Калифорния, США). В 1924–1925 гг. в СССР вблизи бухты Ильича на искусственно созданном островке вращательным способом была пробурена первая морская скважина, давшая нефть с глубины 461 м. В 1934 г. Н.С. Тимофеевым в Каспийском море на о. Артема осуществлено кустовое бурение.

Абсолютное большинство государств, имеющих выход в море, ведут разведку и разработку морских месторождений. Сегодня в мире насчитывается более 100 шельфовых нефтегазовых бассейнов. Ежегодно на море пробуривается более 4 000 скважин.

Основными районами мировой добычи нефти и газа являются Мексиканский залив, Северное море, Персидский залив. В нефтепромышленных районах СССР был накоплен большой опыт в освоении и разработке морских месторождений Каспийского моря – «Нефтяные камни».

Украина является приморским государством, омываемым на юге Азовским и Черным морями, в акваториях которых в 80–90-х годах прошлого столетия выявлены значительные залежи нефти и газа. Результаты геологоразведочных работ на шельфе Черного и Азовского морей дают уверенность в том, что эти районы в будущем

будут основными по добыче нефти и газа. В них сосредоточено 60 % разведанных запасов нефти и газа в Украине.

В настоящее время геологами дана оценка запасов нефти и газа в мировом океане и морях и установлено, что она не ниже, чем на суше. Общая площадь морского дна, перспективная для поисков нефти и газа, составляет около 30 млн. км², что приравнивается к площади нефтяных и газовых месторождений на суше.

Организация морского нефтегазопромысла существенно отличается от подобных промысловых объектов на суше.

Морская добыча нефти и газа требует создания в суровых морских гидрометеорологических условиях специальных гидротехнических сооружений, новых плавучих технических средств (краномонтажных кораблей, трубопрокладочных барж) и плавучих буровых установок на платформах (рис. 6.16).



Рис. 6.16. Буровая платформа на море

Выбор гидротехнических сооружений для разработки морских месторождений зависит от глубины моря и отдаленности месторождения от берега. На мелководье для разбуривания и разработки месторождений используются кельтовые дамбы.

Главным сооружением является эстакада. Она представляет собой металлический мост, собранный с мостовых ферм, установленных на металлических трубчатых сваях, забиваемых в морское дно (рис. 6.17, а).

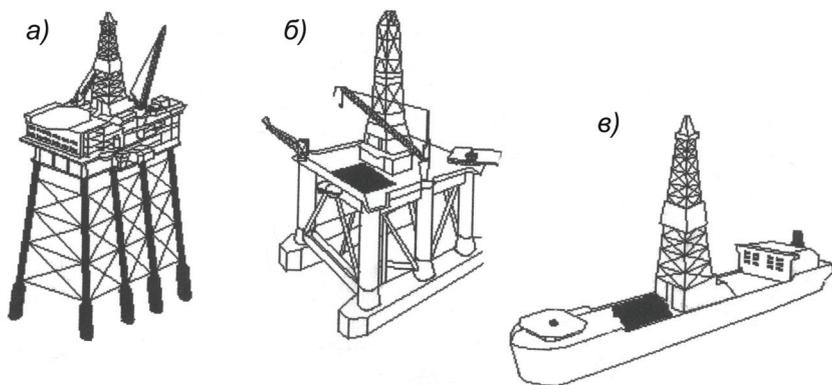


Рис. 6.17. Морские буровые платформы:

а) – стационарная; б) – плавающая; в) – установленная на судне

В надводной части эстакады размещается площадка, на которой монтируется буровая вышка и оборудование для бурения скважин. После окончания бурения на площадке устанавливается оборудование для добычи нефти. Площадка соединяется с берегом нефтепроводом и линией электропередач.

С увеличением глубины моря и выходом на морские месторождения, значительно удаленные от берега, возникла необходимость индустриализации строительства платформ для морской нефтедобычи.

При индустриальном методе строительства платформ отдельные ее элементы сооружаются на суше в заводских условиях, а потом на специальных морских кораблях вывозятся в море, где собираются в платформу (рис. 6.17, б).

Мировая практика использования морских стационарных платформ позволила разрабатывать морские месторождения на Северном и Охотском морях, на Балтике, Каспии. Так, в США в 90-х годах прошлого столетия в Мексиканском заливе была установлена рекордная платформа на глубине 411 м. Ее общая масса составила 78 тыс. тонн.

В настоящее время в акватории Черного моря находят применение металлические стационарные платформы, составленные из нескольких опорных блоков (рис. 6.18).

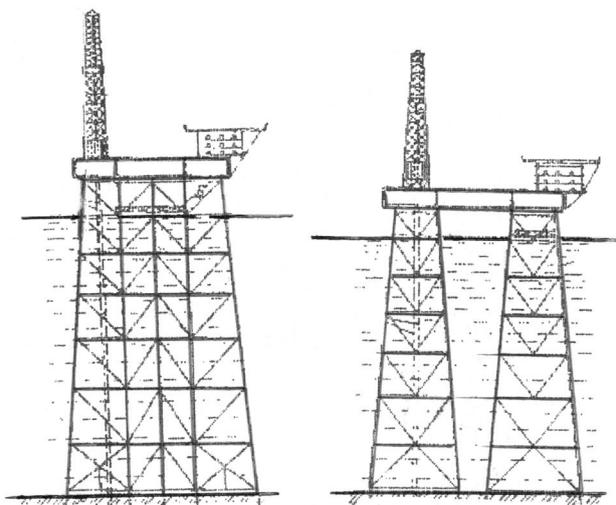


Рис. 6.18. Конструкции стационарных платформ в акватории Черного моря

В местах, где большие глубины и частые штормы, применяют полупогружные платформы. Их буксируют к месту бурения как большие баржи. На месте бурения скважины платформа опускает свои опоры. Опираясь ими в дно, платформа приподнимается над поверхностью моря с таким расчетом, чтобы ее не накрыло водой. По окончании буровых работ такая платформа может быть перевезена в другой район.

В 80-х годах прошлого столетия была осуществлена транспортировка самой высокой в мире буровой и добывающей платформы на место установки в Мексиканском заливе.

Для обеспечения морских нефтяных промыслов проектируются и строятся суда (рис. 6.17, в). Такое судно «Траншельф» было построено еще в 1987 г. в финском городе Турку. Оно предназначалось для транспортировки морских буровых самоподъемных установок. Длина судна – 173 м, ширина – 40 м. Палуба площадью 5 100 м² уходит под воду на 9 м.

Глубокое бурение выполнялось в США со специализированного бурового судна «Челленджер». В России глубоководное бурение в океане осуществляет буровое судно «Виктор Муравленко».

6.8. Дальнейший путь нефти и газа

Таким образом, нефть и газ из подземных пластов очутились на поверхности земли. Теперь перед тем, как подать их в магистральные газонефтепроводы, нужно нефть и газ собрать и подготовить к длинному пути от газонефтепромыслов к потребителям.

На всех новых нефтяных промыслах используют централизованную схему сбора и подготовки нефти к дальнейму транспортированию (рис. 6.19).

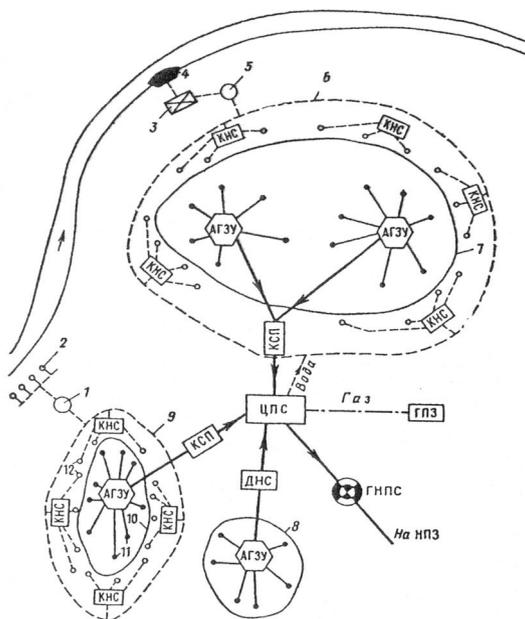


Рис. 6.19. Централизованная схема сбора и подготовки нефти:

- 1, 5 – насосные станции первого подъема воды; 2 – скважины; 3 – станция очистки воды; 4 – открытый водосбор; 6, 9 – кольцевые водоотводы; 7, 8, 10 – контуры месторождения; 11 – нефтяные скважины; 12 – скважины для закачивания воды в пласт

По этой схеме сбор нефти осуществляется от группы скважин на автоматизированные замерные установки (АЗУ). От каждой скважины по индивидуальным трубопроводам нефть вместе с газом и пластовой водой поступает на АЗУ. На АЗУ проводят учет точного

количества нефти, поступающей от скважин, и осуществляют частичное отделение от нефти пластовой воды, нефтяного газа и механических примесей. Выделенный газ направляют газопроводами на газоперерабатывающие заводы (ГПЗ).

Частично очищенная нефть поступает в сборный коллектор и далее на центральный пункт сбора (ЦПС). Преимущественно на одном нефтяном месторождении обустривают один ЦПС. Но когда разрабатывается несколько месторождений, то на одном из больших месторождений обустривают ЦПС, а на других могут сооружаться комплексные пункты сбора (КПС), где частично проводится обработка нефти.

На ЦПС сосредоточены установки по подготовке нефти к транспортировке, их называют установками по комплексной подготовке нефти (УКПН). Здесь осуществляется обезвоживание, обессоливание и дегазация нефти. После очистки и подготовки, конечного контроля, нефть поступает в резервуары товарной нефти и затем на главную насосную станцию магистрального нефтепровода, по которому нефти надлежит пройти длинный путь от нефтепромысла к нефтеперерабатывающему заводу (рис. 6.20).

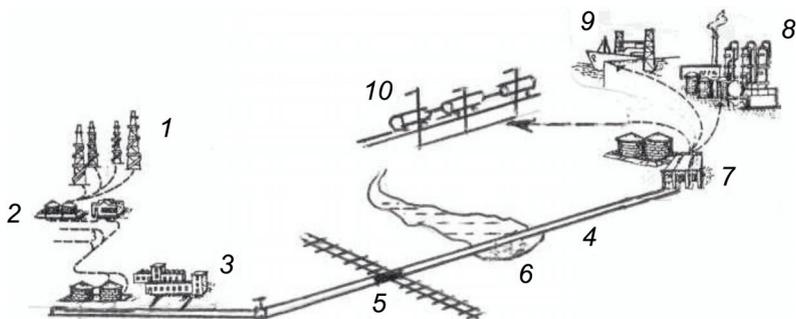


Рис. 6.20. Схема транспорта нефти по магистральному нефтепроводу:
1 – нефтепромысел; 2 – нефтегазосборный пункт; 3 – главные сооружения, 4 – линейная часть нефтепровода; 5, 6 – переходы через железную дорогу, реку; 7 – конечный распределительный пункт; 8 – нефтеперерабатывающий завод; 9 – порт; 10 – железная дорога

На морских нефтепромыслах, поднятая на поверхность нефть поступает в танкеры, стоящие у морской нефтяной скважины в открытом море или океане (рис. 6.21).



Рис. 6.21. Танкер у нефтяной скважины в открытом море

Нефть по магистральным нефтепроводам, железнодорожным транспортом или танкерами доставляется на нефтехимические комплексы (рис. 6.22) или нефтеперерабатывающие заводы (рис. 6.23).



Рис. 6.22. Общий вид нефтехимического комплекса с морским причалом для швартовки танкеров

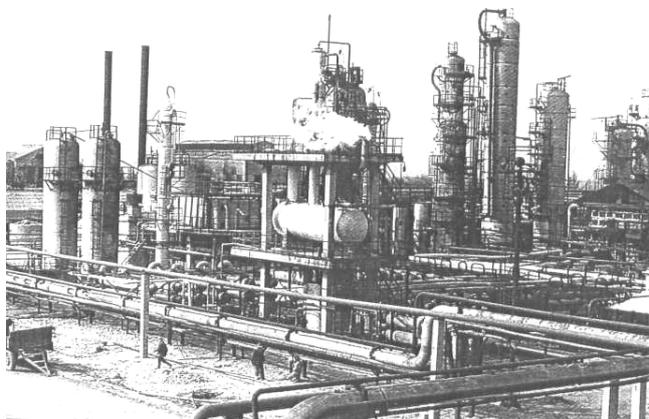


Рис. 6.23. Общий вид нефтеперерабатывающего завода

С газом дело обстоит так. На газопromыслах каждая газовая скважина соединяется с газосборными коллекторами с помощью газопроводов – шлейфов. На месторождениях с повышенным содержанием сероводорода, газ перед поступлением в магистральный газопровод, очищается от сероводорода. После очистки газ поступает на главную компрессорную станцию магистрального газопровода для последующей транспортировки.

По магистральным газопроводам газ поступает на газораспределительные пункты, откуда мы его получаем для отопления наших помещений, на газе работают электростанции, металлургические заводы и другие объекты народного хозяйства.

Раздел 7

ГОРНАЯ НАУКА И ЕЕ КОРИФЕИ

В этом разделе речь пойдет о горной науке, ее становлении, этапах и основных направлениях развития, о корифеях горной науки, которая занимала их острый ум, мучила, тревожила, вдохновляла к поиску новых идей, новых исследований.

Горное дело непосредственно связано с горной наукой. На основе использования законов и результатов этой науки горняки добывают из недр Земли уголь, руды черных и цветных металлов, нефть и газ, горно-химическое сырье, благородные металлы, различные строительные материалы.

Благодаря горной науке человечество узнало о различных видах, свойствах, способах добычи полезных ископаемых и методах комплексного использования недр, о различных процессах, протекающих в глубине Земли.

Роль горной науки в современных условиях развития горнодобывающей промышленности огромна. Она заключается в разработке и обосновании основных направлений и методов ее интенсивного развития на основе применения достижений научно-технического прогресса, автоматизации, компьютеризации, безотходных технологий и комплексного извлечения всех компонентов полезных ископаемых при сохранении окружающей природной среды.

Горная наука – это комплекс наук, представляющий собой систему знаний о закономерностях и методах освоения и сохранения недр Земли.

Горная наука, как и горное дело в целом, имеет свою историю.

Еще академик В.И. Вернадский (рис. 7.1) отмечал, что каждое поколение научных исследователей ищет и находит в истории науки отражение научных течений своего времени.

Вопросы развития горной науки, ее истории освещены в публикациях известных ученых А.А. Зворыкина, Е.М. Фаермана, Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, В.Ж. Аренса и др.

Профессор В.Ж. Аренс в своей работе «Пути развития горного дела и горной науки» предпринял попытку проследить эволюцию основных научных проблем, которые решила горная наука в ходе исторического развития человеческого общества. Им предложена

периодизация истории развития горной науки (табл. 7.1).

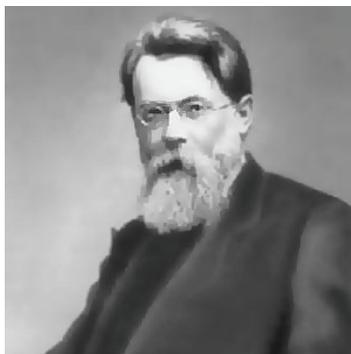


Рис. 7.1. Академик В.И. Вернадский (1863–1945 г.г.)

В этой периодизации, автор рассматривает горную науку в связи с историческими эпохами и разбивает ее историю на три периода: древний, новый и новейший. Древний период в периодизации рассматривается в пределах докапиталистической формации, когда теоретические представления в области горной науки развивались медленно.

Таблица 7.1. Периодизация истории развития горной науки

Периоды	Исторические эпохи	Этапы развития горной науки	Основные вопросы горной науки
1	2	3	4
Древний	Древнейшие этапы исторического развития человечества, включая все докапиталистические формации	1. Этап донаучных представлений	Накопление эмпирических представлений и знаний
		2. Этап первых попыток научного обобщения и систематизации горных знаний на базе практики горного дела	Натурфилософское объяснение строения и происхождения недр; накопление сведений о методах поиска и добычи полезных ископаемых; описание средств и приемов их разработки
		3. Этап дальнейшего эмпирического развития горных знаний; обособление самостоятельной области научных знаний – «горного искусства» (горной науки)	Наблюдается проникновение знаний математики, физики, механики в усовершенствование способов и техники использования недр; осознаются взгляды на предмет горной науки, ее задачи, первые теоретические и практические обоснования

1	2	3	4
Новый	Утверждение капитализма; становление социальной системы хозяйства	4. Этап активизации исследований в области «горного искусства», характеризующийся широким кругом комплексного изучения процессов и явлений горного производства, глубоким теоретическим подходом и применением новых познавательных средств; утверждение горной науки в системе наук о Земле; начало дифференциации горных научных знаний	Усиление связи с другими научными дисциплинами, особенно с фундаментальными (математика, физика, химия); поиск новых и совершенствование старых методов интенсивного использования недр с целью перспективного обеспечения растущей промышленности минеральным сырьем
Новейший	Развитие глобализации, сопровождающееся развитием НТР	5. Этап дифференциации горной науки; возникновение ее новых отраслей и подразделений на базе ее интеграции со смежными областями науки и техники	Поиск и научное обоснование методов рационального и комплексного использования недр; обеспечение комфортных условий труда и оптимального состояния природной среды

Первый период разделен на три этапа и связан со следующими эпохами:

I эпоха	Эпоха неолита, бронзовый и железный века
II эпоха	Эпоха расцвета рабовладельческих государств
III эпоха	Эпоха Возрождения, Средние века

С появлением в неолите, бронзовом и железном веках кремнедобывающих, медных, оловянных и железных разработок уже намечались первые представления и знания о недрах, способах поиска и добычи полезных ископаемых, занявших важнейшее место в сумме знаний первобытного человека.

В эпоху развития рабовладельческих государств в ряде стран предпринимались попытки создания объективных представлений о Земле, ее поверхности и недрах. В трудах древнегреческого философа Аристотеля и его ученика Теофраста, написавшего книгу «О камнях», содержались элементы горногеологических знаний (рис. 7.2).

За триста лет до нашей эры, на основании накопившего материала о методах ведения горных работ, были описаны горные орудия и механизмы. Первые сведения о горных работах встречаются в трудах философов античного времени. Страбон впервые описал технические приемы горного дела.

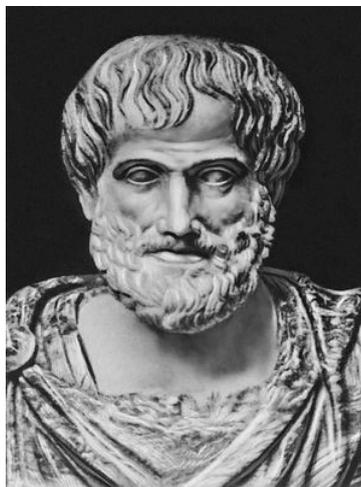


Рис. 7.2. Древнегреческий философ Аристотель (384–322 г.г. до н.э.)

Появляются первые крупные, дошедшие до наших дней, описания и систематизация минералов «Естественная история ископаемых тел» Кая Плиния Старшего. Ветрувий описал строительные и горнодобывающие машины. Страбон и Плиний в это же время уделили внимание нефти. Они определили ее свойства и дали рекомендации о применении.

В эпоху Возрождения, охватывающую Средние века, горная наука выделяется в самостоятельную область человеческих знаний в рамках «горного дела». Появляются труды, где не только описывается и обобщается опыт ведения горного дела, но и формируются задачи по освоению богатств недр Земли. В 1503 г. бургомистр Фрайберга Ульрих фон Кольбе издал наставление для горняков «Полезная горная книжица».

В XVI веке, в трудах известного уже читателю Георга Агриколы, горные знания получают свое определение как «горное искусство». В своем научном труде «Двенадцать книг о горном деле и металлургии» (рис. 7.3) он описал систему приемов и методы разведки, добычи и переработки полезных ископаемых. Он отмечал, что «горное дело является чрезвычайно обширным, чрезвычайно полезным и необходимым делом для человеческого рода».



Рис. 7.3. Научный труд Г. Агриколы о горном деле и металлургии (1556 г.)

Особенно значителен вклад в развитие горной науки великого русского ученого М.В. Ломоносова.

Глубокие и новаторские взгляды по теоретическим и практическим обоснованиям ряда научных положений в горном деле изложены в монографиях «Слово о рождении металлов от трясения земли» (1757 г.), «Первые основания металлургии и рудных дел» (1759 г.), «О слоях земных». В своих трудах М.В. Ломоносов дает объективную оценку строения недр, ставит проблему необходимости изучения природных условий образования и залегания руд, пути последующей их разработки. В труде «Диссертация о рождении и природе селитры» (1749 г.) им были заложены основы физики взрыва. В этой работе ученый показал, что взрывная сила пороха зависит от количества выделяющейся теплоты и, самое главное, от скорости реакции. Таким образом, он впервые установил понятие и значение основных параметров, характеризующих взрывчатое превращение. В 1751 г. М.В. Ломоносов сделал открытие фундаментального характера (воздействием азотной кислоты на «жирные материалы» могут быть получены мощные взрывчатые вещества).

М.В. Ломоносовым дано и емкое определение горной науки – это «Наука, которая учит минералы знать, приискивать и приводить в такое состояние, чтобы они в обществе человеческого были».

В этот период развития горной науки появляются и ряд других работ, обобщающих теоретический и практический опыт горного

дела. В первую очередь это работа И.А. Шлатера «Обстоятельное наставление рудному делу» (1761 г.), А.С. Ярцева «Российская горная история» (1807 г.), И.Ф. Германа «Исторические начертания горного производства в Российской империи» (1810 г.).

Значительную роль в развитии горной науки сыграло издание в Санкт-Петербурге ученым комитетом Корпуса горных инженеров «Горного журнала» (рис. 7.4).

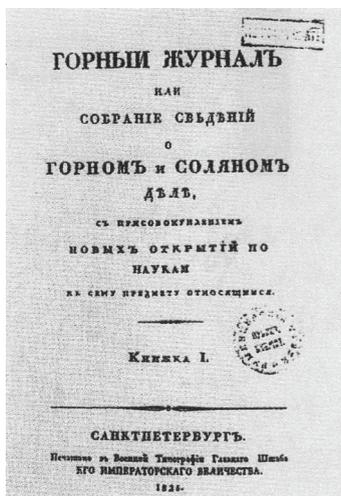


Рис. 7.4. Обложка первого «Горного журнала» (1825 г.)

В конце XVIII века, горная наука обрела свой солидный научный фундамент. Этому способствовало открытие законов физики, механики, создание новых аналитических методов в математике. И весь этот арсенал переносится в горную науку, что способствовало совершенствованию горного дела.

XIX век и начало XX века – период дальнейшего развития капиталистического способа производства, дал толчок к развитию горного дела и горной науки. В этот период возросла потребность общества в полезных ископаемых. Возникла необходимость создания принципиально новых, более интенсивных методов их освоения и использования.

В горной науке происходит выделение отдельных дисциплин в самостоятельные научные исследования, во главе которых стояли

крупные научные корифеи. Горная наука в этот период развивалась во многих странах мира, но успешное ее становление происходило в России. Ниже, мы приводим основные капитальные работы, выполненные в XIX и начале XX веках в различных областях горной науки (табл. 7.2).

Таблица 7.2. Основные капитальные работы по горному делу, выполненные в XIX и начале XX веков

Область горной науки	Год	Автор
Вскрытие и система разработки твердых полезных ископаемых	1843	А.И. Узатис
	1880	Г.Я. Дорошенко
	1906,1915	А.М. Терлигорев
	1914	Б.И. Бокий
Бурение	1866	Г.Д. Романовский
Горная механика	1899	И.А. Тиме
Горное давление и сдвигение горных пород	1912	М.М. Протодьяконов
Научные основы безопасности работ в шахтах	1901	А.А. Скочинский
Гидромеханизация	1836	П.П. Мельников
	1891	М.А. Шостак
	1891	И.М. Тиме
Подземная газификация углей	1888	Д.И. Менделеев
Добыча нефти	1853	В.Г. Абах
	1908	Н.И. Андрусов
	1911	В.Н. Вебер
	1916	И.М. Губкин

В этот период разрабатываются геотехнологические методы разработки полезных ископаемых. Д.И. Менделеев (рис. 7.5) разработал идею подземной газификации угля.



Рис. 7.5. Д.И. Менделеев (1834–1907 г.г.)

Менделееву принадлежат основы учения о нефти. Он впервые обратил внимание на то, что нефть является важнейшим источником химического сырья, а не только топливом; он посвятил ряд работ происхождению и рациональной переработке нефти. Это ему принадлежит известное высказывание: «**Нефть – не топливо, топить можно и ассигнациями**» (полагая, что целлюлоза ассигнаций – возобновляемый и менее ценный источник сырья, чем нефть).

В 1843 г. появляется капитальный научный труд «Курс горного искусства» А.И. Узатисса, где рассматриваются многие дисциплины горной науки (рис. 7.6). Этот труд являлся настольной книгой отечественных горняков и нефтяников до появления в свет в 1880 г. не менее знаменитой работы русского профессора Т.Я. Дорошенко «Справочная книга для горных инженеров и техников».

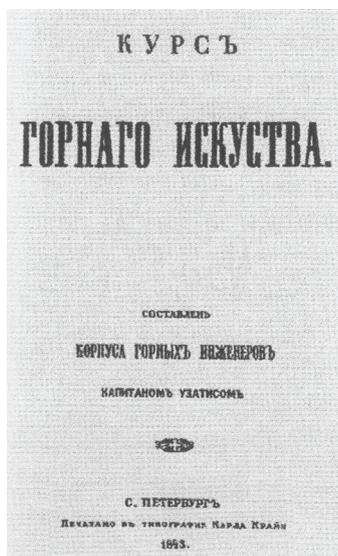


Рис. 7.6. Обложка книги А.И. Узатисса «Курс горного искусства»

В 1891 г. Г. Фриш предложил подземную выплавку серы. Широко стало применяться подземное растворение солей.

После революции в России горное дело и горная наука были направлены на развитие и освоение минерально-сырьевой базы страны. Создаются научные и учебные центры, концентрирующие

исследования в области горной науки – Московская Горная Академия (1918 г.), горные институты в г. Харькове (1922 г.), Кривом Рогу (1922 г.), Механобр (Петроград, 1920 г.), а также горные факультеты в политехнических институтах в Тбилиси, Баку, Ташкенте, Владивостоке.

В 20-х годах прошлого столетия работы ученых СССР были направлены на создание научных основ проектирования горнодобывающих предприятий. Были обобщены и установлены закономерности в основных технологических процессах горного производства, исследованы проблемы безопасности при разработке месторождений. Представителями этого направления были крупные ученые горняки и нефтяники: Б.И. Бокий, М.М. Протодяконов, А.М. Терпигорев, Л.Д. Шевяков, А.А. Скочинский, И.М. Губкин, И.Н. Глушков, К.П. Калицкий, Д.В. Голубятников, В.Г. Шухов и др.

В предвоенные годы началось изучение физико-механических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород для совершенствования процессов их резания и разрушения. Формировались научные основы горной механики (А.П. Герман, М.М. Федоров, А.С. Ильичев и др.), горной геометрии и маркшейдерского искусства (П.К. Соболевский, В.И. Бауман, П.М. Леонтовский, И.М. Бахурин и др.).

В годы Великой Отечественной войны 1941–1945 г.г. горной наукой были решены вопросы рационального и ускоренного ввода в эксплуатацию новых месторождений полезных ископаемых в восточных районах страны, реконструкции предприятий и внедрения на действующих шахтах и карьерах прогрессивных способов разработки, что позволило создать крупную минерально-сырьевую базу.

В исследованиях послевоенного периода значительное место заняли проблемы восстановления разрушенных горных предприятий, в частности Донецкого и Подмосковного угольных бассейнов, Криворожского железорудного бассейна.

Были созданы механизированные комплексы для добычных и транспортных работ. Эта заслуга принадлежит известным ученым Е.Ф. Шешко, Н.В. Мельникову, А.В. Топчиеву и др.

Научно-техническая революция повлекла за собой резкое увеличение потребностей народного хозяйства в полезных ископаемых. Она поставила перед человечеством новые проблемы: охраны окружающей среды и комплексного использования земных

недр. Именно на комплексное использование земных недр указал академик Н.В. Мельников. При этом, он определяет горную науку как изучающую региональное и комплексное использование земных недр.

Мы хотим представить основные научные направления и их результаты в период второй половины XX века в горнодобывающей и нефтегазовой отраслях в виде таблицы (табл. 7.3).

Таблица 7.3. Горная наука во второй половине XX века

№ п/п	Основные результаты	Авторы
1	2	3
Горнодобывающая промышленность		
1.	Разработан и применен метод эквивалентных материалов для моделирования и исследования напряженного состояния горных пород, их деформаций и сдвижений под воздействием горных работ	Г.И. Кузнецов
2.	На основе теории предельного состояния и вероятностно-статистических методов обоснованы инженерные экспериментально-аналитические методы расчетов крепей горных выработок и сдвижения пород. Выявлены закономерности взаимодействия крепей с боковыми породами, устойчивости выработок, необходимые для выбора надежных конструкций крепи	П.И. Цимбаревич, В.Д. Слесарев и др.
3.	Установлены некоторые теоретические закономерности горных ударов и внезапных выбросов угля и газа	И.М. Петухов, С.Г. Авершин, Л.Н. Быков, В.В. Холод и др.
4.	Предложены и внедрены эффективные системы разработки применительно к мощным крутым угольным пластам; средства комплексной механизации очистной выемки в разнообразных горно-геологических условиях; комплексы с индивидуальной металлической крепью и механизированные комплексы, включающие узкозахватные выемочные машины; гидрофицированные крепи, передвижные конвейеры и другое оборудование для крепления горных выработок	Н.А. Чинакал, Т.Ф. Горбачев, А.В. Докукин, В.Н. Хорин, В.Г. Яцких и др.
5.	Предложены средства комплексной механизации и крепления горных выработок и проходческие комплексы	Н.М. Покровский, Я.Б. Кальницкий и др.
6.	Разработаны методы расчета параметров исполнительных органов очистных и проходческих машин	Л.И. Барон и др.
7.	Созданы научные основы эксплуатации рудных месторождений – систем разработок, схем вскрытия, технологических процессов, средств механизации	Н.И. Трушков, Н.А. Стариков, М.И. Агашков, Т.М. Малахов и др.
8.	Разработаны технологические схемы ведения очистных работ и типовые модели угольных шахт	А.С. Кузьмич, М.И. Устинов и др.
9.	Созданы схематические методы расчета вентиляционных систем проветривания шахт	А.А. Скочинский, В.Н. Воронин, В.Б. Комаров, А.Ф. Абрамов и др.

Продолжение табл. 7.3

1	2	3
10.	Предложены инженерные способы осушения месторождений, замораживания обводненных горных пород, специальные способы проходки выработок и агрегаты для проходки стволов шахт с поверхности	Г.И. Маньковский, Н.Г. Трупаков и др.
11.	Созданы основы подземной гидравлической добычи угля: инженерные расчеты разрушения пластов угля мониторинговыми струями, гидравлический транспорт угля и его гидроподъем с больших глубин	В.С. Мучник, Г.П. Никонов и др.
12.	Проведены физико-технические исследования пород как объектов воздействия при горных разработках, что явилось одним из важнейших направлений горной науки	Л.И. Барон, В.В. Ржевский, М.М. Протодяконов, А.Ф. Булат и др.
13.	Разработаны основы теории разрушения горных пород взрывом и инженерные методы расчета зарядов взрывчатых веществ, определяющие степень дробления горной массы	М.А. Садовский, Н.В. Мельников, Г.П. Демидюк, Г.И. Покровский А.Ф. Суханов, А.Н. Ханукаев, В.Н. Мосинец, А.А. Вовк, Ф.И. Кучерявый, М.Ф. Друкованый, Б.Н. Кутузов, Э.И.Ефремов, В.М. Глоба и др.
14.	Научно обоснованы технология и комплексная механизация вскрышных и добычных работ открытого способа разработки	Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, Б.П. Боголюбов и др.
15.	Разработаны основы геомеханики и флюидомеханики, в т. ч. с учетом блочного строения среды	М.А. Садовский, М.В. Курленя, В.Н. Родионов, В.А. Даниленко, В.Н. Николаевский
16.	Разработаны основы геотехнологии. Предложены способы добычи, основанные на переводе твердых полезных ископаемых в подвижное состояние непосредственно на месте их залегания	А.И. Кириченко, В.Ж. Арэнс и др.
<p>Нефтегазовая промышленность</p> <p>Успешно развиваются горные науки, связанные с бурением скважин, разработкой нефтяных и газовых месторождений</p>		
1.	<p>Проведен комплекс исследований в области бурения на нефть и газ с целью создания высокоэффективной техники и технологии:</p> <ul style="list-style-type: none"> - создан и испытан в промышленных условиях редуторный турбобур; - созданы и широко внедрены безредукторные турбобуры; - созданы турбинные буры для проходки скважин большого диаметра; - широкое применение находит кустовое бурение, позволившее обеспечить ускоренное развитие добычи нефти и газа в морских акваториях и заболоченных районах Западной Сибири; 	<p>М.А. Капелюшников и др.</p> <p>Э.И. Тагиев Г.И. Булах</p> <p>Ф.С. Попович, С.А. Оруджев, В.И. Муравленко и др.</p>

1	2	3
	<p>- созданы высокопроизводительные буровые долота из сверхтвердого сплава. Разработаны, исследованы и широко внедрены в практику бурильные трубы из алюминиевого сплава, позволившие существенно повысить скорость бурения;</p> <p>- большие работы проведены по теоретическому и экспериментальному исследованию гидродинамики в бурении и изучению механизма возникновения осложнений в бурящихся скважинах</p>	<p>В.Ф. Штамбург и др.</p> <p>Б.С. Филатов, А.Х. Мирзаджанзаде, Р.И. Шищенко, П.И. Огородников, В.Г. Ясов, М.А. Мыслюк и др.</p>
2.	<p>Проводится широкий комплекс исследований в области разработки нефтяных и газовых месторождений:</p> <p>- создается учение о режимах нефтяных залежей;</p> <p>- разработаны и созданы научные основы комплексного проектирования разработки нефтяных и газовых месторождений на суше и на морском шельфе;</p> <p>- разработаны эффективные методы искусственного воздействия на пласт путем нагнетания в него воды, повышающие полноту и темпы отбора нефти из недр, предусматривающие применение различных систем заводнения: законтурного, внутриконтурного, площадного, избирательно-очагового;</p> <p>- разработаны комплексные технико-технологические решения, обеспечивающие ускоренное развитие добычи нефти в Томской области;</p> <p>- разработаны и испытаны новые методы повышения нефтеотдачи и газоконденсатоотдачи пластов: тепловое воздействие на пласт, закачка горячей воды или пара, заводнение;</p> <p>- для подъема нефти из высокодебитных глубоких скважин внедрены глубинные штанговые и погружные электронасосы, позволяющие осуществлять форсированный отбор больших объемов жидкости с глубин до 3 500 м;</p> <p>- разработана теория гидравлического разрыва пласта;</p> <p>- созданы методы обработки призабойной зоны скважин, обеспечивающие значительное увеличение дебитов нефтегазодобывающих скважин</p>	<p>Комиссия академика И.М. Губкина</p> <p>А.П. Крылов, М.М. Глоговский, Н.М. Николаевский, Н.К. Байбаков, Ф.А. Требин, Ю.П. Кортаев, В.С. Бойко, Р.С. Яремийчук и др.</p> <p>А.П. Крылов, Ю.П. Борисов, М.Л. Сургучев, М.М. Иванова, Г.Г. Вахитов, Р.Ш. Мингареев и др.</p> <p>С.А. Оруджев, В.И. Муравленко В.Ю. Филаковский и др.</p> <p>А.Б. Шейнман, Э.Б. Чекалюк, Ю.П. Желтов, Р.М. Кондрат, И.М. Фык и др.</p> <p>А.А. Богданов, Л.Г. Чигеров</p> <p>С.А. Христианович, Ю.П. Желтов и др.</p> <p>С.А. Жданов, Ю.И. Горбачев, В.И. Кудинов, Б.М. Сучков, Ю.А. Балакиров, А.В. Михалюк, В.М. Светлицкий, В.П. Нагорный, Д.А. Егер, А.А. Попов и др.</p>

1	2	3
3.	Внедрение современных методов защиты скважин от коррозии и сульфидного растрескивания, создание стойких к агрессивным средам обсадных и насосно-компрессорных труб позволили в кратчайшие сроки освоить крупные сероводородсодержащие месторождения (Оренбургское, Уртабулакское и др.). Для освоения ресурсов нефти и газа в морских акваториях разработаны и построены крупноблочные металлические глубоководные и железобетонные ледостойкие основания и эстакадные сооружения	С.А. Оруджев, Л.А. Межлумов, Ю.А. Сафаров, А.А. Асан-Нури, Б.А. Рагинский, Н.В. Озеров и др.

Горная наука, развиваемая в СССР, занимала одно из ведущих мест в мире. Она создавалась в институтах АН СССР и союзных республик, НИИ и вузах.

Среди ведущих научных центров горной науки можно выделить, в первую очередь, Институт горного дела им. А.А. Скочинского (1938 г.), Институт физики Земли АН СССР (1967 г.), Институт горного дела Сибирского отделения АН СССР (1957 г.), НИИ буровой техники (1953 г.), Всесоюзный нефтегазовый НИИ (1943 г.) и др.

С распадом СССР, ослабились, а кое-где и утратились связи между научными центрами и институтами бывшего СССР.

Однако, горная наука в странах СНГ не утратила своего значения. Научные исследования проводятся в рамках задач, стоящих перед горным производством каждой из отдельно взятой страны. Уже на рубеже XXI века горная наука включала в себя фундаментальные разделы физики, механики, химии, использование компьютерных технологий и современной вычислительной техники.

В XXI веке горной науке предстоит решать важные проблемы, связанные с разработкой угольных и рудных месторождений на больших глубинах в сложных горнотехнических условиях, вовлечением в разработку месторождений цветных и драгоценных металлов с низким содержанием полезных компонентов, разработкой битумных сланцев и других видов альтернативного энергетического сырья, расширением добычи нефти и газа в труднодоступных северных регионах, на морском шельфе и глубоководных районах мирового океана.

Раздел 8

ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Горное образование – это система профессиональной подготовки специалистов горнодобывающей промышленности (угольной, рудной, горно-химического сырья, нерудных строительных материалов, нефтяной и газовой): инженеров, техников, квалифицированных рабочих.

Первые учебные заведения, обучающие горному делу, возникли в XVI–XVII веках. В это время добыча каменного угля и руды достигла промышленных масштабов. В Европе первые высшие горные школы были основаны в Саксонии (Фрайберг) и Чехии (Острава) в XVIII веке.

С развитием горного производства в России появляется необходимость в подготовке специальных кадров. Этот процесс получает начало в период царствования Петра I и связан с именем Василия Никитича Татищева (рис. 8.1).



Рис. 8.1. В.Н. Татищев (1686–1750 гг.)

В 1720 г. Татищев был направлен Петром I на Урал, чтобы в Сибирской губернии построить заводы. Там Татищев столкнулся с острой нехваткой мастеров горнозаводского дела. Эту проблему он

решил с открытием в 1721 г. горных школ на Урале. По велению Петра I первая горная школа открывается в Невьяновке, а затем горные школы открываются в Кунгуре и в Уктусе. В.Н. Татищева по праву считают организатором горного образования. Россия того времени не имела высших и средних учебных заведений.

В последствии Татищев перевел горную школу из Уктуса в Екатеринбург, расширив круг преподаваемых в ней предметов. Так как учебников издавалось ничтожно мало, он подарил школе свою, очень солидную по тем временам, библиотеку. С его именем связано основание уральской столицы – Екатеринбурга.

Новый этап в развитии горного образования произошел при Екатерине II в связи с основанием в 1775 г. первого специализированного высшего учебного заведения по горному делу.

Высшее горное училище было построено в Санкт-Петербурге всего за один год. По времени основания оно стало одним из первых горных ВУЗов в мире.

В 1899 г. открывается Екатеринославское высшее горное училище, ныне Национальный горный университет (г. Днепропетровск), в 1900 г. – горный факультет в Томском технологическом институте, в 1916 г. – Екатеринбургское высшее горное училище, ныне Уральский государственный горный университет.

В первые годы советской власти была основана Московская горная академия (1918 г.), горные институты в Донецке, Харькове, Кривом Рогу, горные факультеты в политехнических институтах в Новочеркасске, Тбилиси, Баку и Владивостоке.

В СССР горных инженеров обучали почти во всех союзных республиках. Для горнодобывающей промышленности горных инженеров подготавливали: горные институты – Московский, Днепропетровский им. Артема, Ленинградский им. Г.В. Плеханова, Свердловский им. В.В. Вахрушева; горно-металлургические институты – Коммунарский (Луганская обл.), Магнитогорский им. Г.И. Носова, Северокавказский (в Орджоникидзе); Криворожский горнорудный, кроме того, Сибирский металлургический им. Серго Орджоникидзе (Новокузнецк), Красноярский институт цветных металлов, Московский геологоразведочный институт, Якутский университет и Университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы в Москве.

Горных инженеров-нефтяников подготавливали: Грозненский и Уфимский нефтяные, московский нефтехимической и газовой промышленности им. акад. И.М. Губкина, Азербайджанский нефти и химии им. А. Азизбекова (Баку), Ивано-Франковский институт нефти и газа. Подготовку горных инженеров вели также 20 политехнических институтов страны. Во многих промышленных центрах создавались горные техникумы. В институтах организовались новые горные специальности, дифференцировался универсальный профиль горного инженера по отраслям горнодобывающей промышленности.

В настоящее время высшее горное образование не утратило своего значения. Это связано с дальнейшим расширением топливно-энергетического комплекса, увеличением добычи угля, урана, руд, нефти и газа, комплексного освоения недр земли и экологией горного производства.

Сегодня высшее горное образование включает в себя следующие специальности: маркшейдерское дело; технология и комплексная механизация подземной разработки месторождений полезных ископаемых; технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений; обогащение полезных ископаемых; строительство подземных сооружений и шахт; технология и комплексная механизация открытой разработки месторождений полезных ископаемых; разработка нефтяных и газовых месторождений, бурение нефтяных и газовых скважин; сооружение, проектирование и эксплуатация газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз; горные машины и комплексы; машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов; электрификация и автоматизация горных работ; экономика и организация горной, нефтяной и газовой промышленности; торфяные машины и комплексы; физические процессы горного производства.

В системе современного горного образования предусмотрено изучение точных, механических, электротехнических, геологических и собственно горных (технологических) наук. Учебные планы горных специальностей включают 3 цикла дисциплин: общенаучные, общинженерные и специальные. Специальными профилирующими дисциплинами, формирующими будущего специалиста в определенной отрасли горной промышленности, являются: высшая геодезия, маркшейдерское дело и геометрия недр (для горного инженера-маркшейдера); расчет, конструкция и эксплуатация горных машин и комплексов (для инженера-механика); электрификация и

автоматизация горных работ (для инженера-электрика); технология и механизация горных работ, сооружение горных выработок, электрификация, механизация и автоматизация соответствующих производственных процессов (для инженера по разработке полезных ископаемых) и др.

Подготовка горных техников проводится в основном по тем же специальностям, что и горных инженеров. Среднее горное образование предусматривает изучение предметов общеобразовательного (в объеме средней школы), общетехнического и специальных циклов. Перечень предметов общетехнических и специальных циклов примерно тот же, что и в ВУЗах, но изучаются они в меньшем объеме.

Наряду с теоретическим обучением, значительное место (до 25 % учебного времени) в горном образовании отводится учебной и производственной практикам. Помимо практических занятий, семинаров, выполнения лабораторных работ и курсовых проектов, студенты (учащиеся) проходят 3–4 практики, в течение которых они изучают предприятия, работают на рабочих и инженерно-технических должностях. По окончании последней (преддипломной) практики выполняется дипломный проект.

Срок обучения в горных ВУЗах (на факультетах) 5 лет – 5 лет 6 месяцев, в горных техникумах (на отделениях) – 2 года 6 месяцев – 3 года 10 месяцев. Во многих горных ВУЗах и техникумах (на факультетах, отделениях) горное образование осуществляется также по вечерней и заочной формам обучения. Квалифицированные рабочие-горняки (машинисты горных машин, бурильщики, крепильщики, проходчики, взрывники и др.) готовятся в специализированных технических учебных заведениях.

Центры горного образования имеются во многих странах. Так, горное образование в США представлено школами горного дела и металлургии при Колумбийском и Миссурийском университетах, школами горного дела при Пенсильванском и Колорадском университетах.

В Европе подготовка специалистов горняков ведется во Франции в горных школах Парижа и Сен-Этьена, в Великобритании – в Королевской горной школе при Лондонском университете, в Германии – в Фрайбергской горной академии, в горных школах Аахена и Бахума. ВУЗы такого профиля имеются в Индии, Китае, Алжире, Афганистане и др.

Раздел 9

ГОРНОЕ ДЕЛО И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Проникая в недра Земли с целью добычи полезных ископаемых для своих потребностей, человек изменяет окружающую среду, вмешивается в естественные процессы, протекающие на поверхности земли и в ее глубинах, ускоряя или замедляя их, а в отдельных случаях изменяет и придает им другое направление. Горнодобывающая отрасль промышленности является одним из источников загрязнения окружающей среды твердыми, жидкими, пылегазовыми отходами, изменения ландшафта и утраты плодородных земель и т. д.

Дальнейшее увеличение объемов горнодобывающей промышленности может нанести еще больший вред окружающей среде, если не предпринимать шагов по ее охране. То есть, необходимо внедрять комплексное освоение месторождений с максимальным эффектом при минимальном влиянии на окружающую среду.

Если ранее охрана окружающей среды предполагала разработку и реализацию мероприятий только защитного характера, то теперь уровень развития производства требует расширения этого понятия с включением в него и планового управления природными ресурсами.

В последние годы появилась новая отрасль горной науки – экология горного производства, занимающаяся разработкой энергетических основ управления природопользования земельными и минеральными ресурсами во время выполнения горных работ.

Перед экологией горного производства стоят еще не решенные проблемы разработки методов охраны природы при добыче твердых полезных ископаемых, нефти, газа, битумов, торфа, а также охраны морских акваторий и поверхности земли при рациональном ведении горных работ; восстановления земель, разработки принципов и методов очистки промышленных вод, разработки научных основ физико-технической и экономической оценки мероприятий при добыче минерального сырья.

9.1. Охрана окружающей среды при добыче твердых полезных ископаемых

В настоящее время при добыче различных полезных ископаемых только 10 % горной массы полезны для использования, а

остальные составляют отходы. При добыче руд цветных металлов эти показатели еще ниже. Кроме того, в атмосферу выбрасывается около 50 млн. т вредных веществ, в водоемы сбрасывается более 2 млрд. м³ загрязненных сточных вод и складировается на поверхности земли более 8 млрд. т твердых отходов. Мы уже привыкли видеть вокруг угольных шахт громадные горы пустой породы – терриконы (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Терриконы на угольных шахтах

Для всех способов разработки месторождений характерно воздействие на биосферу, затрагивающее практически все ее элементы: водный и воздушный бассейны, землю, недра, растительный и животный миры. Основные виды и результаты воздействия на биосферу приведены в табл. 9.1.

Главная задача горнодобывающей отрасли – рациональное использование недр с целью их комплексного использования. Еще большие потери остаются при добыче твердых полезных ископаемых: угля, руды, калийных и каменных солей.

Под землей остается почти половина калийных солей, до 15–20 % добываемого угля, горючих сланцев, руд черных и цветных металлов.

Особенно теряются ценные компоненты при переработке добываемого минерального сырья. Потери ценных компонентов при обогащении в 2–5 раз превышают потери при добыче.

А что делать с отходами? Так, в черной металлургии объем необходимой утилизации горных пород, добываемых попутно,

составляет 32 %, в том числе для строительных потребностей – 2,5 %; объем отходов обогащения железных руд – 10,2 %. В цветной металлургии только 3–4 % вскрышных пород направляется на производство щебня.

Таблица 9.1. Основные виды и результаты воздействия горного производства на биосферу

Элементы биосферы	Воздействие на элементы биосферы	Результаты воздействия
Водный бассейн: воды подземные	Осушение месторождения, сброс сточных и дренажных вод	Уменьшение запасов подземных, грунтовых и поверхностных вод. Нарушение гидрологического режима подземных вод
воды поверхностные	Осушение и перенос поверхностных водоемов и водотоков, сброс сточных и дренажных вод, водозабор для технических и бытовых нужд предприятий	Загрязнение водного бассейна сточными и дренажными водами. Ухудшение качества вод в результате неблагоприятных изменений гидрохимических и биологических режимов поверхностных и подземных вод
Воздушный бассейн	Организованные и неорганизованные выбросы в атмосферу пыли и газов	Загрязнение (запыление и загазовывание) атмосферы
Земли почвы	Проведение горных выработок, сооружение отвалов и водохранилищ. Строительство промышленных и гражданских зданий и сооружений. Прокладка дорог и других видов коммуникаций	Деформация земной поверхности. Нарушение почвенного покрова. Сокращение площадей продуктивных угодий различного назначения. Ухудшение качества почв. Изменение облика территории. Изменение состояния грунтовых и поверхностных вод. Эрозионные процессы
Флора и фауна	Вырубка лесов. Нарушение почвенного покрова. Изменение состояния грунтовых и поверхностных вод. Запыление и загазовывание атмосферы	Ухудшение условий обитания лесной, степной и водной флоры и фауны. Миграция и сокращение численности диких животных. Угнетение и сокращение видов дикорастущих растений. Снижение урожайности сельскохозяйственных культур
Недра	Проведение горных выработок. Извлечение полезных ископаемых, вмещающих и вскрышных пород. Осушение месторождения. Обводнение участков месторождения. Возгорание полезных ископаемых и пустых пород. Захоронение вредных веществ и отходов производства. Сброс сточных вод	Изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Снижение качества полезных ископаемых и промышленной ценности месторождений. Загрязнение недр. Развитие карстовых процессов. Потери полезных ископаемых

Отмеченная проблема утилизации отходов при добыче полезных ископаемых частично решается широким применением систем разработки твердых полезных ископаемых с закладкой выработанных пространств “пустыми” породами, что обеспечивает снижение потерь полезных ископаемых и охрану земной поверхности. Только при разработке калийных солей с закладкой выработанного пространства эффективность добычи солей повышается на 30 %.

Не менее важная проблема – утилизация отходов горно-рудных предприятий. Уже сегодня утилизация отходов, направляемых в отвалы, дает возможность сократить их на 20–25 %. За счет этого получают значительную экономию финансовых средств, вкладываемых в индустрию строительных материалов при решении важной задачи уменьшения площадей, занятых пустой породой. Это значит, что тысячи гектаров земли будут включены в производство сельскохозяйственной продукции. На освобожденных от горных работ землях создаются луга, сенокосы, проводится посадка леса и лесозащитных полос.

На землях, где когда-то велись горные работы, осуществляется рекультивация. На рис. 9.2 показана рекультивация земли на одном из угольных карьеров Германии.



Рис. 9.2. Рекультивация земли на угольном карьере

В Украине рекультивация осуществляется при добыче марганцевых руд – в Днепропетровской области, железных руд – в Крымской автономии, угля и нерудных полезных ископаемых – в Донбассе.

Главная задача горного дела – комплексное освоение месторождений полезных ископаемых. Комплексная переработка угля включает в себя не только получение высококачественного чистого топлива (твердого, жидкого, газообразного), но и ряда ценных продуктов (углеграфитовых материалов, серы при сжигании сорбентов). Отвалы обогатительных фабрик вмещают значительное количество серного колчедана. При комплексной переработке бурых железняков на заводе “Азовсталь” производят фосфатные шлаки, используемые в качестве удобрения. Из отходов флотационного обогащения, вмещающих серу до 5 %, на Раздольском ОАО “Сера” получают асбестоцемент и известняковые материалы.

С целью охраны окружающей среды от загрязнения сточными водами и при проведении геологоразведочных работ используют герметические покрытия и утилизацию сточных вод. Значительное место отводится контролю за охраной подземных вод от загрязнения, изучается их режим и развитие экзогенных геологических процессов.

Сегодня с появлением новой горной науки – горной экологии, перед горнодобывающей промышленностью поставлены новые задачи: интенсивный путь развития и единство проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды.

9.2. Охрана окружающей среды при добыче нефти газа

Значительные техногенные нагрузки на объекты гидро-, лито- и биосферы создаются при добыче нефти и газа. В первую очередь, это касается технологических процессов при бурении нефтяных и газовых скважин. Источником механических нарушений являются такие процессы, как строительство площадок под буровую и буровое оборудование, строительство земляных шламовых амбаров, снятие и складирование рабочего слоя земли и рекультивация территории буровой, засыпка землей шламов при их ликвидации.

Основными объектами загрязнения при бурении скважин являются геологическая среда (подземные воды) и гидро- и литосфера (открытые водоемы, растительный покров грунтов).

Наибольший объем среди отходов принадлежит буровым стоковым водам, объем которых за сутки составляет 20–40 м³ на одну скважину. Опасными видами отходов бурения являются отработанный буровой раствор и шлам.

Для водоемов наибольшую опасность представляет нефть. В водные объекты может попадать до 30 % нефти и нефтепродуктов, тераемых в процессе строительства скважины.

В процессе бурения загрязняются почва и атмосфера. При бурении скважин площадь засоления территории соленасыщенными буровыми растворами достигает 4,5 гектаров. При попадании в почву минеральных солей формируются солончаки. Эти данные свидетельствуют о необходимости соблюдения строгих требований к технологическим процессам.

Обеспечение нормального качества естественной среды, поверхности Земли и земной коры при бурении скважин достигается применением экологически чистых материалов и химических реагентов для буровых растворов, ликвидацией шламовых амбаров и рекультивацией земли, очисткой буровых стоковых вод, утилизацией отработанных буровых растворов.

Вред окружающей среде наносит также и добыча углеводородного сырья (нефти и газа) и продуктов их переработки. Только в России в 1985–2000 годах более чем 130 открытых нефтегазовых фонтанов привели к тяжелым экологическим последствиям. Приблизительно 55 из них сопровождалось пожарами, при которых потери попутного газа и конденсата составили около миллиарда кубических метров.

Поэтому вопросы охраны окружающей среды в процессе разработки нефтегазовых месторождений требуют особого внимания. В основном они заключаются в выборе систем разработки и внедрении эффективных методов повышения нефте-, газо- и конденсатоотдачи месторождений.

Важное значение имеет контроль за состоянием разработки месторождений и продвижением контуров нефтегазоносности, пластовым давлением, надежностью колонн эксплуатационных и нагнетательных скважин и гидродинамическими связями между пластами. Это достигается защитой колонн от коррозии и обеспечением их герметичности. Нарушение герметичности колонн может привести к образованию грифонов, межпластовых перетоков, открытого фонтанирования и других недопустимых последствий.

Наземное технологическое оборудование нефтепромыслов и газопромыслов должно обеспечивать сбор и подготовку к транспортировке (или хранению) не только основных полезных ископаемых (нефть и газ), но и других продуктов, таких как

конденсат, сера, инертные газы, микроэлементы и т. п., добываемых попутно. Обеспечение надежности безаварийной работы этих систем имеет важное значение для предотвращения потерь добытых полезных ископаемых и, соответственно, охраны недр. Здесь главной задачей является защита наземного нефтепромыслового оборудования, подземных коммуникаций и трубопроводов от коррозии.

Разработка морских нефтегазовых месторождений сопряжена с загрязнением мирового океана. Проблема загрязнения морской акватории опасными компонентами отходов бурения впервые была осознана более 40 лет тому назад. При бурении в Мексиканском заливе морской скважины глубиной 4 км образуется около 500 м³ шлама и 6 000 м³ жидких отходов. Аварии на морских скважинах приводят к вытеканию в воды большого количества нефти (рис. 9.3). Громадной катастрофой была авария на скважине в Мексиканском заливе в 2010 году, в результате которой в море пролилось значительное количество нефти, что привело к гибели морской флоры и фауны.



Рис. 9.3. Сбор нефти на побережье, куда ее принесло морскими волнами

Катастрофическими темпами загрязняются Северное и Средиземное моря. Часть поверхности Черного, Азовского и Каспийского морей покрыта нефтяной пленкой.

Согласно с общепринятыми положениями об охране окружающей среды разработка морских нефтяных и газовых месторождений выдвигает свои специфические требования.

Отработанный буровой раствор с основных скважин собирается в емкости и используется для бурения последующих скважин. Загрязненная нефтью, кислотой или поверхностно-активными

жидкостями вода откачивается трубопроводами в нефтесборные пункты. Систематически контролируется состояние герметичности колонных головок, фонтанной арматуры, фланцевых и резьбовых соединений, обвязки арматуры и трубопроводов. Горловины скважин оборудуются поддоном для сбора различных жидкостей.

При аварии на морских нефтяных скважинах возникает проблема локализации и удаления нефти с большой поверхности ее разлива. Локализация, сбор и удаление нефти – сложный и трудоемкий процесс. Это обусловлено тем, что нефтяная пленка имеет малую толщину, а скорость ее распространения на поверхности водной среды велика.

Для локализации загрязнения используют плавающие и подводные ограждения. Принцип действия плавающего (бокового) ограждения состоит в образовании механического барьера, предотвращающего горизонтальное перемещение или распространение тонкого верхнего слоя воды вместе с нефтяной пленкой.

На рис. 9.4 приведены конструкции боковых ограждений.

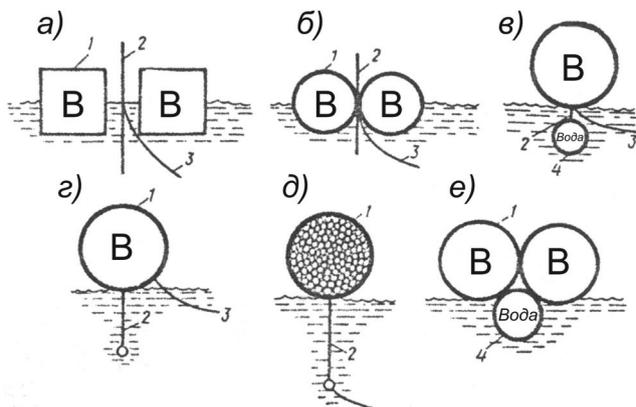


Рис. 9.4. Конструкция боков:

В – воздух; 1 – плавающая часть бона; 2 – пластина; 3 – распорка; 4 – труба

Конструкция бокового ограждения состоит из плавучей экранирующей и балластной частей.

Существуют различные конструкции боковых ограждений, где плавучая часть может быть выполнена из отдельных поплавков (рис. 9.4, а, б, г, д), или в виде труб (рис. 9.4, в, е). Экранирующая

часть представляет собой гнущуюся или жесткую пластину 2, присоединенную к плавучей части бона трубой 4 или распорками 3.

При ширине зеркала воды более 300 м применяется оконтуривающая схема ограждения (рис. 9.5).

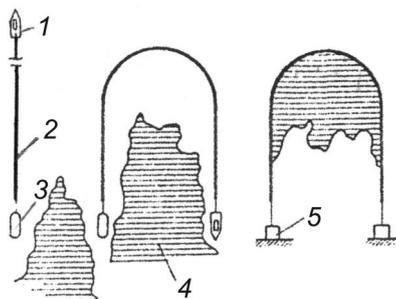


Рис. 9.5. Схема оконтуривания пленки нефти на поверхности воды

Пленка нефти 4 на воде оконтуривается боковым ограждением 2 при помощи пакера 1. Один конец бокового ограждения прикрепляется к плавучему якорю 3. Боковое ограждение с нефтяным загрязнением или дрейфует, или закрепляется неподвижными якорями 5. Боковые ограждения изготавливаются из синтетических водонепроницаемых материалов, в виде отдельных рукавов или трубчатых элементов. Для плавучести элементы заполняются сжатым воздухом или легким наполнителем.

В настоящее время разработано и внедрено ряд разных методов и приспособлений для локализации и сбора нефти. Эти методы классифицируются на: механические, базирующиеся на принципах отсасывания, отстоя, адгезии и адсорбции; химические – обработка нефти порошками-агломератами; биологические – разрушение нефти на водной поверхности реагентами, имеющими в своем составе бактерии; методы сжигания разлитой нефти, применяемые в крайних случаях.

Так как разные методы имеют свои преимущества и недостатки, то в большей степени применяются комплексные методы и способы, основанные на разных физических и химических принципах.

В комплексе горных проблем, связанных с охраной земли и окружающей среды, есть и глобальные.

Одной из наиболее существенных проблем человечества третьего тысячелетия остается потепление климата. В значительной мере

возникновение этой проблемы связано с ростом концентрации парниковых газов в атмосфере (углекислого газа, окислов азота, метана, гексафторида серы). Доля отдельных стран и регионов в выбросах углекислого газа в 2002 году составила (в %): Северная Америка – 38,5, Латинская Америка – 3,6, Западная Европа – 12, страны СНГ – 9,5, Африка – 3, Китай – 13,1, Япония – 6,3, другие страны Азии – 9,2, остальные страны – 8,8. Эксперты подсчитали, что при условии сохранения существующих тенденций роста выбросов парниковых газов, в следующие 100 лет произойдет значительное потепление климата Земли на 2,5–3,0 °С. Это может вызвать повышение уровня Мирового Океана на 60–100 см и привести к затоплению многих прибрежных районов. Такое потепление, по прогнозам ученых, потянет за собой таяние ледового щита Антарктиды с непредсказуемыми последствиями для климата планеты.

Выбросы химических веществ в атмосферу уже в настоящий момент оказывают крайне негативное влияние на мировую экологию. Избыток диоксида серы в атмосфере считается главной причиной кислотных дождей и парникового эффекта. В процессе использования, переработки и сжигания энергоносителей происходит загрязнение промышленными отходами воды и почвы. Главная причина такого загрязнения – аварии.

Борьба за экологическую безопасность современных производств невозможна без внедрения передовых технологий во всех аспектах жизнедеятельности человека.

И главное – эту проблему необходимо решить, в первую очередь, в энергетике, поскольку именно здесь 90 % выбросов парниковых газов приходится на сжигание органического топлива.

Сегодня развитые страны мира прикладывают значительные усилия для реализации положений Киотского протокола (1997 г.).

На Саммитах стран большой восьмерки, состоявшихся в июне 2007 года в Германии и в июле 2009 года в Италии, охрана окружающей среды была одной из главных тем. Итогом Саммитов стало то, что страны будут пытаться вдвое уменьшить выбросы углекислого газа до 2050 года.

Таким образом, напрашивается один вывод – развивая горное дело, Землю нужно беречь для нынешних и будущих поколений. Земля – это и есть жизнь.

Раздел 10

ОТОБРАЖЕНИЕ ГОРНОГО ДЕЛА В КУЛЬТУРЕ

Тема этого раздела настолько многогранна и масштабна, что о ней можно отдельно писать целые книги. Поэтому, мы знакомим читателя с некоторыми фрагментами, отображающими горное дело в мировой архитектуре, живописи, униформе, в изделиях мастеров фарфора, стекла, металла и т. д. – то есть в культуре.

Всем, видимо, известна горняцкая символика. Она берет свое начало с давних времен: два скрещенных молотка (один – это кувалда, второй – кирка). Эти инструменты и были первыми горными орудиями из металла, которыми руда, соль, камень и уголь откалывались от массива.

Эти символы использовались во многих случаях: в гербах, монетах, сувенирах, в различных скульптурных и архитектурных творениях, униформе и дошли до наших дней. Известны гербы городов Германии, где добывали медь, серебро, соли, руды.

Горная тематика нашла свое отражение в монументальных скульптурах. До наших дней сохранился знаменитый «камень из Лапареса» – одно из редчайших произведений искусства римской эпохи, изображающий рудокопов с кайлами на плече перед спуском в шахту.

Начиная с XI века в странах Европы стали формироваться крупные города – центры ремесленной деятельности горняков в Чехии, Саксонии, Франции и др. В них сооружались соборы, украшенные скульптурами и витражами на горную тематику. Покровительницей горняков считалась святая Барбара, изображенная на рис. 10.1. Эта работа выполнена резьбой по дереву Гансом Гриеном (1485–1545 гг.).

В XIV в. построено одно из наиболее впечатляющих творений, прославляющих горное дело – собор св. Барбары в Кутна Горе (Чехия). В предместьях этого старинного горняцкого городка за 400 лет было добыто 25 000 т серебра и 100 тыс. т меди. На входе в собор величественно стоит статуя горняка (рис. 10.2).

Подобные храмы строились в горняцких городах Фрайберге, Шнееберге, Аннаберге (Саксония), а также в альпийских поселках Швац, Халль и Ротенберг.



Рис. 10.1. Св. Барбара (Г. Гриен)

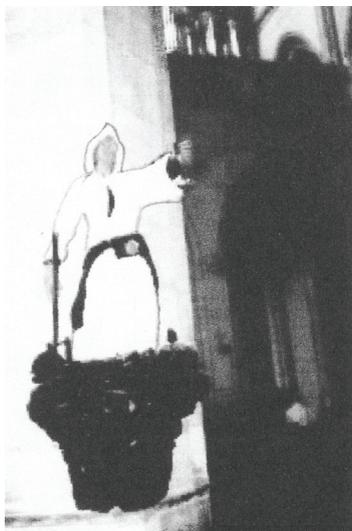


Рис. 10.2. Статуя горняка при входе в собор св. Барбары

Уникальным творением мастеров является Бергалтарь (Горный алтарь) в церкви городка Аннаберг, выполненный художником

Х. Хессе в 1521 г. Автор запечатлел на картинах основные горные процессы, связанные с добычей руды, выплавкой металла и изготовлением изделий (рис. 10.3).



Рис. 10.3. Общий вид Горного алтаря (Аннаберг, Германия)

Особый характер «горняцкой церкви» подчеркнут в убранстве храма в Клаустале, парапеты которого украшают яркие минералы. О технике добычи и условиях труда на рудниках в середине XIV в. дают представления стеклянные витражи Фрайбергского собора (1340–1350 гг., Германия), а также кафедра, выполненная в виде тюльпана с фигурками горняков (Тюльпанканцлер) (рис. 10.4).

К XV и XVI вв. относится появление большого числа примеров отображения горной тематики в изобразительном искусстве. В этот период шедевры создавали известные мастера того времени Э. Грассер (в Шваце), Г. Фритше (во Фрайберге), Ф.И. Платцер (в Праге), Х. Хессе (в Аннаберге), П. Парлерж (в Кутна-Горе).

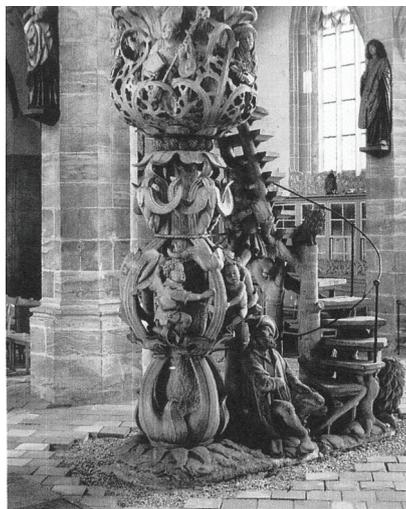


Рис. 10.4. Кафедра во Фрайбегском соборе (Германия)

Успехи в горном деле начали отмечаться созданием уникальных по своим размерам, красоте и мастерству ваз, бокалов, сувениров. Примером ювелирной работы может быть Госларская горняцкая кружка (1477 г.), изготовленная в честь начала разработки месторождения Ромельсберг (Германия) (рис. 10.5).



Рис. 10.5. Госларская горняцкая кружка (1477 г., Германия)

Выдающимся произведением немецкого искусства может быть Раппольтштайнский кубок эпохи Ренессанса золотых дел мастера Г. Гобенхаупта, изготовленный им в 1530 г. из серебра месторождения Маркирхе. Во Франции в связи с разработкой соляных месторождений в Салене создается гобелен «Святой Анатоль».

Развитие горного дела в XVII–XVIII вв. также находило свое отражение в культурном творчестве. На памятных медалях, выпускаемых в честь закладки шахты или открытия рудника, воспроизводились водяные колеса, насосы, горный инструмент и т. п. Образцы горных пород и минералов все чаще использовались для создания, так называемых горных миниатюр. Миниатюры представляли собой воплощение традиционных представлений о шахте или руднике. Примером такого воплощения горного дела в искусство является композиция, выполненная из кристаллов и минералов, серебра и цветных металлов, в которой отображена модель шахты (рис. 10.6).

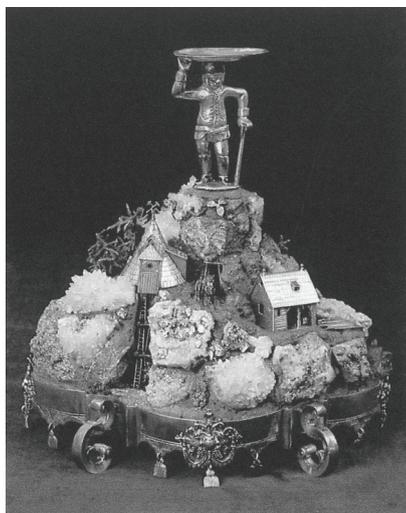


Рис. 10.6. Сувенирная композиция на горную тематику (XVIII в.)

В искусстве малых форм прослеживается влияние горного дела на фарфоровую продукцию. Ведущие мануфактуры Германии, Майсенская, Берлинская и другие, посвятили целую серию

фарфоровых сувениров горнякам, как профессиональному сословию (рис. 10.7).



Рис. 10.7. Фарфоровые статуэтки горняков (Германия)

Мотивы, связанные с горным делом в XVIII в., появляются в продукции стеклодувов. Саксонские, бранденбургские, чешские и брауншвейские мануфактуры начали выпускать чаши, бокалы с изображением рудников, средств добычи и самих горняков.

Веками формировались традиции горняков. Это получило свое отражение в профессиональных праздниках, знаках отличия, чинах и мундирах, наградах, парадной одежде. Горняцкая форма всегда привлекала своей элегантностью и строгостью. Так выглядел мундир горного мастера рудников Саксонии (XVIII в.) (рис. 10.8).



Рис. 10.8. Горный мастер (XVIII в., Саксония)

Свою историю имеет форма горных инженеров России. Подобно некоторым европейским странам, в дореволюционной России горная служба имела особую полувоенную организацию. Еще в 1734 г. горных чиновников приравнивали к офицерам, что давало им права потомственного дворянства. С 1755 г. для горных чинов устанавливаются специальные мундиры.

В соответствующем указе императрицы Елизаветы Петровны говорилось: «Горным офицерам мундир иметь: кафтан сукна красного, доброго, обшлага разрезные суконные белые, называемые шведские, воротник, камзол суконные белые, штаны суконные же красные, подбой белый». На кафтане, по бортам камзола и на треугольных шляпах полагался золотой галун. Мундир 1755 г. просуществовал около сорока лет.

В 1804 г. для горных инженеров вводятся мундиры нового образца – из синего сукна с черной отделкой и красными штанами. С 1834 г. горные инженеры, вошедшие в состав Корпуса горных инженеров, получают темно-зеленую форму с черной отделкой. После упразднения Корпуса горных инженеров в 1867 г. горные инженеры переходят на гражданскую форменную одежду: черного, зеленого и голубого цветов, с ношением эмблемы на пуговицах, головных уборах и петлицах.

В СССР форменная одежда для работников угольной и горнорудной промышленности была введена в 1947 г. Она, в целом, сохранила свои конструктивно-стилевые решения и форму, введенные в 1976 г.

В XX в. горная форма в европейских странах, также претерпевала изменения и совершенствовалась.

Горная тема волновала многих живописцев. В своих полотнах они отображали труд шахтеров, нефтяников, посвящали работы открытию новых шахт и рудников. Нам известны полотна мастеров о шахтерах Донбасса, Караганды, нефтяниках Сибири, Каспия, Заполярья. В СССР посвящали горнякам свои работы А. Дайнека, К. Касаткин, К. Финогенов, В. Почитаев и многие другие. О шахтерах писали картины знаменитые художники Винсент Ван Гог, Константин Менье, Вилли Зитте, Андре Плансон, Луи Тоффоли и др.

Некоторые произведения мастеров живописи мы решили показать ниже (рис. 10.9–10.12).



Рис. 10.9. Шахтерки (К. Мейниер)



Рис. 10.10. После работы (Вилли Зитте)

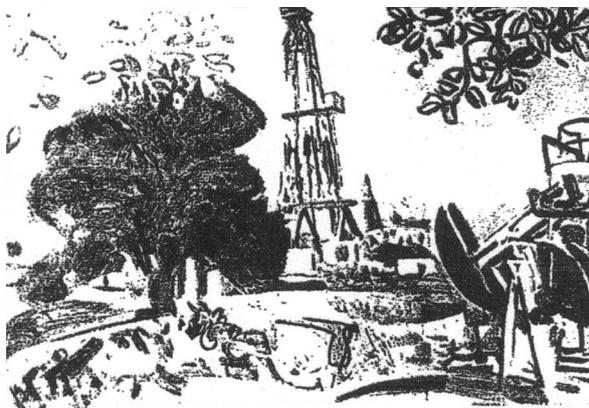


Рис. 10.11. Нефть Бернара (Андре Плансон)

Не обошла эта тема и киноискусство. Шахтерскому труду были посвящены кинокартины «Большая жизнь», «Донецкие шахтеры», нефтяникам – «Нефтяники Каспия» и др.

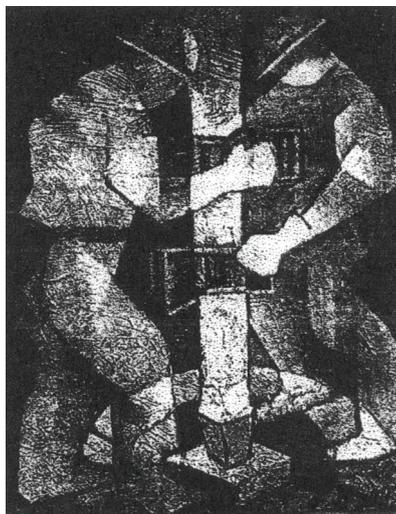


Рис. 10.12. Бурение (Луи Тоффоли)

Тема «Горное дело в искусстве» долго будет иметь свое имя и статус, ибо горное дело еще переживет не одно поколение.

Раздел 11

ГОРНОЕ ДЕЛО. XXI ВЕК

Входя в XXI век, горнодобывающая промышленность уже имеет за своими плечами богатый опыт, традиции и успехи. Горное дело и дальше будет развиваться. Ведь уголь, нефть, газ, руды, горно-химическое сырье и строительные материалы – это тот ассортимент полезных ископаемых, определяющий экономический потенциал каждой страны.

При добыче твердых полезных ископаемых основу горнодобывающей промышленности составляют высокопроизводительные комплексно-механизированные горные предприятия. Открытая разработка полезных ископаемых и дальше будет увеличивать свои объемы на базе широкого использования современной выемочной и транспортирующей техники.

Уголь. Особое место отводится угольной промышленности. Сегодня по праву можно сказать: уголь – топливо будущего. По данным Мирового угольного института на долю угля приходится около 90 % энергетического потенциала всех пригодных для разработки полезных ископаемых органического происхождения. В настоящее время почти 55 % угля применяется для выработки электроэнергии, и эта роль будет оставаться ведущей и в будущем. Особенно увеличение потребления угля наблюдается в развивающихся странах Азии. В этом регионе только на Китай и Индию будет приходиться до 75 % ожидаемого прироста использования энергетического угля во всем мире.

Потребление угля в мире представлено в табл. 11.1.

Таблица 11.1. Потребление угля в млн. тонн

Регион	2001	2005	Изменение
США	1060	1567	+47,8 %
Западная Европа	574	463	-19,3 %
Япония	166	202	+21,7 %
Страны СНГ	446	436	-2,2 %
Китай	1383	2757	+99,3 %
Индия	360	611	+69,7 %
Остальной мир	1274	1538	+20,7 %
ВСЕГО	5263	7574	+43,9 %

В связи с увеличением потребления угля в мире увеличится его добыча в XXI веке (рис. 11.1)

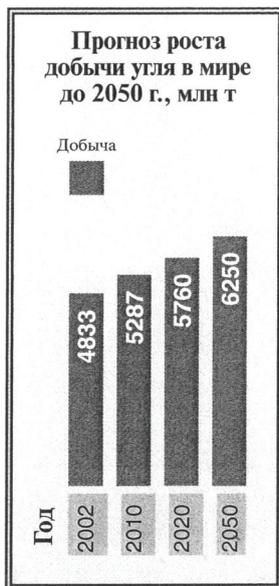


Рис. 11.1. Прогноз роста добычи угля в мире до 2050 г.

На втором месте находится использование угля в сталелитейной промышленности.

Угольная промышленность получает свое новое развитие. В результате реструктуризации угольного производственного потенциала в СНГ ряд шахт, нерентабельных и сложных в разработке, были закрыты. Действующие шахты были модернизированы и оснащены современной техникой. Угольные шахты России оснащаются угледобывающими комплексами третьего поколения. Это новые проходческие комбайны КП 25, уникальные роторные экскаваторы КСМ.

Создание горных машин большой единичной мощности и средств автоматики позволяет планировать и осуществлять разработку месторождений по принципу поточного производства.

Существенно повысится качество угольной продукции. Полностью будут прекращены поставки потребителю необогащенных

высокозольных углей. Из угля будут получать новые виды топлива: жидкие и газообразные углеводороды, водоугольные суспензии, бездымные брикеты и другие продукты переработки угля повышенного спроса. Будут созданы экологически чистые угольные технологии на всех стадиях производственного цикла «добыча–переработка–транспорт–использование».

В XXI веке до 80–85 % энергетических и значительная часть коксующихся углей будет добываться наиболее эффективным открытым способом с применением технологических схем и оборудования нового технического уровня.

На шахтах существенно повысится концентрация горных работ. Широкое применение получают высокопроизводительные технологические схемы, такие как «лава–шахта» и «лава–пласт». На Ерунаковском месторождении (Кузнецкий угольный бассейн на юге Западной Сибири) уже строятся шахты нового технического уровня с применением таких схем и новейших механизированных комплексов.

Широкое применение в XXI веке будут находить нетрадиционные экологически безопасные способы разработки угольных месторождений – скважинные и другие способы разработки без присутствия человека под землей.

Скважинная технология будет достаточно эффективно применяться также при извлечении шахтного метана. Его ресурсы в угольных пластах сопоставимы с ресурсами природного газа.

Угольная промышленность Украины является одной из наиболее крупных отраслей народного хозяйства. Доля угля составляет около 94–96 % в объеме потребляемых собственных энергоносителей страны. Геологические запасы угля в Украине имеются на сотни лет.

Развитие угольной промышленности Украины сопряжено с периодами крупного роста (2002 г. – 160 млн. т) и спада объемов добываемого угля (2008 г. – 80 млн. т).

Мировой кризис отразился на угольной промышленности Украины. Однако, имея гарантийные запасы угля, Украина может наращивать потерянные объемы путем технического перевооружения шахт, их реконструкции, нового строительства с использованием наукоемких средств и технологий. В первую очередь – это создание механических гидрофицированных креплений облегченного типа, создание средств безлюдной выемки на очень тонких пластах, создание средств раздельной выемки угля и породы с закладкой

пустого пространства, широкого применения столбовых систем разработки пластов мощностью более 1,0 м.

В XXI веке будут широко внедряться компьютерные горные технологии, такие как:

- создание каркасных и блочных моделей объектов горной технологии;
- геостатистический анализ месторождений;
- формирование базы данных (каталога) маркшейдерских точек и решение на их основе различных маркшейдерских и геодезических задач;
- подсчет объемных и качественных показателей выемочных единиц;
- горно-геометрический анализ и оптимизация границ карьера по экономическим показателям;
- планирование открытых и подземных горных работ, проектирование массовых взрывов;
- компьютерное моделирование недр.

Нефть в топливно-энергетическом балансе играет существенную роль. Мировая добыча нефти в настоящее время составляет около 4,0 млрд. т в год. Как утверждают специалисты, нефть – главный товар в мире, от цены которого в немалой степени зависит «самочувствие» глобальной экономики.

В XX веке рост спроса на нефть уравновешивался открытием новых месторождений, позволявшим увеличить ее добычу. Однако многие считают, что в XXI веке нефтяные месторождения исчерпают себя и диспропорция между спросом на нефть и ее предложением приведет к резкому росту цен.

Но пока добыча нефти растет и растет ее потребление. Большие запасы нефти имеются в нефтяных песках Канады и Венесуэлы. Этой нефти при нынешних темпах потребления хватит на 110 лет. Компании разрабатывают новые технологии добычи нефти из нефтяных песков.

Нефть является главной статьей российского экспорта. Только в 2005 году Россия поставила на экспорт около 250 млн. т, что составляет 32 % всего российского экспорта.

Увеличение добычи нефти и газа в XXI веке будет происходить за счет новых месторождений, залегающих на глубинах 5–7 км в труднодоступных районах. Однако основные перспективы прироста запасов связываются с континентальным шельфом. Ожидается, что к

2050 г. добыча нефти и газа на морских месторождениях составит более 50 %. К этому же периоду будет приурочено начало освоения труднодоступных запасов с глубины моря более 1 000 м.

Решение этих проблем невозможно без применения новых технологий в поиске, разведке, добыче и транспортировке углеводородов. Одна из главных целей – внедрение передовых методов увеличения нефтеотдачи. За счет увеличения коэффициента нефтеотдачи пластов только на 10 % дополнительно можно извлечь более 100 млрд. тонн.

Ученые работают над проблемой вовлечения в энергетическую сферу альтернативных источников. Для этого разрабатываются технологии, позволяющие разрабатывать новые виды энергетических ресурсов.

Резервы энергетических источников недр Земли

Мы с вами уже знаем, что уголь, нефть и газ – основные энергетические полезные ископаемые подземных недр. Но запасы этих ископаемых не безграничны, много месторождений истощено, а приращение запасов энергетического сырья, увеличение его добычи, невозможно без осуществления технологического прорыва, поисков новых источников энергетики.

Хотя катастрофические сценарии нефтяного кризиса появляются ежегодно, наша планета еще далека от полной истощенности углеводородного сырья, потому что в недрах Земли есть еще энергетические ресурсы: битумы, сланцы, газовые гидраты, угольный метан, водород, тепло Земли.

Ниже рассмотрим эти резервы. Что же может быть альтернативой для пополнения энергетических источников?

Битуминозные породы. Они находятся в земной коре в разных формах: в рассеянном состоянии, в виде незначительных смесей и в виде скоплений, где битум пропитывает породы и формирует мощные пояса накопления битумов. В отличие от нефти для естественных битумов используют в основном другие методы разработки – карьерный, шахтный или внутрислоевые технологии (селективные растворители, закачивание пара и др.). Мировые геологические ресурсы битумов оцениваются в 600 млрд. тонн, что позволит, при соответствующей технологии, обеспечить потребность мира в энергии на многие десятки лет.

Наиболее мощные месторождения битумов находятся в Канадской провинции Альберта, где на начало XXI столетия было добыто 70 млн. т битумов. Канада занимает второе место в мире (после Саудовской Аравии) по запасам битумов. Мощные запасы битумов есть в Венесуэле, где в 2001 году добыто 15 млн. тонн.

Из 1,0 тонны битума при достаточно глубокой переработке можно получить до 500 кг нефти.

Горючие сланцы. Ресурсы горючих сланцев в мире огромны. Основные ресурсы (более 80 %) сосредоточены в США, Бразилии, России.

Сегодня вся мировая общественность заговорила о сланцевом газе. Буревестниками энергетического прорыва стали США, которые, используя новейшие технологии, стали лидерами по объему добываемого газа из сланцев (рис. 11.2).

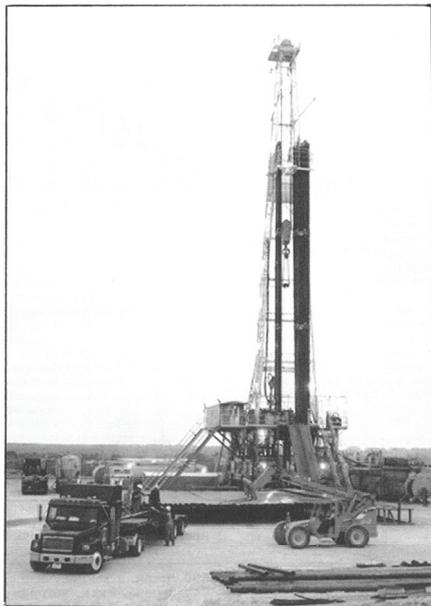


Рис. 11.2. Добыча сланцевого газа на месторождении Barnett в Техасе (США)

Первая сланцевая скважина была пробурена в США еще в 1821 г. Попытка добычи газа в эстонских сланцах была предпринята еще в конце 40-х годов прошлого века. Сегодня, в век нового технического

перевооружения горнодобывающей промышленности и современной технологии имеется реальная база для интенсивной добычи сланцевого газа. Как пишет New York Times – «Нынешняя «сланцевая» лихорадка только начинается».

На большей части Европы в Голландии, Швеции, Польше, Румынии, Украине имеются огромные запасы сланцевого газа.

О возможности добычи сланцевого газа на территории Евросоюза уже объявили около 40 компаний. Крупнейшие из них, Shell и Exxon, начали приобретать земельные участки с целью разведки залежей сланца.

Ожидается, что добыча газа из сланцев займет лидирующие позиции на газовом рынке. Доля сланцевого газа в общем объеме добычи газа может увеличиться до 75–90 % уже в ближайшие годы.

Газовые гидраты – это скопления газа (чаще метана), который на молекулярном уровне связан с водой. Специалисты считают, что газовые гидраты в будущем могут быть главным альтернативным источником энергии, а их промышленное освоение – одна из главных задач XXI столетия.

Газовые гидраты представляют собой кристаллическое вещество, напоминающее по виду снег или лед. В результате молекулярного уплотнения один кубометр естественного гидрата метана в твердом состоянии имеет в своем составе около 164 м³ метана в газовой форме. Кристаллы возникают под действием низких температур и большого давления. Газовые гидраты распространены в регионах вечной мерзлоты и в глубинных водах на дне Мирового океана в виде скоплений протяженностью в десятки километров. Установлено, что зона стабильности гидратов газов в условиях открытого океана начинается с глубины 450 м и более и достигает толщины нескольких сотен метров. Потенциальные ресурсы метана находятся не только в зоне стабильности в твердом виде, но и под ней – в естественном газовом состоянии.

Наиболее мощные скопления газовых гидратов размещены на юго-восточном побережье США. Там, в виде протяженного поля на глубине до 3,5 км может содержаться около 30 трлн. м³ метана.

Впервые кристаллы метана были обнаружены еще в 1980 году, но как источник энергии, замороженный метан не завоевал популярности в результате сложных технологических проблем, возникающих в процессе добычи.

Первая перспективная добыча газового гидрата была осуществлена в 1964 году в России на месторождении Массояха в Западной Сибири.

По последним оценкам специалистов мировые запасы газогидратного сырья составляют около 265 000 трлн. м³, что вдвое больше запасов коксующего угля, нефти и обычного природного газа. Вся сибирская природа – это гигантский резервуар, наполненный замороженным топливом. Под дном Черного моря скрыты гигантские месторождения гидратов, запасов которого, по расчетам ученых хватит на многие сотни лет.

Как мы видим, месторождений гидратов газов есть много, но есть и проблемы в их добыче. Самая сложная проблема, которую надлежит решить специалистам при добыче природного газа из газогидратных залежей, это удержание естественного температурного режима в процессе бурения ледяного пласта. И еще одна проблема – извлечение кристаллов на поверхность, чтобы они были целы. Дело в том, что при незначительном повышении температуры и падении давления, подобное снегу вещество разлагается на газ и воду.

Сегодня в ряде развитых стран ведутся научно-поисковые работы по проблемам разработки технологии добычи гидратов газов и получения из них природного газа.

Над этой проблемой работают ученые и специалисты России, Японии, Канады, Китая, США, Индии. США планируют начать промышленную эксплуатацию собственных ресурсов гидратов газов уже до 2015 года. В 2003 году Япония провела первые эксперименты по добыче метана из глубины моря. В южных и центральных районах Тихого океана было осуществлено бурение 20 скважин до глубины 1 089 м, а до 2011 года будет предпринята промышленная добыча метана из морского дна. Разрабатываются технологии добычи газовых гидратов в России. Таким образом, газ из газовых гидратов – это топливо недалекого будущего.

Угольный метан. Вторым источником метана может стать угольный метан. Метан имеется в сорбированном виде в угольных пластах, где он содержится в толще угольного пласта. Хотя все угольные пласты удерживают определенное количество метана, экономически выгодными являются не все угольные залежи. В США расчетные запасы метана угольных залежей приближаются к величинам запасов обычного природного газа.

В мировой практике существуют разные методы добычи угольного метана. Наиболее часто используются следующие: вертикальные скважины для дегазации угольного массива к началу шахтной добычи; вертикальные газовые скважины в пустой породе; вертикальные газовые скважины независимо от угледобычи.

Проекты бурения скважин для добычи газа попутно с добычей угля на шахте возникли с целью сведения к минимуму риска взрыва метана при добыче угля. Опыт осуществления дегазации шахт в последнее время привел к разработке проектов добычи газа независимо от работы шахт.

Ресурсы метана в угольных бассейнах мира большие. В угольных бассейнах России они составляют: в Кузнецком – до 13 трлн. м³, Печерском – до 2 трлн. м³, метана много и в угольных бассейнах Украины. В скором будущем планируется создание опытных промышленных полигонов извлечения метана из угольных пластов в Украине и России.

Газообразный водород. По-видимому читателю уже известно о применении водорода в двигателях автомобилей. Водородный двигатель – это на сегодняшний день наиболее перспективная альтернатива. Американская фирма General Motors потратила почти 55 млн. долларов на его разработку и уже в 2000 году был продемонстрирован первый автомобиль на водородном двигателе. Но такая машина на сегодня – лишь рекламная акция, потому что ездить на водороде, полученном расщеплением воды, слишком дорого.

Как же получить водород, да еще дешевый? На этот вопрос дает ответ доктор геолого-минералогических наук Сергей Ларин, разработавший метод получения дешевого водорода.

В недрах Земли залегает громадное количество магния. Если пробурить к этим залежам скважину и залить туда воду, мы получим окись магния, а также массу тепла и газообразный водород. Этим дешевым водородом можно заправлять все, что движется, летает и вращается.

На планете существует несколько уже известных зон, где вмещающие магний слои подходят близко к земной поверхности. Достаточно пробурить две скважины (глубиной 4–6 км) и в одну из них подавать воду, а из второй – можно извлекать водород. Большие скопления водорода существуют в подводных зонах рифта. Здесь каждый килограмм породы может дать около 1 200 литров водорода.

Действующим источником водорода могут стать вулканы. Например, газ вулкана Этна имеет в своем составе 17 % водорода. А газы вулканов Курильской гряды могут давать 100 тонн водорода в год. На планете много вулканических областей и вклад вулканизма в получение водорода может быть заметным.

Как нам видится, проблема получения водорода и его применение найдут свое положительное решение.

Тепло Земли. Тепло Земли представляет собой мощный энергоресурс, базирующийся на использовании естественной теплоты Земли, освоение которого дает удешевление энергии в сравнении с современной тепловой энергетикой. Еще в 1914 г. К.Е. Циолковский, а в 1920 г. В.О. Обручев высказали идею об извлечении геотермальных ресурсов, находящихся в недрах Земли.

Позже эта идея была реализована в первых геотермальных циркуляционных системах (ГЦС). Во многих странах мира основные ресурсы вкладываются в создание геотермальных электростанций (ГЕОТЭС). Опыт подтверждает, что при наличии в недрах неглубоких коллекторов естественного пара, строительство ГЕОТЭС представляет собой наиболее выгодный вариант использования геотермальной энергии. Но месторождения пара – редкость, его прогнозируемые и известные месторождения небольшие. Наиболее распространены месторождения геотермальной воды.

Энергия геотермальной воды (с температурой до 200 °С) широко используется в промышленности, сельском хозяйстве, медицине. «Подземные котельные» подают по скважинам горячую воду для отопления домов. Практическое использование геотермальной энергии возможно прежде всего в районах повышенной вулканической активности. Так, в России таким районом является Камчатка. Здесь в 1967 году на базе Паужетских источников была построена первая геотермальная электростанция.

Уже в 1984 году общая мощность систем геотермального тепла в обеспечении энергией 14 стран мира достигла 2,4 млн. кВт. Извлечение энергии из горячих горных пород недр Земли с помощью циркуляционных систем (геотермальная технология) – наиболее перспективное направление добычи тепла из недр.

Система разработки геотермального месторождения характеризуется взаимным расположением, методом подготовки и последовательностью введения в эксплуатацию добычных и нагнетательных скважин, коллекторов, зон теплообмена.

Искусственный коллектор на подземном участке горячих пород образуется путем бурения в них комплекса вертикальных и наклонных скважин с последующим гидроразрывом пород между этими скважинами для образования трещин и увеличения поверхности съема тепла.

На геотермальной циркуляционной станции в коллектор по нагнетающим скважинам закачивается теплоноситель и потом, уже нагретый горячими породами, он откачивается из коллектора по добывающим скважинам. Применяются разные методы разрушения естественного массива для образования фильтрационных каналов.

Темпы строительства геотермальных электростанций с каждым годом растут. В 2002 году ГЕОТЭС работали в 15 странах мира, обеспечивая производство 52 ГВт электроэнергии. Ведущими странами по извлечению геотермальной энергии являются Китай (10,5 ГВт), Япония (7,5 ГВт), США (5,64 ГВт), Испания (5,6 ГВт) и Россия (1,7 ГВт). Добыча тепла из недр Земли – мощный экономический резерв энергетического сырья.

В XXI веке горное дело и дальше будет связано с атомной энергетикой, потребляющей урановую руду. В 2005 г. в мире было добыто 41 250 т урана, из них 38 % – на подземных рудниках, 30 % – на карьерах и 21 % – способом подземного выщелачивания. В практику внедряется комплексная переработка руд с попутным извлечением ценных компонентов (фосфора, ванадия, серы, золота, молибдена, редкоземельных элементов).

В XXI веке будут продолжены работы по поиску и разведке полезных ископаемых, расположенных на морском дне и больших глубинах. Поскольку поверхность Земли на 71 % покрыта водой, объектами исследований стали морская вода и дно океана. Теперь из морской воды извлекают магний. В связи с открытием марганцевых конкреций на дне океанов ученые сконцентрировали внимание на разработке методов их добычи. Планируются более развернутые подводные исследования с целью поиска и других ценных материалов. В будущем, возможно, развернутся работы по извлечению полезного ископаемого из металлоносных илов, покрывающих обширные площади дна Тихого океана, а также из высокоминерализованных вод Красного моря.

Таким образом, и в XXI веке горное дело остается одной из важнейших отраслей народного хозяйства, обеспечивающей энергетическую независимость государств нашей планеты Земля.

Заключение

Горное дело прошло путь длиною в тысячелетия. Мы ставили за цель ознакомить читателя с тем, каким образом решались задачи, которые ставила перед горным делом повседневная жизнь человека, начиная с доисторической эпохи и заканчивая сегодняшним днем. Конечно, такая многогранность горного дела не может быть описана в одной книге. Поэтому мы ограничились рассмотрением основ горного дела и таких его аспектов, как полезные ископаемые, технологии их добычи, горная наука.

Недра нашей Земли – это кладовая природы. В них находятся все известные человечеству полезные ископаемые. Необходимо продуманное использование этих естественных сокровищ Земли. Особенно в XXI веке, когда освоение земной коры будет происходить на фоне все возрастающих потребностей человека в энергетических ресурсах и землях. Это значит, что и поверхность Земли, превращаются в полноправные природные ресурсы, не менее ценные для человека, чем минеральное сырье.

Комплексное использование недр Земли – полезных ископаемых, уменьшение потерь при их добыче, полная утилизация отходов горного производства – важнейшая на сегодняшний день задача.

Конечно, минеральное сырье и энергетические ресурсы ограничены и не бесконечны. Ученые должны работать над совершенствованием технологий добычи полезных ископаемых, чтобы увеличить коэффициент их полезного извлечения из земных глубин. В недрах Земли еще таятся не использованные энергетические ресурсы. Важнейшая задача XXI века разработать новейшие технологии их добычи с учетом охраны окружающей среды.

Прогноз освоения недр, как и другой прогноз в науке и технике, дело сложное. Однако, человечество может уверенно смотреть в энергетическое будущее, приняв в борьбе за освоение подземных недр новые научные идеи и технологии.

Наука еще должна приложить много усилий, чтобы быть полноправным хозяином в предупреждении естественных катаклизмов и катастроф, глобального потепления климата, а также в оценке тектонических процессов, происходящих в недрах Земли.

Эти проблемы всегда будут в центре внимания горной науки. Их нужно решать не только нам, но и нашим потомкам.

Список литературы

1. Арсентьев А.И., Падуков В.А. Беседы о горной науке. – Л.: Наука, 1981. – 161 с.
2. Большая Советская Энциклопедия. Изд-во «Советская энциклопедия». – 1969–1978 г.г.
3. Бойко В.С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1990. – 427 с.
4. Брод И.О., Еременко Н.А. Основы геологии нефти и газа. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – 480 с.
5. Бугай Ю.Н., Балакиров Ю.А. Газогидратные месторождения. – Киев: МНТУ, 2001. – 170 с.
6. Геология нефти и газа/Э.И. Бакиров, В.И. Ермолкин, В.И. Ларин и др. – М.: Недра, 1980. – 239 с.
7. Горлов В.Д. Рекультивация земель на карьерах. – М.: Недра, 1981.
8. Бакка М.Т., Легужко А.С., Пчолкин Г.Д. Основи гірничого виробництва. Навчальний посібник. – Житомир, 1999.
9. Горная энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1986.
10. Коротаяев Ю.П. Эксплуатация газовых месторождений. – М.: Недра, 1975. – 415 с.
11. Кулик Д. Сланцевая лихорадка. Русская Германия, № 14, 2009.
12. Кутузов Б.Н. Взрывные работы. – М.: Недра, 1980. – 392 с.
13. Мазур И. Нефть и газ. Мировая история. – М.: Изд. «Дом, Земля и человек. XXI век», 2004. – 896 с.
14. Мала гірнича енциклопедія. За редакцією д. т. н., проф. Білецького В.С. – Донецьк.: «Донбас», 2004.
15. Нагорный В.П., Глоба В.М., Денисюк И.И. Взрывные работы при добыче природных углеводородов, строительстве подземных трубопроводов и подземных хранилищ. – К.: Поліграфіст, 2009. – 330 с.
16. Нагорный В.П., Глоба В.М. Обо всем, что под землей (добывается, сооружается, размещается). – Киев, 2010. – 205 с.

17. Рассел У.Л. Основы нефтяной геологии. – Л.: Гостоптехиздат, 1958. – 619 с.
18. Ржевский В.В. Горные науки. – М.: МГИ, 1981. – 96 с.
19. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1967. – 288 с.
20. Соколов В.А. Нефть. – М.: Недра. – 382 с.
21. Хохряков В.С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1991. – 336 с.
22. Хчеян Г.Х., Нафтуллин И.С. Геотехнологические процессы добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1983. – 220 с.
23. Швецов П.Ф. Под землей, чтобы сберечь землю. – М.: Наука, 1983. – 144 с.
24. Яремичук Р.С., Возный В.Р. Основы горного производства нефти, газа и твердых полезных ископаемых. К.: Кондор, 2006. – 376 с.
25. Atlas der Natur Katastrophen. – Munchen: 2001.
26. Gunter Kuhn. Der maschinelle Tiefbau. – Stuttgart: B.G. Teubner, 1992.
27. Hans – Heinz Emons, Hans – Henning Walter. Mit dem Salz durch die Jahrtausende. – Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. – 1984.
28. Mineralien und Edelsteine. – Verlegt bei Kaiser, 2003.
29. К. Симмев. Grundbau, Teil 2. – Stuttgart – Leipzig: B.G. Teubner, 1999. – 513 s.
30. Martin Clement. Tausend Jahre Metallerbergbau in Mitteleuropa. – VGE, Essen, 1996.
31. Stefan Ueberhorst. Energietrager Erdgas. - Bonn, 1994.
32. Unsere Erde. Urania – Verlag – Leipzig – Jena – Berlin, 1974.
33. Bergbau in Erzgebirge. Deutscher Verlag. Leipzig, 1989.
34. Das Bergbau Hand Buch. Verlag Glückauf, GmbH Essen, 1994.

Научно-популярное издание

**Нагорный Владимир Петрович
Глоба Владимир Моисеевич**

Горное дело.

Дорога длиною в тысячелетия

**Под редакцией докт. техн. наук, проф.
В.П. Нагорного**

На русском языке

Науково-популярне видання

**Нагорний Володимир Петрович
Глоба Володимир Мойсейович**

Гірнича справа.

Дорога довжиною в тисячоліття

**За редакцією докт. техн. наук, проф.
В.П. Нагорного**

На російській мові

Підписано до друку 14.09.2010.

Формат 60×84/16. Папір офсетний.

Друк. арк. 17.39; умов. друк. арк. 15.22
(14,92 – текст, 0,61 – кольорові вклейки).

Замовлення № 10 від 16.09.2010. Наклад 200 прим.

Віддруковано у друкарні Тов. фірми «ЕССЕ»
Україна, 03142, м. Київ-142,
проспект Вернадського, 34/1