

**Э.М.ДОБРОВ**

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

*Допущено*

*Учебно-методическим объединением  
по образованию в области железнодорожного транспорта  
и транспортного строительства в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности  
«Автомобильные дороги и аэродромы» направления подготовки  
«Транспортное строительство»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2008

УДК 624.131.1(075.8)

ББК 26.3я73

Д56

**Рецензенты:**

первый заместитель главного инженера ОАО «Союздорпроект»,  
заслуженный строитель РФ, заслуженный деятель науки РФ,  
д-р техн. наук, проф. *Б. Ф. Перевозников*;

зав. отделом техники полевых инженерно-геологических изысканий  
Производственного и научно-исследовательского института по инженерным  
изысканиям в строительстве (ПНИИИС) *Л. С. Амарян*

**Добров Э. М.**

Д56 Инженерная геология : учеб. пособие для студ. высш. учеб.  
заведений / Э. М. Добров. — М. : Издательский центр «Ака-  
демия», 2008. — 224 с.

ISBN 978-5-7695-2890-3

Изложены основы общей геологии и гидрологии. Приведены сведения по условиям образования и залегания магматических, осадочных и метаморфических пород. Рассмотрены особенности таких геодинамических процессов, как выветривание, карстообразование, оврагообразование, речная эрозия, морская абразия, сейсмика, снежные обвалы и лавины, селевые потоки и оползневые явления. Приведены инженерно-геологические особенности лёссовых, делювиальных, пролювиальных, аллювиальных, морских, лагунных, озерных, болотных, ледниковых и водно-ледниковых отложений. Приведены основные физические характеристики грунтов, методы их определения. Даны основные сведения по методам укрепления грунтов.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 624.131.1(075.8)

ББК 26.3я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Добров Э. М., 2008

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008

ISBN 978-5-7695-2890-3

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	5
<b>Глава 1. Строение земли. Земная кора и ее состав .....</b>	<b>13</b>
1.1. Общие сведения о строении земного шара .....	13
1.2. Породообразующие минералы .....	17
1.2.1. Оксиды кремния и железа .....	18
1.2.2. Силикаты — соли кремниевых кислот .....	19
1.2.3. Карбонаты — соли угольной кислоты ( $H_2CO_3$ ) .....	20
1.2.4. Сульфаты — соли серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) .....	21
1.2.5. Галоиды — соли галоидных кислот, включая соляную (HCl) .....	21
1.2.6. Фосфаты — соли фосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ ) .....	21
1.2.7. Сульфиды — сернистые соединения .....	22
1.2.8. Органические соединения .....	22
1.2.9. Самородные элементы .....	22
1.3. Типы горных пород .....	23
1.3.1. Магматические горные породы .....	23
1.3.2. Осадочные горные породы .....	28
1.3.3. Метаморфические горные породы .....	33
<b>Глава 2. Тектоника и ее роль в процессе осадконакопления .....</b>	<b>38</b>
2.1. Тектонические явления .....	38
2.2. Влияние тектонических явлений на условия осадконакопления .....	41
2.3. Геохронология. Историческая геология .....	44
<b>Глава 3. Условия и формы залегания горных пород .....</b>	<b>49</b>
3.1. Ненарушенные формы залегания осадочных пород .....	49
3.2. Формы нарушенного залегания осадочных пород .....	55
3.2.1. Пликативные дислокации .....	56
3.2.2. Дизъюнктивные дислокации .....	58
3.2.3. Угловое несогласие в залегании пород .....	59
<b>Глава 4. Подземные воды .....</b>	<b>61</b>
4.1. Происхождение и виды подземных вод .....	61
4.2. Законы движения подземных вод .....	68

<b>Глава 5. Выветривание почвы, карст, эоловые отложения</b> .....	73
5.1. Выветривание и связанные с ним процессы .....	73
5.2. Карст и карстообразование .....	79
5.3. Геологическая деятельность ветра и эоловые отложения .....	83
<b>Глава 6. Геологическая деятельность поверхностных вод</b> .....	91
6.1. Оврагообразование .....	91
6.2. Образование делювиальных отложений .....	94
6.3. Селевые потоки .....	97
6.4. Образование пролювиальных отложений .....	100
<b>Глава 7. Геологическая деятельность рек</b> .....	101
7.1. Эрозия и ее проявления .....	101
7.2. Долины рек и их формирование .....	105
<b>Глава 8. Геологическая деятельность моря, морские         и озерные отложения</b> .....	113
8.1. Морская абразия .....	113
8.2. Морские отложения .....	117
8.3. Лагунные отложения .....	120
8.4. Озерные отложения .....	121
8.5. Болотные отложения .....	125
<b>Глава 9. Геологическая деятельность снега и ледников</b> .....	128
9.1. Снежные обвалы (лавины) .....	128
9.2. Горные ледники .....	129
9.3. Материковые ледники .....	131
9.4. Ледниковые отложения .....	133
9.5. Инженерно-геологическая характеристика ледниковых отложений .....	135
<b>Глава 10. Вечная мерзлота</b> .....	137
10.1. Общая характеристика .....	137
10.2. Особенности строительства на вечной мерзлоте .....	139
<b>Глава 11. Оползни и оползневые явления</b> .....	143
11.1. Природа оползневых явлений .....	143
11.2. Обвалы и вывалы .....	145
11.3. Обрушение со срезом и вращением .....	146
11.4. Скол при просадке .....	148
11.5. Скольжение .....	149
11.6. Оползание .....	150
11.7. Опльвы (опльвины) .....	152
11.8. Пластическая деформация толщи .....	153
11.9. Противооползневые мероприятия .....	154
<b>Глава 12. Землетрясения</b> .....	156
12.1. Природа землетрясений и их распространенность .....	156
12.2. Сейсмические волны и параметры землетрясений .....	159

12.3. Интенсивность землетрясений .....	161
12.4. Влияние инженерно-геологических условий на интенсивность землетрясений .....	166
12.5. Влияние сейсмики на устойчивость зданий и сооружений .....	168
12.6. Условия антисейсмического строительства .....	172
12.7. Прогноз землетрясений .....	174
<b>Глава 13. Физические свойства грунтов .....</b>	<b>176</b>
13.1. Гранулометрический состав грунта .....	178
13.2. Плотность и удельный вес грунта .....	186
13.3. Влажность грунта .....	188
13.4. Характерные влажности, пластичность и текучесть глинистых грунтов .....	190
13.5. Исследования грунтов в условиях их естественного залегания .....	194
<b>Глава 14. Изменение свойств грунтов для целей дорожного строительства .....</b>	<b>203</b>
14.1. Подбор грунтов оптимального зернового состава .....	203
14.2. Гидрофобизация грунтов .....	204
14.3. Способы укрепления грунтов .....	206
14.3.1. Основные принципы укрепления грунтов .....	206
14.3.2. Укрепление грунтов минеральными вяжущими материалами .....	208
14.3.3. Укрепление грунтов органическими вяжущими материалами .....	210
14.3.4. Комплексное укрепление грунта .....	211
14.3.5. Укрепление грунтов синтетическими смолами .....	212
Список литературы .....	216

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Инженерная геология рассматривает конструкции автомобильных и железных дорог, аэродромов и тоннелей большой протяженности, что является фактором, существенно отличающим их от общегражданских инженерных сооружений. Данная особенность вносит в проблему анализа характера условий их взаимодействия с окружающей геологической средой необходимость учета не только локальных, но и региональных инженерно-геологических и природно-климатических особенностей.

Именно особенности работы с земляным полотном и дорожной одеждой, которые находятся постоянно под воздействием различных погодно-климатических и природных факторов и обладают совершенно отличным от других типов инженерных сооружений водно-тепловым режимом своей работы, послужили в 1921 г. основой организации в Ленинграде Дорожно-исследовательского бюро, в котором под руководством Н.И. Прохорова, П.А. Земятченского и Н.Н. Иванова были начаты систематические исследования почвогрунтов и осадочных пород в целях дорожного строительства.

На основе этих исследований возникло сначала дорожное грунтоведение, а затем просто грунтоведение как новое научное направление. Под грунтоведением стал пониматься самостоятельный раздел инженерной геологии, который изучает любые горные породы как объект инженерно-строительной деятельности человека.

Отсутствие математических формул при первом беглом знакомстве с курсом инженерной геологии может создать ложное представление о кажущейся легкости восприятия и усвоения излагаемого материала.

В инженерную геологию, которая является прикладной дисциплиной, вошли основы общей геологии как естественно-научной дисциплины, а также многих других наук, таких как гидрогеология, грунтоведение, почвоведение, мерзлотоведение, минералогия, физическая химия и др.

Поэтому в процессе освоения курса инженерной геологии студентам необходимо овладеть массой новых, специфических, редко употребляемых или совсем неизвестных понятий и терминов.

Они должны научиться выстраивать логические причинно-следственные связи между наблюдаемым или возможным (при прогнозе) характером поведения инженерного сооружения и свойствами горных пород и грунтов с учетом масштаба и вида геодинамических процессов, происходящих в окружающей геологической среде.

Общие сведения по строению земной коры, породообразующим минералам, форме залегания горных пород, тектоническим явлениям, условиям их проявления, подземным водам изложены в гл. 1...4.

Главное внимание при изложении материала уделено анализу различных видов геодинамических процессов (гл. 5...12) и особенностям инженерно-геологических свойств отложений, связанных с проявлением этих процессов, так как в большинстве случаев именно с грунтами покровных отложений приходится иметь дело на практике инженерам-строителям транспортных сооружений.

В гл. 13 и 14 представлены лабораторные и полевые исследования грунтов, а также современные методы улучшения свойств грунтов и их укрепления в целях дорожного строительства.

К транспортным сооружениям относятся все инженерные сооружения, которые обеспечивают бесперебойную работу транспортных средств автомобильного, железнодорожного, речного, морского и воздушного сообщений. К основным транспортным сооружениям относятся конструкции автомобильных и железных дорог, мостовые переходы через реки, путепроводы, тоннели, взлетно-посадочные полосы и аэропорты, причальные и портовые сооружения.

Каждый вид транспортного сооружения представляет собой достаточно сложный комплекс взаимосвязанных конструктивных элементов, обеспечивающих его стабильность и работоспособность в целом. Так, применительно к области дорожного строительства основными элементами конструкции автомобильной дороги являются земляное полотно, дорожная одежда, водопропускные трубы, эстакады, путепроводы, мосты, ограждающие конструкции, площадки для отдыха и паркования, сооружения дорожного сервиса и др. В свою очередь, земляное полотно, являющееся основой дорожной конструкции в целом, может быть реализовано в различных своих конструктивных формах. Это может быть или насыпь (рис. В.1), или выемка (рис. В.2), или то и другое вместе, т. е. полунасыпь-полувыемка (рис. В.3).

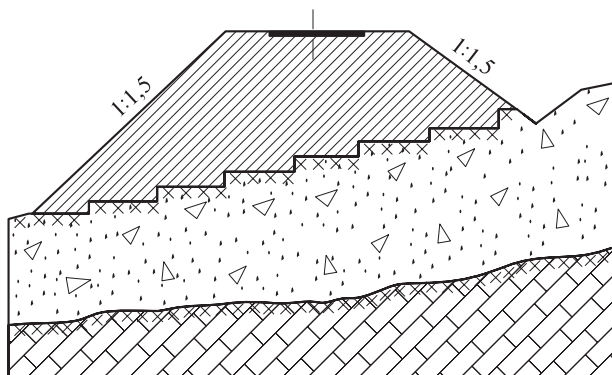


Рис. В.1. Дорожная насыпь



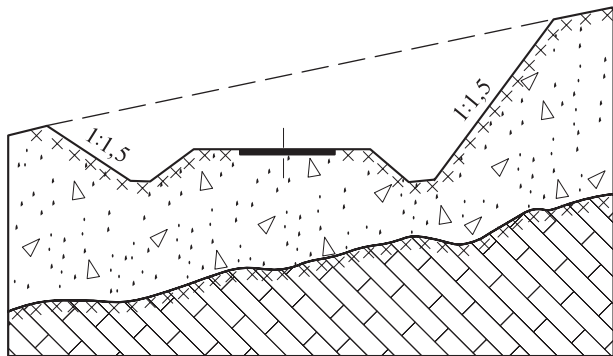


Рис. В.2. Дорожная выемка

Если проектируемый участок автомобильной дороги проходит в условиях пересеченного рельефа местности, то для земляного полотна наиболее типичным будет являться почти последовательное чередование выемок и насыпей. Насыпь земляного полотна является техногенным, т.е. искусственно созданным, грунтовым массивом, для сооружения которого используются грунты (как горные породы), получаемые путем разработки выемок, притрасовых резервов и сосредоточенных карьеров. Следовательно, степень ее устойчивости определяется прежде всего составом и состоянием данных грунтов, а также грунтов, залегающих в основании насыпи и являющихся ее фундаментом. В зависимости от того, какой горной породой представлен этот фундамент и какие особенности геологического строения он имеет, насыпь может устойчивой или, наоборот, может испытывать те или иные деформации, которые нельзя допускать с точки зрения прочности дорожной одежды и проезжей части.

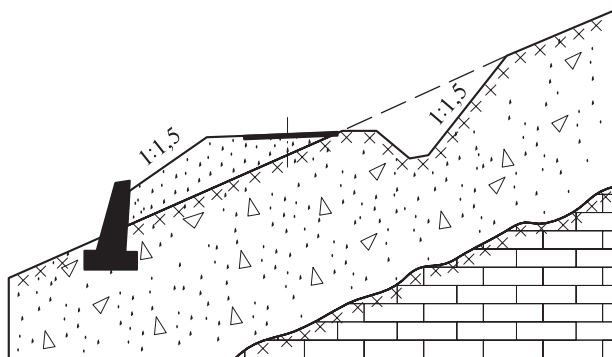


Рис. В.3. Дорожная полунасыпь-полувыемка

Что же касается конструкции выемки, то, как это видно на рис. В.2, она целиком вырабатывается в природной грунтовой толще и устойчивость ее конструктивных элементов определяется прочностью горных пород в их естественном, природном залегании в отличие от грунтов, которые укладывают в насыпь после разработки выемки или карьера. Аналогичная ситуация наблюдается и при строительстве железных дорог.

Таким образом, при проектировании земляного полотна как элемента транспортного сооружения основными задачами инженерно-геологических исследований являются выявление геологического строения толщи, установление условий и особенностей залегания слагающих ее горных пород и определение их физико-механических характеристик, поскольку эта толща может выступать либо в качестве основания и материала для отсыпки дорожных насыпей, либо в качестве среды, в которой производятся земляные работы и устраивается конструкция выемки.

При этом земляное полотно, как и любое другое возводимое транспортное сооружение, должно быть устойчивым и прочным. На первый взгляд кажется, что это необходимое условие может быть обеспечено только в том случае, если грунтовая толща будет представлена прочной монолитной скалой. Однако наличие скальных грунтов еще не гарантирует эксплуатационную надежность сооружения, поскольку скальная порода, представленная изверженными или, как правило, осадочными породами, в массе всегда в значительной степени ослаблена трещиноватостью. Она может быть в значительной степени дислоцирована и иметь при разработке дорожных выемок неблагоприятный характер падения пластов, что, естественно, может привести к нарушению устойчивости ее откосов. Кроме того, скальная порода может не обладать необходимой устойчивостью при воздействии на нее природно-климатических факторов и тогда она не может быть использована без специальных защитных мер для устройства дорожных насыпей и откосов выемок во избежание их разрушения.

Часто отечественные транспортные сооружения возводятся на толще осадочных мягких пород, имеющих пластовый характер залегания. В зависимости от условий накопления осадка эти пласты различны по мощности и могут быть представлены самыми разнообразными породами, как достаточно прочными, так и слабыми, малоустойчивыми. Во всех случаях может возникнуть вопрос о допустимости той или иной нагрузки на грунты исходя из их прочности или ожидаемой осадки сооружения в результате их уплотнения. Возникает также вопрос об устойчивости на сдвиг дорожных конструкций, расположенных на природных склонах (насыпи) или воспринимающих давление грунта (подпорные стенки).

Нередко пласты, слагающие толщу, имеют ограниченную протяженность и, выклиниваясь, взаимно сменяют друг друга в пла-

не. В других случаях среди однородной толщи могут залегать в виде линз породы, отличающиеся по своему составу и свойствам. Эти линзы нередко бывают представлены слабыми породами, например торфом. При таких условиях может оказаться, что насыпь как элемент дорожной конструкции частично будет основана на прочных, а частично — на слабых, более сжимаемых породах. В таких условиях дорожное полотно неизбежно даст неравномерную осадку, будет деформироваться, что вызовет неизбежное разрушение дорожной одежды и снижение ее транспортно-эксплуатационных характеристик.

Кроме того, учитывая значительную протяженность автомобильной или железной дороги, эксплуатационная надежность ее сооружений и конструктивных элементов зависит не только от инженерно-геологических особенностей строения локальных участков, но и в значительной степени от региональных условий. Именно региональные, а точнее линейно-региональные и локально-площадные геологические, условия определяют основные параметры дорожной конструкции. Например, геологические и природно-климатические условия Кавказа существенно отличаются от условий проектирования и строительства дорог в Западной Сибири. Первый регион характеризуется как горный, второй — отличается чрезвычайно высокой степенью заболоченности (85... 90 %). Очевидно, что именно эти региональные факторы будут оказывать определяющее влияние как на конструкции земляного полотна и технологию его сооружения, так и на условия его эксплуатации.

В инженерно-геологическом плане благоприятная природная обстановка возведения сооружения обычно связывается также с отсутствием возможного влияния на сооружение (как в период возведения, так и в период эксплуатации) тех или иных геологических процессов и явлений, способных нарушить его общую устойчивость и прочность.

К числу таких процессов и явлений, которые носят название инженерно-геологических или геодинамических, относятся эрозия, т. е. размыв текучей водой берегов и дна водотоков, оползни, сели, лавины, а также карст, связанный с выщелачиванием подземными водами неводоустойчивых пород и провальными явлениями. Огромное значение в рассматриваемом плане имеют сейсмические явления как проявление процессов, происходящих в недрах земного шара, и др. Сооружение, возведенное в зонах интенсивного проявления этих процессов и явлений без учета их влияния, может оказаться в очень тяжелом и даже аварийном положении, даже если оно, на первый взгляд, безупречно спроектировано и возведено. Подобного рода авариями строительная практика очень богата. Чтобы обезопасить транспортные сооружения от подобных аварий, необходимо в каждом конкретном слу-

чае знать, в какой степени возможно проявление таких процессов и явлений, насколько они угрожают данному проектируемому сооружению и с помощью каких мероприятий можно обеспечить его нормальную службу (если невозможно избежать влияния этих процессов на сооружение).

Инженерно-геологическая практика свидетельствует о том, что эффективность защитных мероприятий тем выше, чем больше они отвечают природе наблюдаемых геодинамических явлений. Без раскрытия природы этих явлений никакая борьба с ними не является практически эффективной и надежной.

В зависимости от своей функциональной направленности конструктивные элементы транспортных сооружений в различной степени оказываются связанными с геологической средой. Строительство автомобильных и железных дорог, как правило, вызывает необходимость проектирования большого числа путепроводов на пересечениях транспортных магистралей, водопропускных труб, мостовых переходов через реки и тоннелей и эстакад (в особо сложных случаях).

Для обеспечения надежной работы пролетных строений путепроводов и мостов конструкции фундаментов их промежуточных опор и береговых устоев должны быть расположены на тех горизонтах геологического разреза, которые могут обеспечить их работу без деформаций. Недостаточная прочность и стабильность тех или иных грунтов, вскрытых в результате инженерно-геологической разведки, может повлечь за собой необходимость принятия дополнительных мер по усилению естественных оснований и увеличению их несущей способности.

Транспортные тоннели — конструкции, которые, пронизывая массив горных пород насквозь, тесно связаны со всеми элементами инженерно-геологического строения толщи (рис. В.4). Именно ее характер и особенности оказываются определяющими при оценке таких параметров, как горное давление, очертание и конструкция обделки, технология разработки горной массы и др.

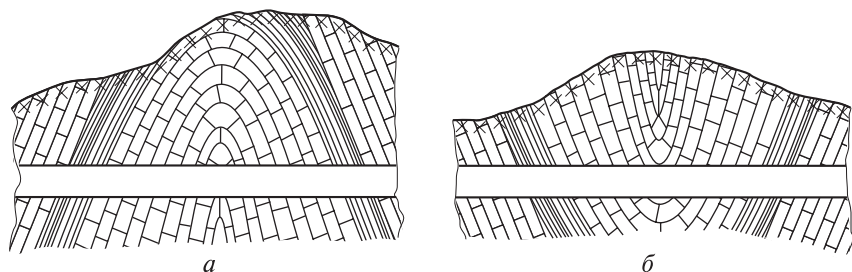


Рис. В.4. Тоннель в зоне:

*а* — антиклинали; *б* — синклинали

В число вопросов, являющихся объектом изучения инженерной геологии как научной и прикладной дисциплины, входит множество задач, решение которых требует отчетливого представления о всей сложности и многообразии природных процессов и явлений, которые могут быть обобщенно сформулированы следующим образом:

1) инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации транспортных сооружений, которые определяются разнообразием грунтов и пород, свойствами и условиями их залегания, режимом подземных вод, а также характером и условиями возможного проявления разнообразных геодинамических процессов и явлений;

2) инженерно-геологические (строительные) свойства грунтов, которые определяются составом и состоянием горных пород и грунтов, их структурными и текстурными особенностями, а также условиями их залегания и характером исходных пород, послуживших материалом к их образованию, условиями (генезисом) и обстановкой (фацией) образования, а также характером последующих видоизменений пород и грунтов под воздействием тех или иных геологических процессов и явлений;

3) характер и интенсивность проявления в целом геологических процессов и явлений, которые определяются особенностями строения земного шара и в первую очередь наличием относительно малой мощности твердой внешней оболочки — земной коры, сложенной горными породами; проявлением в недрах земного шара сложных термических и физико-химических процессов, которые из-за относительно малой мощности земной коры находят то или иное на ней отражение; воздействием на горные породы, из которых состоит земная кора, внешних процессов и явлений, связанных с деятельностью атмосферы и поверхностных вод.

Таким образом, правильный учет инженерно-геологических условий во многих случаях обеспечивает проектирование и строительство более рациональных и надежных конструкций, повышение эффективности капитальных вложений в строительство и снижение эксплуатационных издержек на их содержание. Умение оценивать инженерно-геологическую обстановку, способность предвидеть, какие трудности могут быть встречены при возведении и эксплуатации сооружения данного типа, являются определяющими факторами при выработке и назначении необходимых мероприятий по обеспечению работоспособности инженерных сооружений, возводимых в тех или иных конкретных геологических условиях.

Изучение инженерной геологии не только вооружает необходимыми знаниями проектировщиков и строителей при возведении самых разнообразных сооружений (что само по себе имеет

большое практическое значение), но и позволяет решать сложные проблемы, возникающие при влиянии хозяйственной деятельности человека на поверхностную часть земной коры.

Следствием этого влияния может быть развитие или, наоборот, затухание и исчезновение различных геологических процессов, что, в свою очередь, приводит к изменению инженерно-геологических условий отдельных территорий.

Таким образом, возникает одна из важнейших задач инженерной геологии по изучению горных пород в их взаимодействии с сооружениями. Поэтому объектом изучения инженерной геологии являются также современное состояние и динамика изменения поверхностной части земной коры в связи с инженерной деятельностью человека.

Очевидный прикладной характер инженерной геологии определяется практическими задачами по выявлению геологических и гидрогеологических условий возведения и эксплуатации проектируемого сооружения, а также нежелательных инженерно-геологических явлений, способных возникнуть при возведении сооружения в конкретной геологической обстановке, и необходимых мер по их преодолению.

Комплексное выявление условий транспортного строительства в той или иной конкретной инженерно-геологической обстановке должно проводиться на основе данных геологии и гидрогеологии — науках о строении Земли и подземных водах.

В соответствии с требованиями строительной практики при современном развитии инженерной геологии оценка строительных свойств грунтов и прогноз многих инженерно-геологических явлений выполняются на основе использования тех или иных количественных показателей и характеристик грунтов и горных пород.

Для сознательного использования этих показателей в совокупности с общей геологической и гидрогеологической характеристиками строительных площадок необходимо иметь четкое представление как о природе тех или иных физических свойств грунтов, так и о методах улучшения этих свойств при транспортном строительстве. Необходимо включить рассмотрение вопросов о физических свойствах грунтов и их укреплении в круг проблем инженерной геологии.

Таким образом, инженерная геология представляет собой одну из ветвей геологии, изучающую процессы и явления, возникающие при взаимодействии инженерных сооружений с местной природной обстановкой, а также методы прогноза этих процессов и пути возможного на них воздействия.

При этом ни одна из задач инженерной геологии не может быть плодотворно решена без учета местной геологической и гидрогеологической обстановки.

В настоящее время в инженерной геологии выделяют три основные инженерно-геологические дисциплины: грунтоведение, изучающее горные породы как грунты; инженерную геодинамику, изучающую как естественные геологические, так и инженерно-геологические процессы и явления; региональную инженерную геологию, изучающую закономерности пространственно-временной изменчивости инженерно-геологических условий в зависимости от истории развития земной коры и современных физико-географических условий.

## СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ. ЗЕМНАЯ КОРА И ЕЕ СОСТАВ

### 1.1. Общие сведения о строении земного шара

Современные взгляды на устройство мира сложились не сразу. Первое известное предположение о том, что Земля не плоское, а шарообразное тело, было высказано еще в VI в. до н. э. в Древней Греции в школе Пифагора. Аналогичных взглядов придерживался в IV в. до н. э. и Аристотель. Аристарх Самосский уже в III в. до н. э. учил, что Земля, как и другие планеты, обращается вокруг Солнца. Однако позже, во II в. до н. э., под влиянием идей Птолемея взгляды человечества изменились на противоположные и на полторы тысячи лет утвердилось господство геоцентрической системы мира.

В эпоху Возрождения вместе с развитием всех наук стали снова развиваться науки о Земле, чему в значительной части содействовали новые знания об устройстве поверхности Земли, полученные в результате многочисленных путешествий. Так, в 1492 г. Христофором Колумбом была открыта Америка. Васко да Гама в 1497 г. обогнул мыс Доброй Надежды и открыл морской путь в Индию. В 1519—1922 гг. Магеллан совершил первое кругосветное путешествие. В 1543 г. была опубликована книга Коперника, в которой излагалась научно-обоснованная гелиоцентрическая система мира и устанавливалось истинное положение Земли в Солнечной системе. Взгляды Коперника на устройство мира разделялись Галилео Галилеем (1564—1642) и Кеплером (1571—1630), открывшим на основе гелиоцентрической системы три основных закона движения планет. Позднее Ньютон (1642—1727), открыв закон всемирного тяготения, объяснил законы движения планет Кеплера и положил начало небесной механике.

До XVII в. Землю принимали за правильный шар, однако в конце XVII в. И. Ньютон и Х. Гюйгенс (1629—1695) доказали, что Земля из-за действия центробежной силы ее вращения должна иметь форму сфероида, полярный диаметр которого короче экваториального (рис. 1.1). От сфероида, который может быть с достаточной точностью аппроксимирован эллипсоидом вращения, мало отличается по форме и размерам так называемый геоид, т. е. тело, образованное поверхностью океанов, мысленно продолженной под материками. От этой поверхности в любой точке Земли отсчитываются так называемые высоты над уровнем моря. В насто-



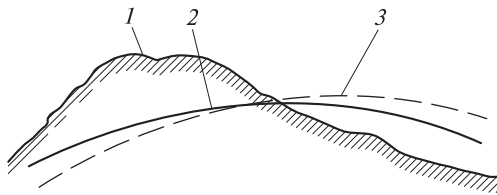


Рис. 1.1. Взаимосвязь поверхности Земли, геоида и эллипсоида вращения:  
1 — земная поверхность; 2 — геоид; 3 — эллипсоид

ящее время принято, что средний радиус земного шара равен 6 371 км, но при этом полярный радиус короче экваториального на 21 км. Изменение формы земного шара происходит также и под действием приливных явлений. Такая способность земного шара деформироваться в глобально-планетарном масштабе свидетельствует об определенной его податливости и эластичности.

Атмосфера, гидросфера, земная кора и биосфера образуют четыре земные сферы, которые проникают одна в другую и находятся в тесном взаимодействии. Эта совокупность земных сфер характеризуется наличием вещества в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном.

Одной из основных особенностей поверхности Земли является разделение ее на сушу и Мировой океан. Из 510 млн км<sup>2</sup> земной поверхности суша занимает 29,2 %, вода — 70,8 %. При этом 98,31 % массы воды, составляющей гидросферу, сосредоточено в морях и океанах, 1,65 % — в материковых льдах приполярных областей и всего лишь 0,45 % — в пресных водах рек, болот и озер. На суше преобладают высоты менее 1 000 м (75 % площади), а в океане — глубины от 3 000 до 6 000 м. Наибольшая амплитуда рельефа земной коры (высота горы Эверест — 8 848 м плюс глубина Марианской океанической впадины — 10 863 м) составляет около 19,7 км.

Твердое тело Земли имеет три основные геосферы: ядро, промежуточную оболочку (или мантию) и земную кору (рис. 1.2). Стро-

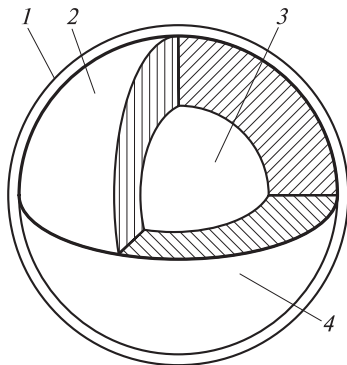


Рис. 1.2. Строение Земли:

1 — атмосфера; 2 — мантия;  
3 — ядро; 4 — земная кора

ение и состав внутренних частей Земли изучаются геологией, геохимией и геофизикой. Геологические и геохимические методы основаны на непосредственном исследовании горных пород, однако этим методам наиболее доступна лишь самая верхняя часть планеты, которая не превышает глубину 10...20 км.

Строение глубоких, недоступных непосредственному наблюдению оболочек Земли изучаются геофизическими методами. При этом наиболее достоверные данные получаются из наблюдений над скоростью прохождения сейсмических волн. Согласно данным сейсморазведки земная кора, или литосфера, является верхней твердой оболочкой Земли и имеет толщину 15...70 км. Сверху она ограничена атмосферой и гидросферой, а снизу — поверхностью сейсмического раздела Мохоровича. На этом разделе скорость распространения продольных сейсмических волн возрастает с 6,3 до 7,8 км/с. Исходя из сейсмических данных земная кора состоит из двух оболочек: верхней и нижней. Средняя плотность верхней оболочки, состоящей также из двух слоев (осадочный чехол и кристаллический фундамент) общей мощностью 15...40 км, не превышает 2,7 т/м<sup>3</sup>. Плотность материала нижней оболочки мощностью около 30 км увеличивается до 3,0...3,4 т/м<sup>3</sup>.

Мощность земной коры в разных частях земного шара не остается постоянной. Наибольшей мощности кора достигает на континентах, особенно под горными сооружениями. Предполагается, что под океанами мощность земной коры не превышает 6...8 км.

Промежуточная оболочка Земли — мантия, заполняющая пространство от поверхности земной коры до ядра, — имеет толщину около 2 900 км.

По скорости распространения сейсмических волн мантия подразделяется на верхнюю и нижнюю, характеризующиеся особыми физическими свойствами. В мантии скрыты причины многих явлений, определяющих жизнь и режим земной коры. В ней находятся сверхглубокие очаги многих катастрофических землетрясений.

На глубине около 2 900 км наблюдается отражение и преломление продольных волн, свидетельствующее о скачкообразном изменении свойств вещества и о наличии ядра планеты. Например, плотность вещества, равная в мантии 3,5...5,0 т/м<sup>3</sup>, в ядре возрастает до 11,0 т/м<sup>3</sup>.

Представляет определенный интерес сравнение характера изменения упругих свойств вещества Земли, полученных сейсморазведкой. Так, модуль упругости на глубине 400 км равен около  $2 \cdot 10^5$  МПа, на глубине 4 000 км — около  $10 \cdot 10^5$  МПа, а в центре Земли — около  $15 \cdot 10^5$  МПа (для примера, у лучшей стали модуль упругости равен не более  $2,06 \cdot 10^5$  МПа).

С погружением в недра Земли давление повышается. В центральной части земного шара (в его ядре) давление достигает 3,0...3,5 млн атм. Тем не менее в настоящее время установлено,

что ядро Земли пропускает продольные сейсмические волны и оказывается непроходимым для поперечных волн, которые, как известно, проходят через твердые тела и погашаются в жидкостях. Это обстоятельство позволяет предполагать, что вещество ядра Земли, несмотря на его высокую плотность, находится в особом псевдотекущем состоянии.

Теплопроводность пород земной коры большей частью невелика, поэтому суточные колебания температуры проникают на глубину не более 1...2 м, а годовые — не более 20...30 м. В строительной практике особое значение имеет горизонт зимнего промерзания, в пределах которого зимой температура опускается ниже  $-1^{\circ}\text{C}$ .

В средней полосе европейской части России мощность этой зоны может достигать 2 м. Ниже зоны сезонных колебаний температур располагается пояс постоянной температуры. Температура здесь остается в течение многих лет практически постоянной и равной примерно среднегодовой температуре на поверхности земли.

Ниже этого пояса температура пород повышается с глубиной. Мерой нарастания температуры в толще Земли служит так называемый *геотермический градиент*, представляющий собой прирост температуры на 100 м глубины. Среднее его значение на суше — около  $3^{\circ}\text{C}$  на каждые 100 м глубины. В районах современных активных тектонических движений он значительно больше, а в вулканических областях может достигать  $20^{\circ}\text{C}$  на 100 м. На платформах он уменьшается до  $1^{\circ}\text{C}$  на 100 м и менее.

Рост температуры по мере погружения в недра земной коры подтверждается при бурении скважин и прокладке стволов горных выработок и шахт. Так, в районе Москвы на глубине 1630 м была зафиксирована температура  $41^{\circ}\text{C}$ . В буровых скважинах на глубине 5...6 км были зафиксированы температуры свыше  $100^{\circ}\text{C}$ . Из-за высоких температур проходка шахт (и в ряде случаев тоннелей) более чем на глубине 2...3 км без специальных мер по охлаждению оказывается невозможной. Известны выходы многочисленных тепловых и горячих минеральных источников с температурой воды до 80 и  $100^{\circ}\text{C}$ . В ряде мест земного шара были обнаружены очаги с перегретым (до  $300^{\circ}\text{C}$ ) паром (о. Сицилия). При вулканических извержениях изливающаяся на поверхность лава имеет температуру более  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Породы кристаллического фундамента земной коры — это наиболее древние из известных нам пород. Их возраст превышает 3 млрд лет. В ряде мест породы кристаллического фундамента обнаруживаются на поверхности Земли или на близких к ней глубинах. Подобные области получили название щитов. Выходы кристаллических пород отмечены в Украине, в том числе в районе затопленных ныне Днепровских порогов (Украинский щит). Плотина Днепрогэса основана на породах, весьма сходных с породами Скандинавского щита, захватывающего в России своей кра-

своей частью территории Кольского полуострова и Карелии. Кристаллические породы в районе Санкт-Петербурга обнаружены на глубине 200 м, под Москвой — 1 600... 1 700 м, в районе Курской магнитной аномалии — 50... 200 м.

## 1.2. Породообразующие минералы

В состав земной коры входят все известные нам химические элементы. Однако наибольшее распространение (97 % всей массы земной коры) имеют кислород (47 % от общей массы пород), кремний (26 %), алюминий (8 %), железо (5 %), кальций, натрий, калий и магний (в сумме 11 %). На долю остальных известных нам химических элементов приходится всего лишь около 3 % этой массы.

Химические элементы в земной коре представлены в виде тех или иных соединений, называемых минералами. В геологии минералами называют природные химические соединения или самородные элементы, являющиеся продуктом различных физико-химических процессов, протекающих в земной коре. К настоящему времени установлено и изучено уже более 3 тыс. минералов. Однако только около 100 минералов постоянно встречаются в горных породах, потому они называются породообразующими.

Каждый минерал обладает более или менее постоянным химическим составом и определенным внутренним строением. Эти две особенности определяют достаточно постоянные внешние признаки и физические свойства минералов, по которым их и различают.

1. Блеск (способность минералов отражать своими поверхностями свет). Различают следующие виды блеска: металлический (напоминает блеск поверхности свежего излома металлов); стеклянный (напоминает блеск поверхности стекла); шелковистый (характерен для минералов, имеющих волокнистое строение); жирный (поверхность минерала как бы смазана жиром); восковой; матовый (характерен для минералов аморфного сложения).

2. Твердость. Степень твердости минералов оценивается приблизительно в сопоставлении с определенными эталонными минералами, расположенными в порядке возрастающей твердости по шкале твердости Мооса:

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

При определении твердости минералов следует иметь в виду, что ноготь оставляет царапину на минералах с твердостью 1... 2, стекло — на минералах с твердостью 4 и ниже, лезвие ножа (сталь) — на минералах с твердостью 5 и ниже.

3. Спайность (способность минерала, например слюды, раскалываться по определенным направлениям с образованием ровных, гладких и блестящих поверхностей). Спайность, как и твердость, является основным свойством минералов при определении их по внешним признакам. При отсутствии спайности минерал под ударом раскалывается по случайным неровным поверхностям.

Безошибочное определение минералов, входящих в состав пород, требует особых методов анализа, в том числе изучения их под микроскопом. С этой целью из породы предварительно изготавливают тончайшие (толщиной в несколько сотых миллиметра) пластинки, которые называются шлифами.

Согласно химической классификации минералы подразделяются на следующие группы: оксиды кремния и железа; силикаты — соли кремниевых кислот; карбонаты — соли угольной кислоты ( $H_2CO_3$ ); сульфаты — соли серной кислоты ( $H_2SO_4$ ); галоиды — соли галоидных кислот, включая соляную ( $HCl$ ); фосфаты — соли фосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ ); сульфиды — сернистые соединения; органические соединения; самородные элементы.

### 1.2.1. Оксиды кремния и железа

*Кварц* — один из наиболее распространенных минералов земной коры. Кварц представляет собой свободный кремнезем  $SiO_2$  с плотностью  $2,65 \text{ т/м}^3$  (обычный кварц). Твердость кварца — 7, спайность — несовершенная, излом — раковистый с маслянистым блеском.

Кварц является одним из основных минералов в составе многих магматических (гранит, сиенит, диорит), осадочных (кварцевый песок) и метаморфических (кварцит). В зависимости от условий кристаллизации, наличия или отсутствия примесей кварц может быть бесцветным, прозрачным (горный хрусталь), непрозрачным (молочный кварц), фиолетовым (аметист), серым (дымчатый кварц), черным (морион) и др.

*Халцедон* представляет особую скрытокристаллическую разновидность кварца. Плотность его ниже, чем у обычного кварца ( $2,57 \dots 2,64 \text{ т/м}^3$ ), окраска разнообразная, нередко полосчатая (агат), твердость  $6,5 \dots 7,0$ . Образование халцедона связано с процессами, протекающими в поверхностных горизонтах Земли. Он встречается обычно в виде скопления плотных масс. Халцедон, загрязненный различными примесями, называется кремнем. Кремнь часто встречается в известняках и мергелях. Халцедон и кремнь имеют раковистый излом с характерным восковым блеском.

*Опал* ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) относится к аморфным минералам. Его плотность составляет  $1,9 \dots 2,5 \text{ т/м}^3$ , твердость —  $5,0 \dots 5,5$ , излом раковистый, стеклянный, цвет зависит от примесей. Происхождение опала связано с выветриванием силикатов и их осаждением из вод прибрежных морских водоемов (цементация осадков).

Все минералы оксидов кремния (кварц, халцедон, кремень, опал) обладают высокой прочностью на раздавливание (более 100 МПа), не растворяются и не изменяют своих свойств в воде, устойчивы к воздействию атмосферных агентов. Именно поэтому их обломки очень часто и в большом количестве встречаются среди осадочных пород.

*Бурый железняк*, или лимонит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , где  $n$  — до 4), имеет переменную твердость (в основном от 4 до 5,5, а в рыхлых разновидностях — до 1), плотность — 2,7...4,3 т/м<sup>3</sup>, цвет — бурый и охряно-желтый. Образуется он в результате изменения железистых минералов на земной поверхности или в результате процессов осаждения в озерах и болотах (болотные руды). Наличие пленки бурого железняка на поверхности частиц придает ржаво-бурый цвет большинству песков и глинистых пород.

### 1.2.2. Силикаты — соли кремниевых кислот

Силикаты являются основной составной частью большинства магматических и метаморфических горных пород и представляют собой сложные соединения Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, O и H в виде различных солей кремниевых кислот.

*Полевые шпаты* составляют до 60 % массы в магматических породах, до 30 % — в метаморфических породах и до 12 % — в осадочных. По химическому составу полевые шпаты являются алюмосиликатами Na, K и Ca. Полевые шпаты окрашены разнообразно. Известны следующие разновидности окраски: белая (альбит); от светло-розовой до красной, а иногда желтоватой (ортоклаз, микроклин); зеленая (амазонит); от серой до черной, иногда с зеленоватым или синеватым оттенком (лабрадор). Плотность полевых шпатов составляет 2,6...2,7 т/м<sup>3</sup>, твердость — 6,0...6,5, спайность — совершенная в двух направлениях, блеск — стеклянный.

По химическому составу полевые шпаты подразделяются на две подгруппы: калиево-натриевые (ортоклаз, микроклин) и натриево-кальцевые шпаты, называемые плагиоклазами (альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор, битовник, анортит). Визуально различить разновидности полевых шпатов достаточно трудно. Проще это делать в шлифах под микроскопом.

Под воздействием атмосферных агентов и воды полевые шпаты сравнительно быстро химически разлагаются, образуя новые соединения, в том числе минерал каолинит.

*Роговая обманка* имеет плотность 3,1...3,3 т/м<sup>3</sup>, твердость — 5,5...6,0, цвет — зеленый (от бурого до черного), блеск на плоскостях спайности — шелковистый, излом — занозистый. Роговая обманка является составной частью метаморфических и магматических пород. Подобно полевым шпатам, под влиянием атмо-

сферных агентов она быстро разрушается с образованием новых, более устойчивых минералов.

*Авгит* имеет плотность 3,2...3,6 т/м<sup>3</sup>, твердость — 5...6, цвет — темно-зеленый (до черного). Он является составной частью магматических пород основного состава.

*Слюда* встречается двух видов: мусковит (белая) и биотит (темная). Плотность слюды составляет 2,7—3,2 т/м<sup>3</sup>, твердость — 2...3, спайность — совершенная в одном направлении. Слюда входит в состав большинства магматических и метаморфических пород. В осадочных породах (песок) она часто встречается в виде отдельных чешуек.

*Глауконит* имеет плотность 2,2...2,8 т/м<sup>3</sup>, твердость — 2...3, цвет — от темно-зеленого до черного, блеск — матовый. Это минерал осадочного происхождения, образуемый на дне морских бассейнов. Он встречается в виде мелких зерен в песках, глинах, известняках, придавая им зеленоватую окраску. Глауконит легко разлагается под влиянием атмосферных агентов.

*Каолинит* — это продукт разрушения преимущественно полевых шпатов. Он имеет плотность 2,6 т/м<sup>3</sup>, твердость — 1,0...2,5, цвет — белый, блеск — матовый. Обычно каолинит представлен плотными землистыми массами.

*Монтмориллонит* — это мягкий минерал. Он имеет плотность 2,0 т/м<sup>3</sup>, цвет — белый с различными светлыми оттенками, блеск — жирный. Встречается монтмориллонит в виде землистых масс, имеет осадочное происхождение.

Каолинит и монтмориллонит по своим свойствам существенно отличаются от всех описанных ранее минералов. Так, размер минералов не превышает 1...2 мк, что соответствует размеру коллоидных частиц, обладающих очень большой поверхностной энергией и поглотительной способностью. В воде они не растворяются, но сильно набухают. Наибольшее увеличение объема при этом наблюдается у монтмориллонита (почти в 18 раз). Именно эти минералы определяют наиболее важные свойства глинистых пород: набухание при увлажнении, усадку при высыхании, пластичность, резкое снижение прочности при увлажнении, липкость. Степень изменения свойств глинистых пород при увлажнении зависит от вида минерала, входящего в их состав.

### **1.2.3. Карбонаты — соли угольной кислоты (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)**

Карбонаты в виде солей угольной кислоты кальция и магния слагают массивы известняков, доломитов, мела, мрамора и мергелей. Минералы эти преимущественно осадочного происхождения. В водонасыщенном состоянии они немного снижают свою механическую прочность, в воде растворяются достаточно слабо.

*Кальцит* ( $\text{CaCO}_3$ ) имеет плотность 2,7 т/м<sup>3</sup>, твердость — 3,0...3,5, спайность — совершенную в трех направлениях (по ромбоэдру), блеск — стеклянный. Он вскипает при действии на него слабого раствора соляной кислоты.

*Доломит* ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) имеет плотность 1,8...2,9 т/м<sup>3</sup>, твердость — 3,5...4,0, цвет — серый (иногда с желтоватым оттенком), блеск — стеклянный, спайность — совершенную в трех направлениях (по ромбоэдру). С теплой соляной кислотой доломит реагирует только в виде порошка.

#### 1.2.4. Сульфаты — соли серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Минералы группы сульфатов в подавляющем большинстве случаев имеют осадочное происхождение (химические осадки морских или озерных соленых водоемов). Они хорошо растворяются в воде.

*Ангидрит* ( $\text{CaSO}_4$ ) имеет плотность 2,8...3,0 т/м<sup>3</sup>, твердость — 3,0...3,5, цвет — белый с голубоватым или красноватым оттенком. Встречается ангидрит обычно в виде плотных мелко- и тонкокристаллических масс.

*Гипс* ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) имеет плотность 2,3 т/м<sup>3</sup>, твердость — 1,5...2,0, блеск — стеклянный, спайность — совершенную в одном направлении. Цвет определяется наличием примесей. При дегидратации в сернокислой среде гипс при температуре 100 °С переходит в растворимую разновидность ангидрита  $\text{CaSO}_4$ , а при температуре 150 °С — в его нерастворимую разновидность.

#### 1.2.5. Галоиды — соли галоидных кислот, включая соляную ( $\text{HCl}$ )

Минералы группы галоидов являются химическими осадками морей и соленых озер, которые хорошо растворяются в воде.

*Каменная соль, или галит* ( $\text{NaCl}$ ), имеет плотность 2,1...2,6 т/м<sup>3</sup>, твердость — 2,5, блеск — стеклянный, спайность — совершенную в трех направлениях (по кубу). Каменная соль преимущественно бесцветная, но часто она окрашивается примесями в голубоватые, желтые или красноватые тона.

*Сильвин* ( $\text{KCl}$ ) имеет плотность 1,9...2,0 т/м<sup>3</sup>, твердость — 2,5, блеск стеклянный, спайность — совершенную в трех направлениях (по кубу), цвет белый, голубой, красный. В отличие от каменной соли сильвин имеет горько-соленый вкус.

#### 1.2.6. Фосфаты — соли фосфорной кислоты ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

*Апатит* ( $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ ) имеет плотность 3,16...3,22 т/м<sup>3</sup>, твердость — 5, спайность — несовершенную, цвет — преимущественно желтовато-голубовато-зеленый или зеленый (реже — бе-



лый, фиолетовый), блеск — стеклянный, в изломе жирный. Кристаллы апатита удлиненно-призматические, редко — таблитчатые. Апатит присутствует в составе многих изверженных пород. В природе в большей степени распространен апатит, в котором преобладает фтор (фторапатит). Апатит с преобладанием хлора (хлорапатит) распространен в меньшей степени. Он используется для производства фосфорных удобрений (суперфосфат, аммофос и др.).

### **1.2.7. Сульфиды — сернистые соединения**

*Пирит*, или серный колчедан ( $\text{FeS}_2$ ), имеет плотность 4,9... 5,1 т/м<sup>3</sup>, твердость — 6,0... 6,5. Цвет пирита — латунно-желтый, блеск — металлический, черта по фарфору — черная, спайность — несовершенная. Кристаллизуется пирит в виде кубов. Часто пирит встречается в осадочных породах в виде отдельных золотисто-желтых кристаллов. Своим происхождением пирит обязан сложным и многообразным магматическим, метаморфическим и осадочным процессам.

### **1.2.8. Органические соединения**

Органические соединения (каустобиолиты) представляют собой минералы преимущественно углеводородного состава. Происхождение каустобиолитов связано либо с накоплением остатков растительных организмов и последующим их изменением (например, каменный уголь), либо с кристаллизацией высокомолекулярных углеводородов при охлаждении нефти (например, природный асфальт, озокерит).

Органические соединения широко применяются в строительстве. Асфальтобетоны широко используются в качестве покрытия автомобильных дорог. Жидкие производные каустобиолитов (битумы, дегти и др.) отличаются резко выраженными гидрофобными свойствами. Обработанные ими грунты не набухают и не размокают при увлажнении, утрачивают свойство пылимости в сухом состоянии, имеют повышенную механическую прочность. Укрепление грунтов жидкими органическими соединениями нашло широкое применение в дорожном и аэродромном строительстве (М. М. Филатов, А. К. Бируля, В. М. Безрук, А. И. Лысыхина, Л. Н. Ястребова и др.).

### **1.2.9. Самородные элементы**

Самородные элементы — это химические элементы, которые в природных земных условиях могут существовать в более или менее устойчивом виде. Они встречаются в природе в виде свобод-

ных газовых молекул, жидких тел (например, самородная ртуть) и твердых кристаллических тел. Для первой группы самородных элементов самородное состояние в условиях земных процессов является наиболее устойчивым, и они широко распространены как самородные элементы (например, благородные металлы: золото, группа платины, группа осмия — иридия, а также палладия).

Для второй группы самородных элементов самородное состояние устойчиво не для всех геохимических процессов, совершающихся в земной коре, и они могут находиться как в самородном состоянии, так и в химически связанном, образуя более сложные по составу минералы. К ним относятся, например, углерод, сера, мышьяк, висмут, серебро, медь, ртуть.

Третью группу самородных элементов составляют элементы, которые появляются в результате очень редких и специфических природных явлений и реакций (например, железо, свинец, никель и др.). Иногда один и тот же самородный элемент встречается в нескольких полиморфных модификациях. Так, углерод дает три полиморфные модификации: алмаз, графит и аморфный углерод.

### **1.3. Типы горных пород**

Горные породы представляют собой плотные или рыхлые, слагающие земную кору агрегаты тех или иных минералов, а также обломков других пород. Каждая горная порода имеет относительно постоянный минералогический состав, свою структуру и текстуру.

*Структура* горных пород определяется особенностями внутреннего строения, формой и размерами слагающих их элементов (минералов и цемента) и характером их взаимной связи. Структура породы в большинстве случаев может быть установлена лишь под микроскопом.

*Текстура* горных пород определяется ее внешним обликом, (слоистостью, массивностью и т.д.), обусловленным особенностями слагающих породу частиц.

При всем своем многообразии горные породы по условиям происхождения и образования (генезису) подразделяются на магматические (изверженные), осадочные и метаморфические.

#### **1.3.1. Магматические горные породы**

К магматическим относятся горные породы, образованные путем остывания огненно-жидкой магмы.

*Магма* — вязкий по консистенции расплав сложного силикатного состава, обогащенный парами воды и различными газами (кислородом, водородом, фтором, хлором и т.д.).

*Лавы* — магма, лишенная частично или полностью насыщающих ее газов.

Процесс образования магматических горных пород из магмы или лавы заключается в постепенном выделении (кристаллизации) из нее при остывании минералов в твердом состоянии. Процесс этот продолжается до тех пор, пока вся масса магмы не перейдет в твердое состояние и не обратится в горную породу того или иного вида в зависимости от химического состава исходной магмы и физико-химических условий ее образований.

Характерной особенностью химического состава магматических горных пород является содержание в них кремнезема  $\text{SiO}_2$  в свободном или связанном состоянии (кварц и различные силикаты). По содержанию  $\text{SiO}_2$  все магматические породы подразделяются на ультракислые, кислые, средние, основные и ультраосновные.

В ультракислых и кислых породах (группа гранита) содержится  $\text{SiO}_2$  более 65 %, в средних (группы сиенита и диорита) — от 55 до 65 %, в основных (группа габбро) — от 45 до 55 %, в ультраосновных — менее 45 %.

По происхождению и условиям образования и залегания магматические горные породы подразделяются на интрузивные (глубинные), эффузивные (излившиеся) и жильные.

*Интрузивные* породы образуются при силовом внедрении и остывании магмы в толще отложений горных пород земной коры без их выхода на поверхность земли.

Магма затвердевает, образуя различные по форме магматические тела: батолиты и лакколиты (рис. 1.3).

**Б а т о л и т** — значительный по площади (сотни и тысячи квадратных километров) неправильных очертаний массив глубинных магматических пород, обнажающийся на поверхности земли лишь в результате размыва покровной толщи. У батолитов отсутствует нижняя граница из-за их большого углубления в земную кору (рис. 1.3).

**Л а к к о л и т** — выпуклые караваяобразные интрузии, обычно с плоской подошвой. В отличие от батолитов они образуются на значительно меньших глубинах от поверхности земли и намного меньше по размерам (от сотен метров до нескольких километров). При внедрении магматических масс в толщу горных пород происходит раздвигание смежных слоев и их подъем (см. рис. 1.3).

Примером лакколитов, обнажившихся в результате размыва перекрывающих их пород, являются широко известные горные вершины Аю-Даг и Кастель в Крыму, Бештау, Змеиная, Лысая и другие в районе Минеральных Вод (Северный Кавказ).

*Жильные образования* (см. рис. 1.3) связаны с заполнением магмой трещин, образующихся обычно в толще осадочных пород при внедрении магмы. Жилы подразделяются на пластовые и секущие.