

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ «СТРОИТЕЛЬСТВО И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО»

Е.Г.Мурашова

**Вещественный состав земной коры:
минералы, горные породы, грунты**

Учебное пособие

БЛАГОВЕЩЕНСК

Издательство Дальневосточный ГАУ

2016

УДК 55 (072) 624.131.1

Мурашова Е.Г.

Вещественный состав земной коры: минералы, горные породы, грунты :учебное пособие / Е.Г.Мурашова. – Благовещенск : Изд-во ДальГау, 2016 . – 161 с.

В учебном пособии рассмотрен вещественный состав земной коры в иерархии: химические элементы – минералы – горные породы – грунты. Даны основные сведения о генезисе, свойствах, минеральном составе, применении, описаны некоторые минералы и горные породы как грунты.

Учебное пособие содержит объяснения основных минералогических, петрографических терминов и описание наиболее распространённых минералов и горных пород, используемых в качестве грунтов по генетическим типам.

Учебное пособие составлено в соответствии с требованиями действующего Государственного образовательного стандарта и программ, рекомендованных Министерством образования России по подготовке студентов факультета строительства и природопользования.

Рецензент – Окладникова Е.В. к.т.н, доцент

Рекомендовано к изданию методическим советом факультета «Строительства и природообустройства» Дальневосточного государственного аграрного университета «__» _____ 2016 г.

ВВЕДЕНИЕ

Земную кору - верхнюю твердую оболочку Земли составляют различные генетические типы горных пород (магматические, осадочные и метаморфические), состоящие из определенного сочетания минералов, в состав которых входят различные химические элементы. Изучая такую иерархию - химические элементы -> минералы -> горные породы, можно судить о строении земной коры в различных структурных зонах.

Химический состав в земной коре непрерывно обновляется и объясняется это постоянным перемещением химических элементов в составе газов, водных и твердых растворов. Благодаря миграции элементов между различными слоями земной коры, а также между материками и океанами осуществляется взаимный обмен веществом. Химический состав континентального и океанического типов коры заметно различаются: в континентальной земной коре повышенное содержание оксидов кремния, натрия, калия и фосфора, в океаническом типе оксидов алюминия, кальция, железа, титана, марганца.

Менее всего земная кора содержит инертных газов — гелия, неона и радона, что связано с их высокой подвижностью: они легко переходят в атмосферу, откуда рассеиваются в космическом пространстве. Одновременно земная кора пополняется космическим веществом, выпадающим в виде метеоритов и космической пыли.

В настоящее время установлено, что более чем на 80 % земная кора состоит из кислорода, кремния и алюминия.

Обобщение данных по химическому составу различных горных пород, составляющих земную кору, с учётом их распространения до глубин 16 км впервые было сделано американским учёным Ф. У. Кларком (1889г.). Полученные им цифры процентного содержания химических элементов в составе земной коры, впоследствии несколько уточненные А. Е. Ферсманом, по предложению последнего были названы числами Кларка или кларками.

Кларки - среднее содержание химических элементов в земной коре, гидросфере, Земле в целом, космических телах и других геохимических или космохимических системах. Различают весовые (%, в г/т или в г/г) и атомные (в % от числа атомов) кларки.

В настоящее время установлено, что более чем на 80 % земная кора состоит из кислорода, кремния и алюминия (табл. 1).

Таблица 1

Кларки наиболее распространенных химических элементов

Химический элемент	Символ	Кларк, %	Химический элемент	Символ	Кларк, %
Кислород	O	46,6— 49,1	Натрий	Na	2,01— 2,83
Кремний	Si	26,0— 29,5	Калий	K	2,35— 2,59
Алюминий	Al	7,45— 8,14	Магний	Mg	1,79— 2,35
Железо	Fe	4,20— 5,00	Водород	H	до 1
Кальций	Ca	2,71— 3,63	И Т О Г О		более 99%

Глава 1 МИНЕРАЛЫ

МИНЕРАЛ (от лат. *minera* – руда; *mineral* – камень, рождающий металл) – это простое вещество или химическое соединение, продукт природных физико-химических процессов. Минералы - это достаточно устойчивые химические соединения и самородные элементы, имеющие строго конкретное, только им присущее внутреннее строение. Минералы образуются в результате эндогенных и экзогенных процессов, а также могут выращиваться в лабораториях, на заводах (драгоценные камни) и на морских фермах (жемчуг).

В природе существуют твердые (алмаз, кварц), жидкие (вода, нефть, ртуть) и газообразные (все газы) минералы. Твердые минералы могут быть кристаллическими (рис.1,) (*галенит, галит, кварц*)и аморфными (рис.2) (*опал, все смолы*). Кристаллические состоят из множества структурных элементов, представляющих собой многогранники-кристаллы, аморфные кристаллов не имеют.



Рис. 1. Кристаллические формы минералов



Рис. 2. Аморфные формы минералов

Строение минералов определяет их свойства. Один и тот же химический элемент (или соединение) может образовывать разные кристаллические формы, т.е. разные минералы. Так, алмаз и графит состоят из углерода (C), пирит и марказит - из сульфида железа (FeS_2), кальцит и арагонит - из карбоната кальция (CaCO_3) и т.д. Известно более 2500 минералов, а если учесть и их разновидности - около 4000, однако только немногим больше 50 (до 1%) из них имеют породообразующее значение. Современная классификация минералов основывается на их составе и строении.

В настоящее время известно около 2000 самостоятельных минеральных видов (вместе с разновидностями около 10000), ежегодно открывают несколько новых минералов.

По источнику энергии процессы минералообразования делятся на две большие группы: эндогенные, связанные с внутренней энергией Земли, и экзогенные, связанные с энергией Солнца.

Для определения минералов существует множество методов: кристаллографический, рентгеноструктурный, химический, оптический и т.д., требующие специальных знаний, приборов, лабораторий. Наиболее простой - макроскопический метод определения минералов путём наблюдения легко различимых (внешних) признаков. Определение минерала будет более качественным и достоверным, если определено наибольшее число внешних признаков, и наблюдения выполнены с максимальной точностью.

Название минералу присваивается первооткрывателем и может отражать его свойства (*графит* от «*графо*» - пишу); химический состав (*кальцит* – CaCO_3); место первой находки (*лабрадор* от полуострова в Северной Америке); имена знаменитых людей (*доломит* назван в честь французского минералога Деодата Доломье); или имеют старинное название, первоначальный смысл которого утерян (*тальк*).

Всегда важно знать происхождение названия минерала, так как это помогает отличить и запомнить его. Кроме научного названия, большинство минералов имеют синонимы, которые помогают в их изучении (*галит* – каменная соль, *магнетит* – магнитный железняк) (рис.3).



Рис. 3. Галит – каменная соль

1.1 ГЕНЕЗИС МИНЕРАЛОВ

Генезис (происхождение) минерала определяет его свойства и внешний вид: **а) природные** минералы формируются в земной коре в результате физико-химических процессов:

эндогённые (глубинные) образуются в недрах Земли при застывании магмы - жидкого силикатного расплава, содержащего различные элементы, их окислы и летучие компоненты. Они обычно обладают высокой твёрдостью и плотностью, стойкостью к растворению водой, щелочами и кислотами (*кварц*);

экзогённые (поверхностные) формируются на суше или в водной среде за счёт выветривания каких-либо минералов (*глинистые*), в процессе выпадения осадка из водных растворов (*галит*) или за счёт жизнедеятельности организмов (*опал, ракушечник*) и разложения растительных остатков (*торф, уголь*). Они разнообразны по свойствам, но большинство имеет малую твёрдость, активно взаимодействует с водой и внешними факторами;

метаморфические (преобразованные) – изменившие первоначальное состояние за счёт воздействия высоких температур, давления, газовых и водных растворов в результате обезвоживания, перекристаллизации и метасоматических явлений;

б) искусственные минералы созданы в результате производственной деятельности человека. Они выгодно отличаются от природных отсутствием примесей, но требуют применения специальной аппаратуры, процесс их создания длительный и трудоёмкий:

аналоги – повторяют природные минералы, ресурсы которых ограничены или добыча сложнее и дороже, чем синтез (*алмаз, горный хрусталь*);

техногенные – вновь созданные минералы с заранее заданными свойствами. Самостоятельно не встречаются (*алит, муллит, периклаз, карборунд*).

1.2 МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ

СТРУКТУРА (строение) минерального вещества.

Минералы встречаются в природе во всех агрегатных состояниях: жидкие (*вода*), газообразные (*природные газы*), но большинство минералов – твёрдые тела.

Иногда минеральное вещество представляет собой скопление молекул, атомов или ионов, расположенных беспорядочно. Такие минералы **аморфны** и внешне напоминают стекло или пластмассу (*опал, аморфный магnezит*). В каждой точке образца они проявляют одинаковые свойства.

В большинстве случаев частицы располагаются в строгом порядке и образуют **кристаллические** решётки. Такие вещества более устойчивы на поверхности Земли, их свойства однородны только по параллельным направлениям (*кварц*).

ВНЕШНЯЯ ФОРМА минеральных проявлений:

а) **кристаллы** выглядят как более или менее симметричные замкнутые многогранники. Каждому минералу присущи несколько определённых форм кристаллов, которые растут и самоограняются, а при изменении параметров среды могут раствориться. Кристаллы растут с разной скоростью по разным направлениям, поэтому по внешнему виду (габитусу) они могут быть:

- **изометричными** – равномерно развитыми по всем направлениям (*пирит, галит*);
- **удлинённые** – столбчатые, игольчатые, волокнистые (*гипс-селенит, асбест*);
- **уплощённые** – таблитчатые, пластинчатые, листоватые, чешуйчатые (*слюды, полевые шпаты*).

Каждый кристалл имеет определённое число элементов симметрии (плоскостей, осей симметрии и центр симметрии). Все возможные их комбинации – 32 **гáбитуса** - сгруппированы по степени симметричности в 7 **сингónий**. Сингония - группа видов симметрии, обладающих или несколькими сходными элементами с обязательным учетом осей высшего порядка. Существует 7 видов сингонии:

- триклинная сингония - все углы кристалла между ребрами косые;
- моноклинная сингония - между ребрами кристалла только 1 угол косой;
- ромбическая сингония - в поперечном сечении ромб, одна или три оси второго порядка;
- тетрагональная сингония - форма поперечного сечения квадрат и ось четвертого порядка;
- тригональная сингония - в поперечном сечении треугольник и ось третьего порядка;
- гексагональная сингония - форма поперечного сечения шестиугольник и ось шестого порядка;
- кубическая сингония - форма ячейки куб, присутствует несколько осей высшего порядка (рис. 4).

б) для формы кристалла важны условия его развития: температура, давление, поступление химических веществ. При идеальных условиях все грани растут равномерно, но в природе чаще получаются неправильные искажённые формы – **зёрна**;

в) кристаллы и зёрна минералов редко бывают одиночными, чаще они образуют закономерные или случайные сростки – **агрегаты**, (зернистые, землистые, волокнистые, натёчные, друзы, щётки, дендриты и т.д.) (рис.5,6).

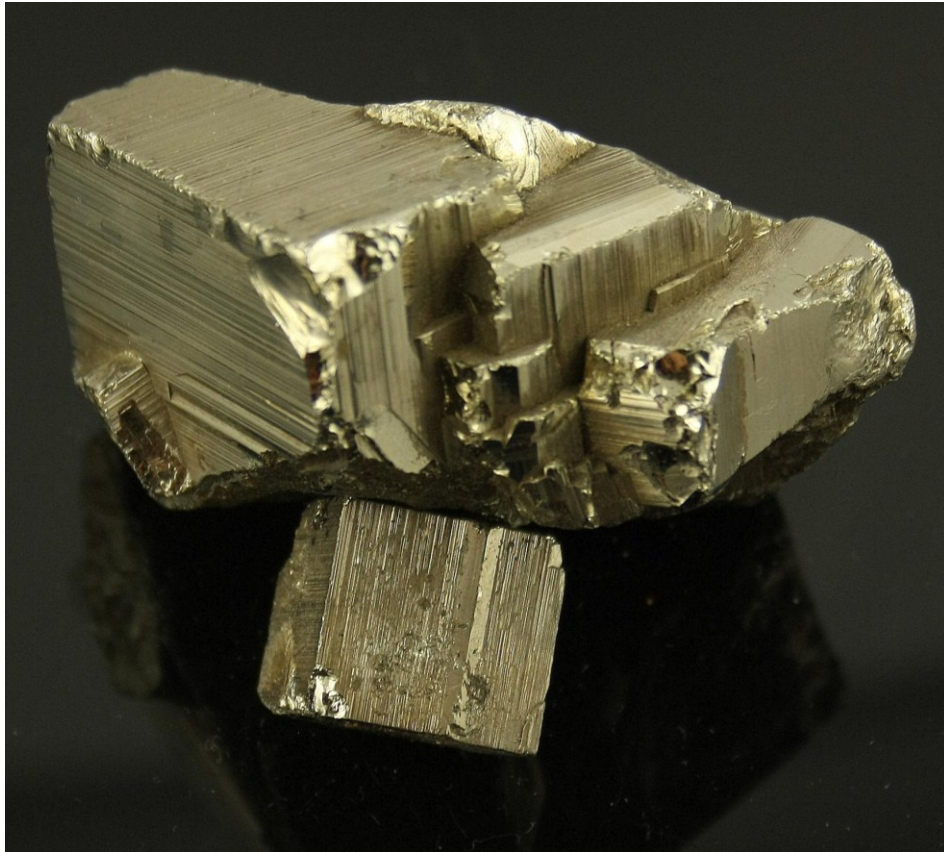


Рис. 4. Кристаллы пирита кубической сингонии



Рис. 5. Секреция (рост кристаллов от периферии к центру) кварца



Рис. 6. Друза пирротина с кварцем

1.3 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Плотность (удельный вес) минералов – важнейший диагностический признак. Она зависит от атомного веса химических элементов, входящих в состав минерала. Приёмы точного определения плотности основаны на гидростатическом взвешивании в тяжёлых жидкостях, результаты исчисляются в г/см^3 , т/м^3 . Приближённое определение плотности производится сравнительным взвешиванием на руке. Минералы по плотности условно делятся на три группы: легкие (плотность до 3,0), средние (плотность от 3,0 до 4) и тяжелые (плотность более 4). Для некоторых минералов плотность является диагностическим признаком. Так, барит имеет плотность 4,6 и этим отличается от некоторых других минералов.

Цвет минерала зависит от их внутренней структуры, от механических примесей и главным образом от присутствия элементов-хромофоров, то есть носителей окраски (рис.7). Различают 3 типа окраски:

1) идеохроматическая (собственная) - зависит от присутствия элементов хромофоров. Элементами красителями могут быть: медь, железо, ванадий, кобальт, хром.

2) аллохроматическая (чужая) - определяется присутствием механических примесей (*авантюрин-кварц*, имеющий буроватый, красно-коричневый цвет за счет примесей чешуек мусковита или гематита)

3) псевдохроматическая (ложная) - различают 2 типа:

-иризация - синие или фиолетовые отливы на плоскостях минерала за счет его взаимного прорастания с другим минералом (*лабрадор*);

-побежалость - яркая окраска, которая возникает за счет окисления поверхности слоя минерала (*халькопирит* - красная, оранжевая побежалость; борнит - синяя, фиолетовая побежалость)

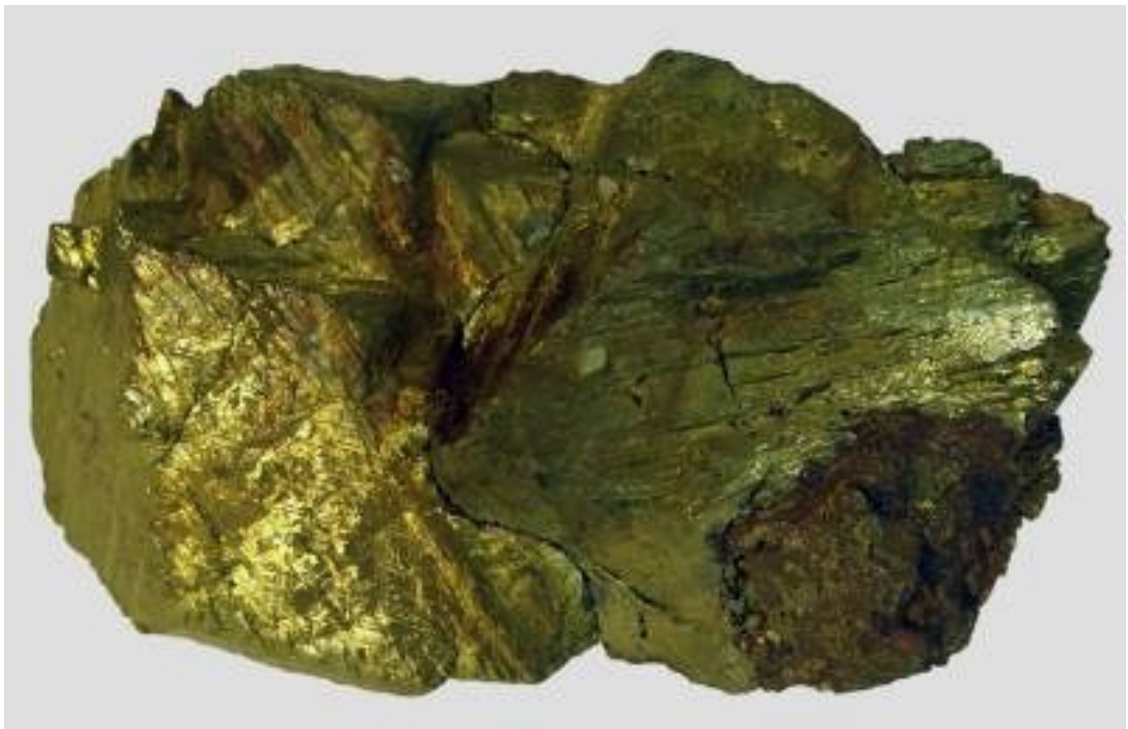


Рис. 7. Халькопирит

Цвет черты - цвет минерала в порошке. Минералы с невысокой твердостью оставляют на поверхности неглазурованной фарфоровой пластинке белую, черную или цветную черту. Для некоторых минералов цвет черты является диагностическим признаком, так как цвет черты может не совпадать с цветом минерала, например, черный хромит имеют бурую черту, у черного гематита вишнево-красная черта. Это свойство более постоянно, чем окраска самого минерала, может совпадать с ней (*магнетит чёрный и черта у него чёрная*), а может не совпадать (*пирит латунно-жёлтый, а черта у него зеленовато-чёрная*). Для определения цвета черты минерала необходимо взять фарфоровый «бисквит» или керамическую плитку и с небольшим усилием провести по ней острым краем образца. На плитке останется порошок, который и характеризует цвет черты минерала.

Светлоокрашенные и бесцветные минералы дают, как правило, белую или светлоокрашенную черту (*кальцит, гипс*). Рудные минералы дают темную черту (*магнетит*), не всегда совпадающую с цветом минерала (*гематит, пирит*).

Блеск – способность поверхности минерала отражать свет. Блеск определяют на свежем сколе и делят на две группы:

металлический:

собственно металлический – поверхность минерала блестит как полированное металлическое изделие (*пирит на свежем сколе*);

полуметаллический – напоминает потускневшую поверхность металлического изделия (*графит*);

неметаллический:

стеклянный (*кальцит*);

алмазный (*галенит на свежем сколе*);

жирный (*кварц молочный*);

перламутровый (*слюды*);

матовый (*глинистые*).

Прозрачность определяется наблюдением какого-либо предмета через тонкую пластинку минерала:

через **прозрачный** минерал предмет виден во всех деталях (*пластинчатый гипс – «марьино стекло»*);

полупрозрачный минерал позволяет увидеть лишь контур предмета (*флюорит*);

непрозрачные минералы совсем не просвечивают (*роговая обманка*).

Твёрдость – сопротивление механическому воздействию более прочного тела.

Абсолютная твёрдость определяется в лабораторных условиях с помощью прибора склерометра путём вдавливания в образец алмазной пирамидки, измеряется в кг/см^2 .

В полевых условиях проще и удобнее измерять **относительную** твёрдость, используя шкалу Мооса. Она состоит из 10 минералов-эталонов, твёрдость которых известна и постоянна. Минералы расположены в шкале так, что каждый последующий минерал-эталон оставляет царапину на всех предыдущих. Ещё более удобным дополнением к шкале Мооса (табл. 1) является шкала Разумовского, где минералы заменены предметами со сходной твёрдостью.

Таблица 1

Относительная твёрдость, балл	Минерал- эталон	Абсолютная твёрдость, кг/мм ²	Предметы-заменители
1	Тальк	2,4	Мягкий карандаш
2	Гипс	36,0	Ноготь, алюминиевая проволока
3	Кальцит	109,0	Медная проволока
4	Флюорит	189,0	Гвоздь
5	Апатит	536,0	Стекло оконное
6	Ортоклаз	95,0	Нож стальной
7	Кварц	1120,0	Напильник
8	Топаз	1427,0	Нет заменителя
9	Корунд	2060,0	Сплав победит
10	Алмаз	10060,0	Нет заменителя

Спайность – способность кристаллов раскалываться по определённым направлениям с образованием блестящих поверхностей. Степень ее проявления зависит от внутреннего строения минерала:

весьма совершенная спайность определяется тем, что минерал легко раскалывается или расщепляется на отдельные пластинки или листочки с образованием гладких поверхностей (гипс пластинчатый - «марьино стекло», слюда) (рис.8). Получить ровный излом иначе, чем по направлению спайности, практически невозможно (тальк, графит, асбест);

совершенная спайность узнается по обломкам, ограниченными плоскостями спайности, которые получаются при раскалывании минерала и не отличаются по форме от исходного образца (исландский шпат при разломе дает обломки ромбоэдрической формы, каменная соль дает обломки в форме кубиков с гладкими поверхностями совершенной спайности;



Рис. 8. Весьма совершенная спаянность гипса

средняя, или явственная спайность, выявляется в связи с тем, что при ударе минерал распадается на обломки, ограниченные как ровными гладкими поверхностями спайности, так и неровными поверхностями излома по случайным направлениям (амфиболы, в том числе роговая обманка; пироксены, в том числе авгит; полевые шпаты, в том числе ортоклаз);

несовершенная спайность обнаруживается с большим трудом в виде небольших по площади ровных поверхностей на осколках минерала при преобладании кусков случайной формы, ограниченных неровными поверхностями (оливин, сера, рудные минералы);

весьма несовершенная (отсутствует) спайность у тех минералов, которые при ударе молотком раскалываются по случайным направлениям и не дают ровных поверхностей (пирит, кварц).

Спайность у минералов проявляется в одном (*слюда*), двух (*полевые шпаты, амфиболы, пироксены*), трех (*галит, кальцит*), четырех (*флюорит*) и шести (*сфалерит*) направлениях.

Излом характеризует поверхность разрыва при разрушении минерала.

Поверхность минерала, расколотого не по направлению спайности, может иметь различный характер:

а) **раковистый** излом характеризуется наличием вогнутых и выпуклых участков с концентрическими «рёбрами», напоминающих створку раковины (часто наблюдается у аморфных и скрытокристаллических минералов - *магнезит аморфный, халцедон*);

б) **зернистый** излом отличают по неровной поверхности, на которой заметны или ощутимы зерна исследуемого минерала (*апатит, авгит*);

в) **занозистый** излом напоминает поверхность неоструганой доски или древесины поперек волокна (обычен у волокнистых или игольчатых минералов - *асбест, актинолит*);

г) **ступенчатый** излом наблюдается в тех случаях, когда раскол проходит частично по направлению спайности, частично под углом к ней (полевые шпаты - *ортоклаз, микроклин*);

д) **землистый** излом - поверхность раскола шероховатая, матовая, покрытая порошком этого же минерала (*каолинит*);

е) **неровный** излом (*кварц*).

1.4 ОСОБЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Гибкость (*листочки благородного талька*);

упругость (*листочки слюд*);

магнитность (*магнетит*);

электропроводность (*самородные минералы*);

пьезоэлектрический эффект (*горный хрусталь*);

радиоактивность (*уранинит*);

люминесценция (*кальцит*);

двулучепреломление (*кальцит - исландский шпат*);

вкус (*галит*);

запах (*глинистые*);
хрупкость (*каменная соль*);
ковкость (*самородное золото*);
вязкость (*халцедон*);
пирозлектричество (*турмалин*)

Минералы с различным химическим составом проявляют разные химические свойства: растворимость в воде ухудшает свойства грунтов и делает невозможным их применение в качестве естественного строительного камня (*галит, ангидрит*); взаимодействие с HCl (10%) свидетельствует о химической активности и способности выщелачиваться подземными водами (*кальцит* (рис.9), *доломит, гипс*).



Рис. 9. Кальцит

1.5 ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛОВ

Нет ни одной отрасли народного хозяйства, где в том или ином виде не использовались бы минералы.

а) строительство:

штучный камень (*лабрадор, серпентин*);

производство кирпича (*глинистые минералы*);

стекольная промышленность (*кварц, полевые шпаты*);

фарфор, фаянс (*полевые шпаты, глинистые минералы*);

производство цемента (*опал, гипс*);

изоляция (*слюды*);

производство огнеупоров (*асбест*);

б) другие отрасли:

энергетика (*урановые руды*);

металлургия (*магнетит, гематит, лимонит, галенит; кальцит, графит*);

сельское хозяйство (*апатит, монтмориллонит*);

химическая промышленность (*пирит, флюорит*);

различные виды техники (*кварц, флюорит*);

оптика (*кальцит, флюорит*);

пищевая промышленность (*галит, монтмориллонит*);

бумажная и резиновая промышленность (*сера, каолинит*); и т.д.

Всё большее количество минералов, ранее считавшихся «бесполезными», находят применение, благодаря новым технологиям и развитию транспорта.

1.6 КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

Химический состав минералов выражается химическими формулами, индивидуальными для каждого минерального вида, и позволяет классифицировать минералы.

САМОРОДНЫЕ минералы являются простыми веществами и состоят из одного химического элемента (*сера S, графит C, золото Au*) (рис.10). Представители этого класса являются ценными ископаемыми. В самородном состоянии в природе известно около 40 химических элементов, но большинство из них встречается очень редко. Нахождение элементов в самородном виде связано со строением их атомов, имеющих устойчивые электронные оболочки. Химически инертные в природных условиях элементы называются благородными; самородное состояние для них является наиболее характерным. К ним относятся золото (Au), серебро (Ag), платина (Pt) и элементы группы платины: осмий (Os), иридий (Ir), рутений (Ru), родий (Rh), палладий (Pd). . Очень часто в самородном состоянии встречаются углерод (C), сера (S), медь (Cu).



Рис. 10. Самородное золото

Реже встречаются так называемые полуметаллы: мышьяк (As), сурьма (Sb), висмут (Bi). Такие металлы, как железо (Fe), свинец (Pb), олово (Sn), ртуть (Hg), встречаются как самородные крайне редко и нахождение их представляет лишь научный интерес. Некоторые элементы (хром (Cr), алюминий (Al) и др.) вообще не встречаются в самородном виде.

СУЛЬФИДЫ (сернистые соединения).

Сернистых и аналогичных им минералов насчитывают более 200 видов, но общее содержание их в земной коре невелико и, по подсчетам В. И. Вернадского, не превышает 0,15% (*пирит* FeS_2 , *галенит* PbS , *сфалерит* ZnS) (рис.11).

С химической точки зрения они являются в основном производными сероводорода H_2S (сульфиды). В некоторых редких минералах место серы занимают Se и Te (селениды и теллуриды). По аналогии с сульфидами также выделяют арсениды и антимониды. Во всех этих соединениях широко развиты изоморфные замещения одних элементов другими.



Рис. 11. Сфалерит

Сульфиды за небольшими исключениями имеют металлический блеск, большую плотность и невысокую твердость. Встречаются они в виде кристаллов, друз, чаще — в виде сплошных зернистых масс и вкрапленников. При окислении сульфиды разлагаются и легко переходят в различные вторичные минералы: карбонаты, сульфаты, окислы и силикаты, устойчивые в поверхностных условиях. Сульфиды имеют большое практическое значение — это важнейшие руды свинца, цинка, меди, серебра, никеля, кобальта, молибдена, мышьяка, висмута, сурьмы, ртути и других металлов. Они не являются породообразующими и снижают качество строительных материалов.

ГАЛОИДЫ (соли галоидно-водородных кислот) - около 100 природных минералов (*галит* NaCl , *флюорит* CaF_2 , *сильвин* KCl) (рис.12,13). Галоиды - вредные примеси в грунтах и строительных материалах. К этому классу относятся фтористые, хлористые и очень редкие бромистые и йодистые соединения. Фтористые соединения, или фториды, большей частью генетически связаны с магматической деятельностью, они являются возгонами вулканов или продуктами гидротермальных процессов, иногда имеют осадочное происхождение.



Рис. 12. Флюорит

Хлористые соединения, или хлориды Na, K и Mg, преимущественно являются химическими осадками морей и озер и главными минералами соляных толщ и месторождений. Некоторые галогенные соединения образуются в зоне окисления сульфидных (медных, свинцовых и других) месторождений.



Рис. 13. Сильвин

ОКИСЛЫ и **ГИДРООКИСЛЫ** – соединения элементов с кислородом, в гидроокислах присутствует также вода. Этот класс насчитывает около 200 природных минералов, широко распространенных, особенно в поверхностных условиях (*кварц* (SiO_2), *магнетит* (Fe_2O_3), *лимонит*). Они составляют около 17% в объеме земной коры, из них на долю кремнезема (SiO_2) приходится около 12,5%. Наиболее распространенными минералами этой группы являются окислы кремния, алюминия, железа, марганца и титана. Среди окислов можно выделить простые окислы (рис.14), в которых отношения между катионами и анионами изменяются в пределах

от 2 : 1 до 1 : 2 (R_2O , R_2O_3 , RO_2), и сложные окислы (рис.15), для которых характерны двойные соединения типа $RO-R_2O_3$.



Рис. 14. Корунд (Al_2O_3)



Рис. 15. Магнетит (FeF_2O_4) - магнитный железняк

Гидроокислы (рис.16) представляют собой соединения металлов с гидроксидом $[\text{OH}]^{1-}$ и кислородом (O^{2-}) или только с гидроксидом. Условно к группе гидроокислов отнесен также опал- типичный аморфный минерал, представляющий твердый гидрогель. Происхождение минералов класса окислов различное — магматическое, пегматитовое, гидротермальное, но большинство окислов образовалось в результате экзогенных процессов в верхних частях литосферы. Многие эндогенные минералы при выветривании разрушаются и переходят в окислы и гидроокислы, как более устойчивые соединения в условиях поверхности; большую роль при этом играет коллоидное минералообразование.



Рис. 16. Гётит (HFeO_2)

Будучи устойчивыми, многие окислы накапливаются в россыпях (касситерит, магнетит и др.). Физические свойства окислов различны: для большинства из них характерна высокая твердость. Минералы класса окислов имеют большое практическое значение.

КАРБОНАТЫ (соли угольной кислоты) составляют 2% от объема земной коры. Этот класс включает около 80 природных минералов (*кальцит* (CaCO_3), *доломит* ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$), *малахит* ($\text{Cu}_2 [\text{CO}_3](\text{OH})_2$), (рис. 17) которые имеют большое значение как естественные строительные материалы и сырьё для производства искусственных стройматериалов.



Рис. 17. Малахит

ФОСФАТЫ (соли фосфорных кислот) – это более 300 минералов (*апатит* ($Ca_5(F, Cl, OH) [PO_4]_3$), большинство из которых редкие (рис.18).



Рис. 18. Апатит

СУЛЬФАТЫ (соли серной кислоты) составляют 0,1% от объема земной коры. В этот класс входят около 260 минералов (*гипс* ($Ca[SO_4]2H_2O$), *ангидрит* ($CaSO_4$)). Большинство из них имеют малый удельный вес, небольшую твёрдость, светлоокрашены, некоторые содержат воду.

Основная масса сульфатов имеет осадочное происхождение - это химические морские и озёрные осадки. Многие сульфаты являются минералами зоны окисления, известны сульфаты и как продукты вулканической деятельности. Различают сульфаты безводные, водные и сложные, содержащие кроме общего для всех анионного комплекса $[SO_4]^{2-}$ также добавочные анионы $(OH)^-$.

Во всех этих минералах в их кристаллической структуре имеются обособленные сложные анионы - тетраэдры. Вообще сульфатов в природе мало, больше всего сульфатов железа, натрия, калия, алюминия, кальция, бария. Самыми распространенными являются гипс, ангидрит, барит (рис. 19),

алунит, тенардит, мирабилит. Почти все сульфаты — это экзогенные минералы, исключение составляют барит, алунит.



Рис. 19. Ангидрит

Сульфаты присутствуют практически во всех поверхностных водах. Главным естественным источником сульфатов являются процессы химического выветривания и растворения серосодержащих минералов, в основном гипса, а также окисления сульфидов и серы. Значительные количества сульфатов поступают в водоемы в процессе отмирания живых организмов, окисления наземных и водных веществ растительного и животного происхождения.

Сульфаты – ценное сырьё для производства стройматериалов, в частности, Гипс используется для производства цемента, в медицине, как скульптурный камень (алебастр).

СИЛИКАТЫ (соли кремниевых кислот) – сложные химические соединения. Силикаты и алюмосиликаты представляют обширную группу минералов. Для них характерен сложный химический состав и изоморфные замещения одних элементов и комплексов элементов другими. Главными химическими элементами, входящими в состав силикатов, являются О, Si, Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg, Mn, Ca, Na, K, а также Li, B, Be, Ti, Zr, редкие земли, F, H в виде OH^1 , или H_2O и др.

Общее количество минеральных видов силикатов около 800 (рис.20) (лабрадор $(Na,Ca)[AlSi_3O_8]$, роговая обманка $(Ca,Na)_2(Fe^{2+},Fe^{3+},Mg,Al,Mn,Ti)_3[Si_3Al_4O_2]_2Fe[OH,F]_2$). По распространенности на долю силикатов приходится более 85% от всех минералов литосферы. Это объясняется тем, что силикаты и алюмосиликаты являются важнейшими породообразующими минералами, из которых сложена основная масса горных пород. Это полевые шпаты, кварц, слюды, роговые обманки, пироксены, оливин и другие. Самыми распространенными в природе являются минералы группы полевых шпатов и затем кварц, на долю которого приходится около 12% от всех минералов. Благодаря применению рентгеноструктурного анализа внутреннее строение силикатов к настоящему времени изучено достаточно точно. Оказалось, что в основе структурного строения всех силикатов лежит тесная связь кислорода и кремния, эта связь исходит из кристаллохимического принципа, именно из отношений радиусов ионов Si (0,39 А) и О (1,32 А). Каждый атом кремния окружен тетраэдрически расположенными вокруг него атомами кислорода. Таким образом в основе всех силикатов находятся комплексные анионы в виде кремнекислородных тетраэдров $[SiO_4]^{4-}$, которые различно сочетаются друг с другом.

В зависимости от того, как сочетаются между собой кремнекислородные тетраэдры выделяют 5 структурных типов силикатов: островные, цепочечные, ленточные, листовые, каркасные.



Рис. 20. Рубеллит (разновидность турмалина)

БОРАТЫ (соли различных борных кислот). Они подразделяются на безводные (*людвигит* $(Mg,Fe)_2 Fe^{3+}(BO_3)O_2$, *борацит* $(Mg_3(BO)_2(OH))$) и водные, которые являются химическими осадками или образуются в результате растворения и переотложения соединений бора из гипсовых шляп соляных месторождений (*гидроборацит* $(CaMg (B_6O_{11}) * 6H_2O)$).

НИТРАТЫ - соли азотной кислоты. Минералы этой группы относительно редкие. Наиболее распространены селитры – натриевая и калиевая.

АРСЕНАТЫ, ВАНАДАТЫ, ВОЛЬФРАМАТЫ, МОЛИБДАТЫ – соли мышьяковой, ванадиевой, вольфрамовой и молибденовой кислот.

1.7 ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ МИНЕРАЛОВ

Минерал **КВАРЦ**

Класс – простые окислы

Химический состав SiO_2

Происхождение магматическое, пегматитовое, гидротермальное, экзогенное

Цвет - от прозрачного до черного

Цвет черты – белый, бесцветный

Блеск стеклянный

Твердость 7,0

Спайность нет

Излом раковистый

Реакция с HCl – не реагирует

Формы нахождения в природе: кристаллы, сплошные массы

Устойчивость к выветриванию : стойкий

Применение в строительстве: для производства кирпича, бетона, асфальта; фильтр для очистки воды.

Минерал **ДОЛОМИТ**

Класс – простые карбонаты безводные

Химический состав $\text{CaMg /CO}_3/ 2$

Происхождение осадочное, хемогенное, гидротермальное

Цвет - белый, светло -бурый

Цвет черты – белый

Блеск стеклянный до матового

Твердость 3,3 - 4

Спайность совершенная

Излом раковистый

Реакция с HCl – слабая, вскипает в порошке

Формы нахождения в природе: кристаллические зернистые агрегаты, пористые и землистые массы

Устойчивость к выветриванию: хрупок

Применение в строительстве: строительные материалы, огнеупор

Минерал **ОРТОКЛАЗ**

Класс – каркасных силикатов, калиевый полевой шпат.

Химический состав $K/Al\ Si_3O_4$

Происхождение магматическое, в пегматитах, мигматитах

Цвет - светло-серый, светло-розовый до мясо-красного

Цвет черты – белый

Блеск стеклянный

Твердость 6-6,5

Спайность совершенная

Излом раковистый

Реакция с HCl – не реагирует

Формы нахождения в природе: кристаллы, сплошные массы, двойники

Устойчивость к выветриванию: подвергается каолинизации

Применение в строительстве: сырье для керамической и стекольной промышленности

Минерал **ОПАЛ**

Класс – гидроокислы

Химический состав $SiO_2 \cdot n\ H_2O$

Происхождение: в корях выветривания; гидротермальное; биогенное; в термальных источниках

Цвет – белый, серый, черный

Цвет черты – белый

Блеск – жирный, восковой, перламутровый

Твердость- 5,5 – 6,5

Спайность – отсутствует

Излом – раковистый, неровный, занозистый

Реакция с HCl – не реагирует, растворяется в KOH и HF

Формы нахождения в природе – натечные агрегаты, почки.

Устойчивость к выветриванию – хрупок

Применение в строительстве – как изолятор, фильтрующее вещество

Минерал **АЛЬБИТ**

Класс – каркасных алюмосиликатов

Химический состав $\text{Na} / \text{Al Si}_3 \text{O}_8 /$

Происхождение *магматическое, пегматитовое, метаморфическое*

Цвет - белый

Цвет черты – белый

Блеск стеклянный

Твердость 6 – 6,5

Спайность совершенная

Излом неровный, раковистый

Реакция с HCl – не реагирует

Формы нахождения в природе: кристаллы таблитчатые, двойники, в виде друз

Устойчивость к выветриванию: устойчив

Применение в строительстве: в производстве керамики и стекла

Минерал **МУСКОВИТ**

Класс – силикатов (слюда)

Химический состав $\text{KAl}_2 / \text{AlSi}_3 \text{O}_{10} / \text{OH}, \text{F}/_2$

Происхождение : магматическое, метаморфическое

Цвет – белый, желтоватый

Цвет черты – белый

Блеск –стеклянный, перламутровый, шелковистый

Твердость- 2 – 2,5

Спайность – весьма совершенная

Излом – ровный

Реакция с HCl – не реагирует

Формы нахождения в природе: кристаллы вытянутые, плитчатые пластины

Устойчивость к выветриванию: устойчив

Применение в строительстве: диэлектрик, огнестойкий кровельный материал, огнестойкие обои.

Минерал **ГИПС**

Класс – сульфат водный

Химический состав $\text{Ca} / \text{SO}_4 / * 2\text{H}_2\text{O}$

Происхождение осадочное хемогенное

Цвет – белый, серый

Цвет черты – белый

Блеск стеклянный, шелковистый

Твердость 1,5 – 2

Спайность весьма совершенная

Излом ровный ступенчатый, занозистый

Реакция с HCl – растворяется

Формы нахождения в природе: кристаллы, агрегаты, массивы

Устойчивость к выветриванию: весьма не устойчив

Применение в строительстве: как строительный гипс, для лепных работ, в архитектуре, для штукатурки, производства цемента, портланд-цемента.

Контрольные вопросы

1. *Классификация минералов.*
2. *Морфологические свойства минералов.*
3. *Зависимость окраски минералов от различных факторов.*
4. *Определение цвета черты минерала, его значение для изучения минералов.*
5. *Различные виды блеска у минералов.*
6. *Способы определения твёрдости минералов.*
7. *Спайность и её виды.*
8. *Излом минерала, виды изломов.*
9. *Особые свойства минералов.*
10. *Выражение химического состава минералов и их классификация.*
11. *Химические свойства минералов.*
12. *Применение минералов в различных отраслях.*

Глава 2 ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Горные породы — природные минеральные агрегаты с более или менее постоянным минеральным составом, слагающие земную кору. Они образуются в результате естественных физико-химических процессов (рис.21) в земной коре и прилегающих к ней оболочках. Формирование горных пород происходит по геологическому циклу (рис. 22).

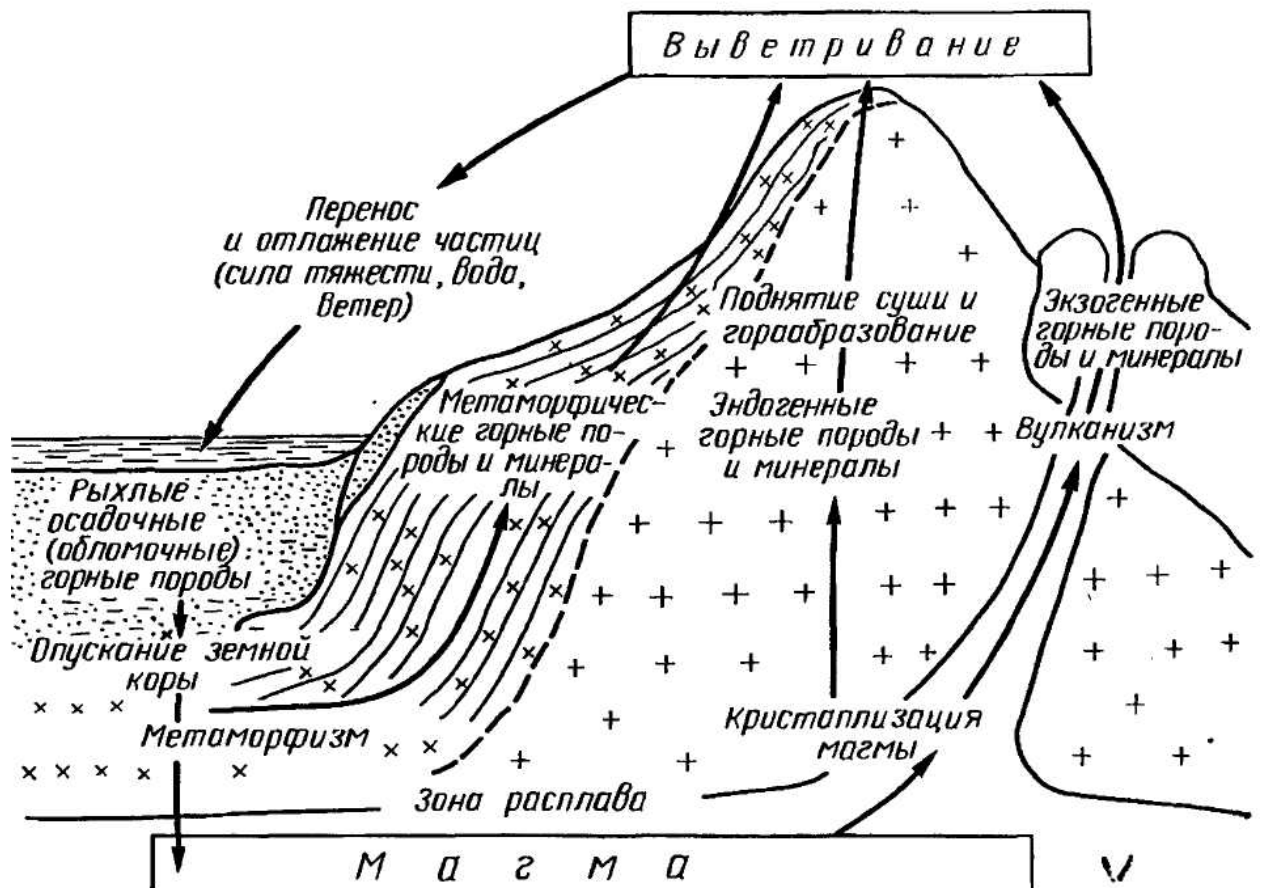


Рис. 21. Происхождение горных пород

Многие мономинеральные породы носят такие же названия, как и слагающие их минералы: нефть, вода, слюда, глина, ангидрит, гипс и т.д. Сыпучие, жидкие и пластичные горные породы нередко называют геологическими образованиями.

Горные породы обычно состоят из нескольких минералов (например, гранит — из кварца, полевых шпатов, слюды и др.), реже — из одного

минерала (известняк, мрамор из кальцита). Первые называются **полиминеральными** горными породами, вторые — **мономинеральными**. В настоящее время известно более 1000 видов различных горных пород.

Горные породы изучает наука **петрография** (от греч. «петрос» - камень и «графо» - пишу, описываю). Она сформировалась как самостоятельная ветвь геологической науки во второй половине XIX века, когда был изобретен поляризационный микроскоп, позволяющий детально изучать строение и состав горных пород.



Рис. 22. Геологический цикл формирования горных пород

Магматические и метаморфические горные породы составляют около 90 % объёма земной коры, однако, на поверхности материков области их распространения сравнительно невелики. Остальные 10 % приходятся на долю осадочных пород, занимающих 75 % площади земной поверхности.

2.1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНЫХ ПОРОДАХ

2.1.1 ГЕНЕЗИС (происхождение) горных пород

На протяжении своего существования Земля прошла длинный ряд непрерывных изменений. Они вызываются процессами различными по скорости, по масштабности и по источникам энергии. Эти процессы перемещения вещества, видоизменяющие земную кору и поверхность Земли, называются геологическими или геодинамическими (рис.23). Все горные породы делят, в зависимости от генезиса, на три типа:

- **Магматические**, образовавшиеся при застывании магмы в глубине земной коры (интрузивные) и излившейся лавы на её поверхности (эффузивные). *Интрузивные горные породы* образуются в недрах Земли в условиях высоких давлений и очень медленного остывания. Магма на глубине нескольких десятков километров от поверхности Земли находится под очень большим всесторонним гидростатическим давлением, достигающим нескольких тысяч атмосфер, и обладает высокой температурой. При внедрении магмы в вышележащие слои магма начинает застывать и кристаллизоваться. *Эффузивные горные породы* образуются при излиянии на поверхность расплавленной магмы. При эффузии почти мгновенно, меняются температура окружающей среды и давление, снижающееся от нескольких тысяч атм. до 1 атм. В результате этого вначале начинается бурное выделение газов, растворенных в магме, сопровождающееся взрывами. Лава, выходящая из жерла вулкана, выделяя из лавы газы.

- **Осадочные**, образовавшиеся на земной поверхности в результате физического (обломочные породы) и химического (хемогенные осадки) выветривания пород; накопления и преобразования отмерших (органогенных): растительных (фитогенных) и животных (зоогенных) осадков.

- **Метаморфические**, образовавшиеся в результате изменения (метаморфизма) на глубине магматических и осадочных горных пород под действием высокой температуры, давления и химически активных веществ (паров и газов), выделяющихся из магмы.

Метаморфоза горных пород происходит под влиянием следующих факторов:

- давления, возникающего при горообразовательных процессах;
- повышения температуры, вызванного внедряющейся в литосферу магмой, горячих водных растворов и газов, несущих новые химически активные соединения;
- давления вышележащих горных пород.

Каждая горная порода обладает целым рядом свойств, позволяющих отличить её от других, и оценить возможность использования в том или ином виде.

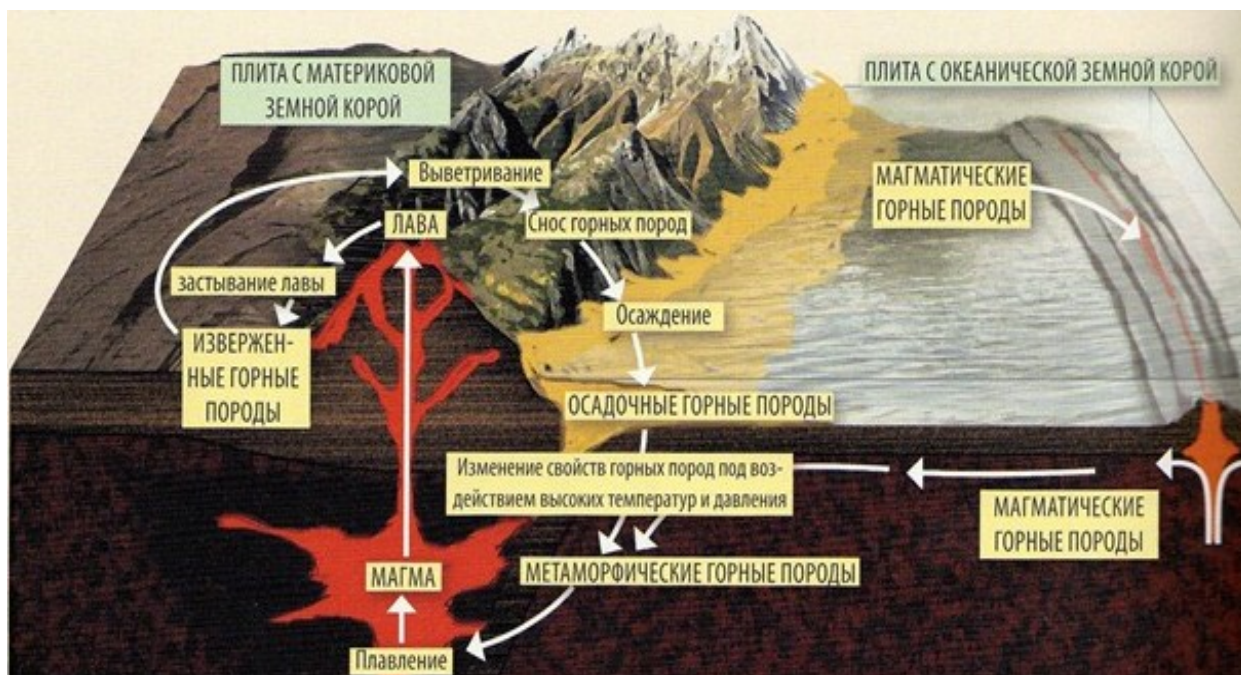


Рис. 23. Схема процесса круговорота горных пород

3.1.2 СОСТАВ горных пород является первой из важнейших характеристик:

а) **минеральный состав** горных пород разнообразен, но для каждой конкретной породы более-менее постоянен. Минералы, входящие в состав горных пород по количественному составу бывают:

- главные (*породообразующие*), каждый из которых составляет не менее 10% от объёма породы и определяет её свойства (*кварц, полевые шпаты, роговая обманка* и др.);
- второстепенные (*акцессорные*) – минералы-примеси, составляют не более 10% от объёма породы, но могут сильно влиять на свойства горной породы;
- вторичные, образовавшиеся в результате гипергенеза.

2.1.3 СТРОЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Структура (от лат. structura - строение, порядок) – характеристика горных пород, отражающая их внутреннее строение. Она определяется размером и формой минеральных частиц, количественным соотношением слагающих породу элементов и характером их взаимодействия друг с другом. Структура отражает условия образования горной породы.

По размеру кристаллов структуры подразделяются на:

1. Скрытокристаллические, размер меньше 0.1 мм, взглядом отдельные кристаллы не видны, но виден блеск на отдельных сколах по спайности и т.д.
2. Мелкокристаллические, размер от 0.1 до 1 мм.
3. Среднекристаллические, размер от 1 до 5 мм.
4. Крупнокристаллические, размер от 5 до 10 мм.
5. Гигантокристаллические, размер более 10 мм.

Текстура (от лат. *textura* - ткань, строение, сплетение, сложение) – отражает внешний облик горной породы. Определяется взаимным расположением составных частей породы, характером и способом заполнения пространства.

Текстура определяет не только многие физические свойства породы - проницаемость, крепость и раскалываемость, т.е. является самым выразительным признаком физической анизотропии породы, но и важнейшие генетические признаки, позволяющие восстанавливать динамику среды (воздушной или водной) - ее активность, характер движения (течения, волнения), его силу, направление и т.д.

Текстуры осадочных и вулканических пород подразделяются на поверхностные, присущие поверхностям напластования и объёмные, слагающие весь объём породы. Примеры поверхностных текстур - канатные лавы, знаки ряби, трещины усыхания и т.д. После захоронения под следующим слоем осадка они могут переходить в части объёмных текстур (волнистая и косая слоистость).

2.1.4 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА горных пород - внутренние, присущие данной горной породе особенности, обуславливающие её различие или общность с другими горными породами и проявляющиеся как ответная реакция горных пород на воздействие на неё внешних физических полей или сред. Физические свойства горных пород многообразны из-за их минерального состава, строения, многофазности, генезиса. Основными группами физических свойств в зависимости от вида внешнего физического поля считаются: плотностные, механические, тепловые, электрические, магнитные, волновые, радиационные, гидрогазодинамические.

Окраска горной породы определяется, в основном, цветом минералов, входящих в её состав, и может играть важную роль в оценке пород, применяемых в строительстве.

Плотность – характеристика горной породы, зависящая от её минерального состава и упаковки частиц, равная отношению массы к единице объёма (т/м^3 ; г/см^3). При изучении горных пород необходимо учитывать разницу между плотностью минеральных частиц и плотностью породы в целом с учётом пор и трещин.

2.1.5 ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Трещиноватость – степень развития трещин в массиве горных пород. Трещины могут возникать в любых монолитных горных породах, когда те не выдерживают приложенной к ним нагрузки. Показатель трещиноватости увеличивается на всём протяжении существования массива пород. Важно знать не только густоту трещин, но и причину их возникновения:

- **первичная** трещиноватость возникает уже в процессе формирования горных пород и связана с изменением объёма массива. Фигуры, выделяемые из массива пород системой первичных трещин, называются *отдельностью* (рис. 24);



Рис. 24. Столбчатая отдельность базальтов

- **вторичная** трещиноватость:

- *тектоническая* трещиноватость возникает в результате тектонических движений участков земной коры. Они проявляются в виде землетрясений и приводят к образованию прямолинейных трещин шириной до нескольких десятков метров и длиной до нескольких километров. Такие трещины часто залечиваются обломками, и становятся незаметными на поверхности земли, но отчётливо видны на аэрофотоснимках. Они существенно усложняют, а иногда делают невозможным проведение строительных работ, поэтому обязательно фиксируются при изучении местности и обозначаются на картах красными жирными линиями;

- *экзогенная* трещиноватость связана с выветриванием. Такие трещины извилисты, имеют ширину до нескольких сантиметров и глубину до 10-15 см. Не оказывают влияния на строительные работы.

Прочность – способность горных пород сопротивляться разрушению от действия внутреннего напряжения. Для горных пород, применяемых в строительстве, основным прочностным показателем является предел их сопротивления одноосному сжатию - $R_{сж}$, выражается в кг·с/см² или МПа. В зависимости от величины этого показателя горные породы подразделяют:

$R_{сж} > 120$ МПа – очень прочные;

50 - 120 МПа – прочные;

15 - 50 МПа – средней прочности;

5 - 15 МПа – малопрочные;

менее 5 МПа – полускальные.

Устойчивость в сооружениях определяется количеством времени, в течение которого порода сохраняется в городских условиях, т.е. при воздействии влаги и дымовых газов.

2.1.6 ВОДНЫЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Важнейшими свойствами горных пород являются **влагоёмкость, водоотдача и водопроницаемость.**

Влагоёмкость – способность горных пород вмещать некоторое количество влаги, набухать, увеличиваться в объёме. Влагоёмкость характеризует способность пород вмещать и удерживать определенное количество воды. По степени влагоёмкости породы подразделяют на влагоемкие (торф, глины, суглинки), слабовлагоемкие (мел, мергель, супеси) и невлагоемкие (скальные грунты, пески, галечники).

В зависимости от вида и количества воды в породах различают: *гигроскопическую, молекулярную, капиллярную и полную влагоёмкости.*

Гигроскопическая влагоёмкость определяет способность породы притягивать из воздуха парообразную влагу и соответствует количеству прочно связанной (гигроскопической) воды.

Максимально-молекулярная влагоёмкость соответствует максимальному количеству связанной воды в породе, удерживаемой силами молекулярного притяжения, *капиллярная* - максимальному количеству воды в капиллярных порах, *полная* - максимальному количеству воды, удерживаемой породой при полном насыщении её водой.

Водоотдача — способность водонасыщенных пород отдавать гравитационную воду в виде свободного стока. Для количественной оценки водоотдачи применяют *коэффициент водоотдачи*, т. е. отношение объёма извлекаемой (или вытекающей) из породы воды к объёму осушенной части породы.

При гравитационном опорожнении пор и при осушении пород извлекается лишь незначительная часть прочно связанной воды, практически - *активная пористость.*

Водоотдача песчаных пород может быть также определена как разность между полной их влагоёмкостью и максимально-молекулярной влагоёмкостью

Наибольшей водоотдачей обладают галечники, гравии, крупнозернистые гравелистые пески. Гравитационная водоотдача низка у сильно влагоемких глин и суглинков. Водоотдача скальных пород зависит от их общей трещиноватости и изменяется в широких пределах от 0,001 до 0,1. Разность между полной влагоёмкостью и естественной влажностью пород называют *недостатком* или *дефицитом насыщения*. Недостаток насыщения характеризует количество воды, которое единица объёма породы может поглотить при повышении уровня.

Водопроницаемость – способность горных пород пропускать через себя (фильтровать) воду может проявляться у всех горных пород в зависимости от их трещиноватости в магматических и метаморфических породах или пористости в осадочных горных породах и характеризуется коэффициентом фильтрации k , имеющим размерность: м/сут, м/с, см/с.

более $100 \text{ м}^3/\text{сутки}$ – очень сильно водопроницаемые;

30-100 $\text{м}^3/\text{сутки}$ – сильно водопроницаемые;

10-30 $\text{м}^3/\text{сутки}$ – средне водопроницаемы;

0,1-10 $\text{м}^3/\text{сутки}$ – слабо водопроницаемые;

0,01-0,1 $\text{м}^3/\text{сутки}$ – очень слабо водопроницаемые;

менее 0,01 $\text{м}^3/\text{сутки}$ – практические водоупорные.

Водопроницаемость пород зависит от размера сообщающихся между собой пор и трещин и от напора, под действием которого движется вода. На водопроницаемость оказывают влияние также состав породы, особенности её сложения, свойства фильтрующей воды (вязкость).

Чем больше размер пор, пустот и трещин, тем меньше сопротивление движению воды и тем выше водопроницаемость пород. В галечниках, гравии и других крупнообломочных породах, с размером пор до 1 см и более

водопроницаемость значительно выше, чем в глинистых породах с очень мелкими порами. В глинистых породах поры частично заполнены связанной водой, которая в силу своей малой подвижности препятствует фильтрации свободной воды.

Водопроницаемость песчаных и крупнообломочных пород резко уменьшается при наличии в их порах примесей, например глинистых частиц. Хорошо промытый галечник и галечник с глинистым заполнителем резко отличаются по величине водопроницаемости.

Водопроницаемость глинистых пород зависит и от минерального состава тонкодисперсных фракций. Глинистые породы, содержащие в тонкодисперсной фракции монтмориillonит, очень слабо пропускают воду. Заметное повышение температуры воды приводит к уменьшению ее вязкости и возрастанию подвижности.

Водонепроницаемые породы принято называть водоупорами.

Действительно, при большой мощности глины практически водоупорны. Однако абсолютно водонепроницаемых пород в природе не существует.

Химическая активность для горных пород, применяемых в строительстве, определяются их растворимостью в воде и взаимодействием с 10%-ной соляной кислотой HCl.

2.2 МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Магматические горные породы – это породы, образовавшиеся в результате медленного остывания и затвердения магмы в земной коре или на земной поверхности. Образование магматической горной породы заключается в кристаллизации - постепенном выделении минералов в твёрдом состоянии, - из *ма́гмы* (от греч. *magma* – густая мазь) или *ла́вы* (от лат. *labes* – обвал, падение; итал. *lava* - затопляю) в процессе их остывания. Кристаллизация продолжается до тех пор, пока вся масса расплава не перейдёт в твёрдое состояние, т.е. не обратится в ту или иную горную породу. Магма - природный, чаще всего силикатный, огненно-жидкий расплав, возникающий в коре или в верхней мантии и при остывании дающий магматические горные породы.

В магме содержатся практически все химические элементы таблицы Менделеева, среди которых: Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Ti, Na, а также различные летучие компоненты (окислы углерода, сероводород, водород, фтор, хлор и др.) и парообразная вода. Летучие компоненты при кристаллизации магмы на глубине частично входят в состав различных минералов (амфиболов, слюд и прочих). По мере продвижения магмы вверх, количество летучих компонентов сокращается. Дегазированная магма, излившаяся на поверхность, называется лавой (рис.25).

В одних случаях магма, прорываясь по трещинам земной коры, застывает в её недрах в условиях высокого давления и медленной теплоотдачи. Образуются массивные, хорошо раскристаллизованные горные породы (*гранит, габбро*). Их называют *интрузивными* (глубинными). Интрузивные породы образуются при застывании магмы в толще земной коры (от 5 до 40 км) в течение большого времени, при относительно постоянных температуре и давлении.

Слишком густая магма с трудом проникает в трещины и образует *жилльные* породы (*пегматит, диорит*).



Рис. 25. Лавовый поток

Субвулканические и жильные (полуглубинные, гипабиссальные), формируются ближе к поверхности земли, при более быстрых снижениях температуры в условиях более низкого давления.

В других случаях магма достигает земной поверхности и быстро застывает при низком давлении, образуя породы с обилием аморфного стекла (*обсидиан*), часто очень пористые (*базальт*). Это так называемые **эффузивные** (излившиеся) породы. Они аналогичны интрузивным по составу, но резко отличаются по внешнему виду и свойствам. Эффузивные породы образуются за счёт излияния вулканических лав на поверхность Земли, или в её недрах в приповерхностных условиях (до 5 км).

Минеральный состав разнообразен, преимущественно силикатный. Как для любых других горных пород, он постоянен для каждой конкретной магматической горной породы.

Главные (породообразующие) минералы - *полевые шпаты* (около 60%), *кварц* и *пироксены* (по 12%), остальные минералы (*роговая обманка, нефелин* и др.) имеют меньшее значение. Второстепенные минералы могут сильно

влиять на свойства пород (*присутствие 1-2% пирита делает гранит непригодным для облицовки*).

Среди магматических горных пород встречаются как мономинеральные (дунит), так и полиминеральные (гранит, габбро). Один и тот же минерал может быть в одной породе главным, а в другой – второстепенным (*роговая обманка в гранитах составляет не более 1-2 % и является второстепенным минералом, а в габбро – около 40% и является главным минералом*).

Химический СОСТАВ магматических горных пород является основой их классификации. Учитывая характерные особенности состава, они классифицируют по содержанию кремнезёма SiO_2 :

- **ультракислые** $\text{SiO}_2 > 75\%$ (*пегматит*);
- **кислые** $75\% \leq \text{SiO}_2 < 65\%$ (*гранит, обсидиан*);
- **средние** $65\% \leq \text{SiO}_2 < 52\%$ (*диорит, андезит*);
- **основные** $52\% \leq \text{SiO}_2 < 40\%$ (*габбро, базальт*);
- **ультраосновные** $\text{SiO}_2 \leq 40\%$ (*перидотит, пироксенит*).

В составе этих групп выделяют малую группу щелочных пород, отличающихся повышенным содержанием натрия и калия (*нефелитовый сиенит*).

СТРУКТУРЫ выделяют:

а) по степени кристалличности вещества:

- **полнокристаллическая** – все зёрна хорошо сформированы и легко различимы, благодаря длительной и постепенной кристаллизации (*интрузивные: гранит, габбро*);
- **неполнокристаллическая** – часть вещества успела раскристаллизоваться, а остальная масса быстро остывала, не успев сформировать зёрна минералов;

- **стекловатая** – порода представляет собой сплошную стекловидную массу, что свидетельствует о быстром застывании лавы (*обсидиан*);

б) по относительному размеру зёрен:

- **равномернозернистая** – зёрна в образце имеют приблизительно одинаковый размер (габбро, трахит);

- **неравномернозернистая** – в образце присутствуют зёрна различной величины (гранит) ;

- **порфи́ровая** - в однородной сплошной массе породы выделяются зёрна различной крупности (базальтовый порфирит) (рис.26);



Рис. 26. Порфирит

в) по абсолютному размеру зёрен:

- **крупнозернистая** - более 5 мм,

- **среднезернистая** - от 2 до 5 мм,

- **мелкозернистая** - менее 2 мм,

- **скрытокристаллическая** - зёрна неразличимы невооружённым глазом.

Одна и та же горная порода при разных условиях образования может состоять из зерен различной крупности (*гранит может быть и мелкозернистым, и среднезернистым, и крупнозернистым*).

При выделении **ТЕКСТУР** руководствуются признаками:

а) степень заполнения пространства

- **массивная** - весь объём образца занят минеральным веществом (*гранит, обсидиан*);

- **пористая, пузыристая, миндалекаменная и др.** - горная порода содержит пустоты, поры и т. п. (*базальт, пемза*) (рис. 27);



Рис. 27. Пемза

б) однородность вещества

- **однородная** текстура - образец горной породы обладает одними и теми же свойствами при исследовании в любом направлении (*габбро, трахит*);

- **неоднородная** - пятнистая, полосчатая, флюидальная;

в) ориентированность слагающих породу минералов

- **ориентированная** - длинные оси минеральных зерен вытянуты в определённом направлении (*пегматит (рис.28) - «письменный гранит»*);
- **неориентированная** - минеральные зерна расположены беспорядочно (*гранит, габбро*).

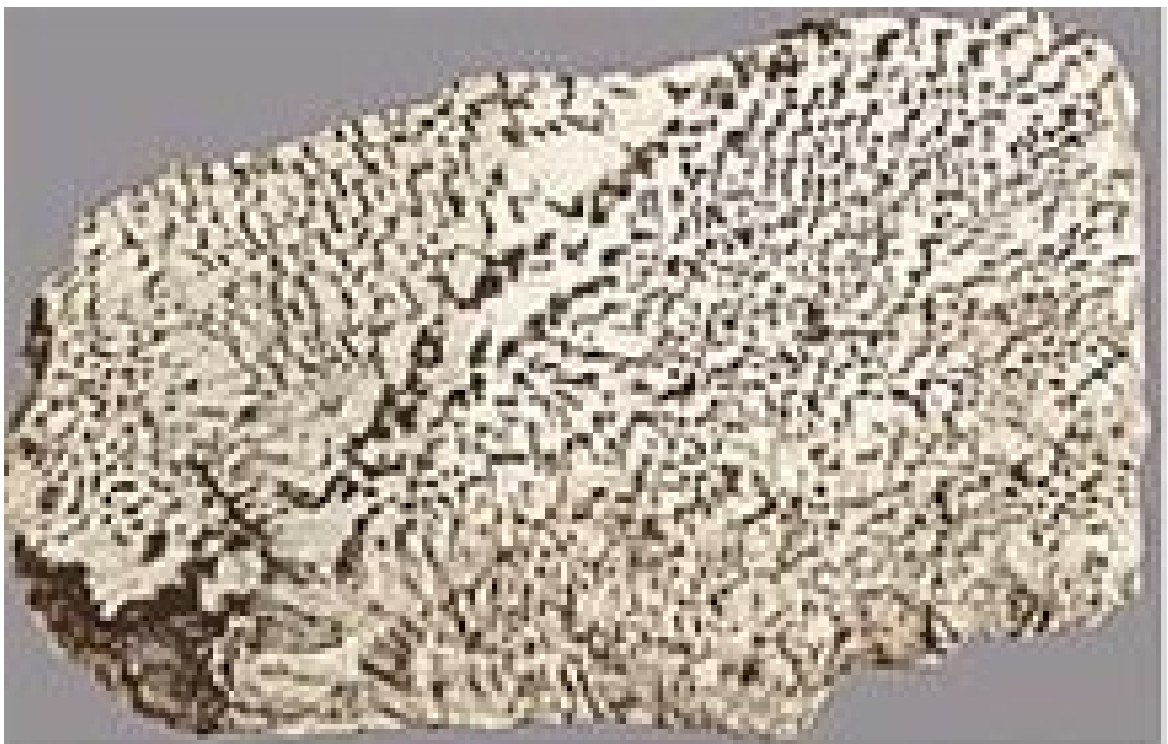


Рис. 28. Пегматит - «письменный гранит», «еврейский камень»

ОКРАСКА горной породы определяется цветом минералов, входящих в её состав (*полевой шпат определяет основной фон в окраске гранита - серый, розовый, красный, зеленоватый, бурый; черные участки представлены зернами кварца, слюды, роговой обманки и др.*). Окраска часто характеризуется термином «**цветное число**» или «**цветной индекс**», отражающим содержание темноцветных минералов (*авгита, роговой обманки, биотита и др.*) в породе в процентном отношении к её объёму.

Если преобладают светлые зёрна, то окраску называют *лейкократовой*, а если тёмные - *меланократовой* (от греч. «меляс» - чёрный) (рис.29). Для интрузивных магматических пород работает правило «чем светлее, тем кислее».

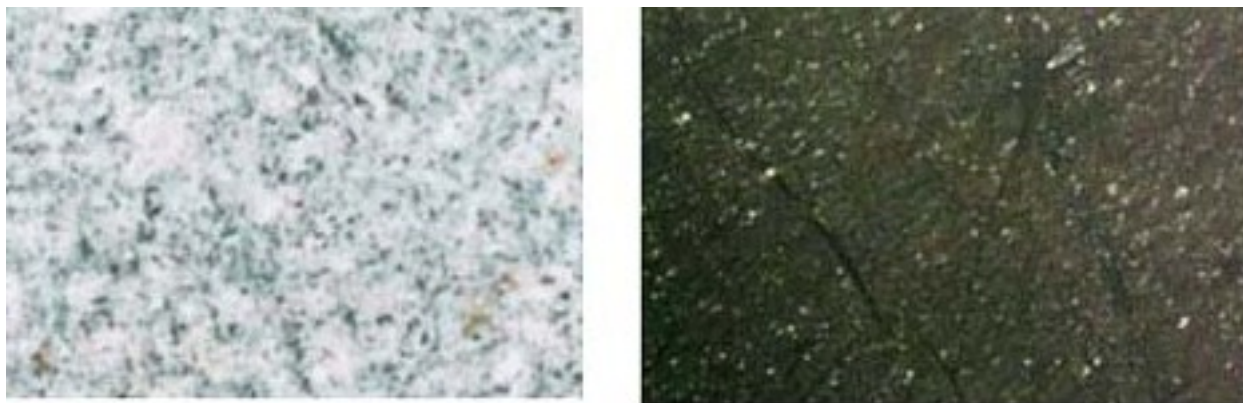


Рис. 29. Лейкократовая и меланократовая породы

Окраска выветрелых магматических горных пород может значительно отличаться от первоначальной: она становится светлее, часто рыжеет. Окраска имеет особое значение, т. к. большинство из них используется в строительстве, и от её декоративности зависит стоимость строительного камня.

ПЛОТНОСТЬ (удельный вес). Магматические горные породы кислого состава обладают средней плотностью (*у пемзы 300 - 350 кг/м³, у гранита 2600 - 2700 т/м³*), при изменении состава пород от кислого к основным и ультраосновным их плотность увеличивается (*у габбро 2800 - 3300 т/м³*).

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ часто возникает в массивах, т. к. все они обладают жёсткими структурными связями и не способны к пластическим деформациям. Для магматических пород свойственны все типы трещиноватости, но их особенностью является первичная трещиноватость, которая возникает в породах уже в процессе их формирования (остывания магмы или лавы). В первую очередь охлаждаются и подвергаются кристаллизации внешние части массива. Образуется «корочка»,

покрывающая расплавленную массу. При дальнейшем снижении температуры объём массива сокращается, и «корочка» на его поверхности разбивается трещинами. Фигуры, выделяемые из массива пород системой первичных трещин, называются *отдельностью* (рис.30).

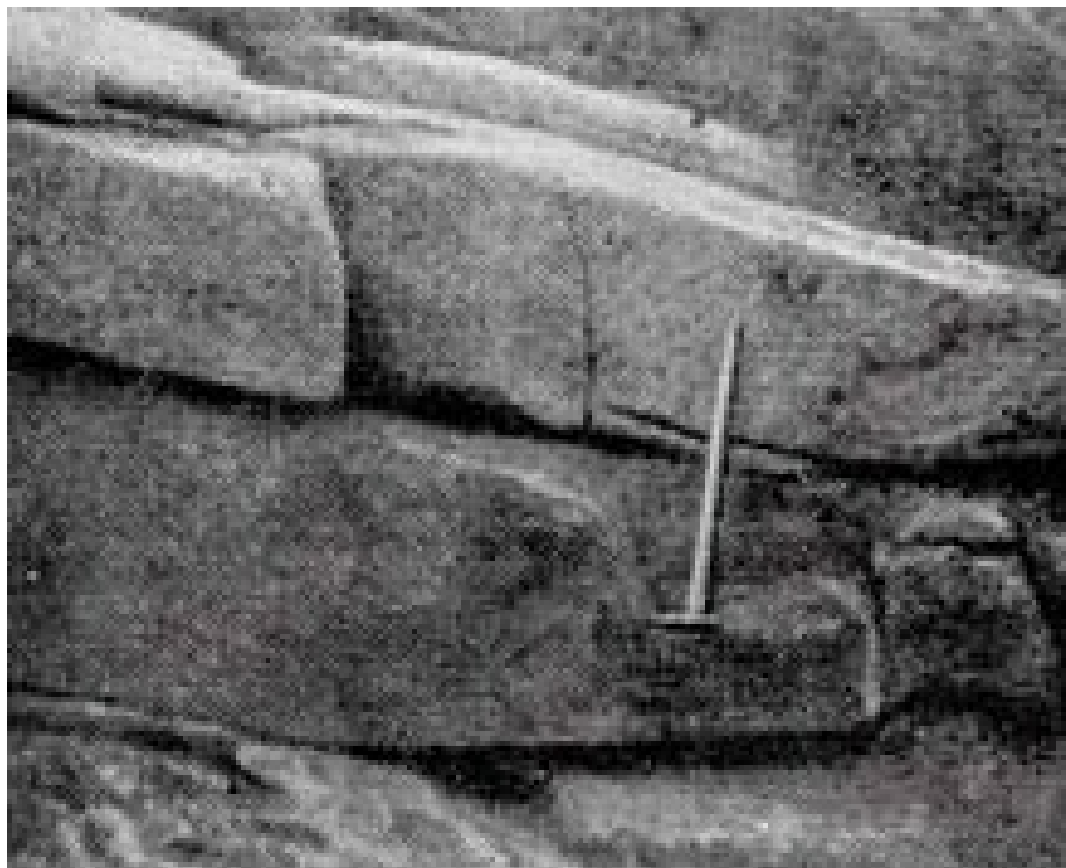


Рис. 30. Матрацевидная отдельность в гранитах

ПРОЧНОСТЬ магматических горных пород достаточно велика: предел их сопротивления одноосному сжатию колеблется от 60-70 МПа у *трахита* до 500 МПа у *базальта*. Но у выветрелых пород она значительно снижается.

УСТОЙЧИВОСТЬ В СООРУЖЕНИЯХ для магматических горных пород исчисляется веками, при условии, если порода отполирована и за ней осуществляется правильный уход (*полированный гранит сохраняется в городских условиях до 500 лет*).

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ в породах находится в прямой зависимости от степени их трещиноватости.

ХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ горных пород, выражающаяся в их взаимодействии с 10%-ной соляной кислотой HCl и водорастворимости, для магматических не характерна.

ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ (рис. 31) магматических горных пород зависят от места их образования:

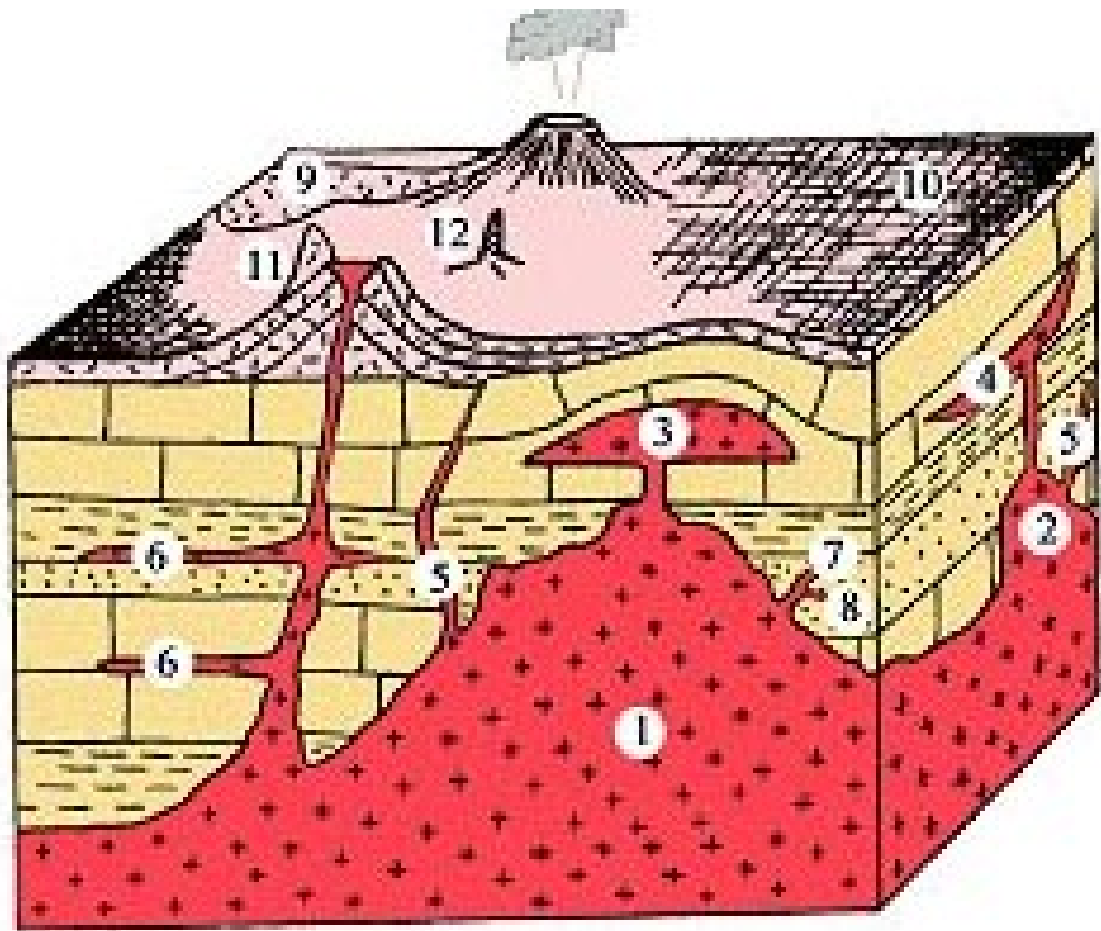


Рис. 31. Формы залегания магматических тел

Интрузии: 1 – батолит, 2 – шток, 3 – лакколлит, 4 – дополит, 5 – дайка, 6 – силл, 7 – жила, 8 – аюфиза. Эффузивы: 9 – лавовый поток, 10 – лавовый покров, 11 – купол, 12 – некк

ПРИМЕНЕНИЕ магматических горных пород в народном хозяйстве имеет чрезвычайно большое значение и различную направленность:

а) **основания сооружений**. Многие магматические горные породы обладают прочностью, значительно превышающей необходимую. Они практически несжимаемы, нерастворимы в воде и газонепроницаемы. Все эти признаки позволяют отнести их к типу скальных грунтов.

Но при их оценке необходимо помнить о разнице между прочностью образцов и устойчивостью массива пород в целом. В природных условиях магматические породы обычно рассечены системой трещин, которые резко снижают устойчивость массива и нередко делают его непригодным для использования в качестве основания сооружений;

б) **строительный камень**. Магматические горные породы с древнейших времён используются в строительстве в естественном виде, пройдя лишь поверхностную обработку:

~ **штучный камень** — производится из большинства магматических горных пород. Предпочтение отдается породам с массивной текстурой и мелко- и среднезернистой структурой, с декоративной окраской (*гранит, сиенит, габбро* и др.).

~ **монументальный камень** — наиболее прочный и декоративный, - служит для изготовления памятников, скульптур и крупных архитектурных деталей (*гранит, габбро* и др.);

~ **облицовочный камень** получают из большинства магматических пород. Использование природного камня для облицовки дорого, но экономически оправдано (*асфальтовый пол служит в переходах метро не более 3-4 лет и даёт огромное количество пыли. В таких же условиях гранитный пол экологически безопасен и срок его службы неограничен*);

~ **стенные блоки** должны быть изготовлены из прочного и пористого камня (*андезит, туф вулканический*);

~ **бордюрный камень** не должен быть декоративным, но обязательно – прочным и погодостойким (*гранит* и т.п.);

~ **дроблёный камень** (любые магматические породы, отходы от производства штучного камня);

в) сырьё для изготовления строительных материалов получают из многих магматических горных пород:

- **цемент** (*обсидиан, трахит*);
- **керамические изделия** получают, используя *пегматит*;
- **стекло** производится с применением *липарита, обсидиана, андезита*;
- **минеральная вата** вырабатывается из *диорита, пироксенита*;
- **огнеупоры** – получают из *дунита*;
- **в петрургии** (каменное литьё) используют *базальт, диабаз*;

г) другое применение магматических горных пород:

- производство **кислотоупоров** – *гранит, андезит, трахит, базальт*;
- **поделочные и декоративные камни** – *пегматит, обсидиан, лабрадорит*;

- **источники ценных элементов** *пегматит* (топазы, вольфрам, олово и др.); *гранит* (золото, серебро, вольфрам, молибден, олово, редкоземельные элементы, уран, ниобий, тантал и др.) и т. д.

2.2.1 Описание магматических горных пород

Ультракислые

ПЕГМАТИТ - от греч. «пегматос» - крепкая связь (из-за особенностей строения). Синонимы: **письменный гранит** (по сходству состава с обычным гранитом, а внешнего вида камня в поперечном срезе - с надписями), **еврейский камень** (зёрна породы в поперечном срезе напоминают восточные письмена) (рис.28).

Магматический, интрузивный (глубинный). Ультракислый состав ($\text{SiO}_2 > 75\%$): ортоклаз (кристаллы величиной до 10 м), проросший кварцем (кристаллы до 1,5 м); часто содержатся кристаллы берилла, корунда, турмалина, урановая слюдка.

Окраска светлая розовая или серая, пёстрая. Структура пегматитовая (графическая) - крупнозернистая или гигантозернистая. Текстура массивная. Плотность 2600-2800 кг/м³. Прочность $R_{\text{сж}}$ 60-80 МПа. Скальный, но интенсивно выветривается (из-за обилия полевого шпата), переходя в каолинитовую глину, содержащую различные обломки. Обработка затруднена обилием кварца.

Образует небольшие геологические тела: жилы, редко массивы и гнёзда. Красивый поделочный камень. Не обладающие достаточной декоративностью массы идут на изготовление керамики. Генетическая связь пегматита с породами гранитного типа и нефелиновыми сиенитами обусловила его совместное нахождение с изумрудами, аквамаринами, рубинами, сапфирами, аметистами, топазами, алмазами, слюдами, рудами вольфрама и олова.

Кислые

ГРАНИТ назван от лат. «гранум» - зерно, итальянского «granito» - зернистый, т.к. порода всегда хорошо раскристаллизована: зёрна минералов индивидуализированы, легко различимы, имеют чёткий контур (рис. 32).

Магматический, интрузивный. Состав кислый ($75\% > \text{SiO}_2 \geq 65\%$): кварц (затрудняет полировку), полевой шпат (способствует выветриванию), слюды (снижают прочность). В небольших количествах могут присутствовать роговая обманка, авгит, пирит (вредная примесь!). От сиенита и нефелинового сиенита отличается отсутствием нефелина и наличием кварца.

Окраска гранита всегда пёстрая, основной цвет зависит от полевого шпата – серый, розовый, красный, зеленоватый, коричневый и др. Структура полнокристаллическая (крупнозернистая, среднезернистая или мелкозернистая); равномернозернистая, редко порфировидная. Текстура массивная. Порода имеет плотность $2600\text{--}2700 \text{ кг/м}^3$. Прочность находится в обратной зависимости от размеров зёрен минералов и содержания слюды, составляет $R_{\text{сж}} 100\text{--}250 \text{ МПа}$. Гранит оставляет царапину на стекле.

Скальный, высокоморозостойкий, кислотоупорный, обладает значительным сопротивлением истиранию. В природных условиях сравнительно быстро выветривается. Характерна матрацевидная, пластовая, шаровая отдельность. Растрескивается при температуре более 600°C . Хорошо обтёсывается, но трудно полируется. В полированном виде сохраняется в городских условиях до 500 лет.

Чрезвычайно широко распространён, часто образует в земной коре крупные геологические тела (сотни и тысячи км^2) – батолиты, штоки, лакколиты, мощные дайки, жилы, – со временем выходящие на поверхность.

Гранит является надёжным основанием для зданий и сооружений, если не нарушен трещинами. Широко используется как строительный и облицовочный материал, в том числе и для гидротехнических сооружений (набережные, устои мостов, волнорезы). Из него получают блоки, плиты, карнизы, бордюры. Гранитные блоки используются для декоративного оформления зданий, гранитный щебень – для изготовления железобетонных изделий и конструкций. Из него изготавливают детали различных машин и агрегатов для целлюлозно-бумажной, пищевой (крахмально-паточной),

станкостроительной, металлургической и фарфорово-фаянсовой промышленности, так как он, в отличие от металла, не поддаётся воздействию солей и кислот, не боится влаги. Из гранита изготавливают жернова и вальцы для мельниц. Гранитные плитки - материал для изготовления оснований точных приборов. Часто содержит золото, серебро, вольфрам, молибден, олово, уран, ниобий, тантал, редкоземельные элементы.



Рис. 32. Гранит

ЛИПАРИТ - от Липарских островов (Италия). Синоним **реолит** от греч. «рео» - теку и «литос» - камень.

Магматический, эффузивный (излившийся). Состав кислый ($75\% > \text{SiO}_2 \geq 65\%$), аналогичен граниту: кварц, полевой шпат, слюды. Окраска, обычно, светлая: белая, желтоватая, светло-серая, розовая. Если на однородной поверхности бурого, красного, жёлтого, зелёного цвета наблюдаются небольшие пятна другого цвета (вкрапленники полевого шпата,

кварца, биотита), породу называют **липаритовым порфиром**. Структура плотная скрытокристаллическая, у порфира - порфировая. Текстура массивная, пористая, флюидальная, полосчатая. Порода имеет плотность 2500-2650 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 130-200 МПа. Скальный. Менее устойчив и более хрупок, чем гранит.

Образует небольшие массивы: покровы, потоки, купола.

Применяется в строительстве в качестве тёсаного камня, бутового камня, щебня. Липарит, обладающий достаточной декоративностью, может быть использован для облицовки зданий. Используется как сырьё для стекольной промышленности.

ОБСИДИАН - от греч. «обсис» - зрелище (в древности применялся для изготовления зеркал) или от имени римлянина Обсиана, впервые привезшего камень в Рим из Эфиопии. Синоним - **вулканическое стекло** (рис. 33).

Магматическая порода, эффузивная (излившаяся). Состав кислый ($75\% > SiO_2 \geq 65\%$), аналогичен граниту. Окраска чёрная, серая, красновато-бурая, расположение полос указывает направление течения лавы. Структура стекловатая (аморфная) плотная. Текстура массивная или пенная. Порода имеет плотность 1100-1150 кг/м³. Чётко выражен раковистый излом. Стекланный блеск. От кварца (мориона и раухтопаза) отличается аморфным строением.

Обсидиан обычно встречается совместно с липаритами и липаритовыми порфирами. Формирует небольшие потоки (из-за кислого состава лава вязкая).

Благодаря способности порошка обсидиана в сочетании с гашёной известью затвердевать под водой, применяется как гидравлическая добавка для портландцемента. Добавка к извести, сырьё для изготовления тёмного стекла и термоизоляции. Поделочный камень.



Рис. 33. Обсидиан

ПЕМЗА от лат. *pumex* – пена (по внешнему виду) (рис. 27).

Магматическая эффузивная. Образуется в результате быстрого остывания лавы, вспенивающейся от бурно выделяющихся газов. Является одной из разновидностей вулканического стекла.

Состав кислый, аналогичен граниту. Окраска белая, серая, желтоватая, бурая. Структура стекловатая. Текстура пористая. Порода очень хрупкая. Плотность 900 кг/м^3 , плавает на поверхности воды. Предел сопротивления одноосному сжатию до 110 МПа.

Пемза находит применение в качестве абразивного материала (для шлифовки различных поверхностей), теплоизоляционного материала, заполнителя для лёгких бетонов. Её используют в виде порошка, как добавку к извести и цементам (в силу чего они приобретают способность затвердевать под водой), как сухую краску для штукатурки, в качестве фильтрующего материала.

Средние

ДИОРИТ - от греч. «диорао» - различаю, отделяю (из-за частого наличия трещин отдельности) (рис. 34).

Магматический интрузивный (глубинный). Состав средний ($65\% > \text{SiO}_2 \geq 52\%$): $\frac{2}{3}$ объёма породы составляет плагиоклаз, роговая обманка; второстепенные минералы - авгит, магнетит, пирит, слюды. Темноцветные минералы составляют около 25% объёма. От гранита отличается отсутствием или незначительным содержанием кварца, от габбро - меньшей плотностью, светлой окраской.



Рис. 34. Диорит

Окраска серая, иногда при выветривании приобретает зелёные оттенки. Структура полнокристаллическая (крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая). Текстура массивная, пятнистая. Порода имеет плотность около 2800 кг/м^3 . Прочность $R_{сж}$ 150-275 МПа, в обратной зависимости от крупности зёрен, содержания слюд и степени выветрелости. Характерна шаровидная и матрацевидная отдельность. Мелкозернистые и среднезернистые разновидности очень морозостойки. Легко обрабатывается, хорошо полируется.

Формирует небольшие массивы: жилы, дайки, штоки, лакколиты, редко батолиты. Может быть приурочен к краевым частям массивов габбро, сиенитов, гранитов.

Диорит применяется, аналогично граниту: получение облицовочного материала, поделочный камень, подкладки под двигатели и подмостовые фермы. Отходы производства используются в качестве дорожного камня, щебня, сырья для получения минеральной ваты.

АНДЕЗИТ назван по месту первой находки - г. Анды в Ю. Америке. Магматический, эффузивный (излившийся). Состав средний ($65\% > \text{SiO}_2 \geq 52\%$), аналогичен диориту: $\frac{2}{3}$ объёма породы составляет плагиоклаз, роговая обманка; вкрапленники авгита, биотита (рис.35).

Окраска светло-серая, бурая. Если на однородной поверхности тёмно-серого, красноватого или чёрного цвета выделяются пятна другого цвета, породу называют **андезитовым порфиритом**. Структура у него порфировая, у андезита - скрытокристаллическая. Текстура - пористая, пятнистая, у порфирита - массивная. Порода имеет плотность 2500-3100 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 160-280 МПа. Скальный. Характерна отдельность плитчатая, столбчатая, радиально-лучистая. Шероховатый на ощупь. Пористые разности - лёгкие, распиливаются без затруднений.

Формирует мощные вулканические поля, покровы, потоки, купола. Типичны для орогенических регионов и островных дуг, отсутствуют в центральных частях морских бассейнов и срединно-океанических поднятий.

Андезит применяется в качестве кислотоупорного материала: из него получают высокосортные стекла, устойчивые к воздействию кислот и щелочей. Хороший стеновой материал, брусчатка, щебень (в том числе и для кислотоупорных бетонов), бутовый камень. Андезит используется для изготовления чёрного фарфора.



Рис. 35. Андезит

СИЕНИТ - от древнего названия г. Ассуан (Египет) - Сиена.

Магматический, интрузивный (глубинный). Состав средний ($65\% > \text{SiO}_2 \geq 52\%$), в ряде случаев - щелочной: ортоклаз, роговая обманка (вместо слюд); второстепенные минералы - авгит, пироксенит, биотит, апатит, оливин. Окраска светло-серая, белая или розовая, в зависимости от цвета ортоклаза. Темноцветных минералов около 15%. Структура полнокристаллическая, чаще среднезернистая. Текстура массивная, однородная. Порода имеет плотность 2600-2800 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 100-250 МПа. Вязкий. Хорошо полируется (не содержит кварца - отличие от гранита). Характерна матрацевидная отдельность.

Составляет краевые части массивов гранита, габбро. Самостоятельно встречается редко, образует лакколиты, дайки, жилы, штоки, батолиты.

Сиенит применяется как облицовочный материал, для изготовления орнаментов, устройства мостовых, тротуаров, ступеней лестниц, полов, бортового камня, материала для гидротехнических сооружений и памятников, щебня, заполнителя бетонов. Нефелиновый сиенит

используется в качестве алюминиевой руды, сырья для получения соды, цемента, поташа, а также в производстве хрусталя.

ТРАХИТ - от греч. «трахис» - шероховатый (по ощущению в руке). Синоним - фонолит, - от греч. «фонэ» - звук и «литос» - камень (при проведении рукой по поверхности издаёт шорох) (ри.36).

Магматический, эффузивный (излившийся). Состав средний ($65\% > \text{SiO}_2 \geq 52\%$) щелочной, аналог сиенита: нефелин, полевой шпат (санидин), цветные минералы.

Серый с зеленоватым оттенком, светло-жёлтый, желтовато-серый, белёсый. Структура мелкокристаллическая, порфировая. Текстура пористая (6-15% объёма породы составляют поры), иногда массивная. Порода имеет плотность 2200-2600 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 60-70 МПа. Водостоек, кислотоупорен, хорошо сцепляется с цементом. Скальный, легко выветриваются, распадаясь на угловатые обломки, а затем превращаясь в глину. Легко обрабатывается, но плохо полируется. Быстро истирается. Характерна плитчатая отдельность.

Образует покровы, потоки, купола на вулканических островах, удалённых от континентов.



Рис. 36. Трахит

Трахит - строительный и кислотоупорный материал: стеновые блоки, тёсанные плиты, щебень, добавка, придающая цементу водостойкость. Используется также для изготовления жерновов и для получения стекла.

Основные

ГАББРО - по названию местности в Северной Италии.

Магматическое, интрузивное (глубинное). Состав основной ($52\% > \text{SiO}_2 \geq 40\%$): около 50% объёма породы составляет пироксен (авгит) и 50% плагиоклаз (лабрадор), это так называемое «нормальное габбро». Если авгит заменяет роговая обманка – «роговообманковое габбро». Разновидность габбро, состоящая почти полностью из лабрадора, называют лабрадоритом. В качестве акцессорных минералов могут встречаться роговая обманка, магнетит, биотит, пирит, корунд, апатит, оливин.

Окраска пёстрая, тёмно-зелёная, серая; лабрадорит чёрный, обладает иризацией. Структура габбровая - полнокристаллическая (крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая). Текстура массивная, такситовая, полосчатая. Порода имеет плотность 2800-3300 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 200-280 МПа, у мелкозернистых габбро – до 350 МПа. Характерна матрацевидная отдельность, иногда - глыбовая, шаровая. Скальный, обладает высокой стойкостью против выветривания. В воде со слабокислой реакцией при повышенном давлении размывается незначительно. Вязкий, трудно разрабатывается и обрабатывается, хорошо полируется.

Широко развито среди глубинных магматических пород. Формирует лакколиты, штоки, дайки, жилы, батолиты.

Габбро, благодаря практически нулевой влажности, является ценным материалом для гидротехнических сооружений и для фундаментов сооружений при высоком уровне грунтовых вод. Ценный облицовочный материал. Может использоваться в качестве брусчатки, щебня, заполнителя бетонов

БАЗАЛЬТ - от лат. «базальтес» - камень из Базана (Сирия) или от эфиопск. «базал» - железосодержащий камень (рис. 37).

Магматический, эффузивный (излившийся). Состав основной ($52\% > \text{SiO}_2 \geq 40\%$), аналог габбро: авгит, плагиоклаз, роговая обманка, оливин; в малых количествах, но обязательно - ильменит, магнетит. Окраска от тёмно-серой до чёрной. Структура скрытокристаллическая, возможно проявление порфировой структуры (базальтовый порфирит). Текстура пористая, у порфирита - плотная. Порода имеет плотность 3000-3300 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 200-350, до 500 МПа. Шероховатый на ощупь, звенит при ударе. Обладает большой твёрдостью и хрупкостью, трудно обрабатывается, но хорошо полируется. Это наиболее легкоплавкая из МГП - $t_{\text{плав}} 1150^\circ\text{C}$. Скальный, чрезвычайно устойчив к выветриванию. Характерна столбчатая, плитчатая, скорлуповатая, шаровая отдельность.

Залегаёт в виде покровов, потоков, жил, куполов, пластов.

Базальт используется для получения строительного камня - штучного и дроблёного. Это хороший дорожный материал, но не пригодный для изготовления брусчатки (становится скользким). Используется в гидротехническом строительстве, в производстве кислотоупоров. Является основным сырьём для петрургии - каменного литья, - расплавленному базальту дают раскристаллизоваться в специальных формах, и получают изделия любой конфигурации: от лестничных маршей до деталей машин. Такая продукция кислотоупорна, щелочеупорна, является электроизолятором, выдерживает нагрузку до $R_{сж} 10\,000\text{ кг/см}^2$, возможно армирование сталью и окрашивание в различные цвета.



Рис. 37. Базальт

ДИАБАЗ - от греч. «диабас» - расщепляющийся.

Магматический, эффузивный (излившийся). Состав основной ($52\% > \text{SiO}_2 \geq 40\%$), аналогичен габбро: плагиоклаз и пироксен.

Темноцветный с зеленоватым оттенком. Структура диабазовая - скрытокристаллическая, игольчатая. В случае порфирового строения - мелкие удлинённые зёрна белого полевого шпата с правильными очертаниями разбросаны на плотном или тонкозернистом фоне. Текстура плотная, порфировая. Порода имеет плотность $2800-3000 \text{ кг/м}^3$. Прочность $R_{сж}$ 200-300, иногда до 400 МПа. Отдельность столбчатая, плитчатая, шаровая. Высокая вязкость, малая изнашиваемость. Хорошо сцепляется с битумом и асфальтом. Чувствителен к кислотам. Образует покровы, потоки.

Диабаз по своим характеристикам очень схож с базальтом, поэтому применяется аналогично: облицовка, дорожное строительство, каменное литьё. Изготовление украшений и поделок.

Ультраосновные

ПЕРИДОТИТ от фр., устар. «перидот» - оливин (основная составляющая часть породы) (рис.38).

Магматический, интрузивный (глубинный). Состав ультраосновной ($\text{SiO}_2 < 40\%$): оливин, авгит; роговая обманка, магнетит, хромит, ильменит. Кварц и полевые шпаты отсутствуют, оливин часто переходит в серпентин. Окраска чёрная, тёмно-зелёная, тёмно-бурая, желтовато-зелёная. Структура полнокристаллическая (крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая). Текстура массивная. Порода имеет плотность 3000-4000 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 210-250 МПа. Скальный, прочный, вязкий. Выветривается за счёт разрушения оливина. Отдельность глыбовая, шаровая. Формирует небольшие массивы - штоки, дайки.



Рис. 38. Перидотит

Применение перидотита ограничено редкой распространённостью (по сравнению с другими породами) и отсутствием декоративности. Но с его массивами связаны месторождения платины, никеля, кобальта, асбеста и других полезных ископаемых. Перидотит может использоваться как дроблёный или штучный камень для внутренней облицовки зданий, поделочный материал.

ПИРОКСЕНИТ - от греч. «пир» - огонь и «ксенос» - чуждый (из-за того, что некогда отрицалась его связь с магмой).

Магматический, интрузивный (глубинный). Состав ультраосновной ($\text{SiO}_2 < 40\%$): содержание авгита значительно больше, чем оливина; магнетит, роговая обманка.

Окраска чёрная, тёмно-зелёная. Структура полнокристаллическая (крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая). Текстура массивная. Порода имеет плотность 3100-3500 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 210-250 МПа. Скальный, прочный, вязкий, трудно разрабатывается и обрабатывается. Отдельность шаровая, параллелепипедная, эллипсоидальная (мешает использовать в качестве штучного камня). Малодоступен (залегает на больших глубинах). На поверхности земли оливин, слагающий породу, переходит в серпентин, тальк и др. Встречается в краевых частях массивов дунита и перидотита, образует жилы и штоки.

Пироксенит может применяться для получения штучного или дроблёного камня. Является сырьём для получения минеральной ваты. Часто связан с месторождениями платины, кобальта, никеля, золота, асбеста.

ДУНИТ - по названию горы Дун в Новой Зеландии (рис.39).

Магматический, интрузивный (глубинный). Порода мономинеральная, состав ультраосновной ($\text{SiO}_2 < 40\%$): около 100% оливина; магнетит, хромит, авгит. Окраска почти чёрная, жёлто-зелёная. Структура

полнокристаллическая (крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая). Текстура массивная. Порода имеет плотность $3,2-4,1 \text{ г/см}^3$, объёмный вес $3300-4000 \text{ кг/м}^3$. Прочность $R_{сж}$ до 200 МПа. Огнеупорный. Скальный, прочный, но на поверхности земли быстро выветривается за счёт преобразования оливина. Отдельность глыбовая, шаровая, параллелепипедная.

Формирует небольшие жилы, дайки, лакколиты на большой глубине, часто среди перидотитов.

Дунит является ценным материалом для производства огнеупоров (термоизоляционные вкладыши и специальные формы, - опоки, применяемые при разливке стали, в том числе и в машиностроении). С ними часто бывают связаны месторождения золота, платины, никеля, хрома, кобальта.



Рис. 39. Дунит

Контрольные вопросы

- 1. Как образовались магматические горные породы?*
- 2. Как классифицируются магматические горные породы?*
- 3. Раскройте сущность эффузивного и интрузивного магматизма.*
- 4. Какие из магматических горных пород применяются для облицовки фасадов?*
- 5. Дайте определение структуры (текстуры). Приведите примеры.*

2.3 ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Осадочные горные породы образуются в результате разрушения и последующего отложения разнообразных продуктов выветривания магматических и метаморфических, а также и осадочных пород. Образование осадочных пород связано с экзогенными процессами, протекающими на поверхности земли и в гидросфере.

По способу образования различают:

- а) *о б л о ч н ы е* - образуются при механическом разрушении горных пород и минералов (*щебень, галечник, песок, песчаник*);
- б) *г л и н и с т ы е* - занимают промежуточное положение между продуктами физического и химического выветривания (*глины*);
- в) *х е м о г е н н ы е* - образуются при выпадении в осадок солей из водных растворов (*известняк, гипс, каменная соль*);
- г) *о р г а н о г е н н ы е* - образуются в результате накопления органических остатков (*ракушечник, мел, торф, уголь*);
- д) *с л о ж н о г о г е н е з и с а* образуются при сочетании различных процессов осадконакопления (*мергель, опока, биолиты - почвы*).

Процессы осадконакопления происходят на земной поверхности повсеместно, но в разных условиях приводят к различным результатам, поэтому осадочные породы подразделяют и по месту образования:

- типично морские (*ракушечник, мел*);
- типично континентальные (*щебень, торф*);
- полигенетические (*соли, руды, песчаники*).

Минеральный СОСТАВ осадочных горных пород разнообразен. Среди главных (породообразующих) минералов много таких, которые сохранились неизменном после разрушения магматических горных пород (*кварц, слюды, роговая обманка и др.*). Но также появляются минералы, не

характерные для условий высокого давления и больших температур (*кальцит, глинистые минералы, гипс* и др.).

Осадочные горные породы могут быть как мономинеральными (*кварцевый песок, каменная соль*), так и полиминеральными (*супесь, лёсс*). Один и тот же минерал может быть в одной породе главным, а в другой – второстепенным (*глинистые частицы в супеси могут составлять не более 10% от объема, а в глинах до 100%*).

Второстепенные (акцессорные) минералы могут сильно влиять на свойства осадочной горной породы (*несколько процентов глинистых минералов в составе песчаных пород придают им способность вмещать в себя и удерживать воду, уменьшаться в объеме при высыхании и др.*).

Минералы осадочных пород могут находиться не только в кристаллическом и аморфном состоянии, но и в коллоидном (*глинистые*).

Химический СОСТАВ осадочных пород соответствует составу магматических или метаморфических, т.к. осадочные породы состоят из продуктов их разрушения.

СТРУКТУРА – отражает внутреннее строение горной породы. Структуры осадочных горных пород из-за их разнообразия не имеют единой классификации и выделяются для каждой группы отдельно (табл. 2):

а) для структур **обломочных** пород определяющее значение имеют

- размеры обломков - гранулометрический состав (в разномзернистых породах структурный тип устанавливают по преобладающей фракции);
- внешний облик обломков, различают по степени окатанности:
 - ~ неокатанные (угловатые) не несут следов обработки водой или ледником, следовательно, переноса обломочного материала от места образования не было или он был кратковременным и на небольшое расстояние (*глыбы, щебень, дресва*),

~ окатанные обломки указывают на долгий путь и длительное время переноса до места отложения (*валуны, галечник, гравий*);

- по физическому состоянию

~ рыхлые (*валуны, щебень, галечник, гравий, песок*),

~ сцементированные (*брекчия, конгломерат, песчаник, алевролит*).

Таблица 2

Размер обломков, мм	Рыхлые		Сцементированные	
	Неокатанные	Окатанные	Неокатанные	Окатанные
Более 200	Глыбы	Валуны	Глыбовая брекчия	Валунный конгломерат
Более 10	Щебень	Галечник	Щебневая брекчия	Конгломерат
Более 2	Дресва	Гравий	Дресвяная брекчия	Гравийный конгломерат
2-1	Грубозернистый песок		Грубозернистый песчаник	
1-0,5	Крупнозернистый песок		Крупнозернистый песчаник	
0,5-0,25	Среднезернистый песок		Среднезернистый песчаник	
0,25-0,1	Мелкозернистый песок		Мелкозернистый песчаник	
0,1-0,05	Тонкозернистый песок		Тонкозернистый песчаник	
0,05-0,005	Алеврит (пыль)		Алевролит	

б) структуры глинистых пород выделяют **по размерам частиц** (табл.3).

Таблица 3

Размеры частиц, мм	Наименование частиц	Осадки и рыхлые породы	Сцементированные породы	Структуры
0,01 - 0,005 (грубая фракция)	Глинистые (пелитовая фракция)	Глины	Аргиллиты	Пылевато-глинистая
< 0,005 (тонкодисперсная фракция)		Известковые глины	Мергели	Глинистая (пелитовая)

в) в **хемогенных** породах структуры выделяют по размерам и форме зёрен (табл. 4):

Таблица 4

Группы пород	Осадки и рыхлые г. п.	Сцементированные породы	Структуры
Галоидные		Каменная соль и др.	Крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая, натечная
Сульфаты Карбонаты		Гипс, ангидрит Известняки, доломиты, магнезиты	Крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая, волокнистая, плотная
Железистые	Глауконитовые пески, рыхлые осадки и гидроокислы железа	Глауконитовые песчаники, бурые железняки	Крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая; оолитовая, плотная, землистая

г) структуры **органогенных** пород выделяют по виду органики и по форме частиц (табл. 5):

Таблица 5

Группы пород	Осадки и рыхлые породы	Сцементированные породы	Структуры
Кремнистые		Трепелы, опоки, диатомит	Глобулярная, землистая
Карбонаты		Известняки, мел,	Ракушечная, землистая
Каусто-биолиты	Сапропель, гумусовые отложения	Сапропелиты, горючие сланцы, ископаемые угли	Тонкозернистая

д) в породах сложного генезиса структуры выделяют по размерам зёрен:

- **землистая,**
- **глинисто-пылеватая.**

ОКРАСКА любой горной породы определяется цветом минералов, входящих в её состав (*пески, состоящие из зерен кварца белые, а из роговой обманки - черные*), а для осадочных пород имеет значение ещё и окраска цемента в составе породы (*кварцевый цемент придает породе светлую окраску, битуминозный цемент окрашивает породу в черный цвет, а железистый - в красный*). Глины, содержащие тонкорассеянное углефицированное органическое вещество имеют чёрный и тёмно-серый цвета). Климат, в котором сформировались осадки, также влияет на их окраску (*в районах с прохладным и влажным климатом формируются*

породы серо-зеленого цвета, в районах с сухим жарким климатом - красного, бурого, желтовато-бурого).

ТЕКСТУРЫ осадочных горных пород (табл. 6) зависят от взаимного расположения минеральных частиц:

Таблица 6

Текстуры	Обломочные	Глинистые	Хемотропные	Органо-генные	Сложного генезиса
Плотная, массивная	Брекчия, конгломерат, песчаник	Глины	Ангидрит, каменная соль, известняк	Мел, трепел, диатомит	Опока
Пористая, кавернозная	Гравий, песок, лёсс		Известняк, бурый железняк	Ракушечник, известняк	
Слоистая, полосчатая	Алеврит	Суглинки, глины	Известняк		Мергель
Туфовая	Туф				
Плюсчатая		Глины			

ПЛОТНОСТЬ осадочных горных пород весьма разнообразна (от 250 кг/м³ у диатомитов до 3000 кг/м³ у известняков).

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ характерна для монолитных пород (брекчия, известняк, опока), но проявляется в разной степени (известняки всегда сильно трещиноваты; массивы гипса не бывают трещиноватыми).

ПРОЧНОСТЬ (предел сопротивления одноосному сжатию) у осадочных горных пород обычно ниже, чем у магматических и метаморфических, поэтому, для осадочных пород используют ещё более дробное разделение:

- пониженной прочности - от 3 до 5 МПа;
- низкой прочности - от 1 до 3 МПа;
- очень низкой прочности - менее 1 МПа.

$R_{сж}$ в осадочных горных породах колеблется в широких пределах (*от 0,15 МПа у песков до 260 МПа у кремнистых песчаников*).

ОСОБЫЕ СВОЙСТВА

а) важной характеристикой осадочных горных пород является **пористость**, оказывающая влияние на прочностные и водные свойства пород (*песчаники 10 -15%, ракушечник 30 - 40%, пески 30 - 40%, глины и суглинки 40 - 50%, ил 70 -80%*);

б) способность к **доуплотнению** характерна для *песчаных* пород, которые чутко реагируют на вибрацию (землетрясение, работа механизмов и т.п.); *глинистые* породы способны впитывать воду, набухать, увеличиваясь в объёме при замачивании. Это явление может привести даже к деформациям сооружений. Не менее опасно и уплотнение глинистых пород при высыхании, когда они уменьшаются в объёме, что также может привести к неравномерной осадке сооружения и даже к его деформации.

в) осадочные породы, содержащие глинистые частицы, при увлажнении способны переходить сначала в **пластичное** состояние, а затем и в **текучее**.

ВОДНЫЕ СВОЙСТВА

- **водопроницаемость** – способность горных пород пропускать через себя (фильтровать) воду проявляется в осадочных породах в зависимости от

их трещиноватости (*известняк*), но ещё в большей степени – от их пористости:

~ очень сильно водопроницаемые - более $30 \text{ м}^3/\text{сутки}$;

~ сильно водопроницаемые - от 3 до $30 \text{ м}^3/\text{сутки}$;

~ водопроницаемые - от 0,30 до $3 \text{ м}^3/\text{сутки}$;

~ слабо водопроницаемые - от 0,005 до $0,30 \text{ м}^3/\text{сутки}$;

~ неводопроницаемые - менее $0,005 \text{ м}^3/\text{сутки}$;

- **влажность** – способность горных пород вмещать некоторое количество влаги, набухать, увеличиваться в объёме (*глинистые породы*).

ХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ горных пород выражается в их взаимодействии с 10%-ной соляной кислотой HCl. Осадочные породы, содержащие карбонат кальция, бурно реагируют с кислотой (*лёсс, известняк, ракушечник, мел, мергель и обломочные породы, скреплённые карбонатным цементом*). Другие породы могут растворяться в кислоте без бурных реакций (доломит).

С водой реагируют, т.е. растворяются в ней, практически те же активные породы. Зачастую их растворению способствует CO_2 . Это значит, что в природных условиях такие породы подвержены выщелачиванию подземными водами, образуются карстовые полости, и возведённые на них сооружения подвергаются опасности.

ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ осадочных горных пород особым разнообразием не отличаются. Это слои, пласты, пластовые и шаровые отдельности, линзы, пропластки (рис.40).



Рис. 40. Залегание осадочных пород

ПРИМЕНЕНИЕ

а) **основания сооружений.** При оценке этих грунтов необходимо учитывать не только их прочность, но и способность к выщелачиванию и доуплотнению. Многие породы требуют укрепления перед строительством сооружений (*лёсс, пески, глины, суглинки, супеси*), а некоторые совсем непригодны для таких целей (*щебень*);

б) осадочные горные породы используются в строительстве в естественном виде:

- **штучный камень** (*известняк, доломит* и др).
- ~ **облицовочный камень** производят из прочных декоративно окрашенных (*брекчия, песчаник, известняк, ракушечник*);
- ~ **стенные блоки** изготавливают из достаточно прочных и пористых пород (*известняк, туф вулканический*);

- **дроблёный камень** (щебень, доломит);

в) многие осадочные горные породы служат **сырьём** для изготовления строительных материалов:

- **кирпич** является одним из наиболее распространённых строительных материалов. Его изготовление основывается на использовании *глинистых пород (глин и суглинков), песков, лёссов, трепела, диатомита*;

- **цемент** — необходимый материал при любом строительстве. Представляет собой тонкий порошок, полученный при измельчении *мергеля, опоки, известняка, мела, лёссов* (рис. 31).;

- производство **извести** — *известняк*;

- **керамические** изделия получают, используя *глины, опоку, лёсс*;

- **стекло** производится из *кварцевого песка* с применением *мела*;

- **огнеупоры** — из *песков, песчаников, доломита*;

- **заполнители бетонов** - *щебень, гравий, песок, ракушечник*;

- **дорожное строительство** — *грубообломочные породы, супеси*;

г) **другое** применение осадочных горных пород:

- **энергетика** — *нефть, природный газ, уголь, торф, горючий сланец*;

- **химическая промышленность** — *то же*;

- **металлургия** — *руды, пески, известняк*;

- производство **кислотоупоров** — *песок, диатомит*;

- производство **абразивов** — *пески, песчаники, диатомит, трепел*;

- **адсорбенты** — *монтмориллонитовая глина, опока, диатомит*;

- **фильтры** — *галечник, гравий, песок*;

- **сельское хозяйство** — *песок, монтмориллонитовая глина, мергель, мел*;

- **источники ценных элементов** - *пески* (россыпные месторождения золота, платины, олова, вольфрама, тория и др.).

2.3.1 Описание осадочных горных пород

Обломочные. Под воздействием ветра, солнца, воды и из-за перепада температур магматические породы разрушаются. Сыпучие обломки магматических пород образуют рыхлые отложения и из них образуются слои осадочных пород обломочного происхождения (рис.41). Со временем эти породы уплотняются и образуются сравнительно твёрдые плотные осадочные породы.



Рис. 41. Рыхлые отложения обломочных горных пород

ЩЕБЕНЬ и ДРЕСВА - рыхлые осадочные горные породы, образовавшиеся в результате механического разрушения горных пород - обломочные. Они представляют собой скопление крупных (200-20 мм щебень, 20-2 мм дресва) неокатанных обломков. Если таких обломков в составе грунта содержится более 50%, то грунт называют щебенистым, либо дресвяным.

Породы типично континентальные: не несут на себе следов переноса и обработки водой. Могут быть получены искусственно путём дробления различных горных пород.

Состав щебня и дресвы разнообразный, часто однородный. Щебенистый и дресвяный грунты малосжимаемы, неустойчивы на склонах. Обладают высокой водопроницаемостью (более 100 м/сутки) и малой влагоёмкостью. Реакция с HCl (10%) зависит от состава породы.

Щебень и дресва не пригодны для оснований сооружений, такой грунт рекомендуется заменить. Используется в дорожном строительстве и для заполнения бетонов. Иногда состав обломочных пород позволяет использовать их в качестве сырья для получения искусственных строительных материалов (извести, цемента и др.).

БРЕКЧИЯ - названа от древнегерманского слова «ломка» из-за своего строения.

Цементированная горная порода состоящая из неокатанных обломков различной величины и разного состава. Структура грубообломочная (>100 мм - глыбовая брекчия, от 100 до 10 мм - брекчия, от 10 до 2 мм - дресвяная брекчия), угловатая. Текстура плотная: обломки скреплены природным цементом различного состава, который определяет свойства породы. Прочность, в зависимости от состава цемента, находится в пределах от 5 до 160 МПа. Водопроницаемость возможна по трещинам. Брекчии с карбонатным цементом слаборастворимы водой, брекчии с сульфатным

цементом - среднерастворимы. Пористость может составлять от 1,5 до 30% от объёма породы.

Брекчии прочные и декоративные используются в качестве штучного строительного камня. В остальных случаях они могут использоваться как щебень.

ГАЛЕЧНИК и ГРАВИЙ

Рыхлые осадочные горные породы, образовавшиеся в результате механического разрушения горных пород - обломочные. Они представляют собой скопление крупных (200-20 мм - галечник, 20-2 мм - гравий) (рис.42) окатанных частиц. Структура псефитовая (грубообломочная), окатанная. Морские или континентальные, несут на себе следы переноса и обработки водой. Состав разнообразный, редко однородный (т.к. частицы переносились и перемешивались с другими). Порода имеет плотность 1700-1900 кг/м³.



Рис. 42. Галечник и гравий

Такой грунт малосжимаем. Обладает высокой водопроницаемостью (более 100 м/сутки) и малой влагоёмкостью. Галечник и гравий - надёжное основание, даже в откосах.

Галечник и гравий используются как балласт, фильтры для грубой очистки воды. Возможно применение гравия для заполнения бетонов, предпочтение отдаётся овражному гравия (меньше окатан, лучше сцепляется с цементом).

КОНГЛОМЕРАТ - от лат. конгломератус - скученный, уплотнённый.

Порода представляет собой сцементированное скопление окатанных обломков различной величины и пёстрого состава (рис. 43). Структура грубообломочная (>100 мм - валунный конгломерат, от 100 до 10 мм - галечниковый конгломерат, от 10 до 2 мм - гравийный конгломерат), окатанная. Текстура плотная: обломки скреплены природным цементом различного состава, который определяет свойства породы. Прочность, в зависимости от состава цемента, находится в пределах от 5 до 160 МПа. Водопроницаемость возможна по трещинам. Конгломераты с карбонатным цементом слаборастворимы водой, конгломераты с сульфатным цементом - среднерастворимы. Пористость может составлять от 1,5 до 30% от объёма породы. Некоторые разновидности очень декоративные, как правило, крепкие. При их выветривании возникают причудливые формы - каменные изваяния.

Залегают в виде пластов. Конгломераты прочные и декоративные используются в качестве штучного строительного камня. В остальных случаях они могут использоваться, как щебень.



Рис. 43. Конгломерат

ПЕСОК

Рыхлая осадочная горная порода, состоящая из мелких (2 - 0,1 мм) обломков зёрен кварца, полевых шпатов, оливина, слюд, кальцита и других минералов; вредными примесями являются глинистые частицы, гипс, окислы железа. Они имеют морское или континентальное происхождение, а значит, могут быть и окатанными, и не окатанными. Чем крупнее частицы, тем легче они подвергаются обработке водой. Структура песков псаммитовая. Если порода содержит по весу более 25% частиц крупнее 2 мм, то такие пески называют грубозернистыми или гравелистыми. Крупнозернистые пески содержат более 50% частиц крупнее 0,5 мм. Среднезернистые пески содержат более 50% частиц крупнее 0,25 мм. Мелкозернистые пески содержат более 75% частиц крупнее 0,1 мм. Если вес частиц крупнее 0,1 мм

менее 75%, пески считают пылеватыми (рис. 44). Текстура песков пористая, слоистая.



Рис. 44. Песок разнотернистый

Окраска песков весьма разнообразна: белая, серая, чёрная, жёлтая и др. Зависит не только от цвета исходных материалов, но и от климата (в холодном влажном климате – зеленовато-серые; в сухом жарком климате – красные). Пористость около 30-40% от объёма породы (но не более 48%). Порода имеет плотность около 1800 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 0,15-0,3 МПа. Пески водопроницаемы (50-2 м³/сут), маловлагоёмки, в сухом состоянии сыпучи.

Песчаные грунты являются довольно надёжным основанием для зданий и сооружений, т.к. сохраняют объём при увлажнении и высыхании. Но необходимо учитывать их чувствительность к вибрации и зависимость

свойств от генетического типа песка. Морские пески формируются в прибрежной части морей, состоят из хорошо окатанных частиц с гладкой поверхностью и обладают приблизительно равными диаметрами. Речные пески хуже сортированы, часть зёрен угловатые. Пустынные пески образуются путём перевевания речных отложений, они плохо сортированы, имеют примесь гравия и глинистых частиц. Кроме того, известны такие уникальные виды как зыбучие пески, «поющие» пески полуостровов, плавунные пески. Они формируют слои, линзы, дюны.

Применение песка связано с его минералогическим составом и формой зёрен. В строительстве пески используются для заполнения бетонов, строительства дорог, в качестве дренирующего материала, сырья для производства стекла, кирпича, огнеупоров, кислотоупоров, карборунда. Пески необходимы для устройства фильтров, форм для литья в металлургии, посуды, обладающей кислотоупорностью, огнеупорностью и устойчивостью к перепадам температур. В медицине применяют кварцевые лампы.

ПЕСЧАНИК

Цементированная осадочная порода обломочного генезиса. Состоит из песка с кремнистым, известковым, железистым, глинистым, карбонатным или комбинированным цементом. Именно цемент определяет прочность породы (от 5 до 200 МПа) и её окраску. Песчаники, скреплённые карбонатным цементом, вскипают при взаимодействии с соляной кислотой. Имеющие кремнистый цемент могут давать искру при ударе. Плотность песчаников 1900-2800 кг/м³. Пористость составляет 2-30%.

Песчаники используются для получения бутового камня, щебня, материала для дорожного строительства. Ярко окрашенные разновидности являются хорошим декоративным и облицовочным материалом. Абразивный, огнеупорный, кислотоупорный материал ($\text{SiO}_2 > 97\%$). Используется в производстве фарфора и фаянса (если окислов железа не более 0,1%). Для

заполнения бетона отдают предпочтение разнозернистым песчаникам с преобладанием грубых и крупных частиц, не содержащим глины и окислов железа.

ЛЁСС - от нем. «лоз» - обрыв (из-за способности создавать специфические формы рельефа - почти вертикальные обрывы). Синоним - **алеврит** от греч. «алеврос» - мука, «ит» - подобный.

Порода состоит из микроскопических (0,05-0,005 мм) зёрен полевого шпата, кварца, кальцита, 10-15 глинистых минералов, гипса, галита, с неводостойким цементом. Нередко содержит более 50 минералов.

Окраска лёсса буровато-палевая, серая, жёлто-серая. Структура пылеватая. Текстура пористая (55-64%), причём вертикальная пористость крупнее горизонтальной, и обуславливает просадочность лёссов. Порода рыхлая или связная. Имеет плотность 1200-1800 кг/м³. Малопрочная. Слабоводоупорная: под действием воды часть агрегатов распадается на монозёрна, остальные водостойки. Выщелачивается природными водами. При увлажнении легко размокает, при высыхании затвердевает. Легко растирается в тонкий порошок. Бурно вскипает под действием HCl (10%), издаёт нерезкий запах глины. Характерна просадочность и оплывание в откосах. Происхождение эоловое, пролювиальное, делювиальное. Образует покровные отложения мощностью до нескольких десятков метров.

Ненадёжное основание, очень коварный грунт, требующий укрепления. Иногда используется для изготовления кирпича (желтозём), строительной керамики, добавки в бетон, получение низкотемпературных цементов. На лёссах формируется чернозём.

АЛЕВРОЛИТ - от греч. «алеврон» - мука и «литос» - камень. Синоним - **каменные лёссы**.

Цементированная осадочная порода, состоящая из зёрен кварца, альбита, кальцита, слюд и др. Структура тонкозернистая (0,01-0,1 мм),

мелкообломочная. Текстура плотная слабомикropopистая, слоистая. Окраска, чаще всего, серая и тёмно-серая до чёрной. Порода имеет плотность до 2500 кг/м^3 . Прочность $R_{сж}$ 20-60 МПа. Водонепроницаемый, не размокает, не набухает, не становится пластичным. При раскалывании распадается на остроугольные осколки и плитки. Порода полускальная. После вскрытия котлованом растрескивается, постепенно превращается в глиноподобную массу. Вдоль слоистости возможно оползание отдельных блоков. Алевролиты широкого применения не получили.

ТУФ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ от лат. «туфус» - название продуктов вулканических извержений, которые образовались преимущественно из вулканического пепла, оказавшегося на поверхности после извержения вулкана.

Разновидности: пуццоланы (рыхлые), трассы (уплотнённые).

Занимают промежуточное положение между магматическими и осадочными породами. Состоит из песка, вулканических бомб, сцементированных вулканическим пеплом (рис. 45).



Рис. 45. Туф вулканический

Окраска породы розовая, красная, фиолетовая, коричневая, жёлтая, оранжевая, серая, чёрная. Структуры могут быть различными, в зависимости

от составных частей. Текстура обломочно-пористая или слоистая. Порода имеет плотность 750-1400 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 80-190 МПа. Поры составляют 40-70%. Туфы легко обрабатываются пилой и топором, пробиваются гвоздями. При этом обладает морозостойкостью, тепло- и звукоизоляционными свойствами. Прочная, долговечная.

Формы залегания, горизонтальные, около кратера вулкана - конусы.

Из туфов можно получать большие стеновые блоки, в том числе бетонные блоки (в сочетании со шлаком), облицовочные материалы. Трассы и пуццоланы добавляют в цементы, используемые в подводных, особенно морских сооружениях. Они служат материалом для художественных поделок, предметов обихода, стойких красок.

Глинистые – мелкозернистые осадочные горные породы, пылевидные в сухом состоянии, пластичные при увлажнении (рис. 46).



Рис. 46. Глина

ГЛИНА КАОЛИНИТОВАЯ от названия горного хребта Кау-Линг (Китай).

Осадочная порода, включающая в себя частицы каолинита, гидрослюд, монтмориillonита, кварца, полевых шпатов, слюд, размером менее 0,005 мм. Структура глинистая, коллоидная, землистая. Текстура плотная, слоистая. Окрашена в белый, жёлтый, бурый, коричнево-красный цвет.

Порода имеет плотность 1800-2000 кг/м³. Прочность в сухом виде $R_{сж}$ 1,9 МПа, изменяется обратно пропорционально увлажнению. Пористость составляет 36-65% от объёма породы, но размер пор чрезвычайно мал, поэтому порода практически водонепроницаемая. Средненабухающая или совсем не набухает. Число пластичности глин - 17. Липкая. Медленно сохнет, при высыхании дают небольшую усадку, разбиваются системой трещин. Удаляются лишь водой. Огнеупорные (до 1750°C).

Каолинитовые глины используются в качестве вяжущего вещества при изготовлении кирпича, черепицы, гончарных изделий, фарфора, фаянса. Они служат наполнителями в бумажной, парфюмерной, мыловаренной, резиновой промышленности. Легкоплавкие гидрослюдистые глины пригодны для изготовления грубой керамики, кирпича, черепицы, гончарных изделий.

ГЛИНА МОНТМОРИЛЛОНИТОВАЯ от французской провинции Монтмориillon. Синоним - **сукновальная глина** (применяется для обезжиривания шерсти).

Осадочная горная порода морского и континентального происхождения. Содержит частицы монтмориillonита, гидрослюд, каолинита, кварца, полевых шпатов, слюд размером менее 0,005 мм. Окрашена в белый, бурый, коричнево-красный, жёлтый и другие оттенки. Структура глинистая, коллоидная, землистая. Текстура плотная, слоистая. Порода имеет плотность 1800-2000 кг/м³. Прочность в сухом виде - $R_{сж}$ 1,9 МПа, изменяется обратно пропорционально увлажнению. Имеет пониженное сопротивление сдвигу. Прекрасный адсорбент. Увлажняясь, может

увеличиться в объёме до 18 раз. При высыхании даёт большую усадку и получает наибольшее уплотнение.

Монтмориллонитовая глина - очень коварное основание для сооружений. Используется для очистки нефтепродуктов, растительных масел, уксуса, вин, соков. Обезжиривание шерсти, обогащение почв, пищевые добавки в корм скоту. Это лучший материал для буровых растворов. Bentonитовые глины - кил, - используют вместо мыла.

СУГЛИНОК или **песчанистая глина** (рис. 47) - если содержание глинистых частиц в грунте, состоящем из зёрен кварца, полевого шпата, лимонита, достигает 10-30%. Он обладает большой пластичностью при увлажнении: даёт шнур диаметром 2,5-5,4 мм, а тяжёлосуглинистые породы 1,5-2,5 мм. При растирании с водой на стекле среди тонкозернистой массы ощущаются отдельные песчинки. При отмучивании в воде сначала оседают песчаные частицы, а затем глинистые. Имеется отчётливый запах глины. Суглинок менее плотный и липкий, чем собственно глина, поэтому легче поддаётся разработке. Окраска суглинка бурая, жёлтая, тёмно-серая, красновато-бурая. Структура землистая, глинистая. Текстура слоистая. Плотность 1400-1800 кг/м³. Пористость 36-60%. Встречаются маломощные пласты в местах бывшего оледенения. Используется как сырьё для получения кирпича, фаянса, фарфора.



Рис. 47. Суглинок

СУПЕСЬ - песок, состоящий из зёрен кварца, полевого шпата и содержащий от 3 до 10% глинистых частиц. Даже при таком небольшом содержании глинистых частиц порода приобретает новые свойства: водоупорность, влагоёмкость, пластичность во влажном состоянии (можно раскатать в шнур диаметром 4-7 мм). Появляется набухание при увлажнении и усадка при высыхании, незначительная липкость и увеличение объёма при замерзании во влажном состоянии. При растирании супеси на пальцах ощутимы песчаные частицы, а глинистые частицы пачкают руки. Окраска супеси серая, жёлтая, зеленоватая, светло-бурая. Структура тонкозернистая (частицы диаметром около 0,005 мм составляют от 3 до 12%), землистая. Текстура микропористая, слоистая. Пористость составляет 34-50% объёма породы, за счёт этого она сильно сжимаема. При числе пластичности 3-4 используется в дорожном строительстве.

АРГИЛЛИТ от греч. «аргиллес» - плотная глина, «лит» - камень (рис. 48).

Сцементированная осадочная горная порода морского или континентального происхождения. Состоит из глинистых частиц (каолинит, монтмориллонит), скреплённых природным цементом, содержит кальцит, магнезит, пирит, магнетит, серицит, хлорит, мусковит.

Окраска от белой до серой, от тёмно-серой до чёрной Структура пелитовая, тонкообломочная (частицы менее 0,005 мм). Текстура плотная, слоистая. Порода имеет плотность 1800 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ около 5 МПа. Излом неровный. При увлажнении издаёт запах глины, не размокает.

Аргиллит, прошедший вспучивание, используется в строительстве (керамзит).



Рис. 48. Аргиллит

Хемогенные

КАМЕННАЯ СОЛЬ (ГАЛИТ) (рис. 49) получила своё название от корня «сол», что есть в словах солнце и золото.

Мономинеральная горная порода, на 95% состоящая из минерала галита NaCl . В качестве примесей может содержать гипс, ангидрит. Происхождение хемогенное (осаждение в замкнутых водоёмах).

Бесцветная, белая, различные оттенки, вызванные примесями. Структура зернистая, текстура массивная. Плотность 2100 кг/м^3 . Очень хрупкая порода. Сильный солёный вкус, высокая растворимость в воде. Слабоустойчива, ухудшает строительные свойства грунтов и стройматериалов.

В осадочных породах залегает пластами, но часто формы залегания каменной соли напоминают формы магматических пород - купола, потоки, линзы. Каменная соль не используется в качестве основания сооружений и в виде строительного камня, в силу высокой хрупкости и водорастворимости.



Рис. 49. Галит – каменная соль

ГИПС назван от одноимённого пороодообразующего минерала. В качестве примесей содержит глинистые частицы, ангидрит.

Типично морская хемогенная горная порода. Окраска белая, серая или розовая, часто изменена примесями. Структура крупно-, средне- или мелкозернистая, волокнистая, скрытокристаллическая. Текстура массивная. Плотность 2200 кг/м^3 . Прочность около 20 МПа. Выщелачивается подземными водами с образованием полостей, пещер. Гипс часто залегает слоями.

Очень опасное основание для сооружений. В строительстве применяется в качестве вяжущего материала, для изготовления перегородок, перекрытий, штукатурки. Не является строительным камнем.

АНГИДРИТ назван от греч. «безводный», как и одноимённый пороодообразующий минерал. Мономинеральная хемогенная осадочная порода. Окраска светлая, голубовато-серая. Структура крупно-, средне- или мелкозернистая. Текстура массивная. Плотность $2800\text{-}3000 \text{ кг/м}^3$. Прочность 60-80 МПа. Ангидрит, как и гипс, способен выщелачиваться подземными водами.

Ненадёжное основание для сооружений. Используется в качестве сырья для производства вяжущих веществ.

ИЗВЕСТНЯК

Осадочная порода, образуется как в морских, так и в континентальных условиях. По генезису известняки делятся на хемогенные, органогенные, обломочные и смешанные. Содержит не менее 75% CaCO_3 , карбонатные, глинистые и песчаные частицы, MgCO_3 , SiO_2 . Часто содержит отпечатки флоры и фауны.

Окраска белая, светло-серая, тёмно-серая, жёлтая, чёрная. Структура неравномернозернистая, крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая. Текстура плотная, пористая, иногда очень рыхлая. Порода имеет плотность $1200\text{-}3100 \text{ кг/м}^3$. Прочность $R_{\text{сж}}$ от 6-36 МПа до 100-240 МПа

(перекристаллизованные окварцованные массивные мелкозернистые известняки). Бурно реагирует со всеми кислотами. Всегда пористый (2-40%), водопроницаемость больше, чем у любых других скальных пород. Иногда среди крепких известняков встречаются прослои «известковой муки». Хрупкий, маломорозостойкий. Подвержен выветриванию, трещиноватость постепенно приводит к разделению массива на плитки.

Встречается в виде протяжённых и выдержанных пластов различной мощности.

Известняки являются строительным материалом (бутовый камень, плиты, ступени, площадки), применяются в цементном деле, производстве соды, для получения карбида кальция и выжигания извести, в стекольной, сахарной промышленности, в сельском хозяйстве для нейтрализации кислых (болотных) почв.

ДОЛОМИТ назван, как и одноимённый порообразующий минерал, от имени французского минералога Деодата Доломье.

Осадочная хемогенная порода, образующаяся в морских условиях. Состоит, в основном, из минерала доломита (рис. 50). Содержит примесь кальцита, гипса, кварца, ангидрита. Окраска белая, жёлтая, серая. Структура зернистая, иногда скрытокристаллическая. Плотность 3100 кг/м^3 . Прочность 60-70 МПа. Прочнее и устойчивее к выветриванию, чем известняки. Порошок доломита бурно реагирует с соляной кислотой.

Доломит применяется в качестве строительного камня, щебня для автодорог и заполнения бетонов. Служит сырьём для некоторых сортов цемента, огнеупоров. В смеси с асбестом идёт на изготовление термоизоляции. Используется в резиновой и фармацевтической промышленности.



Рис. 50. Доломит

Органогенные
ИЗВЕСТНЯК РАКОВИСТЫЙ назван по составу. Синоним - ракушечник.

Осадочная горная порода биохимического происхождения. Образуется исключительно в морских условиях. Состоит из раковин, обломков раковин и скелетов морских животных (рис. 51,52). Минералогический состав ракушечника представлен кальцитом, доломитом, карбонатами.

Окраска белая розовая, жёлтая, красная, серая, тёмно-серая, чёрная. Структура ракушечная, коралловая, фузулиновая в зависимости от вида составных частей, а так же землистая. Текстура массивная, пористая (до 60%), кавернозная, сцементированная. Порода имеет плотность 1200-2500 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 4-150 МПа. Легко пилится. Бурно вскипает при взаимодействии с соляной кислотой (10%), растворяется в воде. Вследствие значительной пористости в них может наблюдаться циркуляция подземных вод, вызывающих растворение карбонатов. В связи с этим развивается кавернозность, ноздреватость и даже образование пещер.



Рис. 51. Известняк-ракушечник

Залегают в виде пластов мощностью в несколько десятков метров.

Надёжное основание, но подвержен выщелачиванию подземными водами. Используется для получения стеновых блоков, облицовочных плиток, заполнения лёгких бетонов. Изготовление известкового цемента, извести, бутового камня, щебня, флюс в металлургии. Применяется для устранения лишней кислотности, главным образом, подзолистых почв (известкование). Кроме того, известковые удобрения способствуют накоплению перегноя и питательных веществ, улучшают структуру почвы.



Рис. 52. Оолитовый известняк

МЕЛ

Осадочная горная порода биохимического происхождения. Образуется в морских условиях на глубине 50-500 м при накоплении известковых панцирей корненожек, скелетов микроскопических водорослей и организмов. Мел - одна из разновидностей органогенного известняка. Состоит из карбонатов (30-40% кальцита) и примесей глинистого ила.

Окраска белая, светло-серая, желтоватая, зеленоватая. Структура микрообломочная, тонкозернистая (0,01-0,005 мм). Текстура рыхлая, землистая. Неслоистая, внешне однородная. Порода имеет плотность 1800-2600 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 1-18 МПа, размягчается при увлажнении. Мягкий, пачкает руки. Бурно реагирует при взаимодействии с HCl 10% (отличие от диатомита, трепела и белой глины). Пористость 45-55%, хороший сорбент. Липнет к языку.

Залегаёт в виде мощных пластов (рис. 53) в равнинных местностях с первичным ненарушенным залеганием.



Рис. 53. Меловые пласты

В сухом состоянии полускальный, является неплохим основанием, но подвержен карстованию. При оценке необходимо учитывать механическую прочность, консистенцию, трещиноватость, возможность суффозии по трещинам. Мел используется в производстве портландцемента, извести, в стекольной, резиновой промышленности. Побелка, замазка, мастика, писчий мел. Производство кабелей, керамики, красок, лаков, глазури, взрывчатых веществ, зубного порошка, пластмассы. Применяется в сельском хозяйстве, пищевой промышленности, в медицине, в химической промышленности, для тонкой полировки. С помощью мела можно разделять на компоненты сложные смеси (до 15 составляющих), получать редкие и очень редкие металлы.

ДИАТОМИТ - назван по составу - из панцирей диатомовых водорослей (рис. 54). Синонимы: **диатомовая земля**.

Осадочная органогенная горная порода. Происхождение морское, реже континентальное. Минералогический состав: опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ до 95%, обломки кварца, глауконита, некоторое количество глинистых минералов. Окраска белая, жёлтая, светло-серая. Структура тонкообломочная. Текстура землистая, сильно пористая, рыхлая или слабо сцементированная. Разновидности: **горная мука** (рассыпчатый), **полировальный сланец** (плотный слоистый), **кизельгур** или **инфузорная земля** (рассыпчатый). Порода имеет плотность 400-1200 кг/м³ (у мела больше). Прочность $R_{\text{сж}}$ 4-5 МПа в сухом состоянии, легко растирается в порошок. Сильно влагоёмкий, что повышается с увеличением удельного веса породы, липнет к языку. $R_{\text{сж}}$ 0,1-0,6 МПа в водонасыщенном состоянии. Огнеупор, кислотоупор, плохая электропроводность и звукопроницаемость. Не реагирует с HCl (10%).

Диатомит используется в производстве тепло- и звукоизоляционных материалов, лёгкого кирпича, бетонов. Адсорбент для очистки воды, продуктов питания, нефтепродуктов. Абразив для ювелирных изделий.

Производство красок, динамита, отбеливающих материалов, наполнитель (для мастики, сургуча, папье-маше, гипса). Получение дымовых завес, жидкого стекла, спичек, добавка к мылу. Используется в медицине и в сельском хозяйстве.



Рис. 54. Диатомит - полировальный сланец

ТРЕПЕЛ от нем. Trepel.

Осадочная органогенная горная порода. Состав аналогичен составу диатомита ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ до 75-95%, халцедон, примесь кварца, глауконита, некоторое количество глинистых минералов, окислы железа и марганца), но почти нет органических остатков.

Окраска тёмно-серая до чёрного, белая, светло-серая, желтоватая, красноватая, бурая, пятнистая. Структура тонкозернистая (0,01-0,02 мм), глобулярная, оолитовая. Текстура землистая, тонкопористая. Пористость достигает 90% объёма породы. Порода имеет плотность 400-1200 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 2,5-5МПа. Сильно влагоёмкий, разрыхляется при увлажнении

и колебаниях температур. Кислотостойкий, не выщелачивается. Огнеупорный.

Трепел используется в производстве звуко- и теплоизоляторов, лёгкого кирпича, жидкого стекла, ультрамарина. Вяжущее вещество, активная добавка в пуццолановый цемент, полировка металлических изделий.

СЛАНЕЦ ГОРЮЧИЙ назван по способности расслаиваться на тонкие плитки и гореть.

Осадочная горная порода, образуется при одновременном осаждении глинистых и карбонатных частиц, а так же тонкого органического ила, мельчайших водорослей и др. в морских бассейнах. Без воздуха такая смесь разлагается и превращается в тёмную горную породу, пропитанную органическими веществами (преимущественно, сапропелевого типа 10-80%).

Окраска коричнево-серая, коричнево-жёлтая, оливково-серая (рис. 55), чёрная. Структура тонкозернистая. Текстура тонкослоистая, массивная, у выветрелых разностей листоватая.



Рис. 55. Оливково-серый листоватый горючий сланец

Горючий сланец используется для получения смол, удобрений, красителей, битума, мазута, электродного кокса, печатной олифы, бензина, дубителей кож, серы, лаков, моющих веществ, бензола, толуола. Из него производят бытовой газ, фенол, ароматические углеводороды, клей для строительной индустрии (для скрепления блоков), пластмассу. Служит для защиты от коррозии, заменяет пайку и сварку. Топливо.

Породы сложного генезиса

МЕРГЕЛЬ от нем. Mergel, лат. marga. Синонимы: **трескун, рухляк** (так как подвержен быстрому выветриванию), **глинистый известняк**.

Осадочная горная порода сложного генезиса. Образуется как в морских, так и в континентальных условиях. Состоит из уплотнённой глины типично химического происхождения, обогащённой карбонатами (кальцитом, доломитом) химического и органогенного происхождения:

- от 25 до 50% кальцита - **глинистый мергель**;
- от 50 до 80% кальцита - **известковистый мергель**;
- около 50% доломита - **доломитовый мергель**. В качестве примесей содержат опал, кварц, гидроокислы железа и др.

Окраска яркая, пёстрая, преобладают светлые, жёлтые, бурые тона. Структура тонкозернистая. Текстура массивная, землистая, сланцеватая – **мергелистый сланец**, иногда сцементированная. Порода имеет плотность 1900-2500 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 6-30 МПа. Полускальный, ненадёжный, т. к. при переменном увлажнении и просыхании быстро выветривается, растрескивается и разрушается, превращаясь в грязеподобную массу. При циркуляции вод в трещинах - набухает, промерзает и разрушается. Бурно вскипает при взаимодействии с соляной кислотой, на поверхности остаётся грязное пятно. Отчётливый запах глины. Пластообразные залежи (рис. 56).

Мергель - ценное сырьё для производства портландцемента, романцемента. Обожжённый и измельчённый мергель - хороший цемент без примесей. Удобрение.



Рис. 56. Пластообразные залежи мергеля

ОПОКА (польск.), синоним - геза.

Осадочная горная порода сложного генезиса. Образуется в морских условиях. Содержит 92-98% опала неорганического происхождения ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), до 10% кремнистых панцирей водорослей и остатков органики, сцементированных кремнистым веществом трепелов (рис. 57). Постепенно переходят в глину.

Окраска светло-жёлтая, жёлтая, серая, тёмно-серая, зеленовато-чёрная. Структура мелкозернистая. Текстура микропористая, сцементированная. Порода имеет плотность 1100-2500 кг/м³. Твёрдая, но хрупкая. Излом гладкий, часто раковистый. Пористость около 40%, влажность около 20%. Не размокает в воде, с HCl (10%) не реагирует). Неморозостойкая, быстро выветривается, распадаясь на угловатые обломки. Удовлетворительное основание. Опока используется в качестве добавки к портландцементу, для

изготовления лёгких бетонов, керамики, теплоизоляции. Хороший адсорбент, отбеливающее вещество.



Рис. 57. Опока

Контрольные вопросы:

- 1. Как образовались осадочные горные породы?*
- 2. Как классифицируются осадочные горные породы?*
- 3. Как классифицируются обломочные горные породы?*
- 4. Назовите осадочные горные породы с наиболее высокими фильтрационными свойствами.*
- 5. Какие осадочные горные породы применяются для облицовки фасадов?*
- 6. Какие осадочные горные породы применяются для приготовления строительных растворов?*
- 9. Какие осадочные горные породы применяются для приготовления бетонов?*
- 10. Какие осадочные горные породы применяются как топливо?*
- 11. Какая осадочная порода используется в пищевой промышленности?*

2.4 МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Термин **«метаморфизм»** (от греч. metamorpho – превращаюсь, преобразуюсь) переводится с греческого языка как «последующая, измененная форма». Он представляет собой процессы изменения минерального состава и структурно-текстурных особенностей горных пород без их переплавления. Горные породы, попавшие в новые для себя термодинамические условия глубинных частей земной коры, и подвергшиеся глубокому преобразованию называются метаморфическими.

ГЕНЕЗИС метаморфических горных пород обусловлен воздействием на исходные горные породы давления, температур и химических веществ, отличных от тех, при которых они образовались. Такому изменению могут подвергнуться любые уже существующие горные породы, поэтому метаморфические горные породы являются вторичными (рис. 58).

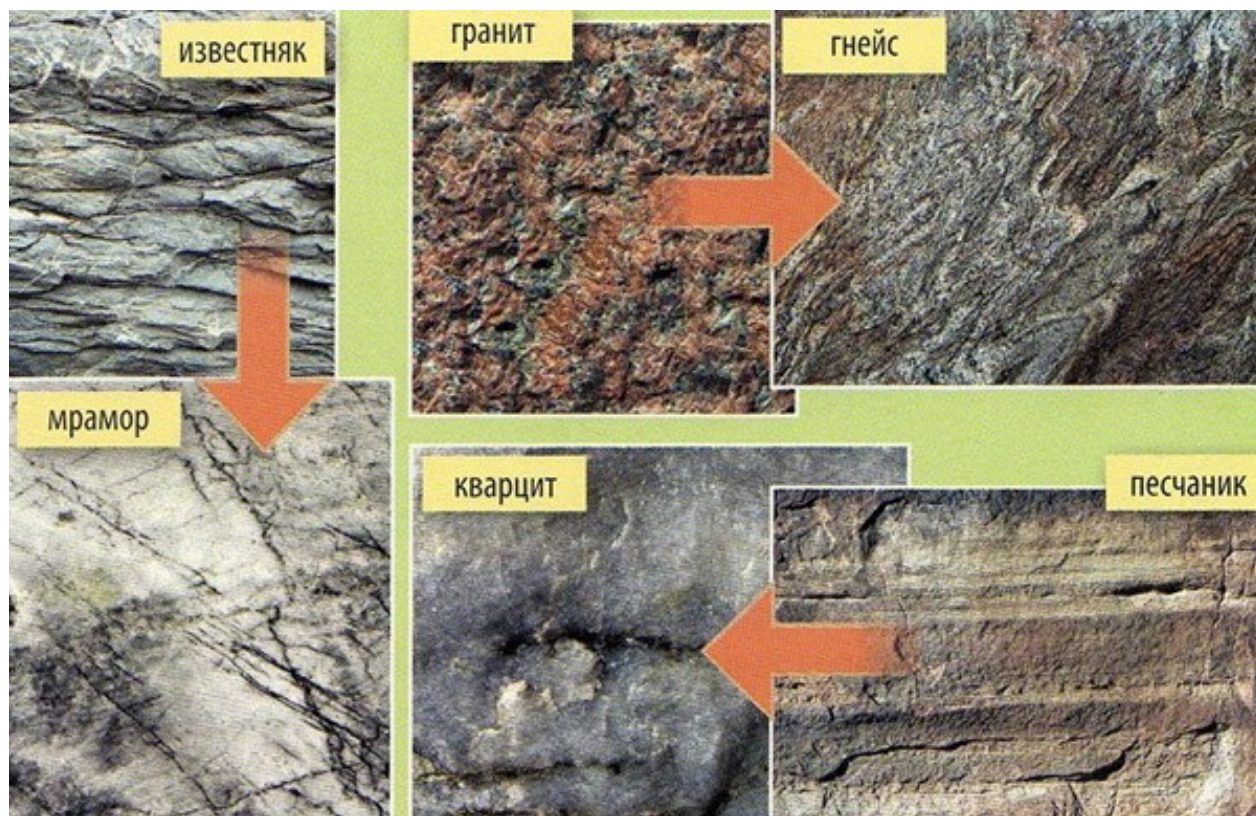


Рис. 58. Метаморфизм горных пород

Выделяются несколько видов метаморфизма:

а) **к о н т á к т о в ы й** метаморфизм – это изменение исходных, преимущественно осадочных пород, под действием высоких температур при внедрении в них магматических тел (*образование мрамора на контакте интрузивного тела с известняками*);

б) **д и н а м о м е т а м о р ф и з м** – механическое разрушение (дробление и перетирание) горных пород под влиянием одностороннего давления при тектонических движениях земной коры (*тектонические брекчии*);

в) **р е г и о н а л ь н ы й** метаморфизм развивается на глубинах 8-20 км, где давление от веса толщ горных пород очень велико. Происходит перекристаллизация пород на обширных территориях (*гнейс*);

г) **м е т а с о м а т ó з** – преобразование пород в результате привноса или выноса химических компонентов.

Минеральный СОСТАВ метаморфических горных пород (табл. 6) определяется составом исходных пород и включает в себя минералы, характерные как для магматических, так и для осадочных пород.

Главные (породообразующие) минералы - *кварц, полевые шпаты, роговая обманка, слюды, кальцит, магнезит, доломит, магнетит, гематит и др.*);

второстепенные (акцессорные) - *тальк, хлорит, глинистые минералы и другие.*

Мономинеральные метаморфические породы (*мрамор, кварцит*) и полиминеральные (*гнейс*).

Химический СОСТАВ метаморфических горных пород соответствует составу исходных пород, кроме случаев метасоматоза.

Таблица 6

Название групп пород	Фации метаморфизма	Примеры наиболее характерных метаморфических пород
Регионально-метаморфические	Низкая ступень – фация зеленых сланцев. Начальная.	Филлиты, хлоритовые, глинистые, тальковые, зеленые сланцы. Критическим (важнейшим) является минерал актинолит
	Средняя ступень – амфиболитовая фация	Слюдяные сланцы, амфиболиты, мраморы, кварциты. Критический минерал – роговая обманка
	Высокая ступень – гранулитовая и эклогитовая фация	Гнейсы, кварциты, мраморы, гранулиты, эклогиты – для них свойственны оливин, пироксен, гранаты, кордиерит и др.
	Ультраметаморфизм	Мигматиты
Контактово-метаморфические	Собственно-контактово-метаморфические	Роговики
	Контактово-метасоматические	Грейзены, скарны
Динамометаморфические		Тектонические брекчии, милониты.

СТРУКТУРЫ:

- **реликтовая** (остаточная) – сохраняются элементы структур исходных пород (*глинистая у глинистых сланцев*);

- **катакластическая** – порода представляет собой сцементированное скопление обломков (*тектоническая брекчия*);
- **полнокристаллическая** – зёрна всех минералов в породе хорошо сформированы и легко различимы (*мрамор, гнейс*);
- **гранобластовая** (равномернозернистая) - все частицы в горной породе имеют приблизительно равные размеры (*мрамор, кварцит*);
- **порфиробластовая** (неравномернозернистая) - на фоне зёрен одного вида выделяются крупные кристаллы других минералов (*зерна граната в сланцах*);
- **сливная** – порода представляет собой сплошную однородную микрозернистую массу (*роговик*).

ТЕКСТУРЫ:

- **массивная** - горная порода представляет собой плотную однородную массу (*кварцит, мрамор*);
- **сланцеватая** - совершенно однородная порода легко разделяется на тонкие плитки (*филлит*);
- **полосчатая** - чередование полос разного состава и цвета (*гнейс*);
- **пятнистая** - наличие в породе участков (пятен), отличающихся составом и окраской (*гнейс, яшма*);
- **плойчатая** - наличие в породе мелких складочек (*слюдистые сланцы*).

ОКРАСКА разнообразна, часто очень декоративна.

ПЛОТНОСТЬ не имеет большого разброса, так как среди них нет пористых разновидностей. Характерны средние значения плотности 2300-3000 кг/м³.

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ

Вторичная трещиноватость возникает в метаморфических горных породах в результате тектонических движений участков земной коры.

Экзогенная трещиноватость связана с выветриванием. Метаморфические породы обладают меньшей устойчивостью к выветриванию, чем другие породы. Это обусловлено резким отличием термодинамических условий на поверхности земли от условий в месте их образования. Основная масса трещин ориентирована вдоль сланцеватости. Поэтому оценка степени трещиноватости (наряду с изучением состава пород) требует особого внимания в ходе инженерно-геологических изысканий.

ПРОЧНОСТЬ метаморфических пород колеблется в широких пределах от 25-60 МПа у *зелёных сланцев* до 400 МПа у *кварцитов*. Жёсткие кристаллизационные связи между новообразованными минералами у них менее прочны, чем, например, в магматических породах.

Кроме того, на показатель прочности метаморфических пород, обладающих сланцеватостью, оказывает влияние их **анизотропность** (неоднородность свойств по разным направлениям). Поэтому значения $R_{сж}$, полученные в направлении параллельном сланцеватости, значительно меньше, чем в перпендикулярном направлении.

УСТОЙЧИВОСТЬ В СООРУЖЕНИЯХ определяется количеством времени, в течение которого порода сохраняется в городских условиях, то есть при воздействии влаги и дымовых газов. Весьма популярный в облицовке мрамор начинает разрушаться через 20 -130 лет, полное разрушение происходит через 100 -1200 лет;

кварцит в городских условиях начинает разрушаться через 220 - 470 лет, полное разрушение происходит через 1600 лет.

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ метаморфических пород напрямую зависит от степени их трещиноватости.

ХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ может проявляться у пород, содержащих кальцит, доломит, магнезит и др. (*мрамор бурно вскипает при взаимодействии с 10%-ной соляной кислотой HCl*). С водой реагируют, то есть растворяются в ней практически те же активные породы, их растворению способствует CO₂.

ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ метаморфических пород определяются типом метаморфизма:

- **динамометаморфизм** образует мощные зоны смятия и разломов;
- **региональный** метаморфизм более или менее сохраняет формы залегания исходных пород, обычно это обширные мощные слои;
- **метасоматоз** обычно не ведёт к изменению форм залегания исходных пород;
- при **контактовом** метаморфизме образуются своеобразные оболочки ореолы вокруг интрузий.

ПРИМЕНЕНИЕ

а) метаморфические горные породы с массивной текстурой являются надёжным **основанием сооружений**. Осложнения могут возникнуть в тех случаях, когда породы обладают сланцеватостью. При небольших нагрузках опасности для зданий и сооружений не возникает, но если они являются подземными или подпорными, то от строительства на таких участках нередко приходится отказываться;

б) метаморфические горные породы с древнейших времён используются в строительстве в естественном виде, пройдя лишь поверхностную обработку:

- **штучный камень** - кварцит, мрамор и др.;

~ **монументальный камень**. Стоимость такого камня в большой степени зависит от его внешнего вида (белый скульптурный мрамор с розовым оттенком дороже, чем обладающий другими оттенками, т.к. изделия из него кажутся живыми, а серый или сиреневый оттенок придаёт скульптурам мёртвый вид).

~ **облицовочный камень** требует рационального применения (мрамор во внутренней облицовке стен устойчив, долговечен и декоративен; полы и лестницы из него скользкие и при большом потоке людей быстро снашиваются; облицовка крыльца мрамором, особенно в условиях Сибири, недопустима).

- **дроблёный камень** – гнейс, кварцит;

в) многие метаморфические горные породы служат **сырьём** для изготовления строительных материалов:

- производство **извести** – мрамор;
- **стекло** производится с применением мрамора;
- **огнеупоры** – получают из кварцитов;

г) **другое** применение метаморфических горных пород:

- **металлургия** – железистые кварциты;
- производство **кислотоупоров** – кварцит;
- производство **абразивов** – кварцит;
- **сельское хозяйство** – мрамор;

- **источники ценных элементов** - кварциты и некоторые другие метаморфические породы являются рудами вольфрама, олова, меди, поделочными и ювелирными камнями – нефрит, лазурит, чароит, яшма и др.

2.4.1 Описание метаморфических горных пород

ЯШМА от араб. «яшб», греч. «яспис».

Состоят из скрытокристаллического кварца, иногда халцедона с включением микроскопических зёрен песка, глины, остатков радиолярий и диатомита (рис. 59).

Различные цвета породы обусловлены окрашиванием оксидами железа и марганца. Яшмы бывают красного, жёлтого, коричневого, серого, зелёного и других цветов. Окраска может быть неравномерной - пёстрой, полосчатой, пятнистой. Это так называемые сургучные, парчовые, пейзажные, ленточные яшмы.

Плотность 2800-3000 кг/м³. Яшмы характеризуются исключительной прочностью не только на сжатие ($R_{сж}$ до 250 МПа), но и на разрыв. Излом раковистый.

Яшма — изумительно красивый и очень прочный камень, широко используется для изготовления поделок и облицовки.



Рис. 59. Яшма

МРАМОР от греч. «марморос» - блестящий.

Образуется из известняка или доломита в результате контактового или глубинного метаморфизма.

Мономинеральная порода: кальцит; иногда кварц, полевые шпаты, оливин, пирит.

Окраска разнообразная, часто пятнистая с красивым рисунком: белая (без примесей), серая, голубая, розовая, жёлтая (вызвана присутствием окислов и гидроокислов железа), чёрная (примесь графита), зеленоватая (если присутствует хлорит).

Структура полнокристаллическая, равномернозернистая. Поверхность зёрен ровная (спайность совершенная) Текстура массивная, сланцеватость не характерна. Порода имеет плотность 2600-2900 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 50-120 МПа, у мелкозернистого доломитизированного мрамора до 200 и более МПа. Бурно вскипает при взаимодействии с 10%-ной соляной кислотой. Слабо растворяется в воде в присутствии углекислого газа, но к выветриванию устойчив. Прекрасно полируется. В городских условиях начинает разрушаться через 20-130 лет, полное разрушение происходит через 100-1200 лет.

Применяется для облицовки внутренних частей зданий, а наиболее погодостойкие разности белого и серого цвета можно использовать для наружной облицовки. Применяется для декоративных и отделочных работ, из мраморного «песка» и «крошки» создают орнаменты и скульптурные изделия, декоративный облицовочный бетон. Отходы от получения штучного камня идут на заполнение мозаик. Минеральный порошок используется в производстве асфальтобетона, в чёрной металлургии при сооружении мартеновских печей. Применяется в стекольной и электротехнической промышленности, в дорожном строительстве, в качестве удобрения и сырья для выжигания извести. Электроизоляционный материал.

КВАРЦИТ назван по составу: 95-99% составляет кварц (SiO_2) (рис. 60).

Продукт регионального метаморфизма кварцевых песков и песчаников. Представляет собой скопление зёрен кварца, скреплённых силикатным цементом, иногда содержит слюды, хлорит, железистые соединения. Окраска разнообразная: розовая, серая, жёлтая, чёрная. Структура мелкозернистая, скрытокристаллическая. Текстура массивная, плотная, реже сланцеватая. Порода имеет плотность 2800-3000 кг/м³. Прочность $R_{сж}$ 100-455 МПа. Излом раковистый, гладкий блестящий, поэтому обладает пониженным сцеплением с вязкими веществами. Порода крепкая. Поверхность зёрен неровная (спайность отсутствует). Твёрдость более 5, оставляет царапину на стекле (отличие от мрамора). Выдерживает температуру 1710-1770°C. Не реагирует с соляной кислотой, устойчив против горячих щелочей, кислот, едких газов, «царской водки». Хрупкий, при раскалывании образует острые режущие рёбра. Обрабатывается с трудом, но даёт красивую полированную поверхность. Очень устойчив, разрушение в городских условиях начинается через 220-470 лет, полное разрушение - через 1600-1625 лет.



Рис. 60. Кварцит

Кварцит – хороший строительный и облицовочный материал. (облицовка зданий, опор мостов). Абразив, щебень, бутовый камень, огнеупор и сырьё для производства динасового кирпича (выдерживает температуру 1550-1650°C без деформации). Железистые кварциты - высококачественная железная руда.

СЕРПЕНТИНИТ (змеевик) назван так из-за зелёной пятнистой окраски, напоминающей шкуру змеи. Образуется из ультраосновных пород при воздействии на них водных растворов в зоне контакта. Состоит из минерала серпентина с примесью магнетита.

Структура скрытокристаллическая, текстура массивная. Плотность 2500-2700 кг/м³. Предел сопротивления сжатию составляет 65-125 МПа.

Плотные декоративно окрашенные разности серпентинита используются в качестве облицовочного и поделочного камня (для изготовления шкатулок, чернильных приборов, столешниц). Может использоваться в качестве щебня для автодорог и заполнения бетонов.

ГНЕЙС от нем. Gneis. Синоним - гноец, - от славянского «гнилой».

Метаморфическая горная порода, образовавшаяся в результате процессов регионального, контактового или динамометаморфизма. Выделяют ортогнейсы, сформировавшиеся при перекристаллизации гранитов, и парагнейсы - продукты метаморфизации осадочных пород. По минералогическому составу аналогичен граниту: кварц, полевой шпат, слюды, амфиболы, пироксены. Окраска полосчатая светло-серая, зеленоватая. Структура гнейса зернисто-кристаллическая. Текстура плотная, полосчатая, ленточная, грубо- или тонкосланцеватые разности (рис. 61).



Рис. 61. Гнейс

Порода имеет плотность 2400-2800 кг/м³. Прочность перпендикулярно сланцеватости $R_{сж}$ 80-180 МПа, параллельно сланцеватости значительно меньше, поэтому порода легко раскалывается по направлениям гнейсоватости. Маломорозостойкий, мало устойчив к выветриванию.

Хороший щебень для дорожного строительства, плохой для бетонов. Получают плиты, брусчатку, облицовку, бутовый камень.

ФИЛЛИТ от греч. «филлитис» - листоватый. Глинисто-углистый сланец.

Продукт начальной стадии регионального метаморфизма глин. В минералогическом составе филлита выделяют мелкочешуйчатые слюды, тонкозернистый кварц, полевые шпаты. Окраска породы серая, зеленоватая, красноватая, чёрная. Структура глинистая (зёрна размером около 0,005 мм). Текстура тонкосланцеватая. В воде не размокает, издаёт запах глины. На

плоскостях раскола шелковистый блеск (рис. 62), обусловленный присутствием чешуек слюды (отличие от глинистого сланца).



Рис. 62. Филлит

Плотность 2600-2900 кг/м³. Особенностью сланцев является анизотропия (неравномерность) свойств по разным направлениям. В среднем $R_{сж}$ равно 170 кг/см² в направлении, параллельном сланцеватости и 260 кг/см² перпендикулярно ей.

Используется как кровельный материал.

СЛЮДИСТЫЕ СЛАНЦЫ состоят, главным образом, из зёрен кварца и хлорита, чешуек слюды. В отличие от филлитов зёрна этих минералов более крупные, и видны невооружённым глазом (рис. 63). Это породы более высокой степени метаморфизма. Названия слюдяным сланцам дают по типу слюд: биотитовые, мусковитовые, биотит-мусковитовые или

двуслюдяные или по вторичным минералам: гранатовые, хлоритовые. Окраска слюдяных сланцев светло-серая, зеленовато-серая, тёмно-серая. Структура кристаллически-зернистая, текстура сланцеватая.

Плотность 2500-2700 кг/м³. Слюдяные сланцы прочнее филлитов, особенно в направлении, перпендикулярном сланцеватости $R_{сж}$ 1200-1600 кг·с/см² (у водонасыщенных образцов прочность снижается на 30%). По сланцеватости $R_{сж}$ меньше почти на $\frac{1}{3}$.

В толще эти породы очень сильно трещиноваты, водопроницаемы.

Сланцы мало пригодны для применения в строительстве, иногда используются для получения тепло- и электроизоляционных плит.



Рис. 63. Слюдистые сланцы

ТАЛЬКОВЫЕ СЛАНЦЫ формируются, главным образом, из магматических пород основного состава (габбро, диабазов и т.д.) и состоят из чешуек талька. В этом случае окрашены в белый цвет. Могут содержать в разных количествах хлорит и мелкочешуйчатую слюду, роговую обманку, реже – другие минералы, что отражается на окраске породы.

Структура чешуйчатая, текстура сланцеватая. Жирные на ощупь. Плотность 2700-2750 кг/м³.

Тальковые сланцы находят применение в качестве сырья для производства огнеупоров, керамики, а так же в бумажной, резиновой и парфюмерной промышленности. Нагреванием тальк может быть превращён в минерал форстерит.

ЗЕЛЁНЫЕ СЛАНЦЫ названы так из-за ярко-зелёной окраски, вызванной присутствием хлорита, а так же актинолита, талька (рис. 64). Образуются за счёт метаморфизации основных пород (габбро, порфириров).

Структура зернисто-чешуйчатая, текстура сланцеватая.



Рис. 64. Зелёный сланец

Плотность 2600-2900 кг/м³. Прочность зелёных сланцев в направлении, перпендикулярном сланцеватости, обычно составляет 450-600 кг·с/см² у сухих образцов и 250-300 кг·с/см² у водонасыщенных. По сланцеватости прочность на сжатие меньше приблизительно на 1/3. Они устойчивы к химическому выветриванию, но легко разрушаются при переменном промерзании и оттаивании.

В строительстве широкого применения не получили.

Контрольные вопросы

- 1. Как образовались метаморфические горные породы?*
- 2. Как классифицируются метаморфические горные породы?*
- 3. Раскройте сущность метаморфизма?*
- 4. Что такое контактовый (региональный) метаморфизм?*
- 5. Какие из метаморфических пород применяются для облицовки внутренних и внешних фасадов?*
- 7. Дайте полное описание кварцита.*
- 8. В чём различие ортогнейса от парагнейса?*
- 9. Дайте определение структуры и текстуры. Приведите примеры.*

Глава 3. ГРУНТЫ

Грунты - это горные породы, почвы (биолиты) и техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многообразную геологическую систему и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека с инженерно-геологических и строительных позиций, для рационального освоения геологической среды и решения разнообразных инженерно-строительных задач. Свойства грунтов определяются их составом и структурой, формируются в процессе генезиса и изменяются под влиянием постгенетических процессов.

Грунты могут служить:

- 1) материалом оснований зданий и сооружений;
- 2) средой для размещения в них сооружений;
- 3) материалом самого сооружения.

При проектировании и строительстве следует различать собственно грунты и массивы грунтов, потому что свойства грунта могут различаться в зависимости от условий его залегания, а показатели свойств, определенные по испытаниям отдельных образцов, могут отличаться от показателей свойств массива тех же грунтов.

Массив грунтов - геологическое тело, образующее геологическую структуру или часть её и характеризующееся присущими только ему составом, строением и инженерно-геологическими закономерностями.

Для рационального использования грунтов в строительной практике проводят инженерно-геологические исследования, включающие определение физических, водных, прочностных и деформационных свойств.

Физические свойства грунтов характеризуют их физическое состояние в условиях природного (нечтвенного) залегания.

Вещественный состав грунта включает в себя:

а) твердую минеральную массу, состоящую из первичных зерен скелета грунта (обломков горных пород и минералов) и вторичных частиц, служащих цементирующим веществом грунта;

б) органические вещества, которые могут быть представлены торфом (грубой полуразложившейся массой растительных остатков) и гумусом (продуктом разложения растительных остатков в виде темного бесструктурного вещества).

в) воду в различных агрегатных состояниях и количествах (от десятых долей процента до полного водонасыщения).

Плотность - это отношение массы твердых частиц грунта к их объему. Эта характеристика зависит только от плотности слагающих грунт минералов. Кроме того, различают еще несколько подобных характеристик, учитывающих содержание в грунте воды, газов и т.д. (объемная масса скелета грунта, объемная масса абсолютно сухого грунта, объемная масса влажной породы).

Пористость - суммарный объем всех пор в единице объема грунта, независимо от их величины, заполнения и характера взаимосвязи. Коэффициент пористости равен отношению объема пустот к объему твердой фазы грунта, выраженному в долях единицы.

Влажность - это содержание в грунте того или иного количества воды. Выделяют несколько разновидностей этой характеристики (естественная, весовая, объемная).

Водные свойства - возникают в грунтах при взаимодействии их с водой или характеризуют отношения грунтов к воде.

Консистенция - степень подвижности частиц грунта, обусловленная различным содержанием в нём воды. Характеризует глинистые грунты и бывает твердой, пластичной или текучей.

Пластичность - способность грунта изменять форму без нарушения сплошности под воздействием внешних усилий и сохранять приданную форму после устранения воздействия. Пластичность грунтов изменяется в зависимости от количества и качества находящейся в грунте воды.

Липкость - способность грунтов, содержащих глинистые частицы при определенном содержании воды прилипать к предметам. Определяется усилием (МПа), которое надо приложить, чтобы оторвать предмет от грунта.

Размокаемость - способность грунта при погружении в спокойную воду терять связность и превращаться в рыхлую массу с полной или частичной потерей несущей способности.

Размягчаемость - уменьшение прочности грунта под влиянием увлажнения. Характеризуется коэффициентом размягчаемости, который равен отношению прочности водонасыщенного грунта к прочности сухого грунта.

Набухание - способность грунтов, содержащих глинистые частицы, увеличиваться в объёме при увлажнении.

Усадка - процесс снижения объёма глинистых грунтов при высыхании.

Влагоёмкость (гигроскопическая, максимальная молекулярная) - способность грунтов вмещать в порах и удерживать на поверхности частиц то или иное количество воды.

Водоотдача - способность грунта, насыщенного водой, отдавать её под действием силы тяжести.

Капиллярность - наличие в грунте мелких пор различного сечения, формы и ориентации в пространстве, способствующих поднятию по ним некоторого количества воды из водоносного слоя в вышележащие слои.

Водопроницаемость - способность грунта пропускать через себя некоторое количество воды в единицу времени.

Водонасыщение - это свойство дисперсных грунтов впитывать и удерживать в себе свободную воду.

Механические свойства проявляются при приложении к грунтам внешних усилий:

Деформируемость грунтов проявляется в изменении формы и объема при воздействии внешних усилий, не приводящих к разрушению. Зависит от вида грунта, его структуры, пористости, состава, влажности.

Прочность - степень сопротивления грунта разрушающему воздействию на него внешних сил.

Химические свойства грунтов проявляются в зависимости от наличия в их составе некоторых компонентов:

Растворимость грунтов в воде зависит как от химического состава грунта, так и от состава воды.

Засоленность (степень засоленности) - содержание легко- и среднерастворимых солей в процентах от массы абсолютно сухого грунта. К легкорастворимым солям относятся: хлориды NaCl , CaCl_2 , KCl , MgCl_2 ; бикарбонаты NaHCO_3 , Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; карбонат натрия Na_2CO_3 , сульфаты магния и натрия MgSO_4 , Na_2SO_4 . К среднерастворимым солям относятся гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и ангидрит CaSO_4 .

Классификация грунтов включает таксономические единицы, выделяемые по группам признаков:

- класс - по общему характеру структурных связей;
- группа - по характеру структурных связей (с учетом их прочности);
- подгруппа - по происхождению и условиям образования;
- тип - по вещественному составу;
- вид - по наименованию грунтов (с учетом размеров частиц и показателей свойств);

- разновидности - по количественным показателям вещественного состава, свойств и структуры грунтов, инженерно-геологических, так и строительных позиций.

Важнейшее значение имеет изучение состава и свойств грунтов, так как именно данные о них необходимы для расчётов, связанных с проектированием любых сооружений и разработкой систем инженерной защиты территории и строительных объектов.

Наибольший интерес представляют физические свойства грунтов: гранулометрический состав, пластичность, естественная влажность, объемный вес, фильтрация, а также ряд данных по искусственному уплотнению и размокаемости грунтов, получаемых в лабораторных условиях.

Наряду с показателями физических свойств грунтов, при определении их несущей способности, большую роль играют механические свойства, в основном сопротивление сдвигу и сжимаемость. Показатели по сопротивлению сдвигу и сжимаемости могут быть получены как в лабораторных условиях (при испытании монолитов грунта с ненарушенной структурой), так и в полевых условиях, при испытаниях грунтов в естественном массиве, с применением различных приборов (крыльчаток, штампов, пенетрометров).

Факторами, влияющими на устойчивость грунтов, являются также динамические воздействия транспортных средств, длительное влияние ряда климатических факторов, а также некоторые технологические свойства грунтов, влияющие на их прочностные свойства.

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

Согласно ГОСТ 25100 - 95 «Грунты. Классификация», все грунты по общему характеру структурных связей делятся на четыре класса:

I. Класс природных скальных грунтов (с жесткими структурными связями - кристаллизационными и цементационными) магматические, метаморфические и прочные осадочные грунты.

II. Класс природных дисперсных грунтов (нескальных) (с механическими и водно-коллоидными структурными связями) – осадочные обломочные рыхлые, хемогенные и органогенные горные породы.

III. Класс природных мерзлых грунтов (с криогенными структурными связями, т. е. с наличием льда и отрицательной температурой) -скальные и дисперсные грунты.

IV. Класс техногенных грунтов (с различными структурными связями, возникшими в результате деятельности человека) - скальные, дисперсные и мёрзлые грунты.

Классификация грунтов включает таксономические единицы, выделяемые по группам признаков:

- класс - по общему характеру структурных связей;
- группа - по характеру структурных связей (с учетом их прочности);
- подгруппа - по происхождению и условиям образования;
- тип - по вещественному составу;
- вид - по наименованию грунтов (с учётом размеров частиц и показателей свойств);
- разновидности - по количественным показателям вещественного состава, свойств и структуры грунтов, инженерно-геологических, так и строительных позиций.

Наименования грунтов должны содержать сведения об их геологическом возрасте, в соответствии с местными стратиграфическими схемами. Например: «верхнечетвертичные суглинки», «палеогеновые

глины» и т. д.

Допускаются дополнения и изменения к характеристикам грунтов по разновидностям в случаях появления новых количественных критериев, в результате научно-технических разработок.

Классификация грунтов по ГОСТ 25100—95 распространяется на все грунты и является обязательной при производстве инженерно-геологических изысканий, проектировании и строительстве зданий и сооружений.

3.1.1 Класс природных скальных грунтов (с жесткими структурными связями - кристаллизационными и цементационными) магматические, метаморфические и прочные осадочные силикатные и карбонатные горные породы (песчаник, известняк, гипс и др.) в сцементированном и кристаллическом состоянии.

В инженерно-геологических целях их обычно подразделяют по пределу прочности на одноосное сжатие, коэффициенту размягчаемости в воде и степени выветрелости (табл. 7).

Структурные и текстурные особенности, определяющие в совокупности сложение горной породы, являются неодинаковыми для различных групп скальных пород и зависят в основном от условий их образования. При этом под структурой понимают особенности горной породы, зависящие от формы и величины ее составных частей (зерен, кристаллов), а под текстурой особенности, зависящие от их взаимного расположения.

Крепость или прочность скальных пород зависит с одной стороны от их минералогического состава и сложения, а с другой стороны от степени выветривания, в связи с чем, однотипные разности пород могут быть различными по прочности.

Скальные грунты залегают обычно в виде сплошного или трещиноватого массива. Наличие структурных связей кристаллизационного

типа обуславливает их малую деформируемость и высокую прочность, которая значительно превосходит нагрузки, существующие в строительной практике.

Важнейшей классификационной характеристикой скальных грунтов является предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии R_c , МПа, который представляет собой отношение нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади первоначального поперечного сечения. В зависимости от величины R_c различают скальные ($R_c > 5$ МПа) и полускальные ($R_c < 5$ МПа) грунты.

Наибольшие значения предела прочности на одноосное сжатие характерны для железистых кварцитов, мелкозернистых гранитов и монолитных диабазов, а также габбро, базальтов - до 380-460 МПа, а наименьшие для осадочных сцементированных и химических — известняк выветрелый, песчаник выветрелый и др. — 8-40 МПа.

Скальные грунты мелко- и равномернозернистые имеют значительно большую прочность, чем крупнозернистые и порфировидные.

Полускальные грунты это сильно трещиноватые и выветрелые магматические (эффузивные) породы (обсидиан), а также уплотненные и отвердевшие осадочные образования, не подвергавшиеся процессам перекристаллизации. К полускальным породам относятся: аргиллиты, мергели, опоки, песчаники с глинистым цементом и некоторые осадочные хемогенные и органогенные породы - мел, гипс, каменные соли, известняки-ракушечники. К полускальным относятся песчаники и конгломераты с глинистым цементом. Одна и та же порода (например, песчаник) в зависимости от типа цемента может относиться либо к скальным (песчаник на кремнеземистом цементе), либо к полускальным (песчаник на глинистом цементе).

Для полускальных пород характерна их механическая прочность (до 50 кг/см²) и снижающаяся прочность при водонасыщении. Все эти свойства в

конкретном выражении устанавливают лишь в результате лабораторных испытаний отобранных проб.

По своим параметрам полускальные грунты отличаются от скальных меньшей прочностью ($R_c < 5$ МПа), большей деформируемостью, пористостью и влагоёмкостью. В целом они достаточно устойчивы по прочности, однако из-за способности некоторых из них к размягчению и растворению в воде (ангидрит, каменная соль, мергель и др.) требуют в ряде случаев применения сложных инженерных мероприятий при строительном освоении. Отношение к воде и, в первую очередь, их растворимость имеют важное значение не только для полускальных, но и для некоторых скальных грунтов (известняки, доломиты). С этими грунтами связано развитие карста.

Таблица 7

Характеристика скальных и полускальных грунтов

Принцип разделения	Разновидности грунтов	Показатель
По пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии	Скальные очень прочные прочные средней прочности малопрочные	$R_c > 120$ МПа $120 > R_c > 50$ $50 > R_c > 15$ $15 > R_c > 5$
	Полускальные пониженной прочности низкой прочности весьма низкой прочности	$5 > R_c > 3$ $3 > R_c > 1$ $R_c > 1$
По коэффициенту размягчаемости в воде	Неразмягчаемые Размягчаемые	$K_{sop} > 0,75$ $K_{sop} < 0,75$
По степени выветрелости	Невыветрелые монолитные	Породы залегают в виде сплошного массива, $K_{wt} = 1$
	Слабовыветрелые (трещиноватые)	Породы залегают в виде отдельностей (глыб), $1 > K_{wt} > 0,9$
	Выветрелые	Породы залегают в виде скопления кусков, переходящего в трещиноватую скалу, $0,9 > K_{wt} > 0,8$
	Сильнотрещиноватые (рухляки)	Породы залегают во всем массиве в виде отдельных кусков, $K_{wt} < 0,8$

На прочностные показатели скальных и полускальных грунтов большое влияние оказывает коэффициент выветрелости, т. е. отношение плотности выветрелого грунта к плотности неветрелого. При значении $<0,9$ прочность грунтов значительно снижается. Так, например, предел прочности гранита на одноосное сжатие R_c в неветрелом состоянии составляет 80-380 МПа, а для выветрелых разновидностей он не превышает 4-6 МПа. Рассматриваемый класс грунтов подразделяют и по величине коэффициента размягчаемости, т. е. по отношению пределов прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях.

На прочностные показатели скальных и полускальных грунтов большое влияние оказывает коэффициент выветрелости K (таблица 7), т. е. отношение плотности выветрелого грунта к плотности неветрелого. При значении $K_{вт} < 0,9$ прочность грунтов значительно снижается. Так, например, предел прочности гранита на одноосное сжатие R_c в неветрелом состоянии составляет 80 - 380 МПа, а для выветрелых разновидностей он не превышает 4 - 6 МПа.

Рассматриваемый класс грунтов подразделяют и по величине коэффициента размягчаемости $K_{сop}$, т. е. по отношению пределов прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях (табл.7).

Одним из важнейших вопросов при инженерно-геологических исследованиях скальных и полускальных грунтов является оценка их трещиноватости. Разбивая массив скальных грунтов на отдельные блоки, трещиноватость увеличивает водопроницаемость, деформируемость, снижает прочностные показатели грунтов и во многом затрудняет организацию производства строительных работ. Важно установить не только генетические типы трещин, качественные и количественные показатели трещиноватости (модуль трещиноватости, коэффициент трещинной пустотности и др.), но и оценить её влияние на физико-механические

свойства и фильтрационные параметры массива грунтов. Особенно это важно при проектировании и строительстве таких сооружений, как плотины, водохранилища, тоннели.

Скальные грунты надёжны, и, как правило, не нуждаются в специальной подготовке.

3.1.2 Класс природных дисперсных (нескальных) грунтов (с механическими и водно-коллоидными структурными связями) - рыхлые осадочные минерального, органо-минерального, органического типа горные породы. Состоят из отдельных обломков (частиц) различной крупности, слабо связанных друг с другом. Их образование связано с выветриванием скальных грунтов или переотложением продуктов денудации.

Для дисперсных грунтов характерны нежесткие механические и водно-коллоидные структурные связи. К грунтам этого типа относят рыхлые осадочные обломочные породы, которые подразделяют на связные и несвязные.

По сравнению со скальными и полускальными грунтами дисперсные грунты, особенно связные, отличаются значительно меньшей прочностью и большей деформируемостью. Для них характерна резкая изменчивость физического состояния и свойств, многообразие текстурно-структурных особенностей, высокая пористость, слабые структурные связи и водопроницаемость от высокой и очень высокой для несвязных грунтов (песков и галечников) до очень незначительной (связные грунты).

Для природных дисперсных (нескальных) грунтов применяют следующую номенклатуру грунтов:

1. Глинистые - связные грунты, для которых число пластичности (интервал влажности между границей текучести и границей раскатывания) >1 .

2. Песчаные – несвязанные, в сухом состоянии сыпучие грунты, не

обладающие свойством пластичности (число пластичности < 1) и содержащие менее 50 % зерен диаметром > 2 мм.

3. Крупнообломочные - рыхлые и слабосцементированные грунты, содержащие более 50 % обломков скальных пород диаметром > 2 мм.

В зависимости от содержания растительных остатков, грунты бывают:

а) при содержании растительных остатков до 10 % - грунт с примесью органических веществ;

б) при содержании растительных остатков 10-60 % - заторфованный грунт;

в) при содержании растительных остатков > 60 % - торфы.

Поверхностные слои грунтов на глубине до 2,0 м обычно затронуты процессами почвообразования. Выделяют ряд типов почвообразования (черноземовидный, подзолистый, черноземный, болотный, солонцеватый, солончаковый и пр.). Генетический тип почв отражается на некоторых физических свойствах грунтов, которые при одинаковом гранулометрическом составе могут обладать различными свойствами (размокание, липкость и др.).

Глинистые грунты в начальной стадии своего формирования, образовавшиеся как структурный осадок в воде при наличии микробиологических процессов и обладающие в природном сложении влажностью, превышающей влажность на границе текучести и коэффициентом пористости $E > 1$ для супесей и суглинков и $E > 1,5$ для глин, называются илами.

Глинистые грунты характеризуются не только физическими и механическими свойствами, но и специфическими свойствами, присущими обычно только этой группе дисперсных грунтов: пластичностью, консистенцией, липкостью, размокаемостью, коррозионностью, набуханием, усадкой и др.

Основной особенностью глинистых грунтов является пластичность, а

также способность к потере устойчивости и возникновению различного рода деформаций, в зависимости от изменения влажности грунта и действующих на него нагрузок. Глинистые грунты подразделяют на три основных разновидности: глины, суглинки и супеси.

Наименования разновидностей глинистых грунтов определяются содержанием фракций размером 2 - 0,05; 2 - 0,25 мм и числом пластичности (таблица 8). При определённой влажности, интервал проявления пластичных свойств, называют границами (пределами) пластичности.

Таблица 8.

Глинистые грунты

Наименование глинистых грунтов	Показатели		Наименование разновидностей глинистых грунтов
	Число пластичности	Содержание песчаных частиц в % от веса сухого грунта	
Супесь	1-7	> 50	Супесь легкая крупная
	1-7	> 50	Супесь легкая
	1-7	20-50	Супесь пылеватая
	1-7	< 20	Супесь тяжелая пылеватая
Суглинок	7-12	> 40	Суглинок легкий
	7-12	< 40	Суглинок легкий пылеватый
	12-17	> 40	Суглинок тяжелый
	12-17	< 40	Суглинок тяжелый пылеватый
Глина	17-27	> 40	Глина песчанистая
	17-27	Не нормируют	Глина пылеватая (полужирная)
	> 27	То же	Глина жирная

Примечания:

1. При содержании частиц крупнее 2 мм в количестве 20-50 % наименование грунта дополняют словом «гравелистый» при окатанных частицах и «щебенистый» при неокатанных частицах.

2. В таблице 8 указана для супесей легких крупных содержание песчаных частиц размером 2 - 0,25 мм, для остальных грунтов - размером 2 - 0,05 мм.

Состояние их в зависимости от влажности определяется понятием «консистенция». Консистенция выражается отвлеченными цифровыми показателями в долях единицы.

Расчетное определение коэффициента консистенции в числовом выражении производится по данным лабораторных испытаний, включающим

естественную влажность грунта и влажность на границах текучести и раскатывания. Т.е. способность глинистого грунта под воздействием внешних механических усилий изменять свою внешнюю форму без разрушения и разрыва и сохранять приданную ему форму после устранения действия внешней силы.

Определение коэффициента консистенции B производится по формуле:

$$B = \frac{W - W_p}{W_T - W_p}$$

где: W_p - влажность на границе раскатывания;

W_T - влажность на границе текучести и

W - естественная влажность.

В зависимости от числового значения коэффициента консистенции: для глин и суглинков консистенция - твердая, полутвердая, тугопластичная, мягкопластичная, текучепластичная и текучая.

Для супесей - твердая, пластичная и текучая.

Твердая консистенция - порода по ощущениям сухая, при ударе молотком разбивается на куски, которые при сжатии рассыпаются, при растирании грунт выделяет пыль. Ноготь большого пальца вдавливается в породу с трудом.

Полутвердая консистенция - порода по ощущению слабо влажная, при ударах молотком и растирании кусков рассыпается. Ноготь большого пальца вдавливается в породу без особого труда.

Тугопластичная - порода влажная, большие куски разминаются с трудом, вырезанный из нее брусочек до излома заметно изгибается, палец при легком усилии оставляет заметный отпечаток, но вдавливается лишь при сильном нажатии.

Мягкопластичная - порода сильно влажная, куски разминаются легко; при лепке принимает любые формы, но сохраняет их непродолжительное время; палец вдавливается легко на глубину нескольких сантиметров.

Текучепластичная - порода мокрая, разминается от легкого прикосновения пальцев, при лепке не держит приданную ей форму, сильно прилипает к рукам, не раскатывается в шнур без подсыпки.

Текучая - порода водонасыщенная, способна течь по наклонной поверхности толстым слоем (языком).

Для супесей существует три формы консистенции, при которых грунт рассыпается, не образуя катышей (твердая), сминается, образует катыши (пластичная) и растекается по наклонной плоскости (текучая).

Косвенными показателями характера и степени возможных деформаций глинистых грунтов (усадка, набухание, просадочность) являются также структурные особенности и минералогический состав последних.

Для глинистых грунтов характерно залегание в виде отдельных слоев, а также прослоев и линз. Мощность их весьма разнообразна - от долей метра до многих сотен метров. В составе глин преобладают глинистые минералы (до 95%) - гидрослюда, каолинит, монтмориллонит и др., в качестве примесей содержатся кварц, полевые шпаты, слюды и другие минералы.

В супесях преобладают уже так называемые кластогенные минералы (кварц, полевые шпаты и др.). Суглинки по минеральному составу занимают промежуточное положение между глинами и супесями.

Липкость — способность глинистых грунтов при определенном содержании воды прилипать к поверхности различных, предметов. Это свойство наиболее характерно для влажных глинистых, лессовых, торфяных и других дисперсных грунтов. По кривой зависимости липкости от влажности определяют: влажность начального прилипания (W_{Hn}), влажность максимального прилипания (W_{Mn}) и максимальную липкость ($f_{\text{тах}}$). Максимальное значение липкости для глинистых грунтов в зависимости от их химико-минерального состава, дисперсности, влажности и других факторов изменяется от 0,002 до 0,55 МПа. Значение липкости учитывают в

дорожном строительстве при анализе работы дорожных машин, а также при выполнении вскрышных работ на карьерах и т. д. Для снижения липкости глинистых грунтов, например при устройстве грунтовых дорог, в них добавляют песок.

Размокаемостью называют способность грунтов при погружении в спокойную воду терять связность и превращаться в рыхлую массу с частичной или полной потерей прочности. Подавляющее большинство глинистых грунтов относится к категории размокаемых в той или иной степени. Размокать могут и скальные грунты, например, песчаники с глинистым и растворимым цементом.

Показателями размокаемости грунтов являются: 1) время размокания; 2) характер размокания, который оценивается визуально; 3) конечная влажность размокания образца.

На характер и скорость размокания глинистых грунтов влияют химико-минеральный состав, структурно-текстурные особенности, состав обменных катионов и в особенности начальная влажность грунта. В строительной практике размокаемость изучается для оценки состояния грунтов при вскрытии их котлованами и выемками, откосы и дно которых могут подвергаться воздействию воды.

В отличие от размокаемости другое характерное свойство дисперсных грунтов - размываемость - проявляется только при длительном воздействии текучей воды на грунтовую толщу.

Коррозионные свойства дисперсных грунтов проявляются при взаимодействии подземных металлических конструкций (стальных трубопроводов и др.) с жидкой компонентой грунта, т. е. с электролитом. Наибольшей коррозионной активностью к металлическим конструкциям обладают торфяные, засоленные и болотные грунты, а также глинистые с влажностью в интервале 10-25%, при высоких значениях кислотности (рН 2-

3) и щелочности (рН 11-14), насыщенные кислородом, сероводородом и с высоким содержанием хлоридов.

Биокоррозия - воздействие на металл находящихся в грунте микроорганизмов (сульфатвосстанавливающие тионовые, железистые и другие бактерии). При пересечении трассой стального трубопровода линий электропередач, электрофицированных железных дорог и др., возможно развитие коррозии от блуждающих токов.

Таким образом, для *глинистых* грунтов характерны:

- пластичность, липкость и набухание при увлажнении, усадка при высыхании;
- высокое водопоглощение, капиллярное поднятие, практическая водонепроницаемость;
- зависимость прочности от степени увлажнения пород;
- возможность нахождения в различных консистенциях.

Поведение глинистых грунтов определяется их генезисом:

- *древние морские* осадки, как правило, достаточно плотны, имеют твёрдую или полутвёрдую консистенцию и обычно являются вполне надёжным основанием;
- *современные морские* осадки обладают высокой пористостью (42-90%), влажностью(45-100%), сжимаемостью, из-за чего их относят к слабым основаниям;
- *современные континентальные* глины, как правило, слабо уплотнены, могут иметь пластичную или текучую консистенцию. Поэтому такие грунты могут иметь большие и неравномерные осадки. Особенно ненадёжны как основания *озёрно-ледниковые* (ленточные) и *элювиальные* глинистые образования. При небольшой мощности толщу таких глин следует снимать и возводить сооружения на породах коренной основы. Способность глин быстро выветриваться и разуплотняться путем набухания при

увлажнении сохранения природной влажности при вскрытии горными выработками.

Несвязные грунты - рыхлые, сыпучие осадочные образования без структурных связей и находятся в сыпучем (рыхлом) состоянии. При увеличении влажности они приобретают некоторую связность. Среди песчаных грунтов выделяют разновидности по гранулометрическому составу, степени неоднородности, коэффициенту пористости, степени плотности и содержанию органических веществ. Различают два вида несвязных грунтов: песчаные и крупнообломочные.

Песчаные грунты с учетом суммарного содержания фракций > 2 мм, 0,5 мм, 0,25 мм и $> 0,1$ мм подразделяют на: гравелистые, крупные, средние, мелкие и пылеватые.

Крупнообломочные грунты в зависимости от преобладания фракции от 2 до 10 мм или > 10 мм и степени окатанности разделяют на дресвяные (гравийные) и щебенистые (галечниковые).

Песчаные грунты состоят из несвязанных или слабо связанных между собой зерен, основная масса которых имеет размеры от 2 до 0,1 мм.

Основной особенностью песков является изменение их свойств, в зависимости от зернового состава и степени влажности. Важнейшими показателями при оценке их строительных свойств являются: крупность, однородность и водопроницаемость.

Номенклатурные наименования отдельных разностей и вместе с тем крупность песчаных грунтов определяют в зависимости от суммарного содержания фракций > 2 мм, 2-0,5 мм, 2-0,25 и 2-0,1 мм (таблица 9).

Важными показателями для определения свойств песчаных грунтов является минералогический состав. Косвенным показателем величины угла внутреннего трения служит угол естественного откоса.

Таблица 9.

Несвязные дисперсные грунты

Наименование видов несцементированных обломочных грунтов	Распределение частиц по крупности в % от веса сухого грунта
Крупнообломочные	
Грунт щебенистый (при преобладании окатанных частиц - галечниковый)	Вес частиц крупнее 10 мм составляет более 50 %
Грунт дресвяный (при преобладании окатанных частиц - гравийный)	Вес частиц крупнее 2 мм составляет более 50 %
Песчаные	
Песок гравелистый	Вес частиц крупнее 2 мм менее 50 %, но более 25 %
Песок крупный	Вес частиц крупнее 0,5 мм составляет более 50 %
Песок средней крупности	Вес частиц крупнее 0,25 мм составляет более 50 %
Песок мелкий	Вес частиц более 0,1 мм составляет более 75 %
Песок пылеватый	То же, менее 75 %

Примечание:

Для установления наименования грунта крупнообломочного или песчаного по табл. 9 последовательно суммируют проценты содержания частиц наследуемого грунта: сначала крупнее 10 мм, затем крупнее 2 мм, далее крупнее 0,5 мм и т.д. Наименование грунта принимают по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в табл. 9.

Состояние песчаных грунтов зависит от степени их влажности.

Выделяют пять состояний грунта: сухой, маловлажный, влажный, очень влажный и водонасыщенный.

1. Сухие песчаные грунты - обладают влажностью до 3 %, не уплотняются, нуждаются в сильном увлажнении, несущая способность максимальная.

2. Маловлажные - обладают влажностью 3-8 %, плохо уплотняются, нуждаются в доувлажнении, несущая способность близка к максимальной.

3. Влажные - обладают влажностью 8-15 %, хорошо уплотняются, несущая способность близка к максимальной.

4. Сильно влажные - обладают влажностью более 15 %; плохо уплотняются, нуждаются в просушке, степень влажности проверяется расчетным методом.

5. Водонасыщенные - при легком сжатии выделяют воду, при рыхлении переходят в текучее состояние.

Расчетное определение степени влажности в числовом выражении производят с учетом насыщения пор грунта водой. При этом используют данные лабораторных испытаний, включающие: естественную влажность, удельный вес и пористость или коэффициент пористости грунтов.

Определение степени влажности производят по формулам:

$$G = \frac{W\gamma}{\varepsilon} \quad \text{или} \quad G = \frac{W\gamma(1-n)}{n}$$

где W - естественная влажность, γ - удельный вес, ε - коэффициент пористости, n - пористость грунта

Степень влажности выражается в долях единицы и составляет:

для маловлажных песков от 0,0 до 0,5

для очень влажных от 0,5 до 0,8

для водонасыщенных от 0,8 до 1,0

Расчетное определение степени влажности производят в основном для определения несущей способности песков.

Водопроницаемость грунтов характеризуется коэффициентом фильтрации, выражающимся в метрах в сутки и сантиметров в секунду.

Характерные значения коэффициента фильтрации, м/сутки

тяжелый суглинок - < 0,05

легкий суглинок - 0,05-0,01

супесь - 0,10-0,50

песок пылеватый - 0,5-1,0

песок мелкозернистый - 1,0-5,0

песок среднезернистый - 2,0-5,0

песок крупнозернистый - 5,0-20,0

гравий - > 20

В инженерно-геологической практике выделяют также пески глинистые, содержащие свыше 3% глинистых частиц и не обладающие свойством пластичности ($I_p < 1$).

Плотность песчаного грунта устанавливают по усилиям, затрачиваемым на его разрыхление шанцевым инструментом или буровыми наконечниками. По плотности грунты делятся на: рыхлые, средней плотности, плотные и очень плотные.

Оценивать качество уплотнения песков в насыпи, прогнозировать изменение их плотности под действием статических и динамических нагрузок можно и с помощью другого показателя - степени плотности песков, I_D .

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

где e — коэффициент пористости при естественном или искусственном сложении; $e_{\max}$ — коэффициент пористости в предельно-плотном сложении; $e_{\min}$ — то же в предельно-рыхлом.

В зависимости от величины I_D выделяют пески: рыхлые (слабоуплотненные) от 0 до 0,33; средней плотности 0,33—0,66 и плотные 0,66-1,0.

По относительному содержанию органических веществ пески подразделяют на две разновидности: с примесью органических веществ - от 0,03 до 0,1 и без их примеси - менее 0,03.

Пески могут обладать плавунностью, т.е. способностью к суффозионному выносу тонких частиц, подверженность влиянию вибрации и др. Особенно опасна для строительства плавунность песков. Плывунами называют некоторые виды водонасыщенных тонко- и мелкозернистых пылеватых песков, супесей и других рыхлых отложений, которые при вскрытии их строительными и другими выемками приходят в разжиженное состояние и ведут себя наподобие тяжелой, вязкой жидкости. Для борьбы с плывунами применяют замораживание, химическое закрепление и осушение с помощью иглофильтровых установок.

Таким образом, для песков характерны такие общие инженерно-геологические свойства:

- полное или частичное отсутствие сил сцепления между зернами в сухом состоянии;
- зависимость прочности и сопротивления сдвигу не от влажности, а от плотности и окатанности зерен;
- склонность к быстрой осадке при сотрясении;
- умеренная пористость (30-40%) и водопроницаемость более 1 м/сут;
- сохранение объёма при увлажнении и высыхании.

Поведение песков в основаниях сооружений определяется их генезисом:

- *золотые пески* наиболее рыхлые. Это может привести к значительным и неравномерным осадкам, особенно при сотрясении. Иногда при увлажнении такие пески доуплотняются, что ведет к осадке сооружений;
- плотные крупно- и разнотернистые *пески морского, речного, водноледникового и ледникового* происхождения могут являться надёжным основанием. Но при сжатии таких песков в водонасыщенном состоянии они могут терять прочность и переходить в плывунное (разжиженное) состояние, особенно глинистые, илистые и слюдистые пески. В природном залегании они обычно прочны, но при вскрытии котлованами проявляют свойство плывунности. Для того чтобы плывуны стали надёжными основаниями сооружений необходимо исключить возможность их движения.

Эффективные мероприятия по уплотнению сыпучих тел - встряхивание, метод силикатизации песков (для создания искусственного цемента в виде геля кремниевой кислоты в песок инъецируется жидкое стекло и раствор CaCl_2).

Для пылеватых песков наиболее значительным с точки зрения строительства свойством является способность уменьшаться в объёме при увлажнении - просадочность. Пылеватые породы образуются в сухом

климате, они обладают значительной пористостью и водонестойкими связями между частицами, что ведет к деформации сооружений. Использование пород лёссовой подгруппы в качестве оснований сооружений требует специальной подготовки. С этой целью производят обжиг грунтов (по специально пробуренным скважинам пропускают горячий воздух).

В целом пески относятся к слабосжимаемым, устойчивым и надежным основаниям для различных зданий и сооружений.

Крупнообломочный грунт - это несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50%.

По гранулометрическому составу в соответствии с ГОСТ 25100—95 его подразделяют на:

валунный (глыбовый) — масса частиц крупнее 200 мм более 50%.

галечниковый (щебенистый) — масса частиц крупнее 10 мм более 50%.

гравийный (дресвяной) — масса частиц крупнее 2 мм более 50%.

Свойства крупнообломочных грунтов в большой степени зависят от вида и содержания заполнителя. При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40% или глинистого заполнителя более 30% от общей массы воздушно-сухого грунта в наименование крупнообломочного грунта следует добавлять наименование вида заполнителя (например, гравийный грунт с песчаным заполнителем).

Прочность крупнообломочных грунтов зависит от минерального состава обломков и степени их выветрелости. Наибольшей прочностью обладают крупнообломочные грунты, состоящие из магматических пород или из таких метаморфических пород, как кварциты и гнейсы.

Крупнообломочные грунты отличаются очень высокой водопроницаемостью. Скорость фильтрации воды в них превышает сотни метров в сутки. При вскрытии строительными котлованами водонасыщенных крупнообломочных грунтов значительную сложность вызывает борьба с большими притоками воды. При наличии в крупнообломочных грунтах

песчаного и особенно глинистого заполнителя водопроницаемость их резко снижается.

Под статическими нагрузками крупнообломочные грунты (особенно лишенные заполнителя) практически не уплотняются и относятся к категории слабосжимаемых грунтов как в сухом, так и во влажном состоянии. При динамических нагрузках возможно их значительное уплотнение.

Крупнообломочные грунты (*валуны, щебень, галька, дресва, гравий*) отличаются высокой водопроницаемостью и, следовательно, высокой водоносностью. Их фильтрационные свойства зависят от размеров обломков, количества и качества заполнителя. В таких породах затруднена проходка котлованов, возможна фильтрация в основании и в обход плеч плотин, вынос заполнителя.

При оценке несущей способности и устойчивости грубообломочных осадочных пород в откосах, следует учитывать их степень рыхлости (подвижности). При плотном расположении окатанных обломков они слабо уплотняются под нагрузкой и являются достаточно надежным основанием, однако, могут обладать пониженным сопротивлением сдвигу. Неокатанные обломки непригодны в качестве оснований сооружений из-за их неоднородности, слабой уплотненности и неустойчивости на склонах. При определённой мощности слоя дресвы необходимо его снять и возводить сооружение на устойчивой и неопасной с точки зрения фильтрации коренной породе.

Хемотропные грунты. Образцы этих пород обладают значительной механической прочностью, однако, при проектировании на таких грунтах зданий и сооружений необходимо иметь данные о химическом составе пород, наличии в них трещин и полостей и о возможности увеличения последних в процессе эксплуатации сооружения.

На устойчивости хемогенных пород резко отражается растворимость водой. Поэтому при устройстве фундаментов должно быть исключено проникновение воды в толщу пород (карьеры гипса ограждают канавами). Возможность растворения хемогенных грунтов за счёт проникновения атмосферных осадков снижается, если растворимые породы прикрыты толщей водонепроницаемых (толщи каменных солей в природе обычно прикрыты чехлами глинистых г.п.).

Интенсивность растворения хемогенных грунтов зависит не только от их состава, но и от величины поверхности соприкосновения воды с породой (в трещиноватых больше), и от скорости движения воды. Движущиеся воды получают питание откуда-то со стороны и не являются насыщенным раствором. Их агрессивное влияние (растворение, а не механический размыв) будет сказываться на устойчивости грунтов. Если подземные воды не перемещаются, то они быстро насыщаются, и утрачивают свои агрессивные свойства.

Значительно улучшает условия строительства присутствие в кавернах хемогенных пород заполнителя в виде обломков, песка, глинистых частиц. Поэтому при отсутствии заполнителя его вносят искусственно, кроме песка и глины используют цемент и битум.

Галоиды и сульфаты (гипс) из-за высокой растворимости ненадежны как основания и вредны в качестве включений в грунтах.

Органогенные грунты как основания сооружений ненадежны, т.к. при определённых условиях подвержены выщелачивающему действию текущей воды.

Условия строительства различных сооружений на дисперсных грунтах часто сопряжены с большими трудностями. Наибольшие осложнения при строительстве обычно связаны с так называемыми специфическими грунтами, т. е. грунтами особого состава, состояния и свойств (лёссовыми просадочными, набухающими, элювиальными и др.).

3.1.3 КЛАСС ПРИРОДНЫХ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Класс природных мерзлых грунтов - грунты с криогенными структурными связями, включая разновидности мерзлых грунтов:

грунт мерзлый - грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями;

грунт многолетнемерзлый (синоним - грунт вечномерзлый) - грунт, находящийся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет не подвергался сезонному оттаиванию;

грунт сезонномерзлый - грунт, находящийся в мерзлом состоянии периодически в течение холодного сезона.

При изучении вечномерзлых грунтов в естественном залегании основными показателями являются: состояние грунта (твердомерзлый, пластичномерзлый, сыпучемерзлый), текстурные особенности (форма, величина и расположение ледяных включений), степень льдистости и влажности, а также его температура.

По физическому состоянию и составу среди многолетнемерзлых грунтов выделяются три вида (ГОСТ 25100—95):

1) твердомерзлые — в которых дисперсный грунт прочно сцементирован льдом, характеризуется хрупким разрушением и незначительной сжимаемостью под внешней нагрузкой. В твердомерзлое состояние песчано-глинистые грунты переходят при температуре ниже $-0,3^{\circ}\text{C}$;

2) пластичномерзлые — в них кроме льда-цемента содержится незамерзшая вода, благодаря которой они обладают вязкостью и повышенной сжимаемостью под внешней нагрузкой;

3) сыпучемерзлые — маловлажные песчаные и крупнообломочные грунты с отрицательной температурой, но не сцементированные льдом, а потому сохраняющие рыхлость.

Зона развития многолетнемерзлых грунтов называется криолитозоной или зоной многолетней мерзлоты.

Распространение многолетнемерзлых грунтов подвержено широтной зональности с севера на юг: сплошная мерзлота; несплошное прерывистое, включая островное и сезонномерзлые грунты в зоне аэрации. Температура многолетнемерзлых грунтов колеблется от 0 до -10°C .

Специфичность многолетнемерзлых грунтов заключается в том, что в них постоянно содержится лед. При повышении температуры (выше 0°C) мерзлый грунт оттаивает, и его прочность резко снижается, качественно изменяются и другие свойства, особенно в пылевато-глинистых грунтах. Под зданиями образуются своеобразные «чаши» протаивания.

Многолетнемерзлые грунты, как ни один из других специфических грунтов, отличаются высокой чувствительностью к изменению температурного режима. В этих условиях коренным образом изменяются гидрогеологические особенности территории, возникают опасные криогенные (мерзлотные) процессы — термокарст, морозное пучение, наледи и др.

Строительное освоение криолитозоны (зоны многолетней мерзлоты) связано с огромными трудностями.

В нашей стране в зоне многолетней мерзлоты подвержено деформациям до 40% зданий и сооружений из-за недостаточного внимания к инженерно-геологическому изучению и прогнозу поведения многолетнемерзлых грунтов.

В вертикальном разрезе толщи многолетнемерзлых грунтов различают три слоя: 1) деятельный слой; 2) собственно многолетняя мерзлота и 3) подмерзлотный слой (талые грунты с положительной температурой).

При проектировании различных зданий и сооружений учитывают не только их конструктивные и технологические особенности, но и характер теплового и механического взаимодействия с мерзлой толщей грунтов.

Очень важен прогноз возможных изменений мерзлотных условий, как в ходе строительства, так и при эксплуатации зданий и сооружений. Все эти данные получают на основе специальных инженерно- геокриологических работ, в состав которых входят инженерно-геологические, мерзлотные и гидрогеологические исследования.

По результатам лабораторных и полевых испытаний определяют основные физические и деформационно-прочностные характеристики грунтов, а также их теплофизические свойства, вид криогенной текстуры, суммарную льдистость, температурный режим мерзлых и оттаивающих грунтов, величину относительной осадки грунта при оттаивании и др.

В районах распространения многолетнемерзлых грунтов наиболее благоприятны для строительства участки, сложенные скальными или супучемерзлыми (песками, гравием, щебнем и др.) грунтами при глубоком залегании грунтовых вод. Во всех остальных случаях строительное освоение многолетнемерзлых грунтов вызывает значительные трудности.

3.1.4. КЛАСС ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ

Класс техногенных (скальных, дисперсных и мерзлых) грунтов - грунты с различными структурными связями, образованными в результате деятельности человека.

Согласно ГОСТ 25100—95, техногенные грунты - это естественные (природные) грунты, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные образования. Под антропогенными образованиями понимают твердые отходы производственной и хозяйственно-бытовой деятельности человека, в результате которой произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного минерального или органического сырья.

Техногенные грунты используют в качестве оснований зданий и сооружений или среды для размещения в них городских коммуникационных

сетей и других сооружений, но главным образом как материал для отсыпки насыпей, дамб, земляных плотин и т. д.

К техногенным грунтам относят:

- 1) природные грунты, измененные в условиях естественного залегания;
- 2) природные грунты, перемещенные с мест естественного залегания в процессе строительной или иной производственной деятельности;
- 3) антропогенные образования.

Природные грунты, измененные в условиях естественного залегания создаются целенаправленно в соответствии с запросами строительства с помощью различных физических и физико-химических воздействий. К физическим воздействиям относится уплотнение катками, тяжелыми трамбовками, вибрацией и т. д. Помимо уплотнения дисперсных грунтов с поверхности, применяют также глубинные физические воздействия (взрывы, замораживание, грунтовые сваи и др.), повышая прочность природных грунтов, снижая их сжимаемость и водопроницаемость.

К физико-химическим воздействиям относятся весьма широко используемые в строительстве цементация, силикатизация, битумизация, глинизация, обжиг и другие методы. Природные грунты, уплотненные или закрепленные методами технической мелиорации, называют еще улучшенными.

Природные грунты, перемещенные с мест естественного залегания. К этому типу относят грунты, перемещенные с помощью транспортных средств, взрыва (насыпные грунты) или с помощью средств гидромеханизации (намывные грунты).

Насыпные грунты по технологии своего образования подразделяются на планомерно и непланомерно отсыпанные.

К первым относят насыпи, возведенные по специальному проекту из однородных грунтов с уплотнением до заданной по проекту плотности. Ко

вторым относят отвалы и свалки различного вида грунтов, полученные при разработке карьеров и подземных выработок, срезке площадей при планировке, в процессе вскрышных работ и т. д.

По степени уплотнения от собственного веса различают насыпные грунты слежавшиеся (процесс самоуплотнения закончился) и неслежавшиеся (процесс самоуплотнения продолжается).

Насыпные грунты (особенно не слежавшиеся) характеризуются повышенной сжимаемостью. Модуль деформации насыпных грунтов обычно составляет от 2 до 10 - 15 МПа в зависимости от их вида, времени самоуплотнения и других факторов.

Намывные грунты создают с помощью средств гидромеханизации при строительстве в поймах крупных рек, на побережьях морских заливов и др. Для намыва обычно используются пески. Прочностные и деформационные характеристики устанавливают с учетом времени, прошедшего после окончания намыва. Следует помнить, что намывные грунты обычно проходят стадии уплотнения, упрочнения и лишь затем переходят в стабилизированное состояние.

Антропогенные образования подразделяются на промышленные и бытовые отходы.

Промышленные отходы образуются в результате термической и химической обработки природных образований (золы, золошлаки, шлаки, шламы и др.). Содержание органических веществ в них обычно не превышает 5 %.

Бытовые отходы представлены обычно в виде свалок, которые формируются в результате неорганизованной отсыпки отходов без уплотнения и изоляции. Как правило, свалки характеризуются повышенным содержанием органических веществ. При инженерно-геологической оценке, кроме определения генезиса и мощности, степени самоуплотнения,

показателей состава, и свойств, следует определять содержание и состояние органических веществ.

Среди антропогенных бытовых отходов выделяют культурные слои, т.е. толщи горных пород с остатками культурно-хозяйственной деятельности человека - наличие строительного мусора, органических включений, золы и другого хозяйственного мусора.

Культурный слой весьма неоднороден по составу и свойствам, древние уплотнились и достаточно прочны, а современный культурный слой при использовании его в качестве основания требует уплотнения и закрепления его методами технической мелиорации.

Техногенный грунт должен оцениваться по основным показателям физико-механических свойств, степени однородности, величине самоуплотнения, содержанию органических веществ и т. д.

С геоэкологических позиций необходимо учитывать способность техногенных насыпных грунтов генерировать метан и диоксид углерода, которые образуются при биодеструкции (разложении) «бытовой» органики.

При недостаточной несущей способности техногенных грунтов их следует уплотнять с помощью катков, тяжелых трамбовок, вибрационных машин, а также грунтовыми сваями, энергией взрыва, гидровиброуплотнителями (глубинное уплотнение). В ряде случаев (при соответствующем инженерно-геологическом обосновании) надежнее и экономически целесообразнее прорезка всей толщи техногенных грунтов глубокими фундаментами с опорой на малосжимаемые подстилающие грунты. При возможных больших и неравномерных осадках следует применять и конструктивные мероприятия, для повышения прочности и жесткости зданий и приспособления их к неравномерным деформациям.

Контрольные вопросы

- 1. Назовите классы грунтов.*
- 2. Какие горные породы являются полускальными грунтами?*
- 3. Основные признаки скальных грунтов.*
- 4. Что такое мерзлый грунт?*
- 5. Определите к какому классу относится песчаник и песок.*
- 7. Дисперсный грунт – это*
- 8. В чём различие мерзлых и холодных грунтов?*
- 9. Приведите примеры скальных и дисперстных грунтов.*
- 10. Техногенный грунт – это...*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев, В. П. Инженерная геология. / Ананьев В. П., Потапов А. Д. - М.: Высшая школа, 2005.
2. Грунты. ГОСТ 25100-95 – Москва: Минстрой, 2015. -18 с.
3. Мурашова, Е.Г. Инженерно-геологические изыскания [Текст]: учебное пособие / Е.Г. Мурашова. - Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – 156 с.
4. Миловский, А.В. Минералогия и петрография./ А.В.Миловский. - М.: «Недра», 1973.-368 с.
5. Мурашова, Е.Г. Минералы и их свойства [Текст]: методические указания / Е.Г.Мурашова - Благовещенск: ДальГАУ, 2004- 24 с.
6. Мурашова, Е.Г. Горные породы [Текст]: учебное пособие / Е.Г.Мурашова – Благовещенск: ДальГАУ, 2009.- 62 с.
7. Мурашова, Е.Г. Основы гидрогеологии [Текст]: учебное пособие / Е.Г. Мурашова. - Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – 141 с.
8. Павлинов, В.Н. Основы геологии. / В.Н. Павлинов, Д.С. Кизельвальтер, Н.Г. Лин.-М.: «Недра», 1991. - 270с.
9. Передельский Л. В. Инженерная геология [Текст] : учеб. пособие для студ. строит. спец. вузов / Передельский Л. В. , О. Е. Приходченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 460, [4] с.
10. Штрюбель, Г. Минералогический словарь/ Штрюбель Г., Циммер З. Перевод с нем. - М: Недра, 1987.-494 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1 МИНЕРАЛЫ	5
1.1 Генезис минералов	8
1.2 Морфологические признаки	9
1.3 Физические свойства	12
1.4 Особые свойства минералов	18
1.5 Применение минералов	20
1.6 Классификация минералов	21
1.7 Характеристика некоторых минералов	32
Глава 2 ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	37
2.1 Основные сведения о горных породах	39
2.1.1 Генезис (происхождение) горных пород	39
2.1.2 Состав горных пород	41
2.1.3 Строение горных пород	41
2.1.4 Физические свойства	42
2.1.5 Прочностные и деформационные свойства	43
2.1.6 Водные и химические свойства	45
2.2 МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	48
2.2.1 Описание магматических горных пород	59
2.3 ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	75
2.3.1 Описание осадочных горных пород	85
2.4 МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	111
2.3.1 Описание метаморфических горных пород	118
Глава 3. ГРУНТЫ	127
3.1 Классификация грунтов	132
3.1.1 Класс природных скальных грунтов	133
3.1.2 Класс природных дисперсных грунтов	137
3.1.3 Класс природных мёрзлых грунтов	152
3.1.4. Класс техногенных грунтов	154
ЛИТЕРАТУРА	159
СОДЕРЖАНИЕ	160