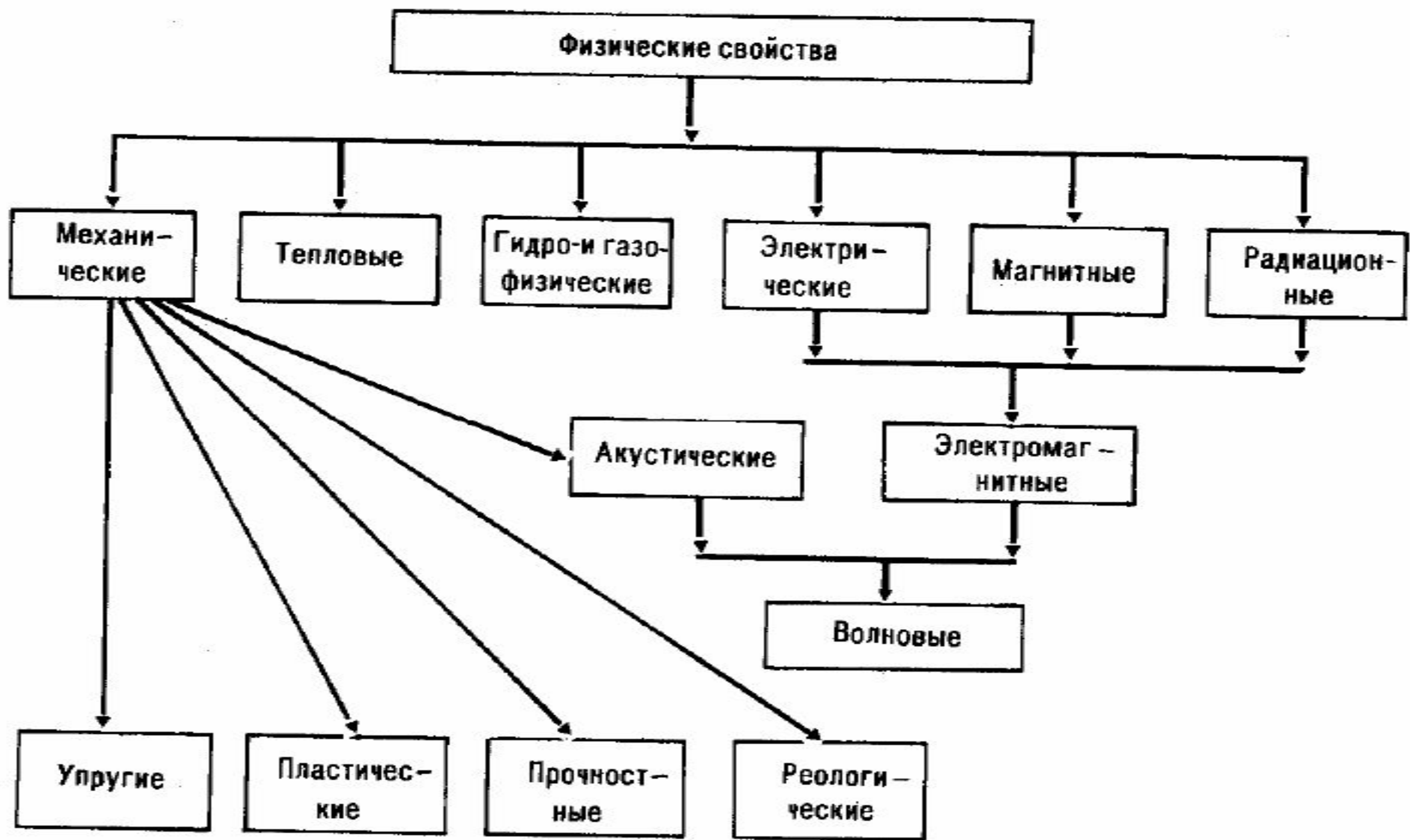


Физико-механические свойства горных пород

Под свойствами горных пород подразумевается их реакция или их способность так или иначе реагировать на изменение состояния различных физических полей или химической среды



Классификация наиболее часто используемых физических параметров горных пород

| Группа свойств | Подгруппа свойств | Физический параметр | Диапазон изменений |
|--|-------------------|---|-------------------------------------|
| Плотностные | — | Плотность ρ_0 , кг/м ³ | 1600–7000 |
| | | Объемная масса ρ , кг/м ³ | 1000–5000 |
| Механические | Упругие | Пористость P , % | ≤ 70 |
| | | Модуль Юнга E , Па | $10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$ |
| | | Коэффициент Пуассона ν | 0,07–0,47 |
| | | Модуль сдвига G , Па | $10^{10} - 2 \cdot 10^{11}$ |
| | Пластические | Модуль объемного сжатия K , Па | $2 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$ |
| | | Предел упругости σ_E , Па | $\leq 4 \cdot 10^8$ |
| | | Коэффициент пластичности $k_{пл}$ | 1–50 |
| | | Модуль деформации $E_{деф}$, Па | $(2 \div 300) 10^9$ |
| | Прочностные | Удельная поверхностная энергия γ , Дж/м ² | |
| | | Предел прочности, МПа: | |
| | | при сжатии $\sigma_{сж}$ | ≤ 500 |
| | | при растяжении σ_p | ≤ 25 |
| | Реологические | при сдвиге $\tau_{сдв}$ | ≤ 80 |
| | | Сцепление C , Па | $\leq 90 \cdot 10^6$ |
| Угол внутреннего трения φ , градус | | 20–50 | |
| Ползучесть a_n | | 0,5–0,7 | |
| Период релаксации τ_0 , с | | $10^7 - 2 \cdot 10^{10}$ | |
| Предел длительной прочности σ_∞ , Па | | $(0,5 \div 0,9) \sigma_{сж}$ | |
| Тепловые | Проводимость | Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К) | 0,1–20 |
| | | Температуропроводность a , м ² /с | $10^{-6} - 10^{-7}$ |
| | Поглощение | Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·К) | 400–2000 |

Физические свойства

1. *Удельный вес пород γ* — отношение веса твердой фазы (минерального скелета пород) к объему, им занимаемому, кН/м³. (или: вес единицы объема твердой фазы породы)

$$\gamma = G_T/V_T$$

где G_T и V_T —вес и объем твердой фазы образца.

Значения удельного веса горных пород в зависимости от удельного веса породообразующих минералов колеблются обычно в пределах 2,5—5,0 гс/см³.

2. Объемный вес пород γ_0 —вес единицы объема горной породы, кН/м³ (отношение веса основных агрегатных фаз породы (твердой, жидкой и газообразной) к объему, занимаемому этими фазами).

$$\gamma_0 = \mathbf{G}_{\text{т,ж,г}} / \mathbf{V}_{\text{т,ж,г}}$$

где $G_{\text{т,ж,г}}$ —вес агрегатных фаз породы; $V_{\text{т,ж,г}}$ —объем, занимаемый этими фазами.

Объёмный вес γ — учитывает не только плотность пород, но и пористость Π и поэтому меньше, чем удельный

$$\gamma_0 = \gamma * (1 - 0,01 * \Pi, \%)$$

$$\gamma_0 = \gamma * (1 - \Pi, \text{д.е.})$$

коэффициент плотности $k_{пл}$

$$k_{пл} = \frac{\gamma_o}{\gamma} = \frac{\rho_o}{\rho} = 1 - \frac{П}{100}, \% = 1 - П, д.е.$$

- отношение объемного веса пород к удельному весу (или отношением соответствующих плотностей),
- характеризует степень заполнения объема горной породы минеральным веществом

3. Коэффициент разрыхления K_p - отношение объёма пород в разрыхленном состоянии к её объёму в массиве, например, после взрывной отбойки (отношение объемного веса пород к насыпному объемному весу этих пород, доли ед.) коэффициент разрыхления изменяется в пределах 1,1—1,6, при этом значение коэффициента для мягких рыхлых пород $K_p = 1,1 - 1,3$; для скальных и полускальных пород $A_p = 1,4 - 1,6$.

$$K_p = \gamma_o / \gamma_p$$

- **Насыпной объемный вес γ_p** — вес единицы объема свободно насыпанного груза в несвязанном состоянии, кН/м³.

Пористость пород

- **Общая пористость** пород Π - объем всех пор V_{Π} в долях единицы (часто в процентах) от общего объема породы ($V + V_{\Pi}$)

$$\Pi = \frac{V_n}{V + V_n}, \text{ д.е} = \frac{V_n}{V + V_n} 100, \%$$

Поры по происхождению

- **первичные**, формирующиеся при образовании пород,
- **вторичные**, появившиеся в результате различных процессов метаморфизма, выщелачивания, перекристаллизации и т. п

Поры по величине

- **субкапиллярные** (диаметр пустот менее 0,2 мк),
 - **капиллярные** (0,2—100 мк)
 - **сверхкапиллярные** (более 100 мк).
-
- Принято выделять и рассматривать отдельно такие пустоты в породах, как **трещины** и **каверны**.

поры по форме

- **пузырчатые,**
- **каналовидные,**
- **щелевидные,**
- **ветвистые** и т. п.

Пористость зависит от **формы** и **размеров** зерен, слагающих породу, от степени их отсортированности, сцементированности и уплотненности.

$$P = 1 - \frac{1}{K_p}, d.e$$

где K_p - коэффициент разрыхления

Пористость

$$P = \frac{\rho_o - \rho}{\rho} \cdot 100\%$$

Где ρ - плотность скелета породы ; ρ_o -
плотность пород (объемная масса горных пород)

коэффициент пористости

$$k_n = \frac{V_n}{V} 100, \% = \frac{V_n}{V}, \text{ д.е.}$$

- Отношение объема пор к **объему минерального скелета** V породы

$$k_{\Pi} = \frac{\Pi}{100 - \Pi}$$

$$\Pi = \frac{k_n}{1 + k_n}$$

- Суммарный относительный объем открытых (сообщающихся) пор - **открытая пористость $P_{откр}$** горной породы.
- Суммарный относительный объем закрытых (замкнутых) пустот называют закрытой или изолированной пористостью **$P_{из}$** .
- Пористость, которая определяет движение в породе жидкостей и газов, называют эффективной пористостью **$P_{эф}$** .

Общая пористость P определяется совокупностью закрытых и открытых пор.

- Пористость горных пород изменяется в значительных пределах — от долей процента до 90%.
- Высокой пористостью обладают осадочные породы,
- магматические породы имеют незначительную пористость.
- Исключение составляют изверженные разности пород, такие, как туфолавы, трахит ($P = 55 - 60\%$).
- Выветрившиеся магматические породы также имеют высокую пористость

Плотность

Плотность ρ — масса единицы объема горных пород, кг/м³:

$$\rho = \gamma/g$$

$$\gamma = g \rho$$

Или:

определяется методом непосредственных измерений и вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}$$

где m - масса образца, d , h - диаметр и длина керна.

Плотность

Для образцов неправильной формы используется метод гидростатического взвешивания

$$\rho = \frac{\rho_{\text{в}} m_1}{m_1 - m_2}$$

где $\rho_{\text{в}}$ - 1 г/см³ - плотность воды, m_1 - масса образца в воздухе, m_2 - разность масс образца и вытесненной им воды.

- Плотность минералов зависит от их химического состава и структуры.
 - Они делятся на **тяжелые** ($\delta_0 > 4 \text{ г/см}^3$),
 - **средние** ($\delta_0 = 4 - 2,5 \text{ г/см}^3$)
 - и **легкие** ($\delta_0 < 2,5 \text{ г/см}^3$); 1
-
- 3% всех минералов относятся к легким, 33,8% — к тяжелым, 53,2% — к средним

- Плотность горных пород определяется плотностью слагающих минералов δ_{0i}

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot V_i$$

где n - число минералов, слагающих породу; V_i — доля объема, занимаемого каждым минералом.

Плотность

Плотность скелета породы ρ представляет собой массу твердого компонента в единице объема породы в естественном состоянии. Величина оценивается по формуле:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + 0.01W}$$

где W - весовая влажность горной породы, %.

- **объемная плотность** ρ_o - масса единицы объема породы при данной пористости в ее естественном состоянии. Плотность пород всегда больше их объемной плотности.
- Если порода сложена из минералов примерно одинаковой плотности, ее объемная плотность в основном зависит от пористости.
- Объемная плотность малопористых пород в основном зависит от их минерального состава.
- Объемная плотность большинства пород колеблется от 1,5 до 3,5 г/см³.

$$\rho = \rho_0 (1 - \Pi, \text{d.e.})$$

$$\rho_0 = \rho (1 + k_{\Pi})$$

$$\rho = \rho_0 \left(1 - \frac{\Pi}{100}, \% \right)$$

k_n - коэффициент пористости

Изменение плотности магматических пород в зависимости от минерального состава

