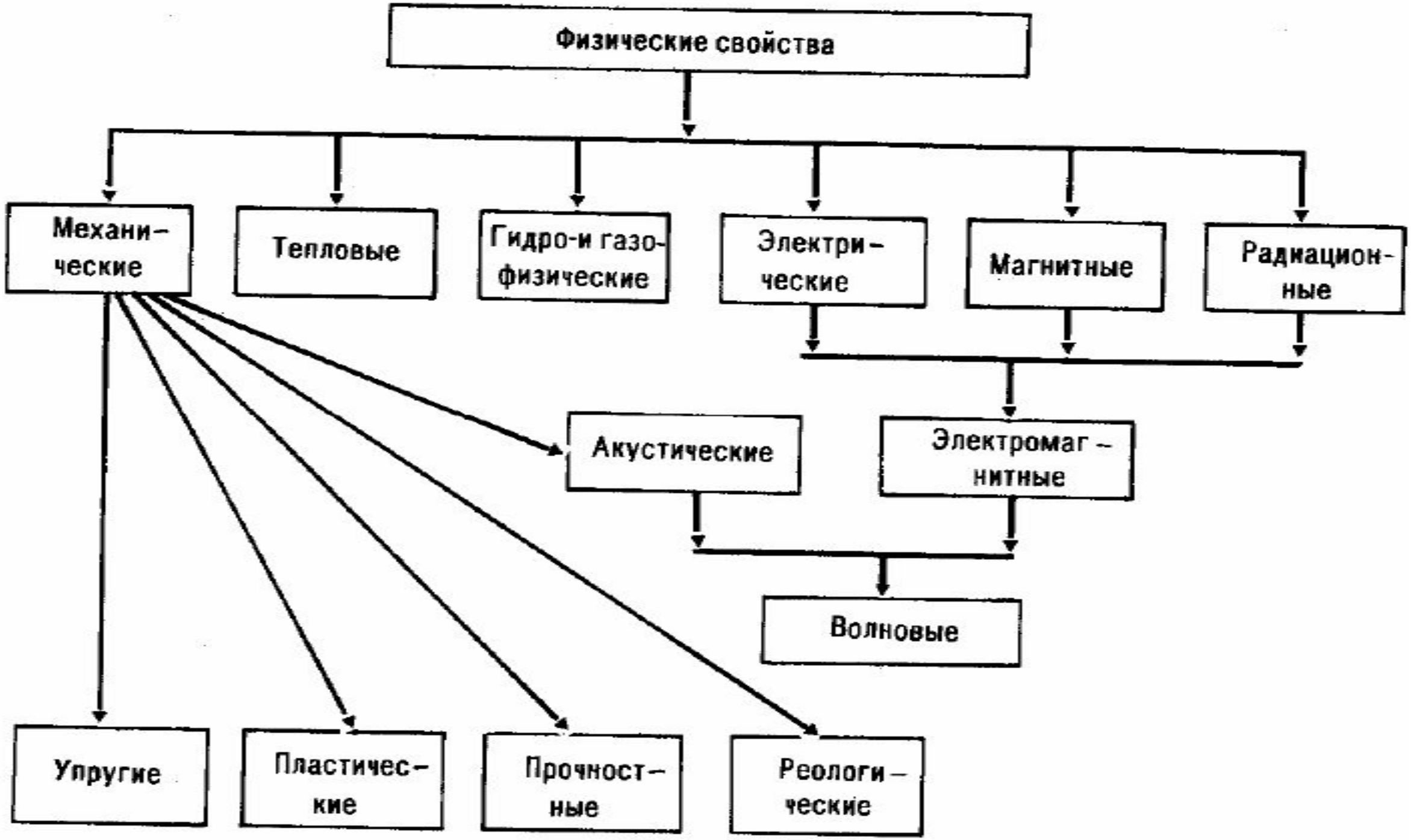
Физико-механические свойства горных пород

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


Физические свойства
Механи-
ческие
Тепловые
Гидро-и газо-
физические
Электри-
ческие
Магнитные
Радиацион-
ные
Акустические
Электромаг-
нитные
Волновые
Упругие
Пластичес-
кие
Прочност-
ные
Реологи-
ческие

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
		Пористость P, %	$\leqslant 70$
Механические	Упругие	Модуль Юнга E, Па	$10^{10}–3\cdot10^{11}$
		Коэффициент Пуассона ν	0,07–0,47
		Модуль сдвига G, Па	$10^{10}–2\cdot10^{11}$
		Модуль объемного сжатия K, Па	$2\cdot10^{10}–3\cdot10^{11}$
		Предел упругости σ_E, Па	$\leqslant 4\cdot10^{8}$
	Пластические	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 $\sigma_{сж}$	$\leqslant 500$
		при растяжении $\sigma_р$	$\leqslant 25$
		при сдвиге $\tau_{сдв}$	$\leqslant 80$
		Сцепление C, Па	$\leqslant 90\cdot10^{6}$
		Угол внутреннего трения φ, градус	20–50
	Реологические	Ползучесть $\alpha_п$	0,5–0,7
		Период релаксации τ_0, с	$10^{7}–2\cdot10^{10}$
		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/м^3. (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/см^3.

2. ***Объемный вес пород*** γ_0 — вес единицы объема горной породы, кН/м^3 (отношение веса основных агрегатных фаз породы (твердой, жидкой и газообразной) к объему, занимаемому этими фазами).

$$\gamma_0 = G_{т,ж,г} / V_{т,ж,г}$$

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

Объёмный вес γ – учитывает не только плотность пород, но и пористость **П** и поэтому меньше, чем удельный

$$\gamma_0 = \gamma * (1 - 0{,}01 * П, \%)$$

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

коэффициент плотности $k_{пл}$

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

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

3. **Коэффициент разрыхления Кр** - отношение объёма пород в разрыхленом 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 Ар= 1,4-1,6.

.

$$K_p = \gamma_o / \gamma_p$$

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

Пористость пород

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

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

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.

$$П = 1 - \frac{1}{K_p}, д.е$$

где Кр - коэффициент разрыхления

Пористость

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

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

коэффициент пористости

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

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

$$k_п = \frac{П}{100 - П}$$

$$П = \frac{k_n}{1 + k_n}$$

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

<u>Общая пористость П</u> 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/м^3:

$$\rho = \gamma / g \qquad \gamma = g\,\rho$$

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

$$\rho = \frac{\rho_в m1}{m1 - m2}$$

где $\rho_в$ - 1 г/см^2 - плотность воды, m1 - масса образца в воздухе, m2 –разность масс образца и вытесненной им воды.

- Плотность минералов зависит от их химического состава и структуры.
- Они делятся на **тяжелые** ($\delta_0 > 4$ г/см^3),
- **средние** ($\delta_0 = 4 - 2{,}5$ г/см^3)
- и **легкие** ($\delta_0 < 2{,}5$ 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:

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

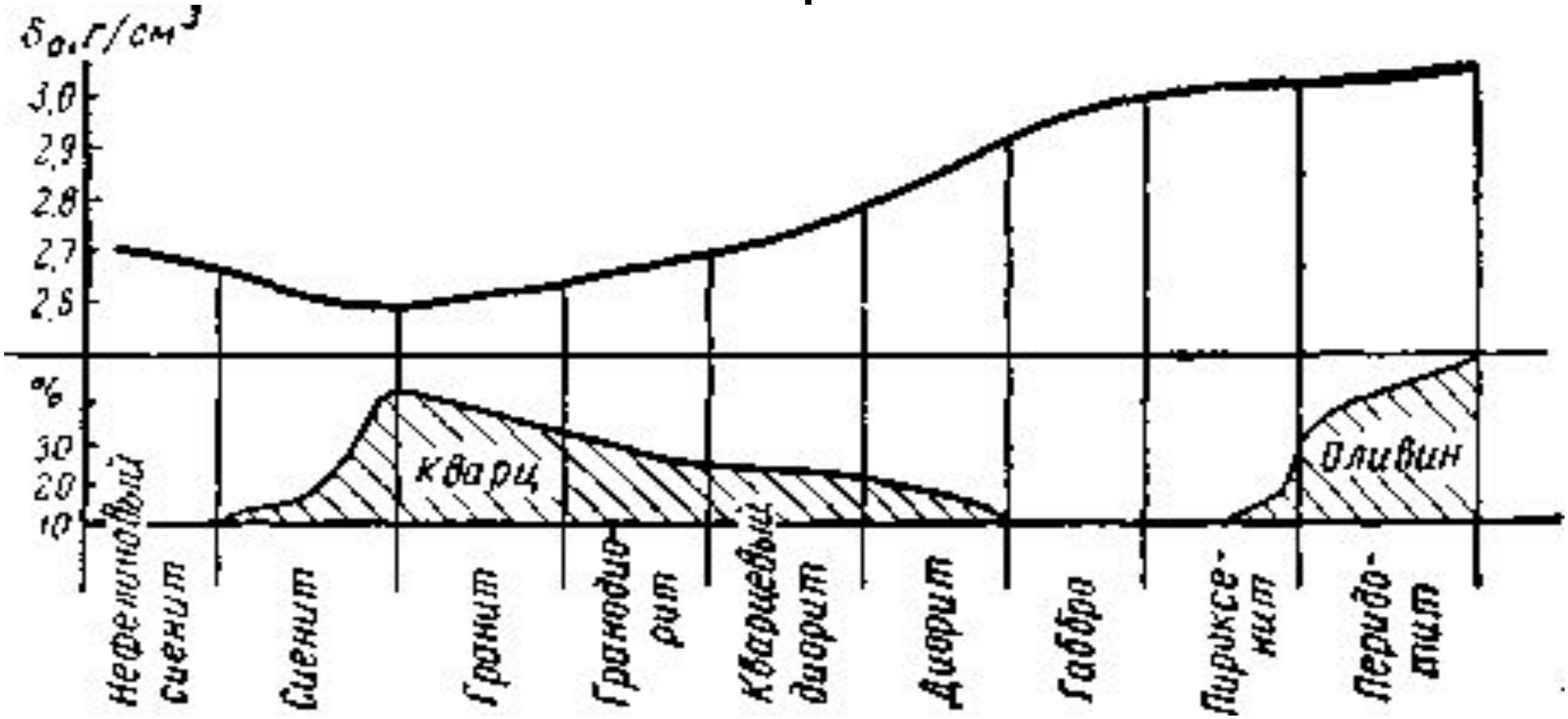
где W- весовая влажность горной породы, %.

- **объемная плотность** ρ о - 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/см^3.

$$\rho = \rho_0 \left(1 - \Pi, д.е.\right)$$

$$\rho_0 = \rho \left(1 + k_п\right)$$

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

k_n - **коэффициент пористости**

Изменение плотности магматических пород в зависимости от минерального состава