

## 3 ТЕМА

Розробив: *Анікеєв С.Г.*

# ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Вода



Мід



Ртуть



Кварц

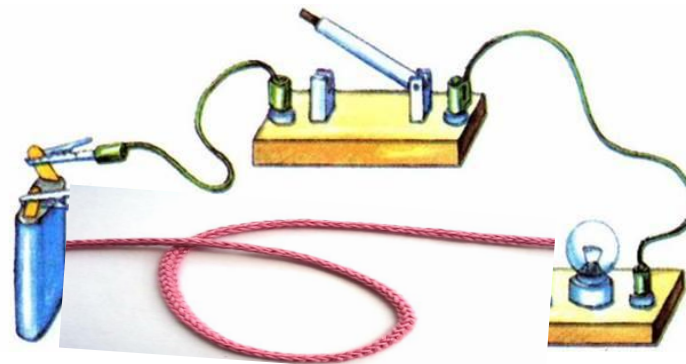


Магнетит





Провідник



Сухий шнурок

Стальна пружина



Пластилін



### 3.1 Густина гірських порід

#### 3.1.1 Основні поняття і способи визначення густини

Густиною гірських порід  $\sigma$  називають масу одиничного об'єму породи:

$$\sigma = M/V \quad (3.1)$$

З-поміж фізичних параметрів густина гірських порід вивчена найкраще.

Гірські породи – багатокомпонентні середовища: мінералогічний скелет + поровий простір, який заповнений мінералізованою водою, нафтою або газом.

Тому густина породи залежить від густини твердого скелету  $\sigma_{mc}$ , відносного об'єму порожнин (тріщин, пор)  $k_n$ , ступеня їх заповнення  $p$  та густини заповнювача (флюїду)  $\sigma_p$ :

$$\sigma = (1 - k_n) \cdot \sigma_{mc} + k_n \cdot p \cdot \sigma_p \quad (3.2)$$

Коефіцієнт пористості породи  $k_n$  визначається:

$$k_n = V_{пор} / V \quad (3.3)$$

$V_{пор}$  - об'єм пор у породі об'ємом  $V$ .

Густина більшості породотвірних мінералів змінюється у межах

$$2,5 \cdot 10^3 \div 3,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

(амфіболи, апатит, кварц, олівін, піроксен, польові шпати, слюди тощо).

Відносно меншими значеннями густини характеризуються гіпс ( $2,1 \cdot 10^3 \div 2,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ), опал ( $1,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ), галіт (кам'яна сіль  $\text{NaCl}$ ) ( $2,13 \div 2,17 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ), підвищеними – наприклад, магнетит ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), галеніт ( $\text{PbS}$ ) та інші рудні мінерали.

Середня густина води приблизно  $1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  
нафти –  $0,75 \cdot 10^3 \div 0,95 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  
газу – до  $0,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  (у природних умовах залягання).

## *Способи визначення густини*

- 1) *Лабораторні способи* визначення густини зразків порід, наприклад, *гідростатичне зважування* зразків технічними вагами (з похибкою не більше  $0,01 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>).
- 2) Способи *кореляційного визначення* значень густини, у яких зіставляються результати незначної кількості лабораторних досліджень з даними геофізичних досліджень свердловин:
  - кривими акустичного каротажу (АК),
  - вертикального сейсмічного профілювання та інші.
- 3) Методи визначення густини за даними польової геофізики (сейсморозвідки і гравірозвідки).



### 3.1.2 Густина і пористість порід фундаменту

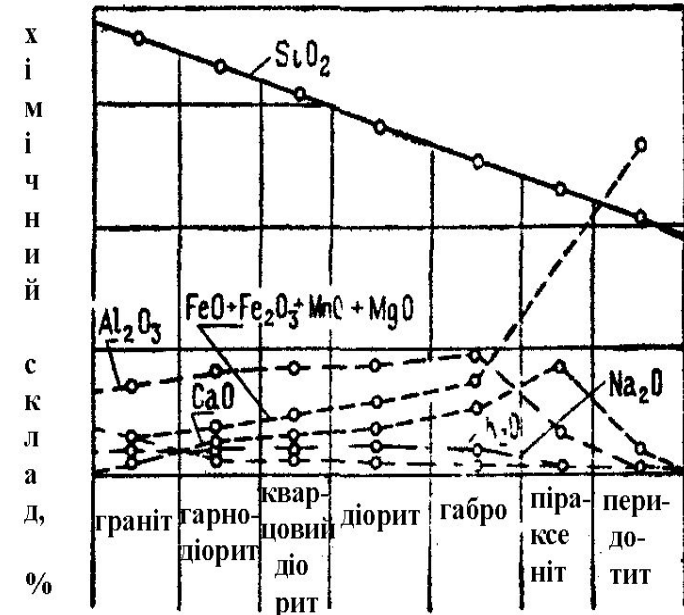
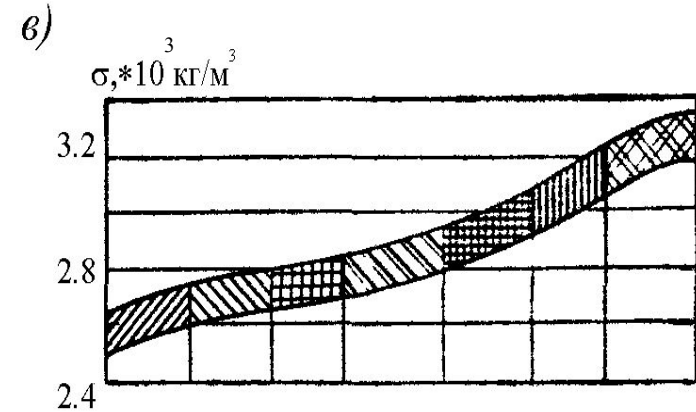
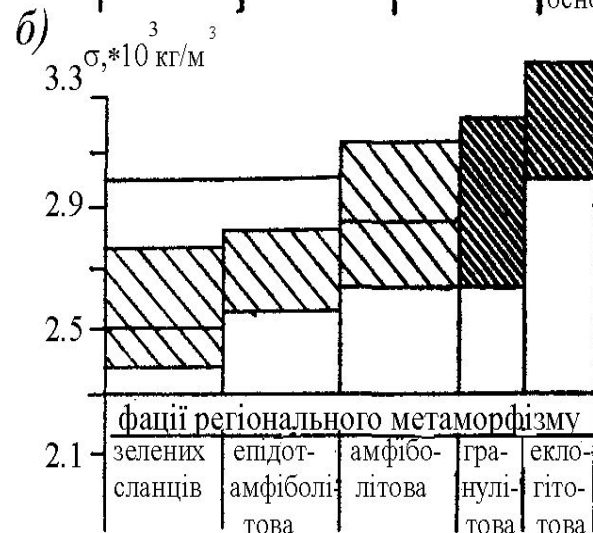
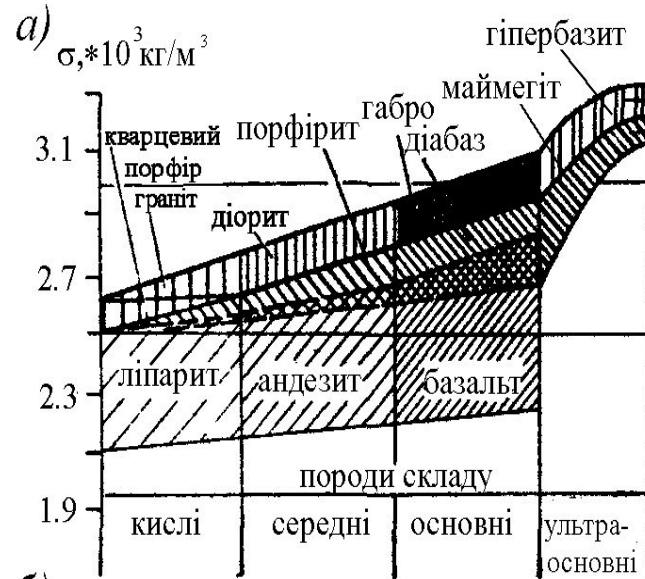
Густина породи залежить від мінералогічного складу скелету і пористості породи.  
Пористість порід фундаменту не перевищує 2-3 %.

**Рисунок 3.1**  
**Густина**  
**магматичних і**  
**метаморфічних**  
**порід:**

*а – густина*  
*ефузивних у*  
*порівнянні з*  
*інтрузивними;*

*в – залежність*  
*густини інтрузивних*  
*порід від хімічного*  
*складу;*

*б – густина*  
*метаморфічних*  
*порід.*



*Загальні закономірності для магматичних порід наступні:*

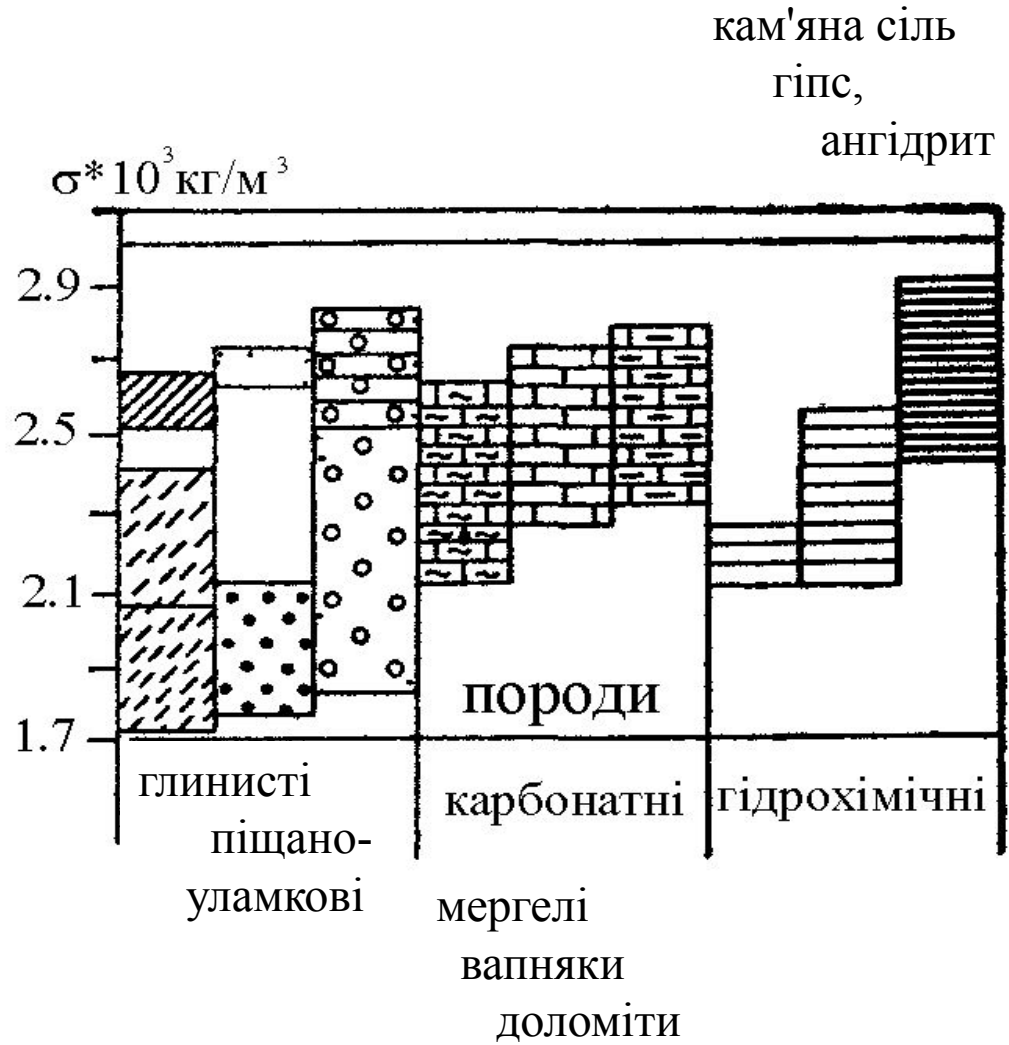
1. Зростання густини з підвищенням основності (зменшенням кислотності) для магматичних порід усіх типів.
2. За умов ідентичного хімічного складу спостерігається зростання густини - від зростання віку порід: для інтрузивних і ефузивних порід від фанерозою до їх докембрійських аналогів,
  - в ряду від ефузивних порід до інтрузивних,
  - від кайнотипних ефузивів до палеотипних (від ступеню змінності порід).
3. Пористість, структурні і текстурні особливості інтрузивних порід впливають на їх густину у меншій степені ніж в ефузивних аналогах.
4. Гідротермальні і метасоматичні процеси призводять переважно до зниження густини на  $n \cdot (0,01 \div 0,1) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ; найбільше зменшення густини відбувається при серпентинізації ультраосновних порід.
5. Під час вивітрювання поверхні фундаменту (зона фізико-хімічних змін, потужність якої сягає десятків і рідше перших сотень метрів) густина усіх магматичних порід зменшується. Тому густини порід фундаменту, отримані за даними аналізу керн свердловин, що розкрили фундамент на незначних глибинах, зазвичай, виявляється заниженою до  $0,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .
6. Як правило, густини інтрузивних порід синклінальних зон дещо більші за густини таких ж порід в антиклінальних зонах.

*Загальні закономірності для метаморфічних порід наступні:*

1. Інтенсивний метаморфізм порід починається у разі їх занурення на 4 км і глибше при тисках в 150÷250 МПа і за температур більше 200°C.
2. Густина порід залежить від мінералогічного складу і ступеню метаморфізму.
3. Густина зростає при зростанні ступеню регіонального метаморфізму.
4. Густина порід, що сформувались у результаті контактного метаморфізму , динамометаморфізму та ультраметаморфізму, як правило, зменшується.

### 3.1.3 Густина порід осадового покриву

Рисунок 3.2  
Зведені дані про  
густини осадових порід



*Густина теригенних порід* осадового покриву закономірно збільшується з глибиною залягання

*від  $1.8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  до  $2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  і більше,*

що є результатом поступового зростання геостатичного тиску.

Порівняно більше ущільнення характерне для глинистих порід,  
менше – для піщано-глинистих,  
а пісковики з міцними зв'язками практично не ущільнюються.

На невеликих глибинах, при зануренні на 1200÷1400 м,  
глини, алевроліти і піски ущільнюються з однаковою швидкістю.

*Густина карбонатних порід* осадового покриву, зазвичай, більша за густину теригенних порід того ж віку та глибини залягання.

Густина мергелів:  $1.5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> -  $2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  
вапняків:  $2,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> до  $2,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  
доломітів:  $2,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> до  $2,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Густина карбонатних порід з глибиною змінюється у значно меншій степені ніж густина теригенних порід.

Так, карбонатні породи осадового покриву Східно-Європейської платформи характеризуються зростанням густини від  $2,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> на поверхні до  $2,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> на глибині 2500 м.

На більших глибинах густина вапняків і доломітів сягає  $2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> -  $2,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, але зі збільшенням глибини подальше її зростання практично не відбувається.

*Густина хомогенних порід* (гіпс, ангідрит, кам'яна сіль)

практично не залежить від глибини залягання і порівняно стабільна.

Чиста кам'яна сіль (*галіт*) повсюди має густину  $2,15 \pm 0,05 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, помітні відхилення від цих значень спостерігаються тільки у випадках появи значних теригенних домішок.

Гіпс:  $2,4 \div 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Ангідрид:  $2,7 \div 2,95 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Густина хомогенних порід практично залежить тільки від їх складу.

### 3.1.6 Загальні закономірності зміни густини порід у земній корі

1. У породах *фундаменту* платформ і складчастих областей густина залежить від літолого-петрографічного складу та у плані може змінюватись більш суттєво ніж з глибиною. Різкі густинні границі контролюються границями блоків.
2. У породах *проміжного структурного поверху* густина змінюється і по латералі і з глибиною, але різкі густинні границі переважно субгоризонтальні.
3. У породах *осадового покриву* густина змінюється переважно з глибиною. Зміна літології і розмиви приводять до пологих густинних границь, а більш круті густинні границі - у зонах розломів та активної складчастості. Густинні границі приурочені до контактів структурних поверхів. Контрастність їх збільшується зі зростанням тривалості перерви в осадконакопиченні.
4. *Хемогенні і магматичні* породи нерідко формують незвичні для верхніх поверхів тіла (куполи, інтрузії) з субвертикальними густинними границями.
5. Середня густина “*гранітного*” шару (фундаменту) -  $(2,6 \div 2,8) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.
6. Густина порід “*базальтового*” шару оцінюється в  $(2,8 \div 3,2) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, осереднена -  $2,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.
7. Густина верхньої мантії за різними оцінками:  $3,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> ÷  $3,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, найбільш поширено –  $3,25 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.
8. Осереднені значення густини земної кори:  $2,75 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> ÷  $3,05 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.



## 3.2 Магнітні властивості гірських порід

### 3.2.1 Параметри магнітних властивостей фізичних тіл

У магнітному полі будь-які фізичні тіла здатні намагнічуватись.

Намагніченість породи  $J$  є сумою двох компонентів – індукованої  $J_i$  і залишкової  $J_r$  намагніченості:

$$J = J_i + J_r. \quad (3.6)$$

**Здатність гірської породи намагнічуватись під впливом зовнішнього магнітного поля характеризується магнітною сприйнятливістю  $\chi$ .**

Якщо магнітна сприйнятливість породи відома, то

$$J_i = \chi \cdot T. \quad (3.7)$$

Де  $T$  – напруженість зовнішнього магнітного поля.

$$[\chi] = 1 \cdot 10^{-5} \text{ од. СІ}, \quad [J] = [T] = \text{А/м}$$

Для магнітної сприйнятливості  $\chi$ :  $[\chi]_{\text{СГС}} = 4\pi \cdot [\chi]_{\text{СІ}}$ , тобто  $1 \text{ од. СГС} \approx 10 \cdot 1 \text{ од. СІ}$   
Для намагніченості  $J$ :  $1 \text{ од. СГС} = 10^3 \cdot 1 \text{ А/м}$ .

За характером взаємодії з зовнішнім магнітним полем (за величиною  $\chi$ ) усі породи і мінерали поділяють на **діа-, пара-, і феромагнетики**.

*Діамагнетики мають  $\chi < 0$  і намагнічуються таким чином, що магнітний момент (індукований зовнішнім магнітним полем) спрямований проти вектора зовнішнього поля.*

З металів найбільш сильним діамагнетиком є **вісмут** ( $\chi \approx -1,4 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од.СІ), з мінералів – **графіт** ( $\chi \approx -6,2 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од.СІ).

До числа діамагнетиків належать метали **Au, Zn, Hg, Cu**, неметали **Si, P, S** і велика кількість породотвірних мінералів - кварц, кальцит, гіпс, ангідрит, галіт....

Важливе значення має приналежність до діамагнетиків **галіту NaCl** - мінералу або у вигляді осадової породи – кам'яної солі ( $\chi \approx -0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од. СІ).

У парамагнетиків величина магнітної сприйнятливості  $\chi > 0$ , але її значення, як правило, не перевищує  $100 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од. СІ.

Парамагнетики – це речовини зі слабким намагнічуванням, але більшим ніж у діамагнетиків, і яке за напрямком співпадає з вектором зовнішнього поля.

Інтенсивність намагніченості парамагнетиків

зростає зі збільшенням інтенсивності зовнішнього поля і зменшується зі зростанням температури.

До парамагнетиків відносяться багато металів (**Ті - титан, Сr - хром, Мп - манган, Рt - платіна, К - калій, Na - натрій, Са - кальцій**),

солі елементів групи заліза,

з породотвірних мінералів - **слюди, рогова обманка, хлорит, епідот, тальк**, більшість **окислів** і такі відомі **сульфіди** як **пірит і халькопірит**.

Для феромагнетиків  $\chi \gg 0$  і складає понад  $100 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од. СІ.

У феромагнетиків дуже велика взаємодія між атомами, магнітні моменти атомів спонтанно орієнтуються паралельно один до одного, формуючи єдиний магніт-домен.

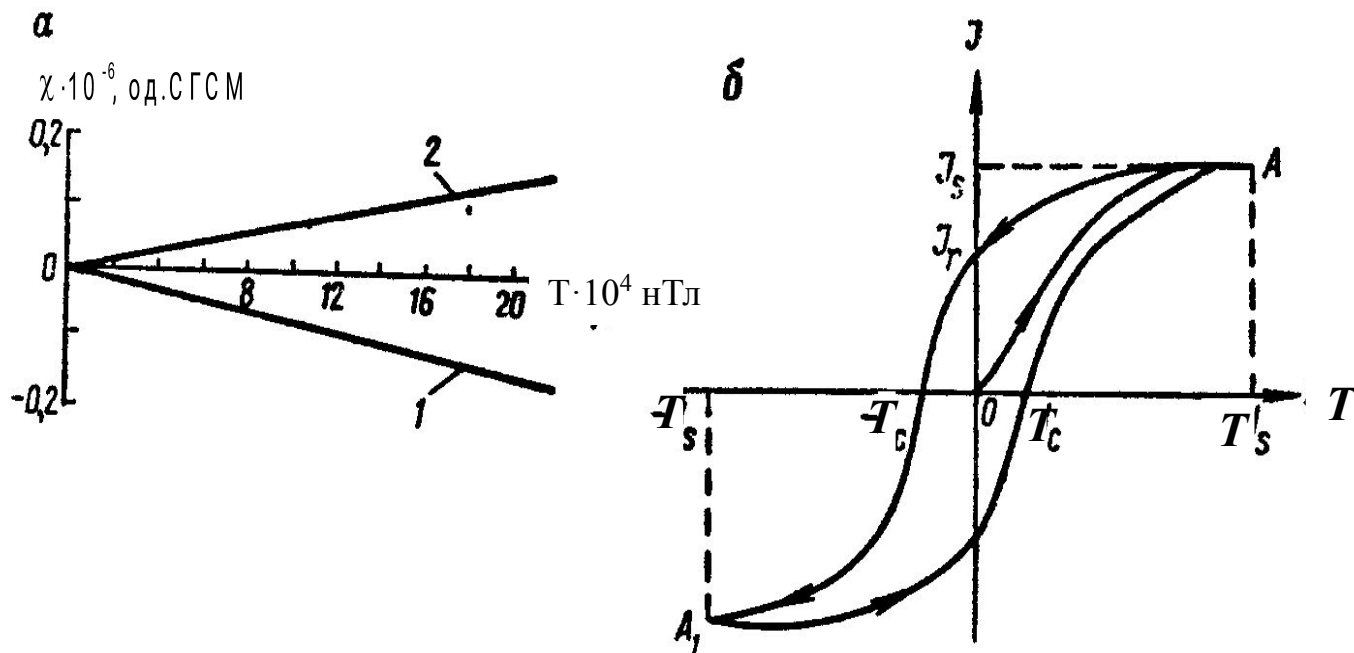


Рисунок 3.3 – Графіки намагнічування:  
 а – діамагнетиків (1) і парамагнетиків (2); б – феромагнетиків.

Крива намагнічування феромагнетиків залежно від зовнішнього магнітного поля (див. рисунок 3.3б), є замкнутою і називається петлею гістерезису.

Феромагнетики здатні намагнічуватися до деякого граничного значення

**$J_s$  – намагніченості насичення**

(після точки **A** при зростанні напруженості поля  $>T_s$  інтенсивність намагніченості залишається на рівні  $J=J_s$ ).

*Після зняття впливу зовнішнього поля феромагнетик буде володіти залишковою намагніченістю  **$J_r$** .*

Властивості феромагнетиків зберігаються тільки до певної температури. При температурах більше граничної (*точки Кюрі*) феромагнетик втрачає свої властивості і *перетворюється у парамагнетик*.

*Точка Кюрі сплаву феромагнетиків нижче точки Кюрі самих феромагнетиків.*

*На відміну від інших речовин феромагнетики при намагнічуванні можуть деформуватися. Це явище називається магнітострикцією.*

Кристал феромагнетика має магнітну анізотропію, тобто напрямки легкого та важкого намагнічування.

З основних хімічних елементів феромагнетиками є **Fe, Co, Ni**.

Найбільш поширеними феромагнітними мінералами є *магнетит*  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , *титаномагнетит*  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{TiFe}_2\text{O}_4$ , *піротин*  $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$  (де  $n=6\div 11$ ), *гематит*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і *магемит*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

*Зауваження:*

за однаковим хімічним складом гематит має ромбоїдну структуру і називається  $\alpha$ -станом, а магемит – кубічну структуру і називається  $\gamma$ -станом  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

При температурі  $275^\circ\text{C}$  відбувається незворотний перехід магемиту в гематит.

Таблиця 3.2 - Властивості феромагнетиків (за даними Н.Б.Дортман)

Мінерали	Магнітна сприйнятливість $\chi$ , од. СІ	Намагніченість насичення $J_s$ при 20°C, А/м	Коерцитивна $T_c$ сила, $10^3$ А/м	Точка Кюрі, °С
Магнетит	8,8-25 (880000÷2500000 · 10 <sup>-5</sup> )	$9,3 \cdot 10^5$	0,8÷1,2	578
Титано- магнетит	$\leq 14$	$(7,5 \div 4,90) \cdot 10^5$	1,0-13,0	578
Піротин	0,13 (13000 · 10 <sup>-5</sup> )	$(2,0 \div 7,0) \cdot 10^4$	1,5-2,0	300-325
Магемит	3,8-25	$4,30 \cdot 10^5$	1,0-13,0	675
Гематит	$(130 \div 1300) \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^3$	0,7-0,8	675

### 3.2.2 Магнітні властивості гірських порід

Магнітні властивості гірських порід, як правило, характеризуються величинами  $\chi$  і  $J_r$  (залишковою намагніченістю), зрідка оцінюються температурою (точкою) Кюрі й параметром  $Q$  (відношенням залишкової до індукованої намагніченості -  $Q = J_r / J_i$ ).

Магнітні властивості гірських порід суттєво залежать від вмісту і особливостей розподілу феромагнітних мінералів (магнітної фракції)  $C_{mf}$ . Ця залежність справедлива для порід з вмістом магнетиту понад 0,01%. Вміст інших феромагнетиків у більшості гірських порід, як правило, незначний.

За концентрації магнетиту нижче зазначених величин (0,01%) на магнітну сприйнятливість породи домінуючий вплив спричиняє вміст парамагнітних і діамагнітних породотвірних мінералів.

На рисунку 3.4 штриховою зоною показано область найбільш ймовірних значень  $\chi$ .

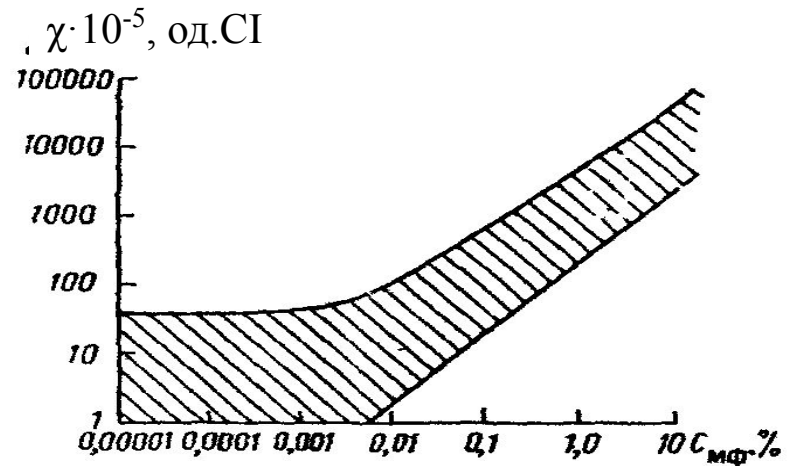


Рисунок 3.4 - Залежність магнітної сприйнятливості гірських порід від вмісту магнітної фракції (за А.К.Вайнбергом і О.О.Логачовим)

**Зауваження:**

Магнітна сприйнятливість гірської породи залежить, як показано, від вмісту магнетиту, а також залежить від *параметрів самого магнетиту*: від величини зерен магнетиту, ступеня їх зв'язаності тощо.

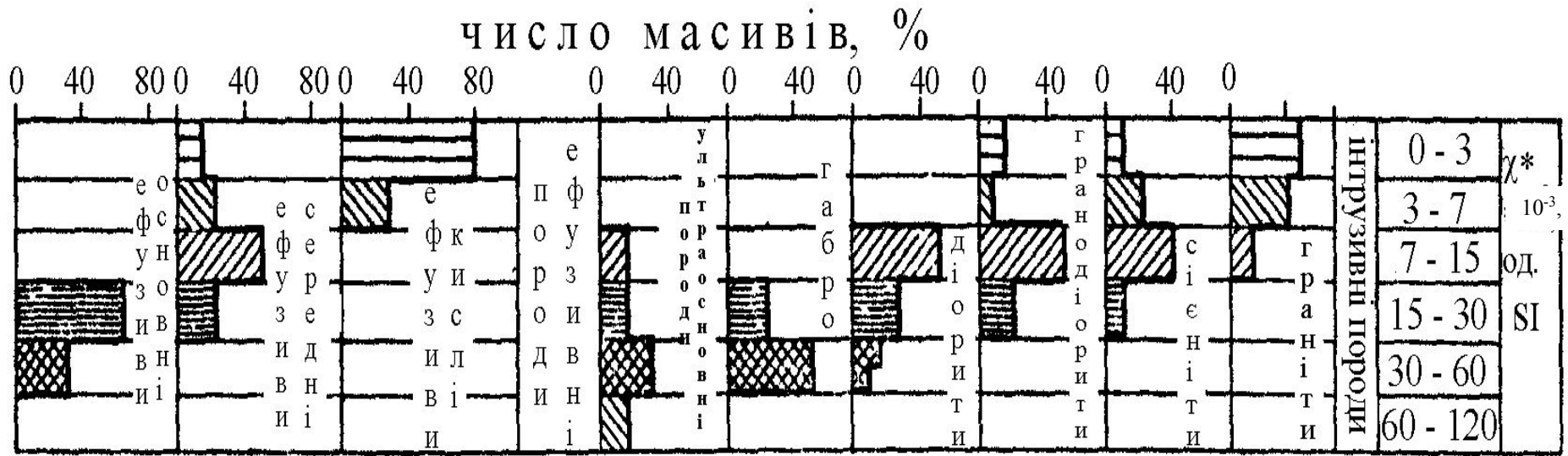


Рисунок 3.5 – Гістограми значень магнітної сприйнятливості  $\chi$  інтрузивних і ефузивних порід (за Г.В.Кувшиновим)



Вторинні процеси (метаморфізм: серпентинізація, амфіболітизація і ін.) по різному впливають на магнітні властивості магматичних порід.

Залишкова намагніченість для однотипних порід виявляє виразну тенденцію зменшення з віком, що відбувається більш інтенсивно в мобільних областях (геосинкліналях), ніж у стабільних. Це призводить до того, що у докембрійських гранітоїдів, зазвичай, спостерігається незначна залишкова намагніченість (менше  $300 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од.СІ), а у палеозойських і, особливо, мезозойських гранітоїдів  $J_r$  сягає  $(600 \div 3000) \cdot 4\pi 10^{-6}$  од.СІ.

**Метаморфічні породи** за своїми магнітними властивостями займають проміжне положення між магматичними і осадовими. Величина і дисперсія параметрів  $\chi$  і  $J_r$  метаморфічних порід залежить від умов їхнього утворення і складу материнських порід.

**Осадові породи** переважно слабомагнітні.

Їхні магнітні властивості визначають парамагнітні і діамагнітні мінерали.

Аномальні магнітні властивості осадових порід зумовлені наявністю феромагнітних мінералів.

Характерні значення магнітної сприйнятливості:

$\chi < 6 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од.СІ - для гідрохімічних і карбонатних порід;

$(10 \div 14) \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од.СІ - глинистих порід;

$(10 \div 15) \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi$  од.СІ - пісковиків.

*(Н.Б.Дортман і ін., 1964р.)*

### 3.3 Електричні властивості гірських порід

#### 3.3.1 Питомий електричний опір

Електричні властивості гірських порід залежать від **мінерального складу, структури** (насамперед пористості), **характеру флюїдонасиченості, температури, тиску, гідрогеологічних умов**

і змінюються у дуже широких межах.

*Додаток: Структура породи характеризується такими параметрами: пористістю, проникністю, розмірами і формою мінеральних зерен та пор.*

**Опір електричному струму  $R$**  спричинений хаотичним (тепловим) рухом заряджених частинок, міжмолекулярними, молекулярними і атомними зв'язками.

Питомий електричний опір (у певному напрямку) визначається:

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}]$$

де:  $R$  — опір речовини, Ом;  $l$  — довжина тіла, м;  $S$  — поперечний переріз тіла, м<sup>2</sup>.

**Електропровідність  $\gamma$**  - інтенсивність спрямованого руху заряджених частинок (електронів і іонів) під дією зовнішнього електричного поля.

Питома електрична провідність:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad , \quad [\text{Сім/м}]$$

Осадові гірські породи є багатофазними системами, що складаються з - твердої, рідкої і газоподібної фаз.

Тверді частинки (мінеральні зерна) породи володіють, в основному, *електронною провідністю*.

Волога, що насичує пори, - має *іонну провідність*.

Тверда фаза (якщо це не рудотвірні мінерали - сульфіди і оксиди, антрацит, графіт), що складає каркас гірської породи, характеризується дуже високим питомим опором до сотень тисяч і мільйонів Ом·м (ліва частина таблиці 3.3).

Таблиця 3.3 - Межі зміни питомого електричного опору породотвірних мінералів і руд (за В.В.Фединським)

Мінерали	$\rho$ , Ом·м	Мінерали	$\rho$ , Ом·м
Ангідрит	$10^7-10^{10}$	Антрацит	$10^{-12}-10^2$
Кальцит	$10^7-10^{12}$	Галеніт (PbS)	$10^{-5}-10^{-3}$
Кварц	$10^6-10^8$	Графіт	$10^{-6}-10^{-1}$
Мусковіт	$10^{11}-10^{12}$	Магнетит	$10^{-4}-10^{-2}$
Польовий шпат	$10^{11}-10^{12}$	Пірит	$10^{-4}-10^{-2}$
Сірка	$10^{12}-10^{15}$	Піротин	$10^{-5}-10^{-4}$
Слюда	$10^{10}-10^{15}$	Сульфіди міді	$10^{-5}-10^{-4}$

## Про вплив мінералізації вод на питомий електричний опір

У природних умовах **концентрація солей, розчинених у ґрунтових і пластових водах**, коливається в широких межах – від *часток міліграма на літр* (прісні поверхневі води) до *сотень грамів на літр* (солоні пластові води).

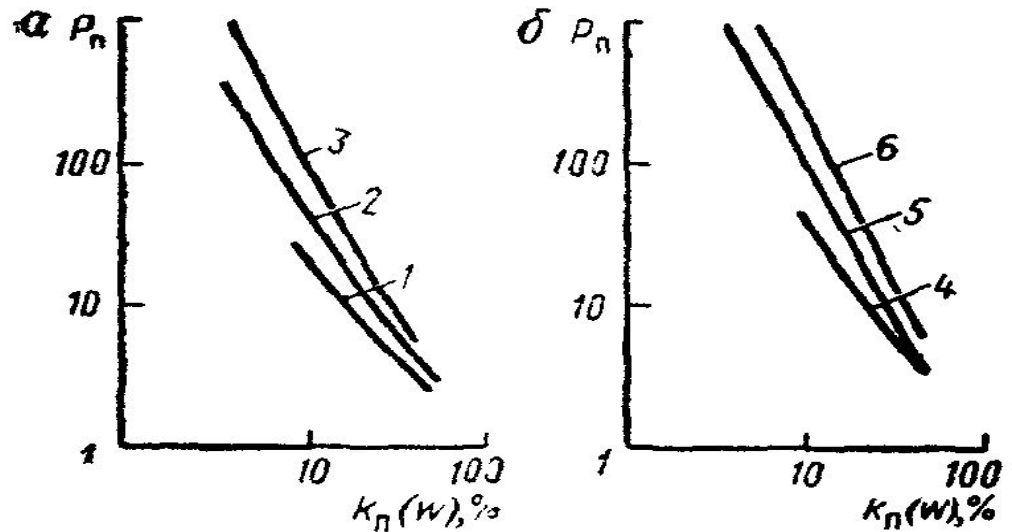
*Питомий електричний опір мінералізованих вод змінюється від 100-150 Ом · м* (прісні поверхневі води) *до сотих часток Ом · м* (солоні пластові води).

## Про вплив пористості на питомий опір

У випадку 100% -ої насиченості пор мінералізованою водою, основними чинниками, що впливають на питомий опір, є **пористість породи і питомий опір розчину**, який заповнює пори (рисунок 3.6).

Рисунок 3.6

- Залежність **параметра пористості**  $P_n = \rho_{вн} / \rho_в$  від коефіцієнта пористості  $K_n$  – (об'ємної вологості  $w$ ) для піщаних (а) і карбонатних (б) порід (за В.М.Дахновим):



1 – крихкі піски, 2 – слабкозцементовані піски, 3 – середньо-зцементовані піски, 4 – черепашники і крихкі вапняки, 5 – вапняки і доломіти крупнокристалічні, 6 – вапняки і доломіти щільні, тонкокристалічні;

$\rho_{вн}$  - питомий опір водонасиченої породи,

$\rho_в$  - питомий опір пластової води, що насичує пори порід.

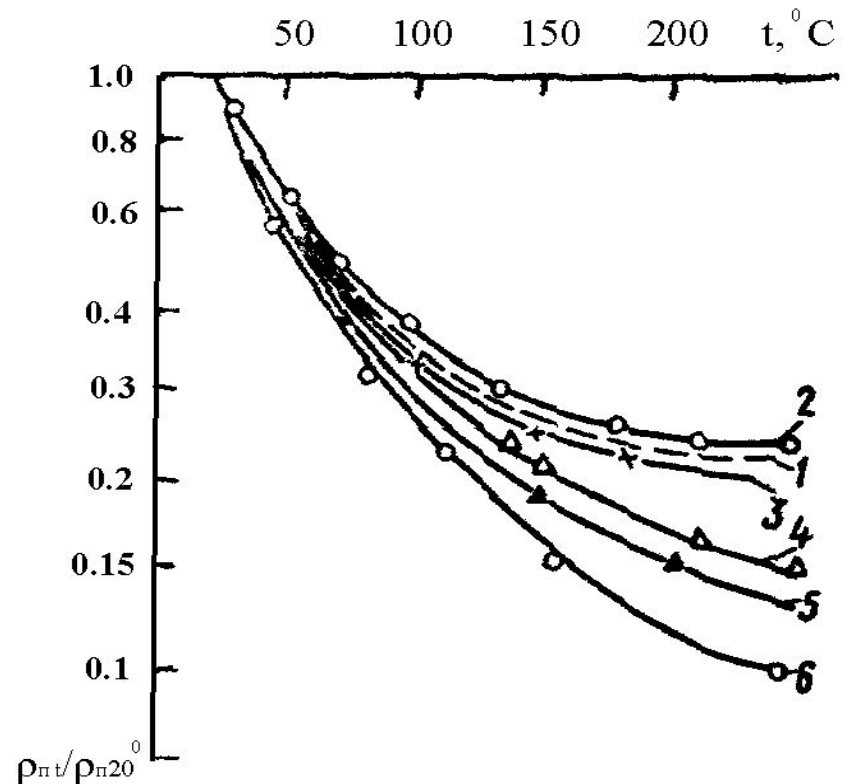
## Про вплив температури на питомий опір

Вплив температури на питомий опір осадових гірських порід (де переважає іонна провідність) такий же, як і на питомий опір електролітів: *з ростом температури опір зменшується* (рисунок 3.7).

Рисунок 3.7 - Відносна зміна питомого електричного опору осадових порід, насичених 2%-им розчином NaCl, під впливом температури (за Г.М.Авчяном):

1 - 2%-ий розчин NaCl; 2 – вапняк; 3 – високопористий аргіліт; 4 – алевроліт; 5 – низькопористий аргіліт; 6 – глина;

$\rho_{п20}$  – питомий опір породи при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ ;  $\rho_{пт}$  – те ж, при температурі  $t$ .



## Про вплив глибини на питомий опір

Зі зростанням глибини під впливом тиску породи зменшуються у об'ємі, головним чином, за рахунок зниження пористості, що викликає (за умов сталої температури) **збільшення питомого опору гірських порід з глибиною.**

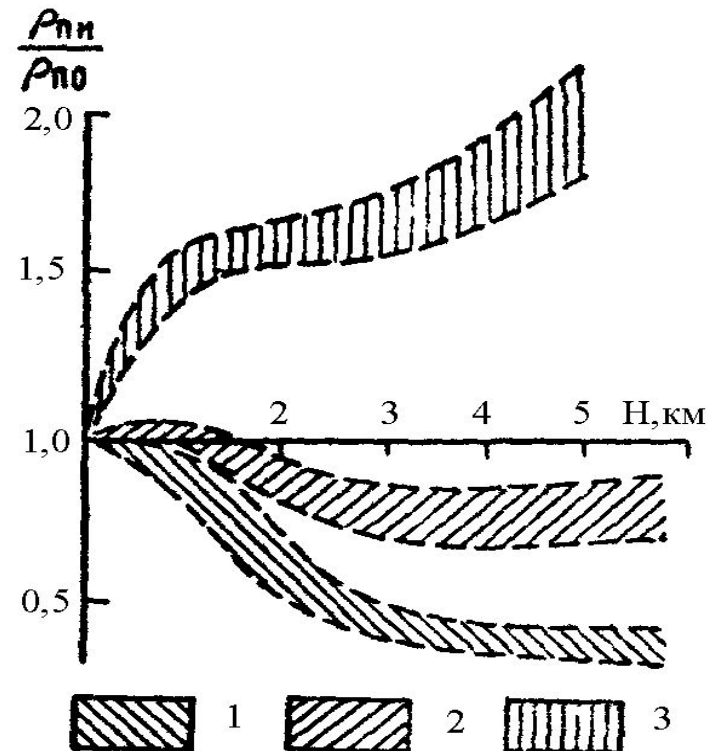
**Внутрішній пластовий тиск**, навпаки, може збільшувати об'єм пласта за рахунок збільшення пористості, що приводить до **зменшення питомого опору породи.**

Отже, в породах, які ущільнюються зі зростанням глибини їх залягання (*тиск і температура зростають*), **питомий опір збільшується**, а у породах, у яких пористість зберігається високою і які насичені високомінералізованою водою - **питомий опір зменшується** (рисунок 3.8) (більше впливає температура ніж зростання тиску).

Рисунок 3.8 - Відносна зміна питомого електричного опору осадкових порід, насичених 20%-им розчином NaCl, під впливом тиску і температури, що відповідають різним глибинам (за Г.М.Авцяном).

1 – пісковик; 2 – вапняк, доломіт, мергель доломітизований, пісковик низькопористий;  
3 – ангідрит.

$\rho_{п0}$  – питомий опір породи за тиском і температурою, що відповідають денній поверхні;  
 $\rho_{пН}$  – те ж на глибині Н.





## Про електричну анізотропію

**Структура і текстура** порід впливають на питомий опір та зумовлюють *електричну анізотропію* – різну електропровідність уздовж і упоперек нашаруванню.

Величину анізотропії визначають коефіцієнтом анізотропії:

$$\lambda = \sqrt{\rho_n / \rho_t}$$

де  $\rho_n$  – питомий опір струму, що протікає перпендикулярно до шаруватості породи;  
 $\rho_t$  - те ж уздовж шаруватості.

Таблиця 3.4 - Межі зміни значень коефіцієнта анізотропії  $\lambda$  для деяких гірських порід (за В.К.Хмелевським)

Породи	$\lambda$
Глина слабкошарувата	1,0-1,1
Глина з прошарками пісків	1,1-1,15
Глина сланцювата	1,1-1,6
Вапняк	1,0-1,3
Сланець глинистий	1,2-2,2
Кам'яне вугілля	1,3-2,5
Антрацит	1,5-2,5
<i>Сланець графітовий і вуглистий</i>	2,0-3,0
Порода тріщинувата скельна	1,0-1,1

### 3.3.2 Діелектрична проникність

*Відносна діелектрична проникність  $\epsilon_r$*  - це параметр, який показує, у скільки разів зменшується напруженість первинного електричного поля в діелектриках (гірських породах і розчинах, що володіють діелектричними властивостями) відносно напруженості поля у вакуумі.

*Відносна діелектрична проникність  $\epsilon$*  величиною безрозмірною; набуває високих значень при вимірах у високочастотних електромагнітних полях. У слабо змінних полях (в методах електророзвідки на постійних струмах) відносна діелектрична проникність  $\epsilon_r \approx 1$ . У вакуумі  $\epsilon_v = 1$ . У повітрі  $\epsilon_v \approx 1.0005$ .

Зменшення сили взаємодії між зарядами викликано процесами поляризації середовища. У електричному полі електрони в атомах та молекулах зміщуються і тому виникає наведений дипольний момент. Ті молекули, які мають власний дипольний момент (наприклад, молекула води), орієнтуються в електричному полі. *Дипольні моменти створюють своє електричне поле, яке протидіє тому полю, що зумовило їх появу. В результаті сумарне електричне поле зменшується.* При невеликих полях таке зменшення можна описати за допомогою діелектричної проникності.

*Діелектричну проникність визначають (в системі СІ):* 
$$\epsilon \approx \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

де  $\epsilon_0 = 10^7 / (4 \cdot \pi \cdot c^2)$  Ф/м – проникність вакууму (електрична постійна);

$c$  – швидкість світла;

В системі СГС  $\epsilon \equiv \epsilon_r$

Таблиця 3.5 - Значення відносної діелектричної проникності  $\epsilon_v$  деяких мінералів і гірських порід (за В.М.Дахновим)

Мінерали	$\epsilon_v$	Гірські породи	$\epsilon_v$
Ангідрит	5,7-6,3	Базальт	6,0-12,0
<i>Вода при <math>t=20^0C</math></i>	<b>80,0</b>	Габро	6,0-12,0
<i>Вода при <math>t=100^0C</math></i>	55,0	<i>Глина</i>	<b>10,0-20,0</b>
Гематит	25,0	Гнейс	6,0-15,0
Кальцит	7,5-8,7	Граніт	6,0-10,5
Кварц	4,3-4,7	<i>Доломіт</i>	<b>7,0-35,0</b>
Лимоніт	10,0-11,0	<i>Вапняк</i>	<b>7,5-30,0</b>
Польовий шпат	4,5-6,2	Кам'яна Сіль	6,0
Сфалерит	7,8-8,3	Кам'яне вугілля	2,5-15,0
<i>Нафта</i>	<b>2,0-2,7</b>	<i>Пісковик</i>	4,5-10,0
		Сієніт	7,0-14,0

Підвищення вологості гірських порід призводить до збільшення діелектричної проникності (див. таблицю 3.5 і рисунок 3.9).

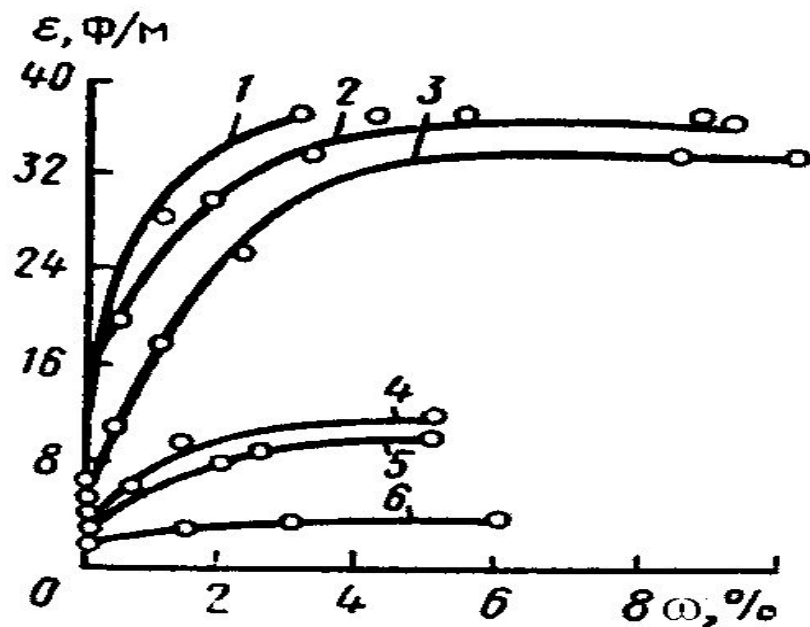


Рисунок 3.9 - Залежність діелектричної проникності  $\epsilon$  від об'ємної вологості  $\omega$  (за Є.І. Пархоменком)

1 – доломіт; 2 – мергель; 3-5 алевроліти різних типів; 6 – пісковик.

Зростання пористості сухих чи нафтонасичених порід приводить до зменшення діелектричної проникності (див. таблицю 3.5 і рисунок 3.10).

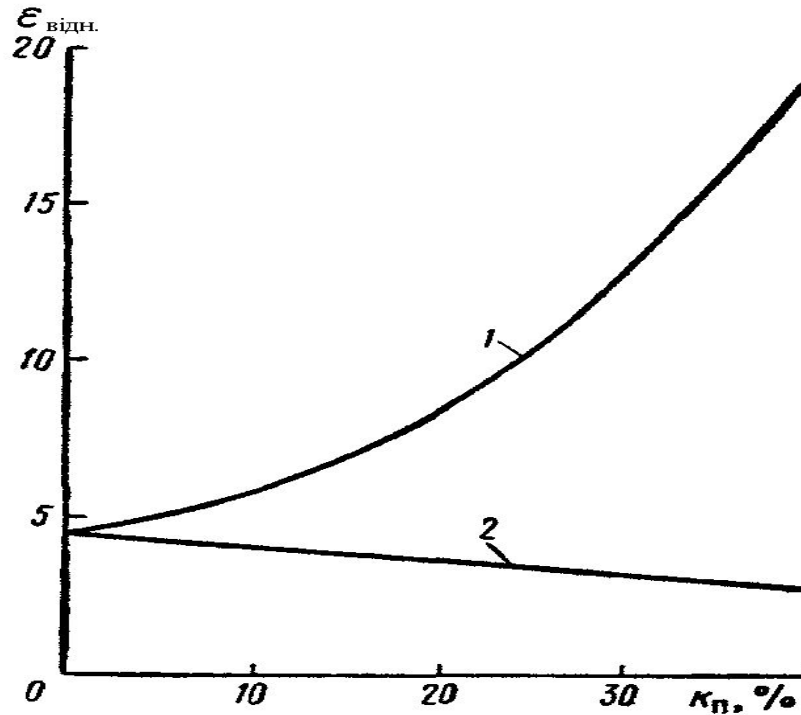


Рисунок 3.10 - Залежність відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{\text{в}}$  від коефіцієнту пористості  $\kappa_{\text{п}}$  (за В.М.Дахновим):

1 – при повному насиченні водою; 2 – те ж, повітрям, нафтою чи газом.

З підвищенням температури діелектрична проникність води і вологих порід знижується, а сухих порід - зростає.

### 3.3.3 Магнітна проникність

Магнітна проникність характеризує здатність середовища змінювати напруженість зовнішнього магнітного поля  $H$ :

$$\mu = B/H$$

де  $B$  – індукція магнітного поля (напруженість поля, зумовлена впливом середовища).

Величину  $\mu$  вимірюють у Генрі на метр (Гн/м).

Розрізняють абсолютну  $\mu$  і відносну  $\mu_r$  магнітні проникності:

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r, \quad (3.17)$$

де  $\mu_0$  - магнітна постійна (магнітна проникність вакууму), рівна  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

Відносна магнітна проникність визначається через магнітну сприйнятливість  $\chi$  середовища (гірської породи) за формулою:

$$\mu_r \approx 1 + 4 \cdot \pi \cdot \chi$$

При вимірах у повітрі з достатньою точністю можна приймати  $\mu_r \approx 1$ .

Таблиця 3.6 - Магнітна сприйнятливість  $\chi$  деяких мінералів та гірських порід  
(за В.М.Дахновим)

Мінерали та гірські породи	$\chi, \cdot 10^{-5}$ од. $Ci$	Мінерали та гірські породи	$\chi, \cdot 10^{-5}$ од. $Ci$
Діа- і парамагнітні мінерали		Магнітні гірські породи	
Авгіт	250-200	Базальт	$1,6 \cdot 10^2 - 0,6 \cdot 10^4$
Ангідрит	-(10-15)	Габро	$0,4 - 1,5 \cdot 10^4$
<i>Біотит</i>	<i>1200-1300</i>	Граніт	$0 - 0,6 \cdot 10^4$
Графіт	-25 - 0	Кварцовий порфірит	$0 - 0,25 \cdot 10^4$
Доломіт	10-50	Перидотит	$5 \cdot 10^2 - 10 \cdot 10^4$
Кальцит	-14-8	Порфірит	$0 - 3 \cdot 10^4$
Кварц	-15-0	Сієніт	$0 - 0,9 \cdot 10^4$
Феромагнітні мінерали		Метаморфічні гірські породи	
Ільменіт	$(0,4-3) \cdot 10^5$	Гнейс	$0 - 0,25 \cdot 10^4$
Магнетит	$(0,25-20) \cdot 10^5$	Кварцит	$0 - 20 \cdot 10^4$
Піротин	$(0,25-12) \cdot 10^5$	Роговик	$0 - 0,25 \cdot 10^4$
Титаномагнетит	$(0,006-1,7) \cdot 10^5$		
Осадкові гірські породи			
Ангідрит, гіпс	-100 ÷ 100	Мергель	25 ÷ 250
Глина	0 ÷ 2500	Пісковик	0 ÷ 1250
Вапняк	0 ÷ 300	Пісковик магнетитовий	$625 \div 10^3$

### 3.3.4 Природна електрохімічна активність

Електрохімічна активність порід (мВ) залежно від чинників, які викликають поляризацію, поділяється на:  
дифузійно-адсорбційну, фільтраційну, окисно-відновну.

*Дифузійно-адсорбційна активність* виникає у випадку розбіжності концентрацій і хімічного складу солей, що насичують води контактних товщ.

Величина її може сягати **декількох десятків мВ** залежно від різниці концентрацій електролітів.

На знак і величину різниці потенціалів, яка виникає на границі шарів, впливає також мінералогічний склад контактних порід.

Простежується чіткій зв'язок дифузійно-адсорбційної активності з вмістом глинистих фракцій (рисунок 3.11) і об'ємною вологістю гірських порід (рисунок 3.12).



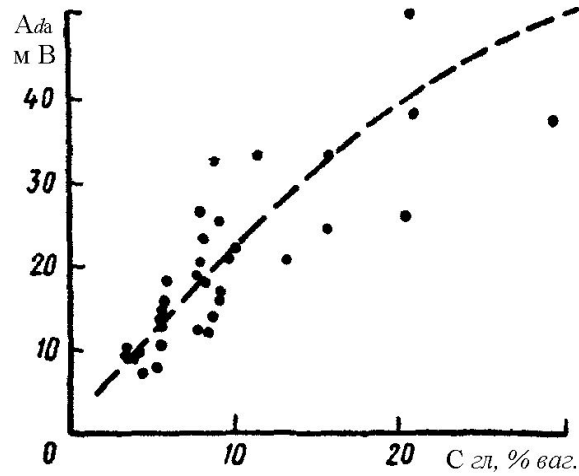


Рисунок 3.11 - Залежність дифузійно-адсорбційної активності  $A_{da}$  уламкових порід від вмісту глинистих фракцій  $C_{gl}$  (за В.М.Дахновим).

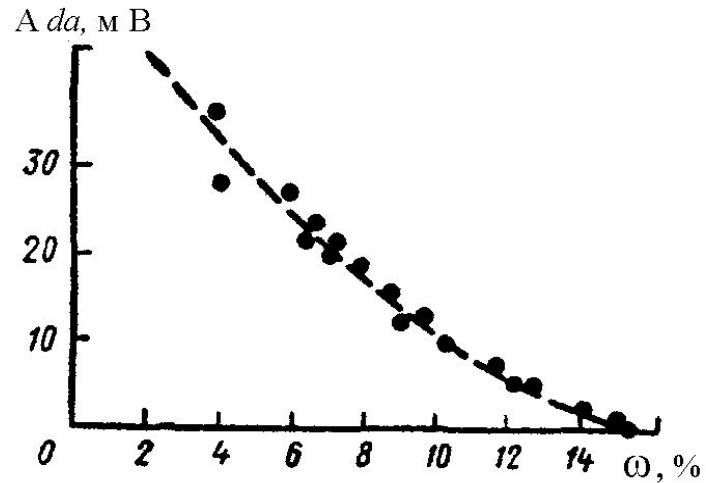


Рисунок 3.12 - Залежність дифузійно-адсорбційної активності  $A_{da}$  від об'ємної вологості  $\omega$  піщано-глинистих порід (за В.М.Дахновим).

*Фільтраційна активність* виникає у випадку фільтрації підземних вод через пори в породі.

*Величина її зростає зі збільшенням проникності порід.*

Простежується зв'язок розподілу потенціалів фільтрації з рельєфом місцевості: підвищенням рельєфу відповідають занижені значення потенціалів фільтрації.

*Окислювально-відновна активність* – здатність рудних тіл створювати на границі електронних і іонних провідників природні потенціали.

Ці потенціали досягають найбільшої величини в гірських породах, що містять **сульфідні руди, вугілля і графіти.**

Суттєве значення в утворенні природних потенціалів відіграють хімічний склад і концентрація підземних вод.

*Окислювально-відновна активність значно вища за дифузійно-адсорбційну і фільтраційну і може сягати до 1000 мВ.*

Природні потенціали збільшуються зі збільшенням у розчинах концентрацій кисню.

### 3.3.5 Викликані поляризаційні властивості

**Викликаною електрохімічною активністю гірських порід, чи викликаною поляризацією, називають властивість порід *поляризуватися* при проходженні електричного струму і створювати в навколишньому просторі електричне поле *після вимикання струму*.**

Поляризованість  $\eta$  дорівнює відношенню різниці потенціалів викликаної поляризації  $\Delta U_{ВП}$  виміряної через 0,5 сек після відключення живильного струму, до різниці потенціалів первинного поля  $\Delta U_{пр}$ :

$$\eta = \frac{\Delta U_{ВП}}{\Delta U_{пр}} \cdot 100 \quad , \% \quad (3.20)$$

Значення  $\eta$  різних порід змінюється в межах 0,1-40%.

Для порід, що не містять мінералів з електронною провідністю, характерна величина  $\eta=1.4\% \div 6\%$ .

У цілому відзначається зростання поляризованості зі зменшенням діаметра часток, що складають породу.

*Однак поляризованість чистих глин в природному заляганні майже нульова, що пояснюється високим вмістом порових вод, які різко знижують викликану електрохімічну активність.*

**Отже поляризованість піщано-глинистих відкладів зростає, якщо вміст глинистих (дрібнодисперсних) часток зменшується.**

### ***3.4. Пружні властивості гірських порід***

#### *3.4.1 Пружні коливання і поширення хвиль в ідеально пружних середовищах*

*Пружне тіло – сукупність дискретних часток, зв'язаних між собою силами притягання і відштовхування.*

*У пружному середовищі ці протилежні за знаком сили знаходяться у рівновазі.*

*Пружні тіла поділяються на газоподібні, рідкі і тверді.*

*У газах внутрішні сили, що зв'язують частки одну з одною, мізерно малі. Стисливість рідин і твердих тіл у сотні тисяч разів менша за стисливість газів.*

*Абсолютно нестисливих тіл у природі не існує, інакше не виникали б пружні хвилі.*

*У рідкому середовищі існує тільки пружність об'єму, у **твердому** – пружність об'єму і форми.*

***Ідеально пружним вважають тіло, яке змінює об'єм і форму, якщо до нього прикладають силу, і повертається у вихідний стан після припинення дії сили.***

*Зміна розмірів чи форми пружного тіла, що виникає внаслідок прикладання сили, називають **деформацією**.*

Будь-який струс, викликаний вибухом, ударом чи землетрусом, може бути причиною (*джерелом*) виникнення *пружних сейсмічних хвиль*.

**В області джерела створюються пружні деформації порід, які поширюються в усі боки у вигляді сейсмічних хвиль.**

В осередку вибуху чи землетрусу на гірські породи діють сили протягом *дуже коротких проміжків часу*.

Тому земні надра реагують на деформації, передані з джерела порушення коливань, практично як *ідеально пружне середовище*.

*Теорія поширення пружних хвиль ґрунтується на наступних фізичних положеннях:*

1- реальне середовище, у якому поширюються пружні хвилі, розглядають як суцільне, тобто відстань між частинками середовища *незначна* порівняно з довжиною сейсмічних хвиль;

2- деформації і зсуви, що виникають підчас поширення пружних хвиль в гірських породах, є відносно *невеликими*;

3- механічні властивості середовища описуються *лінійними законами Гука*, які пов'язують напруги і деформації; закони Гука справедливі для ідеально пружних середовищ.

*Середовища, механічні властивості яких підпорядковуються нелінійним законам зв'язку напруги і деформації, називають неідеально пружними.*

### 3.4.2 Параметри пружного середовища.

Деформації тіла викликані напругами.

Під напругою розуміють силу, що діє на елементарну (одичичну) площадку в пружному тілі.

$$P=F/S$$

Напруга вимірюється в Паскалях (Па).

Пружні властивості ізотропного твердого середовища визначаються двома пружними сталими - модулем Юнга  $E$  і коефіцієнтом Пуассона  $\nu$ .

Для ізотропних пружних середовищ між напругами і деформаціями дослідним шляхом встановлені співвідношення - *закони Гука*:

Відносне подовження тіла зв'язане з розтягувальною напругою співвідношенням

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{P}{E} \quad (3.26)$$

де  $\Delta l/l$  – відносне подовження;  $P$  – напруга, Па;

$E$  – *модуль поздовжнього подовження – модуль Юнга*.

Відносне поперечне скорочення (потовщення), що відбувається під час подовження (стискання) тіла, пропорційне відносному подовженню (стисканню)

$$\frac{\Delta d}{d} = \nu \frac{\Delta l}{l} \quad (3.27)$$

$\Delta l/l$  - відносне подовження тіла,

$\Delta d/d$  - відносна зміна його поперечного розміру,

$\nu$  - коефіцієнт Пуассона (безрозмірний).

Чисельна величина  $\nu$  для більшості твердих тіл близька до **0,25**.

Також пружні властивості середовища можуть бути описані через пружні постійні Ламе ( $\lambda$ ,  $\mu$ ) і модуль всебічного стиску  $k$ .

$\lambda$  - модуль поздовжньої деформації, коли немає поперечної деформації;

$\mu$ - модуль зсуву, тобто зміни форми, при зберіганні об'єму.

Вони можуть бути виражені через модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона:

$$\lambda = \frac{\nu}{(1+\nu)(1-\nu)} E \quad (3.28)$$

$$\mu = \frac{1}{2} \frac{E}{(1+\nu)} \quad (3.29)$$

модуль об'ємного розширення:

$$k = \frac{1}{3} \frac{E}{(1-2\nu)} \quad (3.30)$$



### 3.4.3 Типи пружних хвиль і швидкість їх розповсюдження.

Будь-яка деформація елементарного об'єму пружного середовища може розглядатися як результат накладання деформацій об'єму і форми (зсуву).

З кожною з них пов'язані певні типи пружних хвиль – *поздовжні P і поперечні S*.

Пружні властивості гірських порід залежать в основному від їх *пористості і літологічного складу* - від тих же чинників, що і густина, але характер цієї залежності інший.

*Швидкість поширення поздовжніх хвиль  $V_P$  зв'язана з модулем Юнга  $E$ , коефіцієнтом Пуассона  $\nu$  і густиною  $\sigma$  співвідношенням:*

$$V_P = \sqrt{\frac{E}{\sigma} \cdot \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad . \quad (3.33)$$

*Швидкість поширення поперечних хвиль  $V_S$ :*

$$V_S = \sqrt{\frac{E}{\sigma} \cdot \frac{1}{2(1+\nu)}} \quad . \quad (3.34)$$

З виразів (3.33 та 3.34) видно, що між  $V$  і  $\sigma$  існує зворотна залежність. Однак, зі зміною  $\sigma$  модуль  $E$  зростає значно швидше, тому в природі частіше спостерігається пряма залежність між  $\sigma$  і  $V$ .

З порівняння виразів (3.33) і (3.34) випливає, що поздовжні хвилі поширюються значно швидше, ніж поперечні, і першими досягають пунктів, віддалених від джерел цих хвиль:

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} \quad . \quad (3.35)$$

Або ( $\nu \approx 0,25$ ):

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{3} = 1.73 \quad . \quad (3.36)$$

*У рідинах поперечні хвилі не виникають, тобто  $V_S = 0$ .*

Поздовжні і поперечні хвилі об'єднані у поняття “ *об'ємні хвилі* ”.

Земна поверхня є поверхнею пружного середовища, на якій утворюються так звані “ *поверхневі хвилі* ”.

Поверхневі хвилі виникають у тонкому приповерхневому шарі та володіють малою швидкістю поширення хвиль.

Інтенсивність поверхневих хвиль дуже *швидко згасає* з віддаленням від денної поверхні.

Розрізняють

- поверхневі *хвилі Релея*, рух частинок у яких відбувається у вертикальній площині, паралельній напрямку поширення хвиль,
- поверхневі *хвилі Лява*, що є зсувом частинок, розташованих в горизонтальній площині, перпендикулярно напрямку розповсюдження хвилі.

Сейсморозвідку використовують переважно для пошуків родовищ вуглеводнів в районах розвитку *осадових порід*.

Середовища, що представлені магматичними та метаморфічними породами, вивчають у ході регіональних робіт та у рудній сейсморозвідці.

Швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль  $V_p$

- в *уламкових та глинистих* породах рідко перевищує **3,5 км/с**,
- у *хемогенних та органогенних* породах складає **4-6 км/с**.

(поперечні хвилі розповсюджуються зі швидкостями приблизно у двічі меншими).

**Для уламкових та глинистих порід** швидкості пружних хвиль *збільшуються*:

- зі збільшенням глибини залягання,
- із зменшенням пористості,
- збільшенням густини,
- зі збільшенням віку порід.

У **хемогенних та органогенних породах** швидкість *мало залежить* від глибини залягання та віку.

**У магматичних породах** спостерігається збільшення швидкості в ряду від порід кислого складу (*граніт, кварцовий порфір* та ін.) до основних (*габро, діабаз, базальт*) та від основних до ультраосновних (*перидотит, пироксеніт, дуніт, гиперстеніт* та ін.), а також із збільшенням глибини залягання порід та зростанням статичного тиску. ( $V_p$  змінюється від 4 до 8 км/с;  $V_s$  – від 2,5 до 4,3 км/с).

**У метаморфічних породах** (*гнейси, кристалічні сланці, серпентин, мармур*) швидкості поздовжніх та поперечних хвиль змінюються в широких межах – від значень, що відповідають *осадовим породам*, до значень, характерних для магматичних утворень.

Таблиця 3.9 – Швидкість розповсюдження пружних хвиль

Гірська порода або середовище	$V_p$ , м/с	$V_s$ , м/с
<i>Повітря</i> (залежно від температури, тиску)	310-360	-
<i>Шар ґрунту</i>	100-500	50-300
<i>Гравій, щебінь, пісок сухий</i>	100-600	60-400
<i>Пісок вологий</i>	200-1800	100-500
<b>Глина</b>	<b>1200-2500</b>	100-750
<b>Пісковик</b>	<b>1500-4000</b>	600-2500
Крейда	1800-3500	700-1800
Мергель	2000-3500	1100-1800
Вапняк, доломіт	2500-6000	1200-3500
<i>Ангідрит, гіпс</i>	<i>4500-6500</i>	2200-4000
<b>Метаморфічні породи</b>	3500-6800	2400-4200
<b>Граніт</b>	<b>4000-5700</b>	1800-3500
Вугілля	1700-2800	1000-1500
Нафта	1300-1400	-
<i>Сіль</i>	<i>4200-5500</i>	2100-3300
Вода (залежно від температури та мінералізації)	1430-1590	-
Лід	3100-4200	1600-2100

### 3.5 Зв'язок між різними параметрами фізичних властивостей гірських порід

#### *1. Зв'язок між швидкістю поздовжніх хвиль і густиною.*

В практиці комплексних геофізичних досліджень переважає емпіричне правило: збільшення густини супроводжується збільшенням швидкості сейсмічних хвиль, що не відповідає теоретичним формулам 3.33÷3.34 і пояснюється більшим впливом інших петрофізичних параметрів та фізико-геологічних факторів:

Фізико-геологічні чинники, що зумовлюють *прямий зв'язок*:

- 1) Швидкість і густина тісно пов'язані з пористістю порід, тому в **пористих породах**, де основним чинником зміни фізичних властивостей є зміна об'єму пор, існує прямий взаємозв'язок між густиною порід і швидкістю поширення пружних коливань.
- 2) Швидкість і густина корелюються з підвищенням **основності магматичних порід**.

Фізико-геологічні чинники, що зумовлюють складний, часто *обернений зв'язок*:

- 1) Швидкість розповсюдження пружних хвиль – величина векторна, змінюється з частотою хвиль, у той час, як густина – величина скалярна.
- 2) *При насиченні пор рідиною* від 75 до 100% швидкість поздовжніх хвиль зменшується на 10-15%, але густина породи збільшується.
- 3) *Збільшення системи тріщин* призводить до порушення монолітності порід, погіршує контакти між часточками, що призводить до істотного зменшення швидкості, але не чинить помітного впливу на густину.
- 4) *При підвищенні тиску* швидкість у кристалічних породах збільшується на десятки відсотків, а густина залишається практично незмінною.
- 5) З широко розповсюджених осадових порід аномальне співвідношення між густиною і швидкістю спостерігається для *кам'яної солі*: для неї характерна *висока пластова швидкість та низька густина*.



За Ф.Берчем, зв'язок між густиною і швидкістю визначається співвідношенням

$$V = \alpha + \beta\sigma \quad , \quad (3.37)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  - числові коефіцієнти.

Приклади такого зв'язку (для певного регіону):

Таблиця 3.10 - Зв'язок густини  $\sigma$  і швидкості  $V$  магматичних порід за різних тисків  $P$

$P, 100 \text{ кПа}$	$V=f(\sigma), \text{ км/с}$	$\sigma=f(V) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$	$R$
1	$3,35\sigma-3,46$	$0,216V+1,54$	0,85
1000	$2,72\sigma-1,24$	$0,274V+1,06$	0,86
4000	$2,54\sigma-0,52$	$0,291V+0,89$	0,86
6000	$2,54\sigma-0,47$	$0,312V+0,74$	0,89
10000	$2,44\sigma-0,06$	$0,293V+0,83$	0,85

$R$  – коефіцієнт  
кореляції.

*2. Зв'язок між електричними і пружними властивостями.*

*У пористих теригенних породах залежність електричного опору і швидкості пружних хвиль від пористості зумовлює кореляцію між електричними і пружними властивостями.*

*Для непористих середовищ зазначений зв'язок відсутній.*

Т.С. Ізотовою була отримана залежність для теригенних порід (піщано-глинистих порід) Дніпровсько-Донецької западини:

$$\rho_{\Pi} = 0,56 \cdot e^{1,26V},$$

з коефіцієнтом кореляції **0,89**.

У випадку узгодженого залягання опорних сейсмічних і електричних горизонтів можна оцінити зв'язок між середньою швидкістю пружних хвиль  $V_{cp}$  і геоелектричними параметрами товщ перекриття:

1) для границь відбиття за даними  $t_0$  і середньої швидкості  $V_{cp}$  оцінюються глибини  $H$

$$H = V_{cp} \cdot t_0 / 2.$$

2) глибина до опорного електричного горизонту  $H$  за сумарною поздовжньою провідністю  $S$  і величиною середнього поздовжнього опору  $\rho_{\parallel}$

$$H = S \cdot \rho_{\parallel}$$

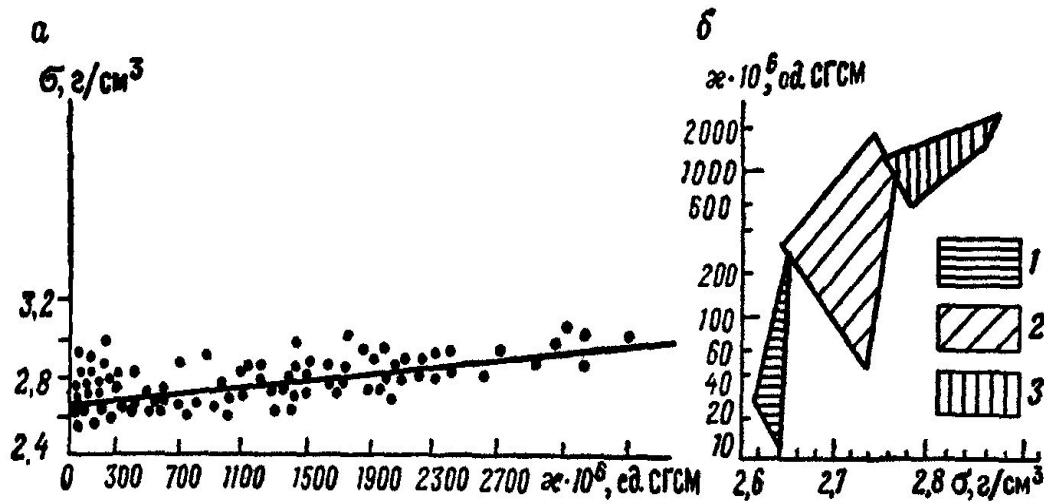
За цими рівняннями не складно записати кореляційні залежності

$$\rho_{\parallel} = KV_{cp}, \quad V_{cp} = \frac{1}{K} \rho_{\parallel},$$

де  $K = \frac{t_0}{2S}$ .

### 3. Зв'язок між густиною і магнітною сприйнятливістю.

Для **магматичних порід** з підвищенням основності відзначається збільшення густини і магнітної сприйнятливості.



На рисунку 3.13а наведено дані про кореляцію цих параметрів за матеріалами Центрального Казахстану (а - А.К Курськеєв, Б.М. Урзаєв, 1966р.) і Волго-Камського краю (б - за Г.Е. Кузнєцовим).

Рівняння зв'язку з порівняно невисоким коефіцієнтом кореляції **0,65** має вигляд

$$\sigma = 92 \cdot 10^{-6} \chi + 2,65. \quad (3.43)$$

Вивчення зв'язку між густиною і магнітною сприйнятливістю має важливе значення для інтерпретації гравітаційних і магнітних аномалій, зумовлених магматичними породами фундаменту.

- 1.1 Характеристика густини магматичних і метаморфічних порід. Середні густини гранітного і базальтового шару, верхньої мантії.
  - 1.2 Характеристика густини теригенних порід. Середній інтервал густин для пластової води, нафти і газу.
  - 1.3 Характеристика густини карбонатних і хемогенних порід.
  - 1.4 Загальні закономірності зміни густини порід у земній корі.
- 
- 2.1 Поняття залишкової намагніченості, точки Кюрі, магніострикції. Які речовини володіють цими властивостями?
  - 2.2 Фактори, які визначають магнітні властивості магматичних порід, та характер їх впливу.
  - 2.3 Фактори, які визначають магнітні властивості осадових і метаморфічних порід, та характер їх впливу.
  - 2.4 Поділ гірських порід і мінералів за магнітними властивостями, характеристика їх магнітної сприйнятливості.
- 
- 3.1 Вплив пористості, вологості і мінералізації пластових вод на питомий опір.
  - 3.2 Вплив віку, глибини, температури і тиску на питомий опір.
  - 3.3 Діелектрична проникність і фактори, які впливають на діелектричну проникність осадових порід, та характер їх впливу.
  - 3.4 Види електрохімічної активності осадових порід і фактори, які впливають на електрохімічну активність, та характер їх впливу.

## Колоквіум-3 (продовження):

4.1 Типи пружних хвиль.

4.2 Швидкість розповсюдження пружних хвиль в магматичних і метаморфічних породах та фактори, які впливають на швидкість пружних хвиль.

4.3 Швидкість розповсюдження пружних хвиль в уламкових і глинистих породах та фактори, які впливають на швидкість пружних хвиль.

4.4 Швидкість розповсюдження пружних хвиль в хомогенних і органогенних породах та фактори, які впливають на швидкість пружних хвиль.

5.1 Характер зв'язку між густиною і магнітною сприйнятливістю.

5.2 Характер зв'язку між швидкістю розповсюдження повздовжніх хвиль і густиною .

5.3 Зв'язок між середньою швидкістю пружних хвиль і геоелектричними параметрами товщ перекриття; умови достовірного зв'язку.

5.4 Характер зв'язку між густиною і електричним опором гірських порід .

**1-варіант** 1. Характеристика густини магматичних і метаморфічних порід. Середні густини гранітного і базальтового шару, верхньої мантії.

2. Поняття залишкової намагніченості, точки Кюрі, магнітострикції. Які речовини володіють цими властивостями?

3. Вплив пористості, вологості і мінералізації пластових вод на питомий опір.

**2-варіант** 1. Характеристика густини теригенних порід. Середній інтервал густин для пластової води, нафти і газу.

2. Фактори, які визначають магнітні властивості магматичних порід, та характер їх впливу.

3. Вплив віку, глибини, температури і тиску на питомий опір.

**3-варіант** 1. Характеристика густини карбонатних і хемогенних порід.

2. Фактори, які визначають магнітні властивості осадових і метаморфічних порід, та характер їх впливу.

3. Діелектрична проникність і фактори, які впливають на діелектричну проникність осадових порід, та характер їх впливу.

**4-варіант** 1. Загальні закономірності зміни густини порід у земній корі.

2. Поділ гірських порід і мінералів за магнітними властивостями, характеристика їх магнітної сприйнятливості.

3. Види електрохімічної активності осадових порід і фактори, які впливають на електрохімічну активність, та характер їх впливу.

## Колоквіум-3 (продовження):

**1-варіант** 4. Типи пружних хвиль.

5. Характер зв'язку між густиною і магнітною сприйнятливістю.

**2-варіант** 4. Швидкість розповсюдження пружних хвиль в магматичних і метаморфічних породах та фактори, які впливають на швидкість пружних хвиль.

5. Характер зв'язку між швидкістю розповсюдження повздовжніх хвиль і густиною .

**3-варіант** 4. Швидкість розповсюдження пружних хвиль в уламкових і глинистих породах та фактори, які впливають на швидкість пружних хвиль.

5. Характер зв'язку між швидкістю розповсюдження повздовжніх хвиль і геоелектричними параметрами товщ перекриття; умови достовірного зв'язку.

**4-варіант** 4. Швидкість розповсюдження пружних хвиль в хомогенних і органогенних породах та фактори, які впливають на швидкість пружних хвиль.

5. Характер зв'язку між густиною і електричним опором гірських порід .