

Міністерство освіти і науки України  
Криворізький національний університет  
Кафедра геології і прикладної мінералогії

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу «Фізика Землі та прикладна геофізика»  
зі спеціальності 103 «Науки про Землю»  
ОПП – Геологія  
(денна та заочна форми навчання)

Кривий Ріг  
2020

**Автори:** . Розмислов В. К., кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент; Волков О.Г., кандидат геолого-мінералогічних наук, ст.викладач.

**Рецензент:** А.А. Березовський, доктор геологічних наук, професор.

Науково-методична редакція – кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент В.Д.Блоха.

Методичні вказівки містять рекомендації що до виконання лабораторних робіт з дисципліни.

Окремо наведені: теми лабораторних робіт, їх мета, завдання; вихідні матеріали; вихідні теоретичні положення, методичні вказівки і порядок виконання роботи; контрольні питання з лабораторної роботи; список рекомендованої літератури.

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до видання на засіданні кафедри геології і прикладної мінералогії (протокол №8 від 19.05.2020 р.).

Схвалені на засіданні вченої ради геолого-екологічного факультету (протокол №9 від 29.05.2020 р.).

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП .....	4
Лабораторна робота №1. Вивчення способів вимірювання щільності гірських порід та руд денситометром і обробка карт даних щільності методом гістограм .....	5
Лабораторна робота №2. Вивчення астазованих кварцових гравіметрів моделей ГНВ-КС, ГНВ-КВ, ГНВ-К2, ГАК-7Т та методика проведення наземних гравіметричних робіт .....	19
Лабораторна робота №3. Вивчення магнітометра М-27М .....	28
Лабораторна робота №4. Наземна магнітна зйомка .....	33
Лабораторна робота №5. Електричні властивості гірських порід і руд .....	37
Лабораторна робота №6. Симетричне електропрофілювання (СЕП) .....	42
Лабораторна робота №7. Метод зарядженого тіла .....	46
Лабораторна робота №8. Ядерно-фізичні властивості гірських порід .....	49
Лабораторна робота №9. Вивчення польового сцинтиляційного радіометру СРП-68-01 та виміри радіоактивності керна	53
Лабораторна робота №10. Пішохідна гамма-зйомка .....	64
ДОДАТКИ .....	74

## ВСТУП

Народне господарство України на найближчі роки потребує подальшого розвинення більш прогресивних наукових методів геологічних пошуків, розвідки та видобутку корисних копалин. Такі успіхи важко уявити без використання досягнень та здобутків геофізичної науки, яка, як відомо, не стоїть на місці. Та й ті її методи, що вже апробовані на великій кількості родовищ, існуючих гірничих підприємствах, будівництві і загалом у народнім господарстві, довели свою незамінність та високу економічну ефективність. Все це дозволяє говорити про необхідність ретельного вивчення і використання результатів вимірів фізичних полів Землі.

Гірничий інженер, а тим більш інженер-геолог, повинен уміти використовувати здобутки геофізики, які значно поширюють дистанційні можливості геології, що, в свою чергу, дозволяє одержувати виняткову інформацію про будову і речовинний склад об'єктів земної кори. Спектр використання сучасних геофізичних методів дуже широкий: починаючи з вивчення найдальших об'єктів Всесвіту, будови Сонця та планет Сонячної системи і закінчуючи пошуком та розвідкою так званих «сліпих» рудних тіл та нових родовищ. Геофізичні методи досліджень також широко використовуються під час вимірів різних технологічних параметрів для цілей видобутку, збагачення і раціонального використання корисної копалини, вирішення найрізноманітніших інженерно-геологічних, гідрогеологічних, екологічних та, навіть, археологічних, і інших специфічних завдань, що породжуються як виклик сучасного бурхливого темпу життя.

Метою даних лабораторних робіт є засвоєння здобувачами вищої освіти знань про основні фізичні поля Землі і відповідних ним методів геофізики, методик проведення зйомок, вивчення будови і використання геофізичних вимірювальних приладів, початків обробки, аналізу та геологічного тлумачення геофізичної інформації.

**Лабораторна робота №1.**  
**Вивчення способів вимірювання щільності**  
**гірських порід та руд денситометром**  
**і обробка карт даних щільності методом гістограм**

Мета занять передбачає засвоєння здобувачами вищої освіти основних методологічних прийомів визначення та вивчення *щільності (густини)* гірських порід та руд, як петрофізичної та геологічної основи методу гравірозвідки.

**Вихідні теоретичні положення.**

*Фізичні основи геологічної інтерпретації гравітаційних аномалій.*

Гравітаційні аномалії [1÷6] можливо виявити тільки у тих випадках, коли гірські породи, що складають район досліджень, відрізняються за *щільністю (густиною)* і геологічні об'єкти з різною щільністю не утворюють пачки верств, що горизонтально залягають (не утворюють пакету еквіпотенціальних поверхонь), бо за принципом суперпозиції (накладання) гравітаційних полів, ефекти, зумовлені різними геологічними факторами, складаються і аномалії в цьому випадку нівелюються. В зв'язку з цим, чим більше залягання порід відмінно від горизонтального і чим більш контрастні за щільністю породи розвинені в районі досліджень, тим більш інформативними стають гравіметричні карти та графіки.

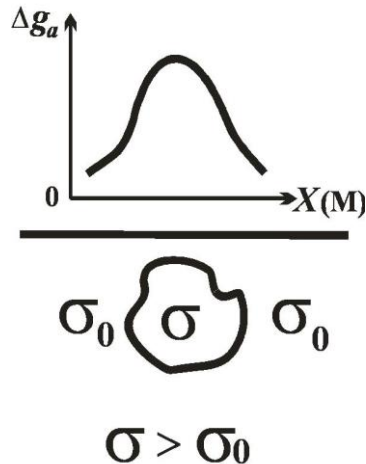
Загалом же, контрастна різниця у щільності гірських порід є головною передумовою результативного використання гравітаційного методу під час геологічних досліджень, пошуків та розвідки корисних копалин. І чим більша ця різниця у щільнос-

ті між вміщувачими породами та досліджуваним об'єктом, тим з більшим успіхом може бути використана гравірознавідка.

Різниця між фоновими значеннями щільності вміщувачих порід та щільністю тіла, що створює гравітаційну аномалію, називається *надлишковою* або *ефективною* щільністю. Надлишкова щільність може мати від'ємне значення, якщо аномальне тіло має меншу щільність, та позитивне значення, якщо воно більш щільне.

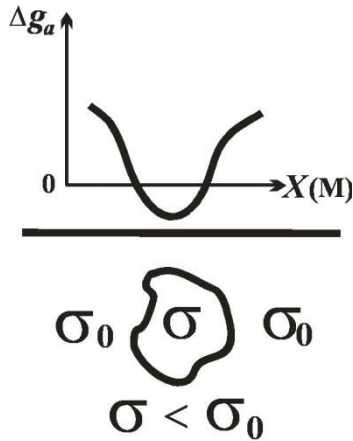
Отже, геологічна основа гравірознавідки – це нерівномірне розподілення мас різної щільності у земній корі під дією геологічних процесів. Гравітаційний ефект від тіла, що має об'єм  $V$  і щільність  $\sigma$ , і яке знаходиться у середовищі зі щільністю  $\sigma_0$ , зумовлюється його надлишковою масою  $\Delta m = (\sigma - \sigma_0) V$ . Величина  $(\sigma - \sigma_0)$  є надлишкова щільність геологічного тіла.

Якщо  $\Delta m > 0$ , то аномалія сили тяжіння  $\Delta g_a$  позитивна і графік гравітаційного поля над аномальним пошуковим об'єктом буде мати вигляд (див. рис. 1.1):



*Рис. 1.1.* Графік  $\Delta g_a$  над гравітаційною аномалією з позитивною ефективною щільністю ( $\Delta m > 0$ ).

Якщо  $\Delta m < 0$ , тоді  $\Delta g_a$  має від'ємне значення, і графік гравітаційного поля над пошуковим об'єктом буде виглядати (див. рис. 1.2):



*Рис. 1.2. Графік  $\Delta g_a$  над гравітаційною аномалією з негативною ефективною щільністю ( $\Delta m < 0$ ).*

Достовірність гравірозвідки буде тим вища, чим більша різниця у щільності ( $\sigma - \sigma_0$ ) вивчаемого об'єкту та пород, що його вміщують. Достовірність гравітаційного методу збільшується зі зменшенням глибини залягання аномалії та через більшу однорідність вміщуючих порід (через зменшення гравітаційного впливу від другорядних об'єктів). Сучасні польові гравіметри дозволяють виявляти гравітаційні аномалії зумовлені надлишковою щільністю порід менше  $0,1 \text{ г/см}^3$ . Точність вимірювання гравітаційних полів високоточними гравіметрами, які використовуються під час пошуків родовищ нафти та газу, ще на 2-3 порядки більша.

#### *Загальні відомості про щільність гірських порід та руд.*

Щільністю  $\sigma$  усякої однорідної речовини називається відношення маси  $m$  речовини до її об'єму  $V$ :

$$\sigma = m/V.$$

Але гірські породи - це неоднорідні природні агрегати, що складаються із речовини, яка може знаходитись у трьох фазових станах: твердому, рідкому та газоподібному. Тому, щільністю гірської породи називається відношення маси речовини всіх фаз, які властиві породі в умовах природного залягання, до об'єму, що займає речовина цих фаз.

Для цілей гравірозвідки необхідно знати щільність порід в їх природному заляганні, в умовах природної вологості.

Великою пористістю порід не хехтують, бо вона дає значні зменшення щільності навіть у сухому стані породи, а тим більш у водонасиченому, що є вірогіднішим в природному заляганні, навіть на значних глибинах.

Щільність гірських порід залежить від їх хіміко-мінералогічного складу, пористості і вологості, що визначається умовами як початкового утворення порід, так і їх наступних перетворень. Тому щільність можливо розглядати як об'єктивний та інформативний показник історії геологічних процесів, що відбулися з гірськими породами.

Щільність магматичних та метаморфічних мінералів визначається співвідношенням в них відносно легких (кварц, польові шпати та алюмосилікати) і щільних залізо-магнезійних мінералів (амфіболів, піроксенів, олівину, слюди) і рудних мінералів (магнетиту, піриту і т. ін.). Від цього щільність кристалічних порід підвищується з ростом їх основності та перекристалізації (ступеню метаморфізму).

Навпаки, прояви регресивного метаморфізму як правило, зменшують щільність порід. Прикладом подібних змін може слугувати процес серпентинизації ультраосновних порід, яка супроводжується привнесенням відносно легких компонентів (вода, кремнієва кислота) та розущільненням (зміненням об'єму) породи. У цьому випадку олівін ( щільність  $\sigma = 4,1 - 4,4 \text{ т/м}^3$ ) заміщується серпентином (щільність  $\sigma = 2,5 - 2,6 \text{ т/м}^3$ ).

Диз'юнктивна тектоніка і, досить часто пов'язані з нею, гідротермальні процеси що супроводжують остигання магматичних масивів, процеси регресивного метаморфізму і розвитку лінійних кір вивітрювання, також виразно зменшують показники щільності магматичних та метаморфічних порід, що виразно



відображається на гравіметричних картах від'ємними гравітаційними аномаліями.

Процеси рудоутворення, як правило, навпаки виявляються по позитивній надлишковій щільності, що зумовлена підвищеною щільністю мінералів рудних тіл різного генезису.

Породи осадового генезису характеризуються, як правило, великими значеннями пористості (за виключенням гідрохімічних осадків), тому щільність їх значно залежить від значень пористості та водонасичення (щільність прісної та соленої води  $\sigma = 1$  та  $1,03$  т/м<sup>3</sup> відповідно) і може змінюватись в значних межах для ґрунтів, глин, аргілітів, пісків та вапняків (щільність для різних порід  $\sigma$  змінюється від 1,5 до 2,9 т/м<sup>3</sup> в залежності від пористості та насичення водою). Ця їх особливість з успіхом використовується гравірозвідкою під час пошуків нафти та газу (що й самі мають щільність  $\sigma$  меншу ніж 1 т/м<sup>3</sup> і родовища яких пов'язані з покладами води). Сумарна гравітаційна дія розущільнених водонасичених порід та покладів вуглеводів дає аномальні від'ємні значення ефективною щільності, що використовує високоточна гравірозвідка для пошуків навіть глибоко залягаючих родовищ нафти та газу.

#### ***Методика визначення щільності гірських порід.***

Відомості про щільність гірських порід району досліджень необхідні для раціонального обґрунтування і проведення гравірозвідки. Ці відомості дозволяють оцінити порядок очікуваних аномалій, вибрати правильну сітку спостережень та вірно інтерпретувати гравітаційні аномалії. Тому в проектах польових партій та експедицій завжди передбачаються роботи по вивченню фізичних властивостей гірських порід та руд.

За звичай щільність вимірюють на зразках, що беруться із природних відслонень, свердловин та гірничих виробок. За для більшої вірогідності та показності виміри слід проводити на значній кількості зразків (не менше 50 штук) для кожного літологічного різновиду порід. Маса зразка повинна бути 50-400 г.

Ці вибірки порід району досліджень вивчають методами математичної статистики. Важливими є середні значення, варіаційні криві розподілення щільності та сам характер розподілу (нормальний, логнормальний чи інший). На основі цих даних

проводять планування польових гравіметричних робіт та надійно інтерпретують гравітаційні карти району робіт.

Існують гравіметричні та інші геофізичні способи польових та свердловинних визначень щільності. У лабораторних умовах щільність вимірюють спеціальними приладами. Найпростіші, але досить точні, виміри можна проводити за допомогою денситометра Самсонова.

***Будова та методика вимірювання щільності гірських порід денситометром.***

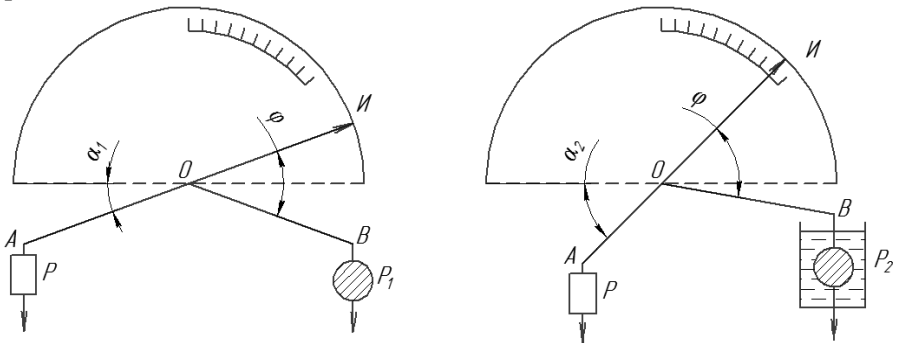
В основу принципу дії денситометра покладено гідростатичне зважування зразка породи. Якщо зразок породи спочатку зважити на технічних вагах у повітрі, а потім, помістивши його у воду знайти нову його вагу, тоді щільність зразка буде (див. формулу (1.1)):

$$\sigma = \frac{P_1}{P_1 - P_2} \quad (1.1),$$

де:

$P_1$  та  $P_2$  – вага зразка відповідно у повітрі і воді, кг.

Денситометр – це ваги з коромислом ламаної форми, плечі котрого АО та ОВ рівні і утворюють між собою кут  $180-\varphi$  (див. рис. 1.3).



***Рис. 1.3. Будова та принцип роботи денситометру.***

Якщо зразок вагою  $P_1$  зрівноважити довільною вагою  $P$ , положення рівноваги можна буде відобразитись рівнянням (див. формулу (1.2)):

$$P \cos \alpha_1 l = P_1 \cos (\varphi - \alpha_1) l \quad (1.2),$$

де:

$\alpha_1$  – кут, при котрому стрілка вагів встановлюється на індекс «И»;

$l$  – довжина плеча коромисла, м.

Зануливши зразок у ємність з водою, не змінюючи ваги  $P$ , можна записати нове рівняння (див. формулу (1.3)):

$$P \cos \alpha_2 l = P_2 \cos (\varphi - \alpha_2) l \quad (1.3),$$

де:

$P_2$  – вага зразку у воді, кг.

З рівняння рівноваги і виразу для щільності  $\sigma$  можна встановити (див. формулу (1.4)):

$$\sigma = ctg \varphi + tg \alpha_2 / tg \alpha_2 - tg \alpha_1 = f(\alpha_2) \quad (1.4),$$

Таким чином, щільність залежить від кута  $\alpha_2$ , так як кути  $\varphi$  та  $\alpha_1$  незмінні.

### *Прилади, обладнання, матеріали.*

1. Денситометр з вагами.
2. Зразки гірських порід.
3. Посудина для зважування зразків у воді.
4. Фарфорова посудина для парафінування пористих зразків.
5. Парафін, дистильована вода.

### Порядок проведення робіт.

Шкала денситометра проградуїрована у відповідних куту  $\alpha_2$  значеннях щільності. Для визначення щільності гірських порід на денситометрі підвісити зразок на праве плече коромисла і урівноважити його тягарцем так, щоб стрілка приладу встановилась на індексі «И». Потім зразок помістити в посудину з водою і зняти відлік по шкалі приладу в значеннях щільності. Щоденно, до і після роботи з денситометром знаходять систематичні похибки по всій шкалі приладу за допомогою зважування еталонних гир. Для вирахування випадкової похибки денситометра щоденно проводять не менше 10 % повторних вимірювань щільності.

При визначенні щільності пористої породи зразок необхідно покрити сумішшю воску з каніфоллю, щільністю  $1 \text{ т/м}^3$ . Середньоквадратична похибка, яка обчислюється за формулою двійних вимірів, не повинна перевищувати  $\pm 0,01-0,02 \text{ т/м}^3$ .

### *Форма запису вихідних даних та результатів визначень.*

Вихідні дані і результати визначень щільності  $\delta$  гірських порід денситометром записують у журнал по формі, наведеній у табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Результати визначення щільності  
гірських порід денситометром

Номер зразка	Порода	Щільність $\delta$ , $\text{кг/м}^3$	Номер зразка	Порода	Щільність $\delta$ , $\text{кг/м}^3$
1			11		
2			12		
3			13		
4			14		
5			15		

Похибки. По денситометру можна визначити щільність порід у межах  $(1,2-4,2) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Для перевірки вимірів денситометра до правого плеча коромисла підвішується гирка 100 гра-

мів ( $m_1$ ) і стрілка виводиться на індекс «И» накладенням гир на лівий підвіс. Потім замість першої гирьки до правого плеча коромисла денситометра підвішують другу, маса якої у воді (див. формулу (1.5)):

$$m_2 = m_1 - \left( \frac{m_1}{\delta_c} \right) \quad (1.5)$$

де:

$\delta_c$  - щільність сухої речовини,  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Якщо стрілка денситометра вказує на щільність матеріалу гирьки, то він дає похибку  $\pm (0,01-0,02) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> при масі зразків більше 50 гр.

### **Вихідні данні та зміст лабораторної роботи.**

Кожному здобувачу вищої освіти видається індивідуальне завдання, яке включає результати вивчення щільності порід та руд (додаток 1).

### ***Порядок виконання та зміст звіту лабораторної роботи по вивченню щільності гірських порід та руд.***

Ціль роботи – вивчити щільність осадових, магматичних, метаморфічних гірських порід, руд заліза, міді, хрому і поліметалів, викопного вугілля, кам'яної солі, нафти та води по літературі (1÷6). Засвоїти методику вимірювань щільності гірських порід. Виконати статистичну обробку результатів вимірювання щільності порід та руд, побудувати криві розподілу їх щільності, встановити закони розподілу цього признаку, встановити однорідність вибірки та можливе існування декількох петрографічних різновидів однієї породи, визначити найбільш вірогідне (фонове) значення щільності порід в районі досліджень.

*План складання звіту:*

1. Занотувати відомості про фізичні властивості порід і мінералів, як основу використання геофізичних методів [4] (стор. 312-318).

14

2. Надати стислий опис особливостей значень щільності осадових, магматичних та метаморфічних порід та руд, як основи гравірозвідувального методу.

3. Надати таблицю щільності найбільш розповсюджених породоутворюючих та рудних мінералів у вигляді (див. табл. 1.2):

Таблиця 1.2.

Щільність мінералів

<b>№ п/п</b>	<b>Мінерали</b>	<b><math>\sigma</math>, г/см<sup>3</sup></b>
1		
2		
.		
.		
.		

4. Надати таблицю щільності найбільш розповсюджених осадових, магматичних та метаморфічних порід та руд (див. табл. 1.3):

Таблиця 1.3.

Щільність гірських порід

<b>№ п/п</b>	<b>Гірські породи</b>	<b><math>\sigma</math>, г/см<sup>3</sup></b>
1		
2		
.		
.		
.		

5. Провести обробку карт даних щільності методом гістограм (варіанти наведено в додатку 1).

Послідовність обробки даних наведена далі на прикладі:

**Приклад:**

В таблиці 1.4. приведені результати вимірів щільності вапняків по одному з родовищ Киргизії (г/см<sup>3</sup>).

Таблиця 1.4.

Карта даних щільності вапняків, г/см<sup>3</sup>

2,65	2,64	2,63	2,61	2,61	2,63	2,66	2,68	2,69	2,67	2,65
2,61	2,63	2,64	2,71	2,72	2,62	2,63	2,65	2,62	2,63	2,64
2,62	2,63	2,64	2,75	2,78	2,85	2,87	2,82	2,88	2,52	2,73
2,73	2,64	2,64	2,65	2,66	2,67	2,68	2,69	2,68	2,69	2,68
2,67	2,66	2,65	2,64	2,63	2,62	2,61	2,62	2,63	2,64	2,65
2,76	2,79	2,71	2,72	2,75	2,77	2,52	2,52	2,65	2,63	2,65
2,64	2,63	2,63	2,61	2,62	2,63	2,64	2,65	2,66	2,67	2,68
2,69	2,68	2,69	2,68	2,67	2,66	2,65	2,52	2,53	2,69	2,69
2,67	2,65	2,66	2,67	2,61	2,62	2,63	2,65	2,65	2,66	2,67
2,68	2,69	2,63	2,68	2,69	2,54	2,55	2,67	2,65	2,63	2,64
2,62	2,63	2,65	2,66	2,68	2,61	2,63	2,62	2,65	2,63	2,63
2,68	2,63	2,65	2,68	2,56	2,57	2,63	2,65	2,68	2,61	2,65
2,63	2,67	2,64	6,62	2,63	2,62	2,68	2,67	2,69	2,62	2,62
2,68	2,63	2,58	2,59	2,63	2,68	2,61	2,62	2,62	2,60	2,52

Математична обробка вихідних даних щільності виконується в такій послідовності:

а). Проводиться рівноінтервальне групування результатів вимірювання щільності. Довжина інтервалу  $d$  вираховується по формулі Стерджесса (див. формулу (1.6)).

$$d = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3,322 \lg N} \quad (1.6)$$

де:

$X_{\max}$  та  $X_{\min}$  відповідно максимальне та мінімальне значення щільності гірських порід;

$N$  – загальна кількість вимірів щільності.

б). Визначається частота  $\Delta N$  щільності відповідного інтервалу.

в). Розраховується частість  $P$  зустрічі щільності відповідного інтервалу по формулі (див. формулу (1.7)):

$$P = \frac{\Delta N}{N} 100\% \quad (1.7),$$

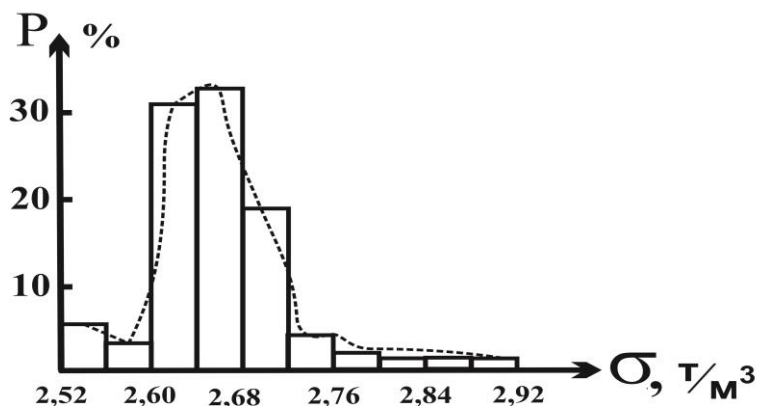
г). Результат математичної обробки заносяться у вигляді таблиці 1.5., яка побудована на прикладі карти даних щільності вапняків.

Таблиця 1.5.  
Варіаційний ряд зміни щільності вапняків

Інтервал змін щільності $\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	Частота $\Delta N$	Частість $P = \frac{\Delta N}{N} 100\%$
2,52 – 2,56	8	5
2,56 – 2,60	5	3
2,60 – 2,64	48	31
2,64 – 2,68	51	33
2,68 – 2,72	29	19
2,72 – 2,76	6	4
2,76 – 2,80	4	2
2,80 – 2,84	1	1
2,84 – 2,88	1	1
2,88 – 2,92	1	1
	$\Sigma \Delta N = N$	$\Sigma P = 100 \%$



д). За результатами табл. 1.5. будується гістограма розподілу щільності вапняків (див. рис. 1.4):



*Рис. 1.4. Гістограма розподілу щільності вапняків.*

6. В кінці звіту зробити висновки про:

а) закон емпіричного розподілу щільності гірських порід (нормальне, логнормальне або інше розподілення признаку. Це буде видно наочніше, якщо побудувати криву розподілу по точкам середин інтервалів (див. рис. 1.4.);

б) однорідність вибірки, що вивчається (про можливе існування декількох літологічних різновидів однієї породи, наявність у виборці змінених або вивітрілих зразків, або навіть інших типів порід або руд);

в) найбільш вірогідне середнє (фонове) значення щільності вивчених порід в районі досліджень;

г) ефективну (надлишкову) щільність досліджуваних порід відносно середньої щільності кристалічних порід Українського щита ( $\sigma = 2,67 \text{ г/см}^3$ ) та середньої щільності осадових порід  $\sigma = 2,3 \text{ г/см}^3$ );

д) характер і інтенсивність можливих проявів об'єкту досліджень на карті залишкових гравітаційних аномалій, визначених на основі двох розрахованих варіантів ефективної щільності.

***Контрольні питання до лабораторної роботи.***

1. Надайте відомості про фізичні властивості, як основу використання геофізичних методів.
2. Надайте стислий опис особливостей значень щільності осадових, магматичних та метаморфічних порід та руд, як основи гравірозвідувального методу.
3. Що таке щільність, надлишкова щільність, надлишкова маса?
4. Охарактеризуйте фактори, що визначають щільність гірських порід.
5. Наведіть методику статистичної обробки результатів визначення щільності гірських порід та руд.
6. Які висновки можливо зробити на основі гістограм визначення щільності гірських порід та руд.

***Список рекомендованої літератури.***

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Фізика Землі та прикладна геофізика» зі спеціальності 103 «Науки про Землю» ОПП – Геологія (денна та заочна форми навчання) / Розмислов В.К., Волков О.Г. Видавничий центр Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, 2016 р. – 86 с.
2. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Фізика Землі та прикладна геофізика» зі спеціальності 103 «Науки про Землю» ОПП – Геологія (денна та заочна форми навчання) / Волков О.Г. Видавничий центр Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, 2016 р. – 34 с.
3. Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986. - 410 с.
4. Миронов В.С. Курс гравиразведки. – Л.: Недра, 1980. – 543 с.
5. Толстой М.И. та ін. Основи геофізики. К.:Обрії, 2007, 446 с.
6. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.

**Лабораторна робота №2.**  
**Вивчення астазованих кварцових гравіметрів моделей**  
**ГНВ-КС, ГНВ-КВ, ГНВ-К2, ГАК-7Т**  
**та методика проведення наземних гравіметричних робіт**

Мета занять передбачає засвоєння здобувачами вищої освіти призначення, будови і техніки використання астазованих кварцових гравіметрів типу ГНВ-К2 та вивчення основних методологічних прийомів проведення наземних гравіметричних робіт, як практичної основи виявлення характеру поведінки гравітаційного поля та розуміння його фізико-геологічної природи.

**Вихідні теоретичні положення.**

*Методи вимірювання прискорення сили ваги і других похідних потенціалу сили ваги.*

Дуже багато фізичних явищ можна використати для вимірювання прискорення сили ваги [1÷7]. До них належить: вільне падіння тіла, коливання маятника, прецесія гіроскопа, коливання струни, деформація тіла під дією змінної сили (маси), підняття рідини в капілярі тощо. Спостерігаючи фізичні явища в різних пунктах земної поверхні, обумовлені дією прискорення сили ваги, можна визначити її величину в даному пункті. Методи вимірювання прискорення сили ваги ділять на динамічні і статичні. Динамічні методи ґрунтуються на дослідженні руху тіл в полі прискорення сили ваги. До динамічних методів належать:

- *метод маятниковий*, який використовує залежність періоду коливання маятника ( $T$ ) від зведеної його довжини ( $l$ ) і прискорення сили ваги ( $g$ ) (див. формулу (2.1)):

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2.1).$$

– **метод балістичний**, або метод вільного падіння тіла, в якому використовують залежність шляху ( $l$ ) від часу ( $t$ ) і прискорення сили ваги ( $g$ ) при прямолінійному рівноприскореному русі вільно падаючого тіла (див. формулу (2.2)):

$$l = l_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.2),$$

Де:

$l_0$  – шлях у початковий момент часу, м;

$v_0$  – швидкість у початковий момент часу, м/с.

– **метод спостереження власних поперечних коливань струни**, натягнутої тягарцем. Частота ( $f$ ) коливань гнучкої струни залежить від її довжини ( $L$ ), лінійної густини ( $\rho$ ) матеріалу, з якого виготовлена вона, а також від її маси ( $M$ ) і, очевидно, від прискорення сили ваги ( $g$ ) (див. формулу (2.3)):

$$f = \frac{l}{2L} \sqrt{\frac{M \cdot g}{\rho}} \quad (2.3),$$

Статичні методи полягають на точному врівноваженні сили ваги  $Mg$  еталонною силою  $F$ :  $Mg + F = 0$ .

При цьому тут використовується механічна властивість (деформація) системи пружин і ниток. В цих методах безпосередньо вимірювальною величиною є лінійна або кутова зміна положення рівноваги маси.

Вимірювання прискорення сили ваги бувають двох видів:

– **абсолютні** вимірювання,

– **відносні** вимірювання.

В результаті абсолютних вимірювань ми одержуємо **повне значення** прискорення сили ваги в пункті спостереження. Для

виконання абсолютних вимірювань використовують тільки динамічні методи (маятниковий або балістичний). Відносні вимірювання полягають у визначенні **різниці (приросту)** прискорення сили ваги ( $\Delta g$ ) між пунктами спостереження. Якщо відома величина прискорення сили ваги в деякому вихідному пункті ( $g_1$ ) і виміряна різниця ( $\Delta g$ ), тоді можна одержати прискорення сили ваги в іншому пункті ( $g_2$ ) (див. формулу (2.4)):

$$g_2 = g_1 + \Delta g \quad (2.4).$$

Відносні вимірювання можна виконувати динамічним і статичним методами. При відносних вимірюваннях досить виміряти одну величину: або довжину (деформацію пружини), або час (частоту коливань маятника або струни). В наш час переважно використовують статичні гравіметри, які в порівнянні з маятниковими приладами мають ряд суттєвих переваг, а саме: короткий час спостереження, відносно висока точність вимірювання і портативність. Маятникові вимірювання на суші виконують тільки для створення опорних гравіметричних мереж, а на морі – для незалежного контролю вимірювання з гравіметрами.

**Одиниці вимірювання прискорення сили ваги і других похідних потенціалу сили ваги. Необхідна точність вимірювання.**

Сила тяжіння є та сила, з якою кожне тіло притягується до Землі. Звичайно сила тяжіння вимірюється прискоренням. За одиницю прискорення в системі СИ прийнято  $1\text{ м/с}^2$ . Для точних гравіметричних вимірювань такі одиниці дуже незручні, тому використовується одиниця прискорення  $1\text{ см/с}^2$ , що називається **галом** (Гал) на честь італійського вченого Галілея, який вперше виміряв цю величину чотириста років тому. В практиці гравіметричних визначень часто вживається тисячна доля гала – **мілігал** (мГал), а також при сучасній точності вимірів більш дрібна одиниця – **мікрогал** (мкГал), тобто тисячна доля мілігала, або одна мільйонна доля гала:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Гал} &= 1 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}, \\ 1 \text{ мГал} &= 1 \cdot 10^{-3} \text{ Гал} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}, \\ 1 \text{ мкГал} &= 1 \cdot 10^{-6} \text{ Гал} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}. \end{aligned}$$

У гравіметрії замість точного виразу "прискорення сили ваги" вживають скорочену назву "сила ваги". Прискорення сили ваги на поверхні Землі змінюється приблизно від 978 до 983 Гал (від 978000 до 983000 мілігал (мГал)), збільшуючись від екватора до полюсів і зменшуючись на величину біля 0,3 мГал/м з висотою над рівнем моря. Отже, величина сили ваги закономірно змінюється в різних точках поверхні Землі в залежності від географічного положення кожної точки (широти) і від висоти її над рівнем моря.

Другі похідні потенціалу прискорення сили ваги мають розмірність градієнта сили ваги  $\frac{\partial g}{\partial n} = [c^2]$ . За одиницю вимірювання приймають  $10^{-9}$  цієї величини, яку називають один *етвеш*. Скорочено цю одиницю позначають через  $1E = 10^{-9}c^2$  на честь видатного угорського фізика Р. Етвеша, який вперше розробив теорію і конструкцію приладу для вимірювання других похідних.

Між одиницею вимірювання сили ваги і других похідних потенціалу сили ваги існує зв'язок (див. формулу (2.5)):

$$1E = 10^{-9}c^2 = \frac{1\text{г} \ddot{A} \ddot{e}}{10\text{е} \ddot{i}} \quad (2.5).$$

Тобто, зміна сили ваги на 1 мГал при віддалі 10 км відповідає одному етвешу.

Для поверхні Землі найбільшою за величиною другою похідною потенціалу сили ваги є похідна  $W_{zz} = \frac{\partial g}{\partial n}$ , порядок якої складає 3086 E, або 0,3086 мГал/м (величина зміни *вертикального градієнту гравітаційного поля на 1 метр*).

Точність вимірювання сили ваги і других похідних потенціалу сили ваги залежить від задач, які необхідно розв'язувати за гравіметричними результатами. Так, для загальної характеристики гравітаційного поля і дослідження будови земної кори достатньо знати силу ваги з точністю  $5 \div 10$  мілігал. Для розв'язку різних геодезичних задач -  $0,5 \div 1$  міліГал, для цілей гравіметричної розвідки  $0,02 \div 0,5$  мілігал, пошуків родовищ нафти та газу потребують точності  $0,001 \div 0,01$  мілігал ( $1 \div 10$  мікрогал). Для створення опорної гравімет-

ричної мережі і вивчення змін сили ваги з часом ставляться вимоги  $0,01 \div 0,10$  мілігал. Також мікрогальна точність вимірювання сили ваги  $g$  необхідна для вивчення припливних і неприпливних варіацій сили тяжіння і для цілей геодинаміки. Отже, точність вимірювання сили ваги лежить в діапазоні  $0,001 \div 10$  мілігал. Точність вимірювання других похідних потенціала сили ваги можна оцінити величиною  $1E$ , що є достатньою для розв'язування задач гравіметричної розвідки.

### ***Методика наземних гравіметричних робіт.***

Гравіметричні роботи виконуються гравіметрами. По місцю проведення робіт розрізняють наземну, морську, підземну та свердловинну гравіметричні зйомки. Основний різновид гравірозвідочних робіт – це наземна зйомка. Вона виконується по профілям або може бути площинною. Профільна зйомка виконується по окремим лініям, площинна – по завчасно створеній сіті спостережень в районі досліджень.

Польові вимірювання гравіметрами проводяться методом рейсів. ***Рейсом*** називається сукупність послідовних спостережень на опорних і рядових пунктах гравіметричної сітки або профілю. Рейс починається і закінчується на опорному пункті, що дозволяє визначити сповзання нуля-пункту гравіметра і вирахувати відносні та, якщо є така потреба, абсолютні значення прискорення сили тяжіння в рядових пікетах.

Перед початком польових робіт перевіряють механічну справність гравіметра, виконують юстировку рівнів, визначають ціну поділки гравіметра, знімають температурну характеристику в термокамері-холодильнику.

Виміри гравіметром на точці спостереження виконують у наступному порядку. Прибор встановлюють на спеціальну підставку або твердий ґрунт. Гравіметр нівелюють по рівням підйомними гвинтами. Включивши світло спостерігають в окуляр за положенням індексу маятника та обертанням мікрометричного гвинта суміщають індекс з нульовою поділкою. Після цієї процедури на відліковому пристрої зчитують відлік, який записують в половий гравіметричний журнал. Окрім відліку сюди ж записують номери профілю і пікету, температуру прибору, час взяття відліку (з точністю до хвилини). Такі виміри на кожній точці повторюють два-три

рази, після чого вираховують середній відлік. Описана послідовність процедур повторюється для кожного вимірюваного пункту.

Для оцінки якості гравіметричної зйомки в процесі полових робіт проводять контрольні спостереження в об'ємі 5-10 %, які розподіляють рівномірно по площині зйомки. Загальна кількість контрольних спостережень має бути не менше 50. Середня квадратична похибка рядової сітки (див. формулу (2.6)):

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{m - n}} \quad (2.6),$$

де:

$\delta$  – різниця відліку сили тяжіння при рядовому та контрольному вимірюванні;

$m$  – загальна кількість спостережень на контрольних пунктах;

$n$  – кількість контрольних пунктів.

Після проведення гравіметричної зйомки вираховуються аномалії Буге. Результати зйомки зображують у вигляді карт та графіків аномалій сили тяжіння: аномального поля в редукції Буге -  $\Delta g_a$ , залишкових аномалій (зняття регіональної та виділення локальної складової) та ін..

#### **Вихідні данні та зміст лабораторної роботи.**

Кожному здобувачу видається індивідуальне завдання, яке включає тип гравіметру, що вивчається, форма гравіметрового журналу і результати рейсів відносних вимірювань гравітаційного поля.

***Порядок виконання та зміст звіту лабораторної роботи по вивченню будови астазованих кварцових гравіметрів та методики проведення наземних гравіметричних робіт.***

Ціль роботи – засвоєння здобувачами вищої освіти призначення, будови і техніки використання астазованих кварцових гравіметрів типу ГНВ-К2 та вивчення основних методологічних прийомів проведення наземних гравіметричних робіт і обробки їх результатів, як практичної основи виявлення характеру пове-



дінки гравітаційного поля та розуміння його фізико-геологічної природи.

*Вміст звіту і порядок виконання роботи.*

1. Коротко описати принцип дії пружинних ваг (маятника Голіцина) (5, с. 175-176, рис. 7.8).

2. Описати принцип дії кварцових астазованих гравіметрів, будову і принцип дії кварцової системи гравіметра ГНВ-К2 ( ГАК-7Т ) (5, с. 196-198, рис. 7.19). Намалювати зовнішній вигляд і надати схему будови приладу.

3. Провести серію вимірювань сили тяжіння астазованих гравіметром на пікеті і записати їх у вигляді гравіметрового журналу (див. додаток 2).

4. Провести обробку результатів вимірів (варіанти див. додаток 2) по формулі (див. формулу (2.7)) і занести їх в гравіметровий журнал (див. таблицю 2.1):

$$\Delta g_i = c (n_i - n_0) + \delta g_i, \quad (2.7),$$

де:

$\Delta g_i$  – відносні значення прискорення сили тяжіння;

$n_i$  – відлік на  $i$ -му пікеті;

$n_0$  – відлік на початку рейсу (на опорному пікеті – ОП I);

$\delta g_i$  – величина сповзання нуля-пункту гравіметру на  $i$ -му пікеті;

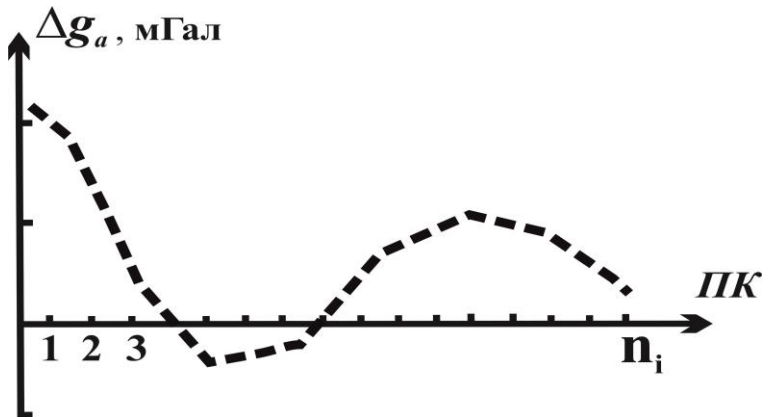
$c$  – ціна поділки гравіметру (заводський параметр кожного гравіметру, для лабораторної роботи приймається  $c = 7,5$  мГал/поділка);

Таблиця 2.1.

## Гравіметровий (гравіметричний) журнал

ПК	$n_i$	Час	$n_i - n_0$	$c(n_i - n_0)$	$\delta g$	$\Delta g_{\text{випр}}$
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						

5. Побудувати графік  $\Delta g_a$  (зразок див. рис. 2.1).

Рис. 2.1. Зразок графіку  $\Delta g_a$ .

6. Зробити висновки за результатами вимірів  $\Delta g$ .

### **Контрольні питання до лабораторної роботи.**

1. Надайте відомості про будову та принцип дії кварцового астазованого гравіметра.
2. Надайте стислий опис послідовності дій підготовки приладу до роботи.
3. Опишіть техніку вимірювання прискорення сили тяжіння на пункті спостереження.
4. Методика обробки та зображення результатів гравіметричної зйомки.

### ***Список рекомендованої літератури.***

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Фізика Землі та прикладна геофізика» зі спеціальності 103 «Науки про Землю» ОПП – Геологія (денна та заочна форми навчання) / Розмислов В.К., Волков О.Г. Видавничий центр Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, 2016 р. – 86 с.
2. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Фізика Землі та прикладна геофізика» зі спеціальності 103 «Науки про Землю» ОПП – Геологія (денна та заочна форми навчання) / Волков О.Г. Видавничий центр Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, 2016 р. – 34 с.
3. Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986. - 410 с.
4. Кошелев И.Н. Гравитационная и магнитная разведка, Киев, 1990. – 378 с.
5. Миронов В.С. Курс гравиразведки. – Л.: Недра, 1980. – 543 с.
6. Толстой М.І. та ін. Основи геофізики. К.: Обрії, 2007, 446 с.
7. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.

### **Лабораторна робота №3. Вивчення магнітометра М-27М**

Мета роботи – вивчити конструкцію магнітометра М-27М, побудувати азимутальну криву магнітометра.

Пояснення: демонтувати магнітометр, зіставити принципову схему магнітометра з його конструкцією. Виконати операції підготовки магнітометра до польових вимірювань.

#### **Самостійна робота з літературою.**

Мета роботи – ознайомитися з призначенням і принципом дії магнітометра М-27М.

Пояснення: вивчити по [1÷7] призначення і принцип дії магнітометра М-27М.

#### ***Зміст теоретичної частини звіту (додати до звіту).***

1. Принцип дії вертикальних магнітних ваг [3, рис. 1.12, с. 32÷33; рис. 14, с. 49÷51].
2. Призначення і принцип дії магнітометра М-27М [3, рис. 1.12, с. 33÷34; 4, рис. 17, с. 52÷53].
3. Технічні характеристики магнітометра [1, с. 34], [1÷7]

#### **Лабораторні дослідження.**

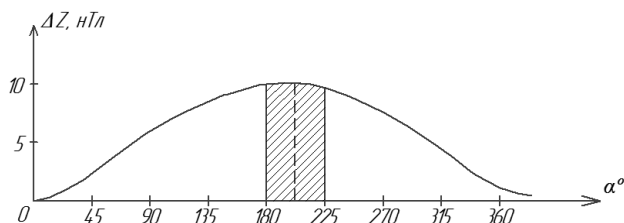
*Підготовка магнітометра М-27М до роботи.* Прилад прикріплюється на тринозі гвинтом, який має рукоятку, до столика, який дозволяє обертати магнітометр на  $360^{\circ}$ . Закріплений на тринозі магнітометр встановлюють на пункті спостережень (зазвичай КП - контрольний пункт) і нівелюють по рівням нівелювальними гвинтами. Для взяття відліку прилад дезаретують і ручкою магніту плавної компенсації встановлюють ризики рухомого індексу симетрично відносно нерухомої лінії, яка знаходиться в полі зору окуляра.

При підготовці магнітометра М-27М до польових вимірювань перевіряють механічну справність приладу, визначають ціну поділки шкали, температурний коефіцієнт, регулюють рівні приладу.

*Перевірка та регулювання рівнів.*

При вимірюваннях вертикальної складової магнітного поля вплив  $\vec{H}$  – складової на показники приладу виключаються лише в тому разі, якщо його чутливий елемент займає строго горизонтальне положення. Горизонтальність чутливого елемента визначається кутом між його віссю обертання (ниткою підвісу) і горизонталлю (кут  $\alpha$ ) і кутом між магнітною віссю магніту і горизонталлю (кут  $i$ ). Кут  $\alpha$  і кут  $i$  повинні бути мінімальними. При неточній установці приладу показання магнітометра будуть викривлені впливом  $\vec{H}$  – складової, при чому величина викривлення буде залежити від кутів  $\alpha$  та  $i$ , а також від орієнтування приладу (азимута  $A$ ).

Графік залежності вимірюваного поля  $\Delta Z$  на одній і тій же точці в залежності від азимуту називається азимутальною кривою. При точному налагодженні приладу, коли  $\alpha = i = 0$ , показання приладу не змінюються при різному його орієнтуванні по азимуту і крива залежності  $\Delta Z = f(A)$  виражається прямою лінією, яка паралельна координатній осі. При  $\alpha \neq 0$  та  $i \neq 0$  крива за виглядом нагадує синусоїду (рис. 3.1 – заштрихована область – допустимі границі орієнтації приладу,  $200 \pm 20^\circ$ ). Величину впливу кута  $\alpha$  на показання приладу знаходять по розходженню розрахунків відліку по шкалі в азимутах  $90$  та  $270^\circ$ .



**Рис. 3.1.** Азимутальна крива – графік залежності вимірюваного поля  $\Delta Z$  на одній і тій же точці в залежності від азимуту.

Щоб усунути отримане розходження в розрахунках, прилад встановлюють у вихідній орієнтовці  $90^0$  та нівелювальними гвинтами домагаються по шкалі показання, рівного середньому з узятого відліку в азимутах  $90$  та  $270^0$ . В знайденому положенню приладу бульбашку рівня паралельно осі обертання системи виводять на середину за допомогою юстированих гвинтів рівня. Операцію повторюють до тих пір, поки відлік при вказаних орієнтовках практично не будуть відрізнятися.

Горизонтальність магнітної осі системи (кута  $i$ ) визначають, орієнтуючи прилад в азимутах  $0$  та  $180^0$ . Кут  $i$  регулюють аналогічно попередньому, встановивши прилад в вихідне положення  $0$  і досягаючи по шкалі приладу відліку, рівного середньому з відліку в азимутах  $0$  та  $180^0$ . Знайдене положення закріплюють за допомогою другого рівня.

*Побудова азимутальної кривої.* Графік залежності показань приладу від його орієнтовки називається азимутальною кривою. Азимутальна крива виражає залежність  $\Delta Z = f(A^0)$  (рис. 2.1), де  $\Delta Z = c (n_i - n_0)$ ;  $c$  – ціна поділки приладу  $c = 10 \pm 0,05$ ;  $n_0$  – відлік за приладом в положенні приладу на північ;  $n_i$  – відлік по магнітометру в азимутах через  $30^0$ ;  $A^0$  – азимут взяття відліку. Зняття азимутальної кривої виконується зазвичай на контрольному пункті.

### ***Обладнання і апаратура.***

1. Вивчити пристрій і принцип дії магнітометра М-27М.
2. Виконати вимірювання на точці, для цього:
  - закріпити прилад на тринозі;
    - за допомогою нівелювальних гвинтів встановити прилад по рівням;
    - дезаретувати систему (встановити аретуючий пристрій в положення Р – робоче);
    - обертаючи ручку і вимірювального магніту, підвести риску рухомого індексу симетрично відносно нульової лінії на шкалі;
    - зняти показання приладу;

записати в журнал відлік по приладу, номер точки спостереження, час, температуру, орієнтацію приладу, положення перемикачу діапазонного механізму.

3. Виконати регулювання рівнів.

4. Зняти і побудувати азимутальну криву. Результати вимірювань занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.3.

Результати вимірювань

Азимут	$n_i$ , поділ.	$\Delta n = n_i - n_0$	$\Delta Z = c\Delta n$	Примітки
0 <sup>0</sup>				
30 <sup>0</sup>				
60 <sup>0</sup>				
90 <sup>0</sup>				
120 <sup>0</sup>				
150 <sup>0</sup>				
180 <sup>0</sup>				
210 <sup>0</sup>				
240 <sup>0</sup>				
270 <sup>0</sup>				
300 <sup>0</sup>				
330 <sup>0</sup>				
360 <sup>0</sup>				

#### **Зміст звіту.**

1. Доповідь – теоретична частини звіту.
2. Підготовка магнітометра до польових вимірювань [3, с. 35÷36 ].
3. Побудувати азимутальну криву магнітометра [3].
4. Методика вимірювання магнітного поля магнітометра М-27М на точці спостереження [6, с. 58 ].

#### **Контрольні питання.**

1. Основні причини існування магнітного поля Землі.
2. Елементи магнітного поля Землі.
3. Принцип дії магнітометра М-27М.
4. Перевірка та регулювання рівнів приладу.

5. Як зняти і побудувати азимутальну криву магнітометра М-27М.

6. Методика вимірювання магнітного поля на точці спостереження [1÷7].

### ***Список рекомендованої літератури.***

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Фізика Землі та прикладна геофізика» зі спеціальності 103 «Науки про Землю» ОПП – Геологія (денна та заочна форми навчання) / Розмислов В.К., Волков О.Г. Видавничий центр Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, 2016 р. – 86 с.

2. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Фізика Землі та прикладна геофізика» зі спеціальності 103 «Науки про Землю» ОПП – Геологія (денна та заочна форми навчання) / Волков О.Г. Видавничий центр Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, 2016 р. – 34 с.

3. Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986.

4. Геофизические методы поисков и разведки / Под ред. В.П. Захарова. – Л. : Недра, 1982.

5. Демура Г.В. Практические и лабораторные работы по радиометрическим и ядернофизическим методам. – К. : Выща шк., 1984.

6. Кунщиков Б.К. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1976.

7. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.



### Лабораторна робота №4. Наземна магнітна зйомка

Мета роботи – ознайомитися з методикою проведення наземної магнітної зйомки. Вивчити характер розподілу магнітного поля геологічної моделі, побудувати карту ізодинам  $\Delta Z$ , якісно інтерпретувати результати робіт.

*Пояснення:* вивчити по [1; 4; 5] методику організації магнітної зйомки, звернувши увагу на вирішуючі геологічні задачі, залежність масштабу проведених робіт і сітки спостереження, точність виконуваних робіт, підготовка магнітометра до роботи, обробку результатів магніторозвідувальних робіт, зобразити результати зйомки (доповідь додати до звіту).

***Вивчення приростів вертикальної складової магнітного поля геологічної моделі.***

*Порядок виконання роботи:*

1. Виміряти приріст вертикальної змістовної  $\Delta Z$  магнітного поля по мережі, визначеної на геологічній моделі.
2. Результати вимірювань записати в журнал.

Дата  
Прилад №  
 $n_{КП1}$   
 $n_{КП2}$

Дільниця «Геологічна»  
 $C = 10$  нТл/поділ.

ПР	ПК	Відлік $n_i$	$\Delta z = c(n_i - n_{КП1})$	Час $t$	Зміщення нуль- пункту ( $\Delta z_0$ )	$\Delta Z_a$	Примітки
	1						
	2						
	...						

3. Обробку даних магнітної зйомки виконати за формулою (див. формулу (4.1)):

$$\Delta Z_a = \Delta Z - \Delta Z_0 \quad (4.1),$$

де:

$\Delta Z$  – значення приросту поля між рядовими точками і контрольним пунктом;

$\Delta Z_0$  – поправка за зміщення нуля-пункту приладу.

Приріст поля (див. формулу (4.2)):

$$\Delta Z = c(n_i - n_{КП1}) \quad (4.2),$$

де:

$c$  – ціна поділки шкали приладу, нТл/поділ.;

$n_i$  – відлік в точці вимірювання у поділках шкали;

$n_{КП1}$  – відлік на початку рейсу на контрольному пункті (КП).

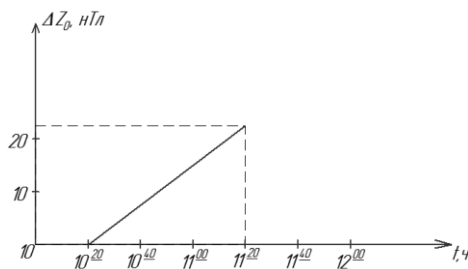
Поправка за зміщення нуля-пункту приладу (див. формулу (4.3)):

$$\Delta Z_0 = c(n_{КП2} - n_{КП1}) \quad (4.3),$$

де:

$n_{КП2}$ ,  $n_{КП1}$  – відповідно початкове і кінцеве вимірювання на контрольному пункті.

Величину поправки за зміщення нуля-пункту в кожен точку вимірювання визначають за графіком (див. рис. 4.1).



**Рис. 4.1.** Графік величини поправки за зміщення нуля пункту.

4. Побудувати карту ізодинам  $\Delta Z_a$  з наступним шагом ізоліній:  $\pm 100, 200, 300, 500, 700, 1000, 1500, 2000$  нТл. При проведенні ізоліній магнітного поля слід використовувати такі умовні позначення (рис. 4.2):

- 100 ———— – позитивні поля;
- · — · — · — — — – нульова ізолінія;
- - - 100 - - - - - – від’ємні поля.

**Рис. 4.2.** Приклад ізоліній магнітного поля  $\Delta Z_a$ .

Позитивні поля малювати блакитним кольором, від’ємні – червоним, використовуючи 2-3 відтінки. Область нормального поля намалювати жовтим кольором.

5. Перевести якісну інтерпретацію магнітного поля, звернувши увагу на простягання ізоліній, інтенсивність, градієнт і знак аномалій.

6. Результати якісної інтерпретації взяти за основу моделі геологічної побудови навчального полігону.

**Зміст звіту.**

1. В тезисній формі описати методику проведення наземних магніторозвідкових робіт.
2. Пояснити послідовність камеральної обробки матеріалів наземної магнітної зйомки.
3. Побудувати карту ізодинам  $\Delta Z_a$ .
4. Виконати якісну інтерпретацію магнітного поля.
5. Побудувати геологічну модель досліджуваного полігону [1; 2; 4, 5].

**Контрольні питання.**

1. Які геологічні задачі вирішуються наземною магнітною зйомкою?
2. У яких масштабах проводять наземні магніторозвідувальні роботи?
3. Як створюється мережа спостережень?
4. Яку роль виконує контрольний пункт ( КП ) в магніторозвідці?
5. За якою формулою розраховують аномальні значення  $\Delta Z$ ?
6. Як зображуються результати магнітної зйомки [1, 4, 5]?

**Список рекомендованої літератури.**

1. Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986.
2. Геофизические методы поисков и разведки / Под ред. В.П. Захарова. – Л. : Недра, 1982.
3. Демура Г.В. Практические и лабораторные работы по радиометрическим и ядернофизическим методам. – К. : Выща шк., 1984.
4. Куншиков Б.К. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1976.
5. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.

## **Лабораторна робота №5. Електричні властивості гірських порід і руд**

Мета роботи – вивчити електричні властивості осадових, магматичних, метаморфічних гірських порід і наступних корисних копалин: руди залізни, мідні, хроміти, поліметали, копалини вугілля, кам'яна сіль, нафта, вода. Виконати статистичну обробку результатів визначення питомого електричного опору доломітів та мергелів, побудувати гістограму розподілу питомого опору і встановити закон розподілу.

Пояснення: вивчити на основі [1÷3] електричні властивості гірських порід і руд.

***Статистична обробка даних визначення питомого електричного опору гірських порід і руд.***

*Лабораторні дослідження.*

Пояснення: в табл. 5.1 приведені результати визначення питомих опорів доломітів та мергелів по одній із ділянок Устюрту.

Таблиця 5.1.

Питомий електричний опір  $\rho$ , Ом·м

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
142	191	360	380	145	155	156	157	159	159	158	545	625
451	470	435	430	289	299	355	615	590	210	213	229	259
267	268	241	245	248	237	232	275	285	290	295	340	330
355	359	365	380	390	395	420	430	72	82	92	101	155
157	159	114	115	135	146	147	78	95	99	113	114	119
125	137	165	170	175	265	251	264	268	225	256	268	174
189	199	210	212	215	224	230	520	530	535	480	264	188
176	169	165	254	255	256	265	261	194	197	200	85	87
91	99	115	141	147	156	156	159	151	97	98	100	101
103	104	105	107	112	128	128	128	134	138	141	157	158
159	148	151	154	155	158	86	87	89	94	95	97	190
180	162	174	177	189	193	196	327	301	287	296	312	324
357	445	113	114	115	125	121	129	131	134	144	145	150
155	129	137	144	129	117	118	119	124	123	127	131	144
159	148	74	72	73	78	81	82	84	85	86	87	88
89	104	107	111	112	115	145	147	147	148	149	150	151
152	153	154	151	162	120	172	182	191	213	172	161	178

Виконати математичну обробку вихідних даних питомого електричного опору мергелів і доломітів у такій послідовності [2].

1. Провести рівноінтервальне групування результатів вимірювання питомого електричного опору доломітів та мергелів. Довжина інтервалу за формулою Стерджессу (див. формулу (5.1):

$$d = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3.322} \quad (5.1),$$

де:

$x_{max}, x_{min}$  - відповідно максимальне і мінімальне значення питомих електричних опорів доломітів та мергелів;

$N$  – загальне число вимірів.

2. Визначити частоту  $\Delta N$  питомого електричного опору відповідного інтервалу.

3. Розрахувати частість зустрічі відповідного інтервалу за формулою (див. формулу (5.2):

$$\frac{\Delta N}{N} * 100\%. \quad (5.2).$$

4. Визначити накоплення частоти в наступному інтервалі за формулою (5.3):

$$\sum \Delta N \quad (5.3).$$

5. Знайти накоплення частоти в наступному інтервалі за формулою (5.4):

$$\sum \frac{\Delta N}{N} * 100\%. \quad (5.4).$$

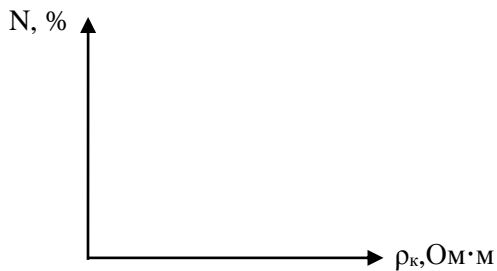
6. Результати математичної обробки записати в табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Варіаційний ряд зміни питомого електричного опору доломітів та мергелів

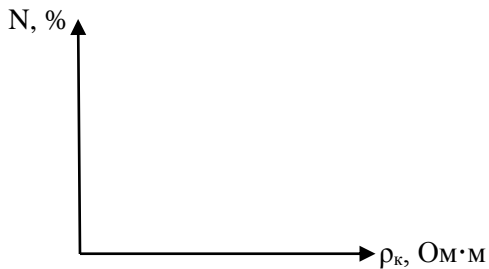
№	Інтервал зміни питомого електричного опору $\rho_{кз}$ (Ом·м)	Частота $\Delta N$	Частість $\frac{\Delta N}{N} * 100\%$	Накоплення частоти $\sum \Delta N$	Накоплення частоти $\sum \frac{\Delta N}{N} * 100\%$
1					
2					
3					
...					

7. За результатами табл. 5.2 побудувати гістограму (рис. 5.1) і варіаційну криву (рис. 5.2) розподілу питомого електричного опору доломітів та мергелів. При побудові гістограми і варіаційної кривої по осі ординат наносять значення частоти  $N$ , %, по осі абсцис – інтервали зміни питомого електричного опору  $\rho_k$ , Ом·м.



*Рис. 5.1. Графік побудови гістограми розподілу питомого електричного опору доломітів та мергелів.*

8. Нанести точки, які відповідають по осі ординат накопиченню частоти  $P(x)$ , по осі абсцис – середнє значення питомого електричного опору відповідного інтервалу.



*Рис. 5.2. Графік побудови варіаційної кривої розподілу питомого електричного опору доломітів та мергелів.*



8. Зробити висновки про закон емпіричного розподілу питомого електричного опору доломітів та мергелів однієї з ділянок Устюрту.

#### **Зміст звіту.**

1. Коротко описати електричні властивості осадових, магматичних, метаморфічних гірських порід і руд [1, с. 74÷79; 3].
2. Скласти звідну таблицю питомого електричного опору гірських порід [2, с. 13÷14 ].
3. Навести розраховані данні в звіті.
4. Зробити висновки.

#### **Контрольні питання.**

1. Як залежить питомий опір гірських порід від питомого опору мінералів, які їх складають?
2. Як залежить питомий опір гірських порід від пористості, вологості, питомого опору рідини, структурно-текстурних особливостей, температури?
3. Порівняльна характеристика магматичних, осадових, метаморфічних гірських порід і руд [1÷3]

#### **Список рекомендованої літератури.**

1. Геофизические методы поисков и разведки / Под ред. В.П. Захарова. – Л. : Недра, 1982.
2. Огильви А.А. Сборник задач по геофизическим методам разведки. – М. : Недра, 1985.
3. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.

## **Лабораторна робота №6. Симетричне електропрофілювання (СЕП)**

Мета роботи – ознайомитися з можливістю вивчення питомого опору гірських порід  $\rho_k$  в горизонтальному напрямку при незмінних розмірах установки живлячих А В і прийомних М Н електродів, вивчити можливості геологічного квадратування, пошуку високоомічних геологічних об'єктів за допомогою симетричного електропрофілювання на геологічній моделі.

*Пояснення:* при пошуку родовищ корисних копалин, вирішуванні задач геологічного картування, структурно-геологічних дослідженнях, вирішуванні гідрогеологічних та інженерно-геологічних задач в даний час з успіхом застосовується електропрофілювання. Ознайомитися з фізико-геологічними основами методами опору по [1÷4]. Вивчити методику проведення електророзвідувальних робіт за методом симетричного електропрофілювання.

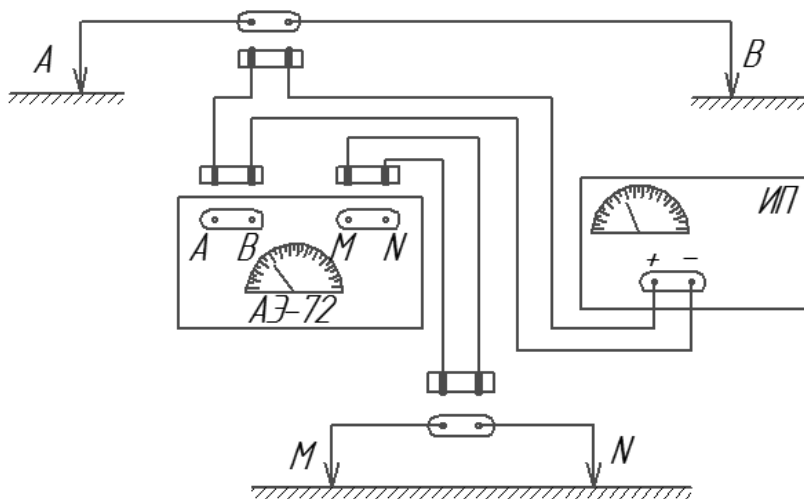
### ***Методика симетричного електропрофілювання (СЕП).***

*Апаратура та обладнання.*

1. Джерело живлення (ДЖ).
2. Електророзвідувальна апаратура АЕ-72.
3. Електроди А, М, N, В.
4. З'єднувальні дроти.
5. Модель геологічного полігону.

**Порядок виконання робіт.**

1. Зібрати лабораторну установку за схемою (рис. 6.1).



**Рис. 6.1.** Схема лабораторної установки для вимірювань методом СЕМ.

2. Розрахувати коефіцієнт установки (див. формулу (6.1)):

$$K = \pi \frac{AM AN}{MN} [m] \quad (6.1).$$

3. Виміряти різницю потенціалів  $\Delta U_{MN}$  і струм в ланцюзі АВ  $I_{AB}$ .

4. Вирахувати питомо-електричний опір, Ом·м (див. формулу (6.2)):

$$\rho_k = K \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}} \quad (6.2).$$

5. Результати вимірювань і вираховання записати в журнал у вигляді табл. 6.1.

Таблиця 6.1.

Журнал для запису результатів польових спостережень  
методом симетричного електропрофілювання

Профіль

AB =

MN =

K =

крок =

Пікет	$\Delta U$ , мВ	I, мА	$\rho_k$ , Ом·м	Примітки	
1					
2					
3					
...					

6. Побудувати карти графіків  $\rho_k$  та ізоом геологічного полігону.

7. Виконати якісну інтерпретацію результатів зйомки і побудувати геологічну модель району дослідження.

#### **Зміст звіту.**

1. Загальні відомості про електричне поле постійного струму [2, с. 79÷83, рис. 3.1 та 3.2а].

2. Методика проведення робіт симетричного електропрофілювання [1, с. 167÷169].

3. Результати лабораторної роботи.

4. Висновки.

#### **Контрольні питання.**

1. Яка залежність потенціалу  $U$ , напруженості електричного поля  $E$  і щільності струму  $j$  у вільній точці на земній поверхні?

2. Як визначається питомий електричний опір  $\rho_k$  при проведенні робіт методом СЕП?
3. Як зображуються результати робіт симетричного електропрофілювання?
4. Поясніть роботу авто компенсатора АЕ-72 за принципіальної схемою [1, с.162, рис. 3.6].
5. Методика проведення робіт симетричним електропрофілюванням.
6. Якісна інтерпретація результатів зйомки.
7. Геологічні задачі, які вирішуються методом СЕП.

***Список рекомендованої літератури.***

1. Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986.
2. Геофизические методы поисков и разведки / Под ред. В.П. Захарова. – Л. : Недра, 1982.
3. Толстой М.І. та ін. Основи геофізики. К.: Обрії, 2007, 446 с.
4. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.

## **Лабораторна робота №7. Метод зарядженого тіла**

Мета роботи – ознайомитися з сутністю методу і способами спостереження електромагнітних полів над зарядженим тілом, вивчити можливість простеження і оконтурювання рудних тіл, які добре проводять електричний струм, методом зарядженого тіла.

*Пояснення:* при розвідці рудних об'єктів, які добре проводять електричний струм, задача простежування і оконтурювання рудного тіла, розкритого свердловиною або гірською виробкою, може бути вирішена методом зарядженого тіла.

Використовуючи [1; 2], ознайомитись з сутністю метода, способами спостереження магнітних полів над зарядженим тілом і графічним зображенням результатів зйомки.

### ***Методика методу зарядженого тіла***

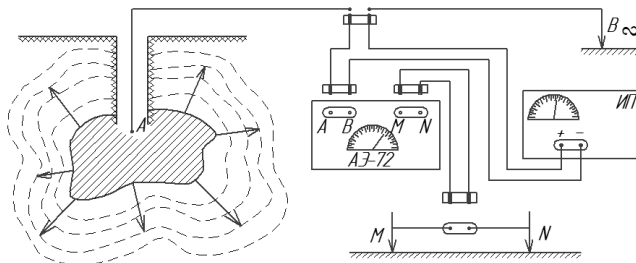
Вивчити можливість простеження і оконтурювання рудних тіл, які добре проводять електричний струм, методом зарядженого тіла [1-5].

*Апаратура і обладнання.*

1. Джерело живлення ( ДЖ ).
2. Електророзвідувальна апаратура АЕ-72.
3. Електроди А, М, N, В.
4. З'єднувальні дроти.
5. Модель геологічного полігону.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Зібрати лабораторну установку за схемою (рис. 7.1):



**Рис. 7.1.** Схема лабораторної установки для вимірювань методом зарядженого тіла.

2. Виконати вимірювання по методу градієнта потенціалу.
3. Результати вимірювань та обчислень записати в журнал у вигляді табл. 7.1.

Таблиця 7.1.

Журнал для запису результатів польових спостережень за методом зарядженого тіла способом градієнту

Пікет	Профіль		$\frac{\Delta U}{I} * \frac{1}{r_{MN}}$	Дата
	$\Delta U$ , мВ	I, мА		MN =
1				Примітки $r_{MN}$ — відстань між точками спостереження, м
2				
3				
...				

4. Побудувати карту графіків  $\frac{\Delta U}{I} * \frac{1}{r_{MN}}$  градієнту потенціалів.
5. Виконати якісну інтерпретацію результатів зйомки і визначити положення рудного тіла.

**Зміст звіту.**

1. Коротка характеристика метода зарядженого тіла [2, с. 97-98].
2. Пояснити методи спостереження і зображення електромагнітних полів над зарядженим тілом [1, с.180÷181; 2, рис. 3. 11].
3. Результати лабораторної роботи.
4. Висновки.

**Контрольні питання.**

1. Фізико-геологічні основи метода зарядженого тіла.
2. Які існують методи вивчення електромагнітного поля над зарядженим тілом?
3. Як здійснюється обробка результатів вимірів в методі градієнту потенціалу [1, 2]?
4. Методика проведення зйомки способом градієнту потенціалу.
5. Зображення результатів метода заряду.
6. Якісна інтерпретація результатів робіт.
7. Геологічні задачі, які вирішуються методом заряду [1, 2, 5]

**Список рекомендованої літератури.**

1. Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986.
2. Геофизические методы поисков и разведки / Под ред. В.П. Захарова. – Л. : Недра, 1982.
3. Толстой М.І. та ін. Основи геофізики. К.: Обрії, 2007, 446 с.
4. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.
5. Якубовский Ю.В. Электроразведка. – М. : Недра, 1973.



## **Лабораторна робота №8. Ядерно-фізичні властивості гірських порід**

Мета роботи – вивчити ядерно-фізичні властивості осадових, магматичних і метаморфічних гірських порід. Виконати статистичну обробку результатів виміру вмісту урану у гранітному масиві, побудувати криві розподілу вмісту урану, встановити закон розподілу.

*Пояснення:* вивчити на основі [1, 2, 4, 5] радіоактивні властивості осадових, магматичних і метаморфічних гірських порід.

***Статистична обробка даних визначення вмісту урану у гранітному масиві.***

*Пояснення:* в табл. 8.1 приведені результати визначення вмісту урану в гранітному масиві.

Виконати математичну обробку вихідних даних вмісту урану в гранітному масиві у такій послідовності [3].

1. Провести рівноінтервальне групування результатів вимірювання вмісту урану у гранітному масиві. Довжина інтервалу по формулі Стерджессу (див. формулу (8.1)):

$$d = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3.322 \lg N} \quad (8.1),$$

де:  $x_{\max}, x_{\min}$  - відповідно максимальний і мінімальний вміст урану.

Таблиця 8.1.

Результати визначення вмісту урану в гранітному масиві

Cv·10 <sup>-4</sup> %							
11	12	15	16	10	10	15	15
13	15	12	15	11	15	16	14
17	16	15	13	15	16	14	16
20	17	14	15	16	15	12	20
18	11	16	15	15	17	15	15
12	15	15	17	19	15	15	10
14	17	13	15	20	15	16	11
15	15	15	15	15	12	17	15
16	14	17	18	15	15	15	17
12	17	20	15	16	16	15	16
14	13	13	13	14	15	14	15
11	15	15	15	15	11	15	15
16	15	14	15	15	15	13	15
15	14	16	12	16	14	15	14
19	15	15	15	15	15	17	15

2. Визначити частоту  $\Delta N$  вмісту урану відповідного інтервалу.

3. Розрахувати частість зустрічі вмісту урану відповідного інтервалу за формулою (8.2):

$$\frac{\Delta N}{N} * 100\% \quad (8.2).$$

4. Обчислити накоплення частоти в наступному інтервалі за формулою (8.3):

$$\sum \Delta N \quad (8.3).$$

5. Розрахувати накоплення частоті в наступному інтервалі за формулою (8.4):

$$\sum \frac{\Delta N}{N} * 100\% \quad (8.4).$$

6. Результати математичної обробки записати в табл. 8.2.

Таблиця 8.2.

Варіаційний ряд зміни вмісту урану в гранітному масиві

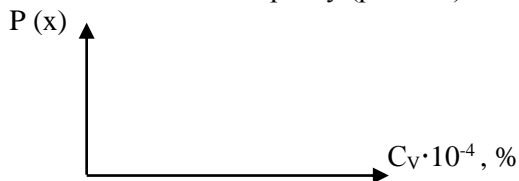
Інтервал зміни вмісту урану $C_V \cdot 10^{-4}$	Частота $\Delta N$	Частість $\frac{\Delta N}{N} * 100\%$	Накоплення частоти $\sum \Delta N$	Накоплення частоті $\sum \frac{\Delta N}{N} * 100\%$

7. За результатами табл. 8.2 побудувати гістограму і варіаційну криву розподілу вмісту урану. При цьому по осі ординат наносять значення частоти  $N$ , %, по осі абсцис – інтервал зміни вмісту урану (рис. 8.1).



*Рис. 8.1.* Графік побудови гістограми розподілу вмісту урану.

8. На імовірнісному папері нанести точки, відповідаючі по осі ординат накопленню частоті  $P(x)$ , по осі абсцис – середнє значення щільності відповідного інтервалу (рис. 8.2).



*Рис. 8.2.* Графік побудови варіаційної кривої розподілу вмісту урану.

9. Зробити висновки про закон емпіричного розподілення вмісту урану у гранітному масиві [3].

**Зміст звіту.**

1. Коротко описати ядерно-фізичні властивості осадових, магматичних і метаморфічних гірських порід [ 2, с. 175÷179 ].
2. Скласти звідну таблицю вмісту урану, торію та калію в гірських породах [1, табл. 5.1, с. 286 ].
3. Результати лабораторної роботи.
4. Висновки.

***Контрольні питання***

1. Причини радіоактивності гірських порід.
2. Характеристика радіоактивності магматичних і осадових гірських порід [1÷5].

***Список рекомендованої літератури.***

1. Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986.
2. Геофизические методы поисков и разведки / Под ред. В.П. Захарова. – Л. : Недра, 1982.
3. Огильви А.А. Сборник задач по геофизическим методам разведки. – М. : Недра, 1985.
4. Толстой М.І. та ін. Основи геофізики. К.: Обрії, 2007, 446 с.
5. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.

**Лабораторна робота №9.**  
**Вивчення польового сцинтиляційного радіометру СРП-68-01**  
**та виміри радіоактивності керна**

Мета роботи – ознайомлення з пристроєм, принципом дії та підготовкою радіометру СРП-68-01 до польових вимірів, з методикою виміру радіоактивності керна радіометром СРП-68-01.

*Пояснення:* геологорозвідувальний сцинтиляційний радіометр СРП-68-01 призначений для пошуку радіоактивних руд по їх  $\gamma$ -випромінюванню, радіометричної зйомки місцевості, а також для радіометричного опробування кар'єрів та гірських виробіток.

**Вихідні теоретичні положення.**

Радіоактивними називають елементи, ядра атомів яких впродовж часу мимоволі перетворюються в ядра атомів інших елементів з іншими фізичними і хімічними властивостями [1÷5]. В даний час відомі наступні види радіоактивних перетворень:  $\alpha$ -розпад з випусканням ядер гелію;  $\beta$ -розпад з випусканням електронів та позитронів; захват ядром електрона з однією з оболонок власного атома (звичайно к-оболонки к-захват), мимовільне ділення деяких важких ядер на два близьких по масі ядра.

В багатьох випадках  $\alpha$ - та  $\beta$ - частки уносять практично всю енергію. Залишок її випускається у вигляді одного або декількох  $\gamma$ -квантів. Гама-вилучення – це кванти електромагнітного вилучення з довжиною хвилі  $\lambda = n \cdot 10^{-13}$  м. Енергія  $\gamma$ -квантів виражається добутком  $E_\gamma = \hbar \cdot \nu$ , де  $\hbar$  – постійна Планка ( $\hbar = 4 \cdot 14 \cdot 10^{-21}$  МеВ·с);  $\nu$  – частота коливань  $\gamma$ -випромінювання  $\nu = c/\lambda$ ;  $c$  – швидкість світлу;  $\lambda$  – довжина хвилі.

Проникаюча здатність  $\gamma$ -квантів відносно велика. Їх пробіг в повітрі може досягати 600÷700 м. Для практично повного поглинання  $\gamma$ -вилучень потрібен шар гірських порід потужністю в кілька десятків сантиметрів; такий шар називають насиченим.

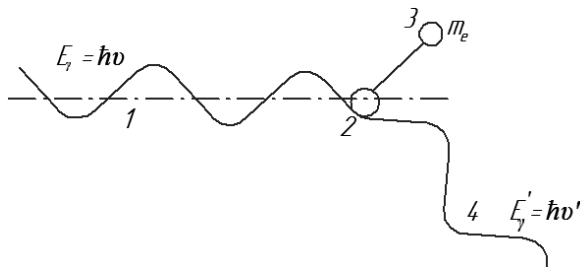
При проходженні через речовину  $\gamma$ -випромінювання взаємодіють з електронними оболонками. Ослаблення потоку  $\gamma$ -квантів в речовину відбувається в основному за рахунок наступних трьох процесів: комптонівського розсіювання, фотоелектричного поглинання та утворення електрон-позитронних пар.

Комптонівське розсіювання переважає при взаємодії  $\gamma$ -випромінювань з енергією  $0,5 \leq E_\gamma \leq 2,5$  MeV з легкими речовинами.

Квантами можуть бути окремі матеріальні частинки, які рухаються зі швидкістю світла та мають масу (див.формулу (9.1)):

$$m_\gamma = \frac{E_\gamma}{c^2} \quad (9.1).$$

Зіткнення кванту з електронами, які мають масу  $m_e$ , аналогічно зіткнення пружних куль (комптоновське розсіювання) (рис. 9.1).



**Рис. 9.1.** Схема комптонівського розсіювання.

1 – квант, що падає  $E_\gamma = \hbar\nu$ ; 2 – атомний електрон; 3 – комптоновський електрон; 4 – розсіяний квант.

Відповідно законам пружного співудару енергія  $\gamma$ -кванту  $E$  розподіляється електроном, перетворюючись в кінетичну енергію його руху  $E_e = \frac{m^e \cdot U^2}{2}$  та розсіяним квантом  $E_{\gamma'} = \hbar \cdot \nu'$  (див. формулу (9.2)):

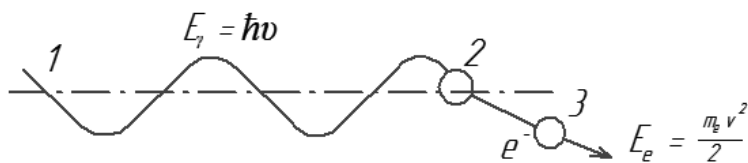
$$E_{\gamma} = E_e + E_{\gamma'} \quad (9.2),$$

тому  $E_{\gamma'} < E_{\gamma}$ , тобто енергія  $\gamma$ -кванту губиться безповоротно (поглинається). Атом переходить у збуджений стан. Повернення його у вихідний стан супроводжується виділенням енергії.

Фотоелектричне поглинання переважає при взаємодії м'якого  $\gamma$ -випромінювання  $E_{\gamma} < 0,5$  МеВ з важкими речовинами. Цей процес супроводжується повною втратою енергії  $\gamma$ -кванту (рис. 9.2) (див. формулу (9.3)):

$$E_{\gamma} = E_{зв} + \frac{m^e \cdot U^2}{2} \quad (9.3),$$

де  $E_{зв}$  – енергія зв'язку електрона в атомі;  $\frac{m^e \cdot U^2}{2}$  – кінетична енергія фотоелектрону, що передається. В такому випадку квант повністю зникає, поглинається.



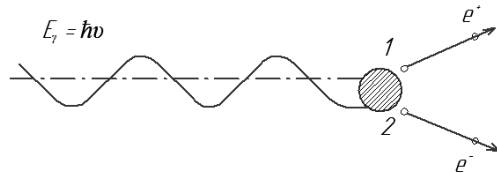
**Рис. 4.2.** Фотоелектричне поглинання.

1- квант, що падає; 2 – атом; 3 – фотоелектрон.

Такий вид взаємодії можливий, якщо енергія  $\gamma$ -кванту більше енергії електрону. Чим вона більше, тим вище ймовірність фотоелектричного поглинання. Тому найбільш ймовірна взає-

модія кванту з електронами оболонки, найближчих до ядра ( $K^A$  або  $L$ ). Фотоелектричне поглинання супроводжується переходом атома у збуджений стан.

При взаємодії  $\gamma$ -випромінювань великої енергії з полем ядра атома можливе виникнення пари електрон-позитрон (рис. 9.3).



**Рис. 9.3.** Виникнення пари електрон-позитрон.  
1 – ядро; 2 – пара електрон-позитрон.

Це явище спостерігається при енергії  $\gamma$ -кванту, що перевищує сумарну енергію спокою електрона та позитрона ( $2 \cdot m_0 \cdot c^2 = 1,02 \text{ MeV}$ ), і не має істотного значення для природних радіоактивних елементів. Таким чином, взаємодія  $\gamma$ -кванта природних радіоактивних елементів з гірськими породами здійснюється переважно у вигляді комптоновського розсіювання та фотоелектричного поглинання.

До природних радіоактивних елементів відносяться переважно важкі елементи, що розпадаються з випусканням  $\alpha$ -,  $\beta$ -частинок та  $\gamma$ -квантів. Ці елементи утворюють три радіоактивних сімейства урану  ${}_{92}\text{U}^{238}$ , торію  ${}_{90}\text{Th}^{232}$  та актиноурану  ${}_{92}\text{U}^{238}$ .

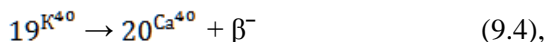
В сімействі урану  ${}_{92}\text{U}^{238}$  є вісім елементів, що розпадаються з випусканням  $\alpha$ -частинок.  $\beta$ -випромінювачі розподілені приблизно порівну між нуклідами групи урану  $\text{UX}_2$  та групи радію ( $\text{RaB}$ ,  $\text{RaC}$ ,  $\text{RaE}$ ). Основна частка (приблизно 95 %)  $\gamma$ -випромінювання, що супроводжує  $\beta$ -перетворення, припадає на нукліди групи радію ( $\text{RaB}$ ,  $\text{RaC}$ ) і лише приблизно 5 % - на нукліди групи урану ( $\text{UX}_2$ ).

В сімействі торію  $\text{Th}^{232}$  є шість  $\alpha$ -випромінювань та по чотири  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінювань. Нуклід  $\text{ThC}''$  має найбільш високу

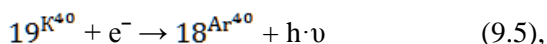


енергію  $\gamma$ -квантів ( $E_\gamma = 2,62$  MeV) серед усіх природних  $\gamma$ -випромінювачів.

У природі відомо близько 200 радіоактивних ізотопів стабільних елементів. Продуктами перетворення їх ядер є стійкі нукліди, тому їх називають одиночними радіонуклідами. Із них найбільшу цікавість являє ізотоп  ${}_{19}\text{K}^{40}$ , який має період напіврозпаду  $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^9$  років, 88 % ядер  $\text{K}^{40}$  зазнають  $\beta$ -перетворення (див. формулу (9.4)):



а 12 % ядер захоплюють електрони з K-оболонки свого атома (див. формулу (9.5)):



випускаючи  $\gamma$ -квант з енергією  $E_\gamma = 1,46$  MeV. При польових дослідженнях необхідно враховувати  $\gamma$ -випромінювання на результати вимірів.

Концентрація радіоактивних елементів у земній корі не велика:  $2,5 \cdot 10^{-4}\%$   $\text{U}^{238}$ ;  $1,3 \cdot 10^{-3}\%$   $\text{Th}^{232}$  та  $2,5\%$   $\text{K}^{40}$ . В невеликих кількостях вони присутні в живих організмах. Так, в організмі людини знаходиться  $2,5 \cdot 10^{-5}$  г U;  $10^{-10}$  г Ra та приблизно 140 г K. Для магматичних процесів характерно накоплення U та Th на завершальному етапі диференціації магми. Концентрація радіоактивних елементів в магматичних породах зростає від ультраосновних до кислих різниць, тобто пропорційно збільшенню концентрації кремнезему  $\text{SiO}_2$  (табл. 9.1).

Таблиця 9.1.

Середні концентрації радіоактивних елементів  
в гірських породах та середовищах

Породи та середовища	$\text{U} \cdot 10^{-4}$ , %	$\text{Th} \cdot 10^{-4}$ , %	K, %
<i>Магматичні породи</i>			
Ультраосновні (перидотити,	0,03	0,08	0,02

піроксеніти)			
Основні (габбро, базальти)	0,6...0,7	1,8...2,3	1,4
Середні (діорити, андезити)	1,8	6,0	2,0
Кислі (граніти, ліпарити)	4,5...6,0	18,0...25,0	4,2
<i>Осадові породи</i>			
Горючі сланці	До 100	10...15	-
Вуглецево-глинисті сланці	10-20	15,0	3,2
Аргелліти, глинисті сланці, глини	4,0	11,5	2,6
Пісчаники, алевроліти	2,9	10,4	1,1
Вапняки	1,6	1,8	0,3
Мергелі	2,8	2,5	0,2
Доломіти	3,7	2,8	0,4
Кам'яна сіль, галіт	0,9...1,0	1,0	0,1
Гіпс, ангідрити	0,1	0,4	0,1
<i>Ґрунти</i>			
	0,1	1,0	0,4
<i>Води</i>			
Поверхневі	0,0004	0,001	0,01
Підземні	0,003	0,001	0,03

Найбільші концентрації U та Th знаходяться в теригенних осадових породах. При цьому виявляється досить чітка кореляція U з кількістю глинистого матеріалу в цих породах, обумовлена сорбуючими властивостями глин. Для Th залежність виражена менш чітко. Найбільший вміст урану мають вуглецево-глинисті сланці, в яких U тісно пов'язаний з органічною речовиною.

Самі низькі концентрації U та Th спостерігаються в соленосних відкладах типу ангідритів, кам'яної солі, галіту, гіпсу. Торій-уранове відношення в осадових породах не постійне, а коливається від 1 до 5-8.

### ***Принцип дії та короткий опис радіометра СРП-68-01.***

Вміст тих або інших радіоактивних елементів в гірських породах можна визначити реєстрацією їх радіоактивного випромінювання за допомогою пристроїв, які називають радіометрами.

Сцинтиляційний радіометр СРП-68-01 призначений для реєстрації  $\gamma$ -випромінювання. Принцип роботи розглянемо по блок-схемі радіометра (рис. 9.4).

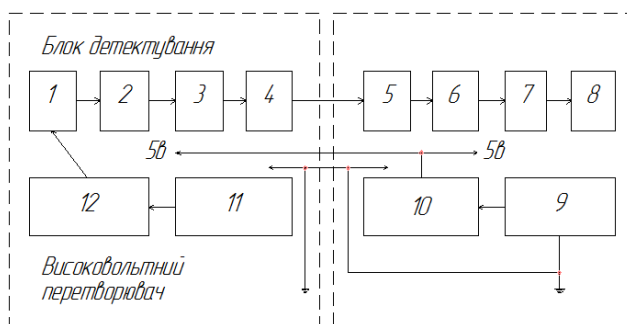


Рис. 9.4. Блок-схема радіометра СРП-68-01.

Комплект радіометра СРП-68-01 складається з пульта управління та блоку детектування. Пульт з відповідним блоком детектування з'єднується кабелем довжиною 1,5 м. Комплект пристрою складається також з головний телефон, ремені для переносу пристрою, радіоактивне контрольне джерело кобальта-60, запасний комплект деталей та інструментів.

В сучасній радіометричній апаратурі, призначеній для реєстрації  $\gamma$ -випромінювання, використовується переважно сцинтиляційні детектори І.

Сцинтиляційний детектор (рис. 9.5) складається з кристалу NaJ (Тl) І, що є сцинтилятором, та фотоелектронного помножувача ФЕП-85.

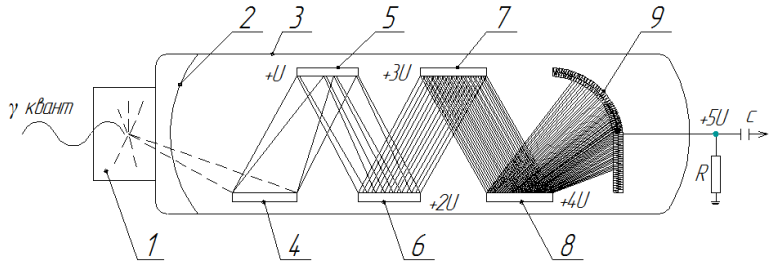


Рис. 9.5. Сцинтиляційний детектор.

$\gamma$  – випромінювання, проходячи через люмінофор NaJ (Tl), збуджує атоми вздовж траєкторії її руху. Збуджені атоми, переходячи в основний стан, випускають електромагнітні випромінювання, частина спектру якого є світловою областю.

Ці сцинтиляції потрапляють на сурм'яно-цезієвий катод 2 ФЕП, поглинаються в ньому та вибивають електрони, які збираються фокусуючим електродом на перший діод 4 ФЕП. Число електронів пропорційно інтенсивності спалаху, а значить, поглиненій енергії випромінювання. Попадаючи на діод (4-8), кожний фотоелектрон вибиває з його поверхні кілька вторинних електронів. Утворені електрони направляються на наступний діод, потенціал якого на деяку величину перевищує потенціал попереднього. Кожний вторинний електрон в діоді вибиває кілька третинних електронів. В результаті такого процесу примноження електронів, який повторюється на кожному наступному діоді, на аноді 9 збирається від  $10^6$  до  $10^9$  електронів в залежності від числа діодів у ФЕП.

Така кількість електронів створює достатній заряд для реєстрації його у вигляді імпульсу, амплітуда якого складає кілька вольт.

Сигнали з аноду ФЕП потрапляють на еміторний повторювач 2 (див. рис. 9.4). Еміторний повторювач зібраний на кремнієвих р-п-р – транзисторах ті призначений для узгодження виходу ФЕП із входом підсилювача 3. Підсилювач здійснює подальше підсилення без змін амплітудного розподілення імпульсів. Для відсікання перешкод, виникаючих в детекторах, за під-

силовачем розміщують амплітудний дискримінатор 4, який пропускає лише ті імпульси, амплітуди яких перевищують деякий заданий поріг. Проїшовши через дискримінатор імпульси потрапляють у узгоджувальний каскад 5, який увімкнено в схему пристрою для забезпечення узгодження пульту пристрою з блоком детектування і зібраний на кремнієвому р-п-р – транзисторі. Сигнал з узгоджувального каскаду потрапляє на нормалі затор амплітуди 6, на виході якого утворюються імпульси прямокутної форми з стандартною амплітудою та тривалістю. Стандартність імпульсів дозволяє судити про їх число в одиницю часу. Потім імпульси подаються в інтегруючий контур 7, який представляє собою паралельно увімкнені конденсатор С, резистор R', для перетворення імпульсів в постійний струм, сила якого пропорційна частоті потрапляння імпульсів. Інтегруючий контур вносить інерцію в роботу радіометру; в результаті при вимірі швидкості потрапляння імпульсів на вхід контуру змінення вихідного струму відбувається із затримкою на  $(3-5) RC$ ,  $RC = I \dots n \cdot 10 [c]$  – постійна часу інтегруючого контуру.

Струм інтегруючого контуру виміряють мікроамперметром, який має для зручності взяття відліку дві шкали.

Живлення радіометра відбувається дев'ятьма елементами типу 343, які знаходяться у відсіку живлення 9.

Стабілізатор напруги 10 забезпечує постійну напругу 5 В для живлення мікромодулів радіометра.

Високовольтний перетворювач складається з генератора високої напруги 11 та випрямляча 12. Генератор високої напруги збуджує змінну ЕРС з частотою 3-7 кГц у обмотці трансформатора. Змінна напруга подається на випрямляч 12 з примноженням напруги, який забезпечує живлення ФЕП напругою 900-1300 В.

### **Лабораторні дослідження.**

#### ***Підготовка радіометра СРП-68-01 до роботи.***

1. Викласти пульт і блок детектування з укладального ящика та протерти.

2. Перевірити, чи співпадає стрілка мікроамперметра з нульовою рисою шкали, встановити її на нуль коректором, попередньо відвернувши заглушку на панелі пульта.

3. Відвернувши гвинти, відкрити кришку батарейного відсіку та вставити комплект елементів живлення, дотримуючись полярності згідно маркуванню на дні кожуха пульта, після чого закрутити гвинти кришки відсіку.

4. Підключити телефон.

5. Увімкнути пристрій, перевівши перемикач режиму роботи з положення «Викл» в положення «Бат»; в цьому випадку стрілочний пристрій показує напругу батареї живлення, яка повинна знаходитися в межах 8...15 В (межа виміру 15 В).

6. Перевести перемикач режиму роботи в положення «5 В» для контролю вихідної напруги стабілізатора, яка повинна становити 5 В (межа виміру 10 В).

7. Перевести перемикач режиму роботи в положення «2,5» (постійна часу виміру 2,5 с), при цьому показання мікроамперметра відповідають потужності експозиційної дози в місці розташування блоку детектування в залежності від положення перемикача меж вимірів; ознакою нормальної роботи пристрою є відхилення стрілки мікроамперметра від нульової риски, наявність клацань в головному телефоні, збільшення показників мікроамперметра при наближенні радіоактивного препарату до торця блоку детектування.

8. Встановити контрольне джерело кобальта-60 на блок детектування; після заспокоєння стрілки натиснути кнопку «Контр» на пульті пристрою; показники не повинні зменшуватися більш ніж на 10 %.

### ***Вимір радіоактивності керна радіометром СРП-68-01.***

*Пояснення:* підготувати радіометр до роботи по раніш вказаній послідовності та вимірити радіоактивність керна.

1. Прослухати радіоактивність керна в телефон, повільно переміщаючи детектор по осі керна.

2. Вимірити швидкість рахунку з двох сторін керна. В межах активного інтервалу виміри виконуються через 10 см, у вмісних породах – через 20 см.

3. Відібрати пробу, яка перевищує фон на 0,3 пА/кг.

#### **Зміст звіту.**

1. Назва звіту.
2. Розповсюдження  $\gamma$ -квантів в середовищі.
3. Природні радіоактивні елементи та радіоактивність гірських порід.
4. Принцип дії радіометра СРП-68-01.
5. Підготовка радіометра СРП-68-01 до роботи.

#### **Контрольні питання.**

- 2- Що таке радіоактивність?
- 3- Поясніть, як відбуваються  $\alpha$ -,  $\beta$ - розпади, К-захоплення, спонтанне ділення ядер?
- 4- Одиниці радіоактивності.
- 5- Як взаємодіють  $\gamma$ -випромінювання з речовиною?
- 6- Як перетворюються  $\gamma$ -випромінювання в електричний імпульс в радіометрі СРП-68-01?
- 7- Поясніть принцип роботи радіометра СРП-68-01 по блок-схемі.
- 8- Підготовка радіометра до роботи [1; 3; 5].
- 9- Як виміряти радіоактивність керна [1; 2]?

#### **Список рекомендованої літератури.**

1. Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986.
2. Демура Г.В. Практические и лабораторные работы по радиометрическим и ядернофизическим методам. – К. : Выща шк., 1984.
3. Нагля В.В. и др. Радиометрические и ядернофизические методы раз-ведки. – М. : Недра, 1983.
4. Толстой М.І. та ін. Основи геофізики. К.: Обрії, 2007, 446 с.
5. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.

## **Лабораторна робота №10. Пішохідна гамма-зйомка**

Мета роботи – вивчити методику проведення пішохідної  $\gamma$ -зйомки та вивчити  $\gamma$ -активність геологічної моделі за допомогою радіометра СРП-68-01.

### **Вихідні теоретичні положення.**

#### ***Методика проведення пішохідної $\gamma$ -зйомки [1÷8].***

Пішохідна  $\gamma$ -зйомка – це метод дослідження  $\gamma$ -активності гірських порід та руд, які виходять на денну поверхню, за допомогою переносних радіометрів. Основними пристроями, які використовують при пішохідній  $\gamma$ -зйомці, є сцинтиляційні радіометри СРП-68-01. Пішохідна  $\gamma$ -зйомка – один з універсальних методів пошуку та розвідки родовищ радіоактивних елементів. Вона використовується на всіх стадіях геологорозвідувальних робіт – від рекогносцирувальних досліджень площ до детальних робіт при розвідці рудопроявлень та на родовищах урану.

Найбільш сприятливі райони для проведення пішохідної  $\gamma$ -зйомки - райони з хорошою оголеністю корінних порід та площі, закриті елювіально-делювіальними відкладеннями невеликої потужності, в межах яких можна очікувати відкриті ореоли розсіювання. Ділянки, закриті наносами потужністю більше 2-3 м, в межах яких відсутні відкриті ореоли розсіювання, - несприятливі для постановки пішохідної  $\gamma$ -зйомки.

Інтенсивність  $\gamma$ -випромінювань, яка реєструється радіометром, в будь якій точці земної поверхні  $J_\gamma$  складається з інтенсивності  $\gamma$ -випромінювань гірських порід  $J_{г.п.}$ , інтенсивність космічного випромінювання  $J_K$  та випромінювання, створені радіо-



елементами, які знаходяться в матеріалі з якого виготовлено детектор  $J_d$  (див. формулу (10.1)):

$$J_\gamma = J_{г.п.} + J_k + J_d \quad (10.1).$$

Показання пристрою, які визиваються космічними випромінюваннями та забрудненістю матеріалу детектора радіоелементами, називаються природнім фоном, або фоновим випромінюванням (див. формулу (10.2)):

$$J_\phi = J_k + J_d \quad (10.2).$$

Щоб дізнатись інтенсивність  $\gamma$ -випромінювань радіоактивних елементів, які знаходяться в породі, необхідно з показань пристрою в даній точці відняти фонове випромінювання (див. формулу (10.3)):

$$J_{г.п.} = J_\gamma - J_\phi \quad (10.3).$$

Фонове випромінювання можна визначити:

1) над водоймою (річка, озеро) глибиною не менше 2 м приблизно у 20 м від берега, на якому відсутні скальні оголення корінних порід. В цьому випадку шар води поглине  $\gamma$ -випромінювання, яке поступає з дна водойми та пристрій зареєструє фонове випромінювання;

2) за допомогою циліндричного свинцевого екрану, який одягають на гільзу радіометра. В цьому випадку виконують два виміри. Одне вимірювання  $J_\gamma$  – без екрану /беруть середнє із декількох відрахунків на одній і тій самій точці/. Далі гільзу поміщують в циліндричний екран довжиною 10-15 см та товщиною 1,5-2,5 см та вимірюють другий ( $J_\gamma'$ ) /екран роблять з листового свинцю/. Показання пристрою зменшуються за рахунок поглинення свинцем  $\gamma$ -випромінювань навколишніх порід.

Тоді (див. формулу (10.4)):

$$J'_\gamma = J_{\text{г.п.}} \cdot e^{-\mu_{\text{еф}} d} + J_{\text{к}} + J_{\text{д}}, \quad (10.4),$$

де:

$\mu_{\text{еф}}$  – ефективний коефіцієнт поглинення  $\gamma$ -випромінювань свинцем;

$d$  – товщина свинцевого екрану, см.

Віднімемо із виразу (10.1) вираз (10.4) (див. формулу (10.5)):

$$J_\gamma - J'_\gamma = J_{\text{г.п.}} \cdot (1 - e^{-\mu_{\text{еф}} d}) \quad (10.5).$$

Звідси (див. формулу (10.6)):

$$J_{\text{г.п.}} = \frac{J_\gamma - J'_\gamma}{1 - e^{-\mu_{\text{еф}} d}} \quad (10.6).$$

Підставимо значення  $J_{\text{г.п.}}$  у (10.1) та визначимо величину фонового випромінювання (див. формулу (10.7)):

$$J_\Phi = J_\gamma - \frac{J_\gamma - J'_\gamma}{1 - e^{-\mu_{\text{еф}} d}} \quad (10.7)$$

Нормальне поле – (нормальне  $\gamma$ -поле) обумовлено  $\gamma$ -випромінюванням порід з кларковим (нормальним) вмістом в них радіоелементів. Так як вміст радіоактивних елементів може бути найрізноманітнішим, то і нормальний радіоактивний фон буде різноманітним. Навіть в межах однієї і тієї самої петрографічної різниці порід величина нормального  $\gamma$ -поля на різноманітних ділянках буде різною, що пояснюється досить нерівномір-

ним фоном радіоактивних елементів в гірських породах. Над осадовими породами змінення нормального  $\gamma$ -поля буде менше, ніж над магматичними. Якщо над осадовими породами нормальне  $\gamma$ -поле на окремих ділянках буде відрізнятися на 2-5 мкР/г, то при змінненні радіоактивності магматичних порід з кларковим вмістом радіоактивних елементів нормальний радіаційний фон в окремих ділянках порід буде відрізнятися на 10-30 мкР/г.

Аномалія  $\gamma$ -поля – це відхилення величини  $\gamma$ -поля від середнього значення нормального  $\gamma$ -поля для даного різновиду порід.

При пішохідній  $\gamma$ -зйомці за нижню межу аномалії приймають таке значення поля  $\gamma$ -випромінювань, яке перевищує суму середнього значення нормального  $\gamma$ -поля даних порід та потроєного значення флуктуації нормального поля цих порід. Флуктуацією нормального  $\gamma$ -поля є відхилення окремого виміру величини нормального поля від його середнього значення. Мірою цього відхилення є середня квадратична помилка, яка може бути визначена по варіаційній кривій розподілення  $\gamma$ -активності в породах даної петрографічної різниці.

Середня квадратична помилка (див. формулу (10.8)):

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (J_{\text{ср.г.п.}} - J_{i \text{ г.п.}})^2}{n-1}} \quad (10.8),$$

де:

$J_{\text{ср. г.п.}}$  – середнє значення нормального  $\gamma$ -поля порід даної петрографічної різниці, мкР/г;

$J_{i \text{ г.п.}}$  – окремий вимір інтенсивності  $\gamma$ -випромінювань нормального  $\gamma$ -поля порід, мкР/г;

$n$  – число вимірів, які проводилися в межах цього різновиду порід.

Таким чином, щоб визначити нижню межу аномалії ( $J_0 \geq J_{\text{ср. г.п.}} + 3\sigma$ ), потрібно знати середнє значення нормального  $\gamma$ -поля, кількість виконаних вимірів та величину флуктуації.

Середнє значення нормального  $\gamma$ -поля можна визначити як середнє арифметичне результатів окремих вимірів, тобто його можна знайти з варіаційної кривої  $\gamma$ -активності порід, або побудовою спрямленого графіку накопичених частотей на імовірнісній папері.

Наземна пішохідна  $\gamma$ -зйомка виконується за певною мережею профілей, або пошукових маршрутів. В останньому варіанті вон часто супроводжує маршрути геологічної зйомки. Густина мережі профілей визначається масштабом пошукових, або геологічних знімальних робіт, а відстань між точками відліку – потужністю очікуваних зон оруднення. При детальних роботах ведуть майданне вивчення аномалій в масштабах 1:5000 або 1:1000 при густині мережі вимірів відповідно рівній  $50 \times 5$  або  $10 \times 1$  м.

Вимірювання на пікеті можуть бути початі не менш ніж через 1 хв. Після увімкнення пристрою. Перемикач межу вимірювання перевести в положення, відповідне потрібній межі вимірювання. Оскільки залежність показників мікроамперметра від потужності дози  $\gamma$ -випромінювання на початку та вкінці шкали може бути нелінійною, межу вимірювання слід обирати таким чином, щоб показники пристрою були не менше 20 та не більше 90% повної шкали.

Виконання відліків ускладнюється статистичною флуктуацією стрілки. Менш чітко, але швидше (через 7-10 с) береться відлік в положення «2,5» перемикача роду робіт. Це положення використовується при прослуховуванні інтервалів між пікетами у телефоніза частотою імпульсів, переносючи датчик на висоту 5-10 см від поверхні Землі.

На пікеті датчик торцевою частиною прикладають до землі та береться відрахунок в положенні «5» як середнє з п'яти відліків в інтервалі 20-30 с. Відлік в діленнях шкали пристрою «n» на відповідному діапазоні записують до журналу.

При роботі з природними та штучними радіонуклідами доводиться визначати їх кількість, концентрацію, дозу та потужність дози  $\gamma$ -випромінювання.

Кількість довгоіснуючих радіоактивних нуклідів (U, Ra, Th) вимірюють в одиницях маси (кілограмах, грамах, міліграмах).

Одиницею для вимірювання активності радіонуклідів в СВ є беккерель (Бк), тобто така активність будь якого радіоактивного нукліда, в якому за 1 с розпадається одне атомне ядро. Позасистемна одиниця активності, яка використовується на практиці, - кюрі (Ки), що дорівнює  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

Концентрація будь якого радіонукліда в речовині виражається в беккере-лях на одиницю маси (Бк/кг). Концентрація радіоактивного газу у воді або у повітрі (радіона Rn, торона Tn або актіона An) виражається у (Бк/м<sup>3</sup>).

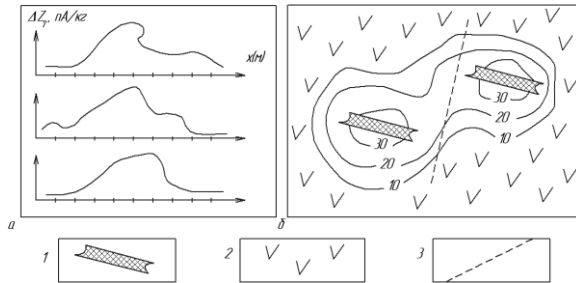
Абсолютна одиниця дози іонізуючого випромінювання в СВ визначається відношенням сумарного заряду усіх іонів, які звільнили фотони, до маси повітря та виражається в кулонах на кілограм (Кл/кг). Позасистемна одиниця дози – рентген (Р), тобто доза  $\gamma$ -випромінювання, при при поглиненні якої в 1 см<sup>3</sup> повітря при нормальній температурі та тиску утворюється  $2,08 \cdot 10^9$  пару іонів ( $1Р = 2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг).

Дозу випромінювання, яку отримують за одиницю часу, називають потужністю дози та вимірюють у А/кг (Р/год., мкР/год.); природні рівні радіоактивності вимірюють у А/кг, де п (піко) =  $10^{-12}$ , (мкР/ч =  $7,17 \cdot 10^{-14}$  А/кг  $\approx 0,072$  пА/кг).

Для переведу відліків по шкалі радіометрів в інтенсивності  $\gamma$ -випромінювання  $J_\gamma$ , пА/кг (мкР/год.) та визначаються залишкового  $J_{\text{зал}}$  (натурального) фону щоденно вранці та ввечері знімають відліки по пристрою на контрольному пункті (КП) без еталону та з робочим еталоном. В маршруті контрольні виміри з еталоном проводять через 2-3 год. роботи. Крім того, для визначення залишкового фону періодично за допомогою радіометрів знімають відліки над середовищами, завідомо нерадіоактивними. Ними можуть бути поверхні водоймищ (глибина більше 2 м та ширина більше 10 м), а також ділянки виходу кварцевих пісків або вапняків.

В результаті наземної  $\gamma$ -зйомки будують графіки та карти інтенсивності  $\Delta J_\gamma$  (див. формулу (10.9)), еквівалентні  $\gamma$ -активності порід (рис. 4.6).

$$\Delta J_{\gamma} = J_{\gamma} - J_{\phi} \quad (10.9).$$



**Рис. 10.1.** Графіки  $\gamma$ -активності по розвідувальним профілям (а) та карта ізоліній рівної інтенсивності  $\gamma$ -поля (б) (в  $nA/kg$ );

1 – рудна зона; 2 – вміщуючі породи; 3 – лінія розлому.

На них виділяють аномалії, на яких  $\Delta J_{\gamma}$  у 2 рази і більше перевищують середньоквадратичну помилку у визначенні середньої інтенсивності поля. Її визначають статистичною обробкою спостережень. На визначених аномаліях проводять  $\gamma$ -спектрометричні спостереження та відбір проб гірських порід для радіометричних аналізів.

В середньому глибинність пішохідної  $\gamma$ -зйомки не перевищує 1-2 м. При наявності наносів потужністю більше 2-3 м радіоактивність корінних порід вивчати практично неможливо. Для підвищення глибинності розвідки на перспективних ділянках ведеться так званна  $\gamma$ -зйомка, при якій  $\gamma$ -випромінювання порід вивчаються в шпурах глибиною до 1 м, а іноді в скважинах глибиною до 25 м.

### Лабораторні дослідження.

#### Порядок виконання роботи.

1. Підготувати радіометр до роботи [3].

2. За допомогою циліндричного свинцевого екрану визначити фонове випромінювання  $J_{\phi}$  [5].

3. Виконати наземну пішохідну  $\gamma$ -зйомку геологічної моделі.

4. Результати вимірів записати до табл. 10.1.

Таблиця 10.1.

## Результати вимірів

ПР	ПК	Діапазон	$n_i$	$J_{\gamma i} =$ $c_i \cdot n_i$	$\Delta J_{\gamma i} = J_{\gamma i}$ $- J_{\phi}$	Примітки
	1					$C_1=1$ пА/кг·дел.
	2					$C_2=1$ пА/кг·дел.
	3					$C_3=10$ пА/кг·дел.
	4					$C_4=10$ пА/кг·дел.
	5					$C_5=100$ пА/кг·дел.
						$J_{\phi} =$

Примітки:  $C_i$  – ціна ділення  $i$ -го діапазона (пА/кг·дел);  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

5. Зробити 10%-й контроль зйомки та визначити середньоквадратичну похибку одиничного виміру (див. формулу (10.10)):

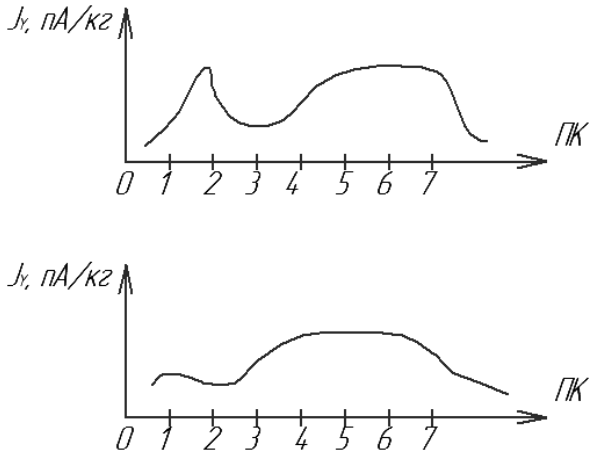
$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta J_{\gamma i} - \Delta J'_{\gamma i})^2}{2n-1}} \quad (10.10),$$

де:

$\Delta J_{\gamma i}, \Delta J'_{\gamma i}$  - відповідно рядові та повторювальні виміри  $\gamma$ -активності гірських порід;

$n$  – число контрольних спостережень.

6. Побудувати графіки  $\gamma$ -активності гірських порід полігона за розвідувальними профілями (рис. 10.2).



**Рис. 4.7.** Графіки  $\gamma$ -активності гірських порід полігона за розвідувальними профілями.

7. Побудувати карту інтенсивності  $\gamma$ -поля.
8. Виконати якісну інтерпретацію результатів зйомки.

#### **Зміст звіту.**

1. Задачі, які вирішуються пішохідною  $\gamma$ -зйомкою.
2. Методика проведення робіт.
3. Зображення результатів зйомки [1; 3, 8]

#### **Контрольні питання.**

1. Що таке фонове випромінювання?
2. Від чого залежить нормальне  $\gamma$ -поле?
3. Що таке аномальне  $\gamma$ -поле та що приймається за нижній рівень аномалії?
4. Як контролюється робота радіометра в маршруті?
5. Як провести пішохідну  $\gamma$ -зйомку?



6. Одиниці радіоактивності гірських порід.
7. Як зображуються результати пішоїдної  $\gamma$ -зйомки [1; 3; 4, 8]

***Список рекомендованої літератури.***

1- Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Фізика Землі та прикладна геофізика» зі спеціальності 103 «Науки про Землю» ОПП – Геологія (денна та заочна форми навчання) / Розмислов В.К., Волков О.Г. Видавничий центр Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, 2016 р. – 86 с.

2- Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Фізика Землі та прикладна геофізика» зі спеціальності 103 «Науки про Землю» ОПП – Геологія (денна та заочна форми навчання) / Волков О.Г. Видавничий центр Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, 2016 р. – 34 с.

3- Бондаренко В.М. и др. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986.

4- Демура Г.В. Практические и лабораторные работы по радиометри-ческим и ядернофизическим методам. – К. : Выща шк., 1984.

5- Нагля В.В. и др. Радиометрические и ядернофизические методы разведки. – М. : Недра, 1983.

6- Толстой М.И. та ін. Основы геофизики. К.: Обрії, 2007, 446 с.

7- Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основы геофизики. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.

8- Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Книга 1. Методы прикладной и скважинной геофизики. М.: Дубна, 1997. – 356 с.

## **ДОДАТКИ**

## Додаток 1.

**Варіант 1.** Результати вивчення щільності залізних руд ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>)

3,2	3,4	3,3	3,5	3,6	3,7	3,9	3,8	4,0	4,1	4,3	4,2	4,3
4,4	4,1	4,0	4,1	3,9	4,0	3,8	3,9	4,0	3,8	3,9	4,0	4,1
4,5	3,9	3,9	3,9	4,1	3,9	3,8	4,1	4,2	4,2	4,1	3,9	4,2
4,7	3,8	4,0	4,1	3,8	4,0	3,8	4,0	4,1	4,2	4,0	3,9	4,0
4,6	4,2	3,8	4,2	4,1	4,2	4,1	4,2	4,3	4,1	3,9	4,4	4,1
4,8	4,0	4,1	4,0	3,9	4,3	4,0	4,1	3,8	4,0	4,1	4,0	4,4
4,9	4,2	4,0	3,8	4,0	4,4	3,8	4,0	3,7	4,2	3,9	4,0	4,2
5,0	3,7	3,7	4,3	4,1	3,6	3,7	4,1	4,1	4,4	4,5	4,6	4,1
5,5	4,3	4,	4,4	3,8	4,0	4,2	4,0	3,8	3,9	4,0	3,9	4,0
5,4	3,7	3,9	4,0	4,1	3,7	4,0	5,1	3,8	3,9	4,1	4,0	4,1
5,3	4,0	4,1	3,9	4,0	4,1	3,7	4,0	3,9	4,0	3,9	4,0	4,2
5,2	5,3	5,4	5,5	5,2	5,0	5,1	5,0	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5

**Варіант 2.** Результати вивчення щільності поліметалічних руд ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>)

3,7	3,9	3,8	4,0	4,1	4,2	4,3	4,0	3,9	3,8	4,0	3,9	4,0
3,8	4,0	3,9	4,0	3,9	4,0	3,9	4,0	4,1	4,0	3,9	3,9	4,1
3,9	3,9	4,0	3,9	4,0	4,1	4,0	4,1	4,0	4,2	4,1	4,0	3,8
4,0	3,9	3,9	4,1	3,9	4,1	3,9	4,3	3,9	3,8	4,0	4,0	4,0
3,9	4,0	4,1	4,0	4,1	4,0	4,2	4,0	3,7	4,0	3,9	4,0	4,2
4,0	3,9	4,0	3,9	3,9	3,8	4,0	4,1	3,8	4,1	3,8	4,1	4,0
4,1	3,8	3,8	4,2	3,7	3,7	3,7	4,2	3,9	4,0	4,0	3,9	4,0
4,2	4,2	4,3	3,9	4,0	4,0	3,9	4,2	3,9	4,3	3,9	4,0	4,0
4,3	4,2	4,0	3,8	4,1	3,8	4,0	3,8	4,1	3,8	4,0	4,0	4,0
4,0	3,9	4,1	3,8	3,9	4,0	4,2	4,3	4,0	4,1	3,9	4,0	4,0
4,1	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1
3,7	3,9	4,0	4,0	4,0	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,2	4,0

**Варіант 3.** Результати вивчення щільності хромітів ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>)

3,3	3,6	3,5	3,4	4,3	4,2	4,3	4,1	4,0	4,1	3,9	4,0
3,4	3,9	4,0	4,1	4,0	3,7	4,0	4,1	4,0	4,1	4,0	4,1
3,6	4,0	3,9	4,0	4,1	4,0	3,7	4,0	4,1	4,0	3,5	4,0
3,5	3,8	4,1	3,9	4,2	3,8	4,1	3,8	3,9	3,8	3,7	4,2
3,6	3,7	4,0	3,7	3,9	4,0	3,6	3,9	3,7	4,0	4,3	3,9
3,7	4,2	3,8	3,6	4,1	3,9	3,9	3,6	3,5	3,8	4,3	3,8
4,0	4,0	4,2	4,0	3,9	3,9	4,0	3,7	4,0	3,8	3,7	4,1

3,8	3,8	3,4	3,9	3,5	3,8	4,3	3,9	3,4	4,1	4,3	4,0
3,9	4,0	3,9	3,3	4,0	3,8	3,5	3,7	4,0	3,8	4,0	4,1
4,1	3,9	3,8	4,1	3,8	4,1	4,3	3,8	4,2	3,9	3,7	3,9
4,2	4,3	4,3	4,0	3,9	3,8	4,1	3,4	3,5	3,6	3,7	3,9

**Варіант 4.** Результати вивчення щільності глин ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>)

1,6	1,8	1,7	2,0	1,9	2,3	2,2	2,1	2,6	2,4	2,5	2,2
2,7	2,2	2,1	2,3	2,1	2,3	2,1	2,2	2,1	2,1	2,3	2,3
2,8	2,3	2,2	2,1	2,1	2,2	2,4	2,4	2,3	2,4	2,2	2,3
2,6	2,3	2,1	2,2	2,4	2,3	2,0	2,2	2,3	2,7	2,1	2,3
2,5	2,2	2,1	2,4	2,2	1,9	2,0	2,4	2,4	2,8	2,4	2,1
2,4	2,3	2,4	1,9	1,9	2,2	2,7	2,2	2,4	1,6	2,2	2,3
1,6	2,3	1,9	2,3	2,6	2,3	2,2	2,7	1,7	2,3	2,2	2,3
1,8	2,1	2,0	2,6	2,6	2,8	2,5	2,2	1,8	2,1	2,3	2,3
2,0	2,4	2,2	1,6	2,2	1,7	2,2	1,8	2,2	1,9	2,4	2,2
1,7	2,0	2,4	1,7	2,3	1,6	2,4	1,9	2,4	2,2	2,1	2,3
1,9	2,2	2,1	2,0	2,3	2,4	2,5	2,1	2,2	2,3	2,4	2,3
2,0	2,1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3

**Варіант 5.** Результати вивчення щільності суцільних колчеданних руд ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>)

3,5	3,7	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,2	4,4	4,5	4,6	4,7
4,9	4,5	4,6	4,4	4,5	4,6	4,6	4,4	4,5	4,4	4,3	4,6	4,5
5,0	4,6	4,5	4,7	4,6	4,8	4,5	4,3	4,6	4,3	4,5	4,4	4,6
4,8	4,5	4,6	4,4	4,5	4,3	4,6	4,3	4,5	5,0	4,6	5,3	4,6
5,1	4,7	4,5	4,7	4,6	4,7	4,5	4,9	4,7	4,9	4,5	4,6	4,7
5,2	4,5	4,6	4,3	4,5	4,39	4,6	5,0	4,5	5,0	5,2	5,0	4,8
5,3	5,1	4,5	4,4	4,6	5,1	4,5	5,2	4,4	5,0	4,5	4,4	4,9
5,4	4,5	5,1	5,4	4,5	5,5	4,8	3,5	4,5	3,6	4,6	3,7	5,0
5,5	3,8	4,5	4,4	4,8	3,9	4,5	3,6	3,7	3,8	4,5	3,9	5,1
5,4	4,5	5,2	4,5	5,2	4,6	4,7	4,5	4,8	4,4	4,5	4,5	5,2
5,3	4,7	4,5	5,0	4,8	5,1	4,5	5,0	4,4	4,3	4,5	4,5	5,3
4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	3,7	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	3,9

**Варіант 6.** Результати вивчення щільності глинистих сланців ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>)

2,0	2,0	2,3	2,1	2,2	2,4	2,6	2,5	2,7	2,8	2,4	2,3	2,2
2,1	2,3	2,4	2,7	2,4	2,4	2,3	2,7	2,3	2,6	2,3	2,2	2,3
2,8	2,4	2,4	2,7	2,3	2,8	2,4	2,4	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3

2,7	2,5	2,4	2,8	2,4	2,8	2,7	2,6	2,4	2,5	2,4	2,5	2,0
2,3	2,2	2,3	2,8	2,3	2,8	2,3	2,6	2,3	2,4	2,3	2,6	2,1
2,3	2,1	2,4	2,6	2,4	2,6	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,7	2,3
2,3	2,6	2,6	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4	2,3	2,8	2,3
2,4	2,7	2,5	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	2,3
2,3	2,4	2,5	2,4	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,4	2,3	2,3
2,3	2,3	2,4	2,5	2,2	2,1	2,7	2,6	2,8	2,3	2,4	2,4	2,4
2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,2	2,3	2,3	2,3	2,1	2,3	2,3	2,3
2,3	2,3	2,4	2,2	2,1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,2	2,3	2,3	2,3

**Варіант 7. Результати вивчення щільності гранітів ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>)**

2,4	2,6	2,8	2,7	3,0	2,5	2,9	2,4	2,6	3,0	2,4	2,5	2,4	2,6
2,6	2,7	2,5	2,6	2,8	2,6	2,7	2,6	2,7	2,5	2,7	2,8	2,5	2,6
2,5	2,7	2,8	2,7	2,5	2,8	2,4	2,8	2,6	2,7	2,9	2,7	3,0	2,7
2,8	2,7	2,4	2,9	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	2,7	2,8	2,6	2,7	2,5
2,7	2,8	2,6	2,7	2,6	2,8	2,7	3,0	2,5	2,6	2,4	2,5	2,6	2,5
3,0	2,7	2,8	2,7	2,7	2,5	2,7	2,5	2,9	2,6	3,0	2,4	2,8	2,6
2,9	2,8	2,8	2,5	2,7	2,6	2,8	2,6	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6
2,4	2,7	2,9	2,8	2,6	2,9	2,8	2,7	2,8	2,5	2,7	2,6	2,7	2,6
2,8	2,8	2,5	2,9	2,7	2,9	2,7	2,8	2,9	2,7	2,6	2,8	2,9	2,7
3,0	2,7	2,8	2,5	2,6	2,8	2,5	2,8	2,6	2,6	2,5	2,7	3,0	2,6
2,7	2,6	2,7	2,7	2,7	2,6	2,5	2,6	2,7	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6
2,6	2,6	2,6	2,5	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6

**Варіант 8. Результати вивчення щільності вапняків ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>)**

2,3	2,9	3,0	2,7	2,8	2,5	2,6	2,4	2,8	2,9	2,7	2,5	2,7
2,4	2,7	2,6	2,7	2,8	2,7	2,6	2,7	2,5	2,7	2,6	2,6	2,7
2,6	2,6	2,5	2,4	2,8	2,5	2,5	2,8	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6
2,8	2,7	2,5	2,7	2,6	2,7	2,5	2,7	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8
2,5	2,8	2,4	2,5	2,6	2,8	2,5	2,6	2,5	2,6	2,8	2,8	2,7
2,7	2,7	2,6	2,7	2,7	2,6	2,7	2,4	2,7	2,5	2,8	2,9	2,6
2,9	2,6	2,7	2,5	2,7	2,8	2,4	2,5	2,4	2,5	3,0	2,7	2,7
3,0	2,7	2,6	2,7	2,8	2,7	2,5	2,7	2,5	2,7	2,5	2,7	2,7
2,7	2,5	2,6	2,4	2,5	2,7	2,6	2,4	2,7	2,6	2,7	2,7	2,7
2,9	2,7	2,6	2,8	2,4	2,7	2,6	2,7	2,9	2,4	2,3	2,8	2,6
2,7	2,7	2,6	2,8	2,7	2,7	2,7	2,8	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7
2,5	2,7	2,6	2,7	2,7	2,6	2,5	2,7	2,7	2,8	2,5	2,7	2,7

## Варіант 1.

ПК	t	n	n <sub>c</sub> p	n <sub>i</sub> – n <sub>o- пi</sub>	$\Delta g = c(n_i - n_{опi})$	Поп- равка за змі- щення нуль- пункту $\delta \Delta g$	$\Delta g$ випр	Примітки
ОП-I	10 <sup>00</sup>	4,827 4,829 4,826						
1	10 <sup>20</sup>	5,678 5,679 5,675						
2	10 <sup>40</sup>	4,456 4,450 4,452						
3	11 <sup>00</sup>	4,127 4,123 4,122						
4	11 <sup>20</sup>	3,789 3,788 3,800						
5	11 <sup>40</sup>	3,109 3,106 3,111						
6	12 <sup>00</sup>	1,567 1,566 1,569						
7	12 <sup>20</sup>	3,113 3,115 3,118						
8	12 <sup>40</sup>	4,678 4,678 4,677						
ОП-I	13 <sup>00</sup>	5,720 5,723 5,723						

## Варіант 2.

ПК	t	n	$n_c$ p	$n_i -$ $n_{опl}$	$\Delta g =$ $c(n_i -$ $n_{опl})$	Поправка за змі- щення нуль- пункту $\delta \Delta g$	$\Delta g_{\text{випр}}$	При- мітки
ОП -I	$10^{00}$	5,827 5,829 5,826						
1	$10^{20}$	3,109 3,106 3,111						
2	$10^{40}$	3,113 3,115 3,118						
3	$11^{00}$	1,967 1,966 1,969						
4	$11^{20}$	3,789 3,788 3,800						
5	$11^{40}$	5,778 5,779 5,775						
6	$12^{00}$	4,927 4,923 4,922						
7	$12^{20}$	4,496 4,490 4,492						
8	$12^{40}$	5,478 5,478 5,477						
ОП -I	$13^{00}$	6,520 6,523 6,523						

## Варіант 3.

ПК	t	n	n <sub>c</sub> p	n <sub>i</sub> – n <sub>опл</sub>	$\Delta g =$ $c(n_i -$ $n_{опл})$	Поп- равка за змі- щення нуль- пункту $\delta \Delta g$	$\Delta g$ випр	При- мітки
ОП-I	10 <sup>00</sup>	2,227 2,229 2,226						
1	10 <sup>20</sup>	3,109 3,106 3,111						
2	10 <sup>40</sup>	3,113 3,115 3,118						
3	11 <sup>00</sup>	6,967 6,966 6,969						
4	11 <sup>20</sup>	11,789 11,788 11,800						
5	11 <sup>40</sup>	11,778 11,779 11,775						
6	12 <sup>00</sup>	10,927 10,923 10,922						
7	12 <sup>20</sup>	9,496 9,490 9,492						
8	12 <sup>40</sup>	8,478 8,478 8,477						
ОП-I	13 <sup>00</sup>	3,520 3,523 3,523						



## Варіант 4.

ПК	t	n	n <sub>c</sub> р	n <sub>i</sub> – n <sub>o</sub> пi	$\Delta g =$ с(n <sub>i</sub> – n <sub>o</sub> пi)	Попра- вка за змі- щення нуль- пункту $\delta \Delta g$	$\Delta g$ випр	При- мітки
ОП-I	10 <sup>00</sup>	3,520 3,523 3,523						
1	10 <sup>20</sup>	3,109 3,106 3,111						
2	10 <sup>40</sup>	3,113 3,115 3,118						
3	11 <sup>00</sup>	6,967 6,966 6,969						
4	11 <sup>20</sup>	8,789 8,788 8,800						
5	11 <sup>40</sup>	8,778 8,779 8,775						
6	12 <sup>00</sup>	10,927 10,923 10,922						
7	12 <sup>20</sup>	6,496 6,490 6,492						
8	12 <sup>40</sup>	4,478 4,478 4,477						
ОП-I	13 <sup>00</sup>	4,227 4,229 4,226						

## Варіант 5.

ПК	t	n	$n_c$ р	$n_i -$ $n_{опі}$	$\Delta$ g = с( $n_i$ – $n_{опі}$ )	Поправ- ка за зміщення нуль- пункту $\delta \Delta g$	$\Delta g$ випр	При- мітки
ОП-I	$10^{00}$	6,967 6,966 6,969						
1	$10^{20}$	5,109 5,106 5,111						
2	$10^{40}$	5,113 5,115 5,118						
3	$11^{00}$	3,520 3,523 3,523						
4	$11^{20}$	2,789 2,788 2,800						
5	$11^{40}$	1,778 1,779 1,775						
6	$12^{00}$	0,927 0,923 0,922						
7	$12^{20}$	1,496 1,490 1,492						
8	$12^{40}$	3,478 3,478 3,477						
ОП-I	$13^{00}$	7,627 7,629 7,626						

## Варіант 6.

ПК	t	n	n <sub>c</sub> p	n <sub>i</sub> – n <sub>опl</sub>	$\Delta g =$ $c(n_i -$ $n_{опl})$	Поправка за зміщення нуль- пункту $\delta \Delta g$	$\Delta g$ випр	При- мітки
ОП-I	10 <sup>00</sup>	3,520 3,523 3,523						
1	10 <sup>20</sup>	5,109 5,106 5,111						
2	10 <sup>40</sup>	6,967 6,966 6,969						
3	11 <sup>00</sup>	5,113 5,115 5,110						
4	11 <sup>20</sup>	5,789 5,788 5,800						
5	11 <sup>40</sup>	6,778 6,779 6,775						
6	12 <sup>00</sup>	10,927 10,923 10,922						
7	12 <sup>20</sup>	5,496 5,490 5,492						
8	12 <sup>40</sup>	3,478 3,478 3,477						
ОП-I	13 <sup>00</sup>	4,627 4,629 4,626						

## Варіант 7.

ПК	t	n	n <sub>c</sub> p	n <sub>i</sub> – n <sub>опл</sub>	$\Delta g$ = c(n <sub>i</sub> – n <sub>опл</sub> )	Поправ- ка за зміщен- ня нуль- пункту $\delta \Delta g$	$\Delta g$ випр	При- мітки
ОП-І	10 <sup>00</sup>	7,520 7,523 7,523						
1	10 <sup>20</sup>	5,109 5,106 5,111						
2	10 <sup>40</sup>	6,967 6,966 6,969						
3	11 <sup>00</sup>	8,113 8,115 8,110						
4	11 <sup>20</sup>	8,789 8,788 8,800						
5	11 <sup>40</sup>	11,778 11,779 11,775						
6	12 <sup>00</sup>	10,927 10,923 10,922						
7	12 <sup>20</sup>	9,496 9,490 9,492						
8	12 <sup>40</sup>	8,478 8,478 8,477						
ОП-І	13 <sup>00</sup>	8,627 8,629 8,626						

## Варіант 8.

ПК	t	n	n <sub>c</sub> p	n <sub>i</sub> – n <sub>опл</sub>	$\Delta g =$ $s(n_i -$ $n_{опл})$	Поправ- ка за зміщен- ня нуль- пункту $\delta \Delta g$	$\Delta g$ випр	При- мітки
ОП-I	10 <sup>00</sup>	3,520 3,523 3,523						
1	10 <sup>20</sup>	5,109 5,106 5,111						
2	10 <sup>40</sup>	9,967 9,966 9,969						
3	11 <sup>00</sup>	8,113 8,115 8,110						
4	11 <sup>20</sup>	8,789 8,788 8,800						
5	11 <sup>40</sup>	6,778 6,779 6,775						
6	12 <sup>00</sup>	3,927 3,923 3,922						
7	12 <sup>20</sup>	2,496 2,490 2,492						
8	12 <sup>40</sup>	4,478 4,478 4,477						
ОП-I	13 <sup>00</sup>	4,627 4,629 4,626						

Розмислов В. К., Волков О.Г.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу «Фізика Землі та прикладна геофізика»  
зі спеціальності 103 «Науки про Землю»  
ОПП – Геологія  
(денна та заочна форми навчання)

Реєстраційний № 7.

Підписано до друку 19 жовтня 2020 р.  
Формат А5, обсяг 3 друкованих листи, тираж 30 примірників.

Видавничий центр Криворізького національного університету,  
м. Кривий Ріг, вул. В.Матусевича, 11.