

УДК 550.552.53.553

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.102.04>

Ірина БЕЗРОДНА, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

ORCID ID: 0000-0002-6835-5276

e-mail: bezin3@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Дмитро БЕЗРОДНИЙ, канд. геол. наук, доц.

e-mail: manific2@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

АНАЛІЗ МАГНІТНОЇ АНІЗОТРОПІЇ ЗРАЗКІВ ПОРІД ПОЛІГОНУ КРИВОРІЗЬКОЇ НАДГЛИБОКОЇ СВЕРДЛОВИНИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. дослідником О.І. Меньшовим)

Розуміння причин та принципів анізотропії гірських порід відкриває шлях до оцінки геодинамічних процесів регіонів, дає змогу простежувати зміни геологічних факторів, що її формують, отримувати інформацію про структуру та напрямки динаміки гірських порід тощо.

Метою роботи є вивчення природи магнітної анізотропії колекції з 26 зразків, відібраних зі свердловини "Супутник-2" (490–2720 м) Криворізької надглибокої свердловини. Зразки представлені такими породами: сланці біотитові, гнейси, залізнисті кварцити, кварцити мусковітові, граніти мікроклін-плагіоклазові. Досліджено магнітну сприйнятливість зразків у формі куборомбододекаедрів за допомогою апаратури серії KLY-2 та виконано первинну обробку результатів вимірювань і розрахунок параметрів анізотропії в програмі ANIZO10.

У результаті аналізу визначено такі параметри: значення магнітної сприйнятливості (χ); статистична величина стандартного відхилення; нормальні значення магнітної сприйнятливості по трьох осях; коефіцієнти, що характеризують магнітну анізотропію ($H1 - H6$); кут магнітного схилення (D) та кут магнітного нахилення (I).

На основі практичної схеми обробки даних виконано початкову класифікацію порід. Під час аналізу розрахунків за формою еліпсоїду магнітної сприйнятливості отримано чотири класи порід: у вигляді сфери (12%), сплющеного (46%), тривісного (23%) і еліпсоїда складної форми (19%). Це говорить про комплексні геологічні умови, у яких утворювались породи зі свердловини "Супутник-2", що за попередніми петрографічними і акустичними дослідженнями авторів підтверджується тим, що зразки належать до VII–X тектонофацій.

Запропоновано дослідження коефіцієнта диференціальної магнітної анізотропії, який розрахований за аналогією з акустичною анізотропією. За результатами розрахунків встановлено, що зразки з низькою магнітною анізотропією є тільки 3,8% від усієї кількості зразків, у свою чергу, високоанізотропних зразків у складі колекції – 53,8% від загальної кількості, що говорить про різноманітність процесів, що впливали на породи під час їх утворення.

Коефіцієнт акустичної анізотропії зразків свердловини за попередніми дослідженнями авторів також варіює від 2,8 до 24,9%, симетрія акустичного тензору більшості текстур порід є ромбічною.

Фінальним у порівнянні результатів досліджень параметрів акустичної і магнітної анізотропії став тектонофаціальний аналіз отриманих даних. Встановлено, що як магнітні, так і акустичні коефіцієнти анізотропії, розраховані з відповідних тензорів, відображають зміни тектонофаціальних умов утворення досліджених порід.

Ключові слова: магнітна анізотропія, куборомбододекаедр, класифікація, акустична анізотропія.

Вступ

Вивчення магнітної анізотропії гірських порід має істотне значення в геології і геофізиці. Магнітна анізотропія є важливим інструментом для вивчення структури земної кори та мантиї.

Стан проблеми. Гірські породи, як відомо, мають магнітну анізотропію, причиною якої є наявність у породах магнітної текстури – упорядкованого розташування в породі магнітних мінералів, що виникли під впливом геологічних чинників у реальній геологічній обстановці. Розуміння причин та принципів магнітної анізотропії гірських порід відкриває шлях до вивчення геодинамічних процесів у складних геологічних регіонах; дає змогу простежувати зміни геологічних і фізичних факторів, що її формують; отримувати інформацію про структуру гірських порід. Теоретичною основою методу дослідження магнітної анізотропії метаморфічних порід є концепція їх магнітної текстури як характеристики, що фіксує умови їхнього утворення та багатофазного перетворення.

Гірські породи за час свого існування внаслідок діяльності різних тектонічних процесів можуть піддаватися як пружним, так і пластичним деформаціям. Водночас зміна магнітної текстури сильно залежить від реологічних властивостей мінеральної матриці.

Зростання упорядкованості магнітних зерен пов'язане також із впливом механічних напруг у процесі метаморфізму. Під дією напруг виникають різні типи деформацій порід, які супроводжуються зміною орієнтування феромагнітних зерен. За більш високих ступенів

метаморфізму магнітна анізотропія залишається майже незмінною, а за дуже високих ступенях спостерігається її зменшення (Гузій, 1999; Lanza, Meloni, 2006; Tarling, Hrouda, 1993; Stacey, Banerjee, 1974 та ін.).

Так, врахування особливостей намагнічування і "великої" структурної неоднорідності гірських порід дали змогу вченим виділити три види магнітної анізотропії:

- 1) природну анізотропію, зумовлену кристалографічною текстурою мінералів;
- 2) анізотропію форми тіла, зумовлену ефектом розмагнічування (що виявляється під час намагнічування в земному магнітному полі рудних тіл, складених сильномагнітними породами);
- 3) анізотропію, зумовлену великою структурною неоднорідністю (текстурою породи в цілому).

У гірській породі співіснують дві складові частини магнітної текстури: текстура доменів і текстура осей легкого намагнічування. Перша з них визначає наявність у породі залишкової намагніченості і є "м'якою" частиною магнітної текстури в тому плані, що вона може бути зруйнована сильними магнітними полями. Друга є "жорсткою" частиною магнітної текстури і може бути перебудована тільки шляхом зміни положення феромагнітних зерен у породі або зміною самих зерен.

Отже, фундаментальною особливістю гірських порід є наявність магнітної текстури – закономірного розташування характерних магнітних елементів у породі, що виникли під впливом геологічних процесів у реальній геофізичній обстановці (Гузій, 1999).

© Безродна Ірина, Безродний Дмитро, 2023

Гірським породам притаманні, окрім текстурних, також різноманітні наведені компоненти магнітної анізотропії. Наведена магнітна анізотропія є результатом дії на феромагнетик різних додаткових факторів, що змінюють їх магнітний стан.

Метою роботи є вивчення природи магнітної анізотропії колекції зразків, відібраних зі свердловини "Супутник-2" (490–2720 м) Криворізької надглибокої свердловини.

Регіон досліджень приурочений до центральної частини Ганнівської синклінали, яка представлена породами новокриворізької, скелеватської, саксаганської, гданцевської та глеуватської світ. У геологічному розрізі свердловини "Супутник-2" присутні потужні пакки гнейсів і сланців біотитових, амфібол-біотитових, діопсид-біотитових, графітових і графіт-біотитових, менш потужні прошарки залізистих кварцитів і силікатних сланців, а також кварцити, кварцито-пісковики андалузит-мусковітові та ставроліт-андалузит-мусковітові, амфіболіти та невеликі за розмірами тіла мікроклін-плагіоклазових гранітів і альбітизованих і мікроклінізованих плагіогранітів багатократно катаклазованих (по архейських плагіогранітоїдах) (Безродний, 2008, Продайвода та ін., 2011).

За попередніми дослідженнями авторів зразки свердловини "Супутник-2" представлені найбільш високобальними тектонофаціями VII–X мезозони, де тектонофація X маркує мілонітовий шов, а тектонофація VII – ділянки відносно найбільш грубого дроблення порід. На незначних інтервалах породи зазнали впливу крихко-в'язкої та крихкої тектоніки вторинної епізони (Продайвода та ін., 2011).

Об'єктом дослідження в роботі є метаморфічні породи, зокрема гнейси, біотитові, мусковітові, магнетитові кварцити та сланці у формі куборомбододакедрів та їх магнітні властивості.

Методи

Автори дослідили магнітну сприйнятливість 26 зразків у формі куборомбододакедрів та виконали первинну обробку результатів вимірювань, а також розрахунок параметрів анізотропії в програмі ANIZO10.

Для реалізації вимірювань магнітної сприйнятливості зразків було використано апаратуру серії KLY-2. Міст KLY вимірює так звану спрямовану повну магнітну сприйнятливість, що залежить від сприйнятливості зразка в напрямку виміру, його об'єму та фактору

розмагнічування. Зразки вимірювалися у відповідним чином обраній системі напрямків, таким чином отримано відповідно спрямовані повні магнітні сприйнятливості порід.

За результатами аналізу визначено такі параметри:

- значення магнітної сприйнятливості (χ);
- статистична величина стандартного відхилення;
- нормальні значення магнітної сприйнятливості по трьох осях;
- коефіцієнти, що характеризують магнітну анізотропію (H1 – H6);
- кут магнітного схилення (D) та кут магнітного нахилу (I).

Автори на основі вимірювань розрахували власні параметри тензора сприйнятливості (K_1, K_2, K_3), що можуть бути використані для опису магнітної природи порід.

Результати

Значення магнітної сприйнятливості зразків (рис. 1,а) загалом відрізняються несуттєво, не змінюючись у великих межах для зразків різної літології. На обмеженому діапазоні зміни магнітної сприйнятливості (без аномальних мінімальних і максимальних значень параметра) проведено уточнення статистичної мінливості параметра (рис. 1,б). На гістограмі проілюстровано ліву асиметричність значень та наявність окремої групи зразків із підвищеною магнітною сприйнятливістю.

Під час обробки отриманих магнітних параметрів було розраховано параметри магнітної анізотропії, визначення якої зумовлено розрахунками тензора сприйнятливості, системи основних сприйнятливостей і системи основних напрямків. Система напрямків завжди визначена в так званій системі координат зразка x_1, x_2, x_3 , що пов'язані з важливими напрямками в геометричній формі зразка.

На основі практичної схеми (Lanza, Meloni, 2006) автори виконали початкову класифікацію порід за формою еліпсоїду анізотропії магнітної сприйнятливості, де використані такі правила:

- форма є сферою при ($K_1 \approx K_2 \approx K_3$);
- еліпсоїд сплющений при ($K_1 \approx K_2 > K_3$);
- форма еліпсоїду витягнута при ($K_1 > K_2 \approx K_3$);
- еліпсоїд анізотропії є тривісним при ($K_1 > K_2 > K_3$).

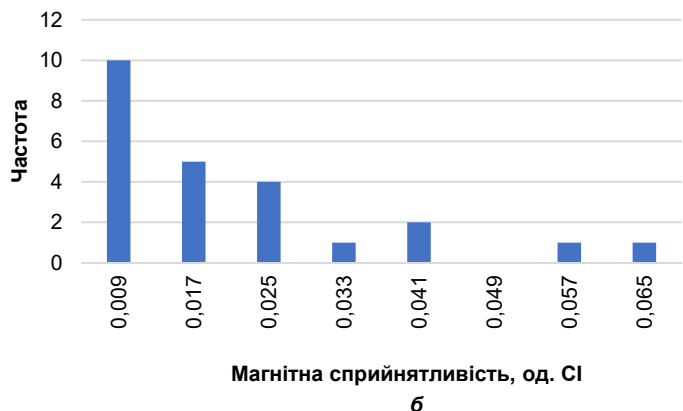
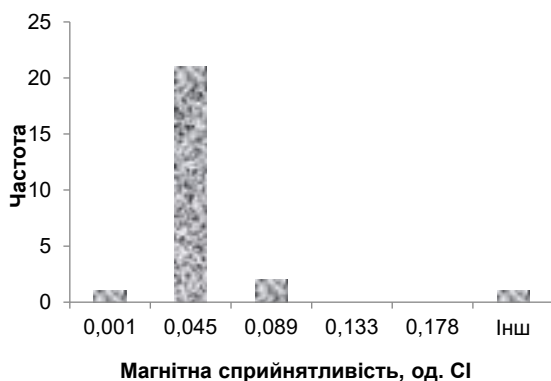


Рис. 1. Гістограма розподілення повної магнітної сприйнятливості зразків колекції:
а – повний діапазон зміни параметра; б – обмежений діапазон

У процесі аналізу розрахунків отримано чотири класи порід (рис. 2):

- тільки три зразки мають форму еліпсоїду у вигляді сфери: № 19(78), 91(84), 99(91) (3 – на рис. 2);
- еліпсоїд магнітної сприйнятливості тривісний – у шести зразків: 14(90), 20(90), 19(58), 21(67), 91(29) (2 – на рис. 2);

- форма еліпсоїду у більшості зразків (12) має сплющений вигляд (1 – на рис. 2);

- зразки 26(02), 91(39), 92(15), 9990(131) мають складну форму еліпсоїду (4 – на рис. 2).

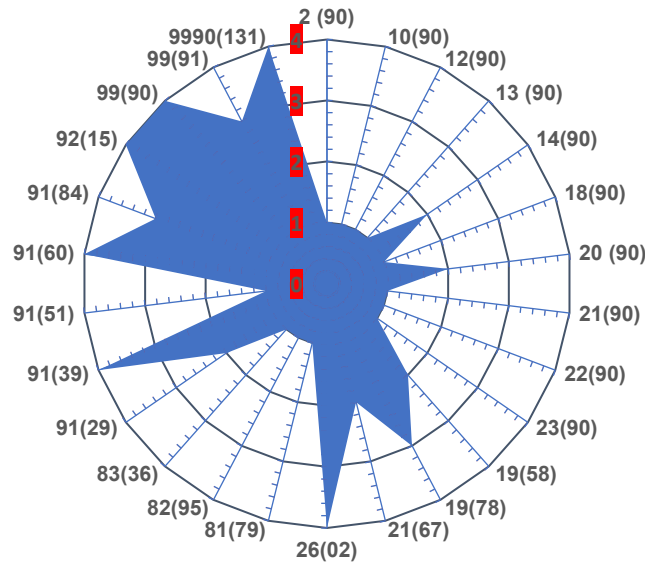


Рис. 2. Класифікація порід за формою еліпсоїду анізотропії магнітної сприйнятливості

Це говорить про складні геологічні умови, у яких утворювались породи зі свердловини "Супутник-2" Криворізької надглибокої свердловини, що за попередніми петрографічними та акустичними дослідженнями авторів підтверджується тим, що зразки належать до VII–X тектонофацій.

Запропоновано дослідження коефіцієнта інтегральної магнітної анізотропії (рис. 3), який за аналогією з акустичною анізотропією (Bezrodna et al., 2017; Продайвода та ін., 2011), розраховувався за формулою

$$A_K = \left\{ \frac{1/3[(K_1 - K_2)^2 + (K_1 - K_3)^2 + (K_2 - K_3)^2]}{(K_1)^2 + (K_2)^2 + (K_3)^2} \right\}^{1/2} 100 \%.$$

Класифікація порід за цим параметром здійснювалася таким чином: $A_K < 5 \%$ – низькоанізотропні, $5 \% < A_K < 10 \%$ – середньоанізотропні, $A_K > 10 \%$ – високоанізотропні магнітні породи.

За результатами розрахунків встановлено, що зразків з низькою магнітною анізотропією є тільки 3,8 % від усієї кількості зразків, у свою чергу, високоанізотропних зразків у складі колекції – 53,8 % від загальної кількості, що говорить про різноманітність процесів, які впливали на породи під час їх утворення.

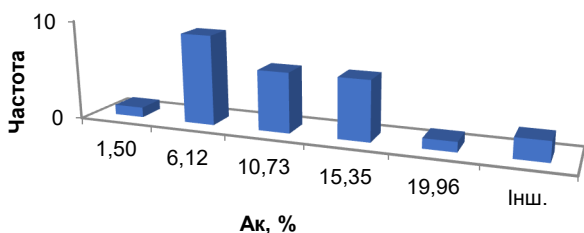


Рис. 3. Зміна коефіцієнта інтегральної магнітної анізотропії зразків

Під час попередніх досліджень було вивчено параметри акустичної анізотропії зразків свердловини "Супутник-2" (490–2720 м). У роботах авторів (Bezrodna, 2008; Продайвода та ін., 2011) встановлено, що для порід, які були проаналізовані, відчутна різниця у швидкостях поширення квазіпоперечних хвиль у зразках свідчить про інтенсивні процеси поляризації та розщеплення поперечних мод, що підтверджується високими рівнями тектонофацій представлених зразків. Коефіцієнт

акустичної анізотропії зразків свердловини змінюється від 2,8 до 24,9 %, симетрія акустичного тензора більшості текстур порід є ромбічною. За результатами порівняння розрахованих акустичної лінійності (L_μ) та акустичної сланцюватості (S_μ) параметри акустичного еліпсоїду тільки деяких порід мають невеликі відхилення від координатних осей, що свідчить про відсутність текстур поперечно-ізотропної симетрії.

Анізотропія акустичних властивостей є характерною ознакою гірських порід. Однак, на відміну від інших матеріалів, гірські породи мають складну неоднорідну структуру, що включає різні мінеральні асоціації, зокрема й залізисті. У численних роботах (див., наприклад, Kern, 1982; Wenk and Van Houtte, 2004; Безродний, 2008; Безродна та ін., 2017) було показано, що основними структурними факторами, які контролюють пружну анізотропію, є переважні орієнтування кристалів зерен (кристалографічна текстура), форма зерен, упорядковане їх розташування в породі (наприклад, смугастість, сланцюватість тощо), різні види тріщинуватості і мікротріщинуватості, у тому числі системи орієнтованих тріщин, витягнутих пустот тощо. Тією чи іншою мірою кожен із перелічених вище факторів окремо впливає на анізотропію пружних властивостей, тому часто неможливо зовсім безперечно встановити вплив кожного фактору.

Якщо у складі гірської породи беруть участь магнітні мінерали з вираженою кристалографічною анізотропією, то їх упорядковане розташування може створювати ефект магнітної анізотропії, яка викликана упорядкуванням:

- довгих осей феромагнітних мінералів;
- кристалографічних осей;
- доменів у багатодомених зернах;
- текстурного упорядкування, що є окремим випадком анізотропії форми.

Роль кожного з чинників у формуванні магнітної анізотропії може як завгодно варіювати, створюючи передумови для класифікації геологічних об'єктів за цією ознакою.

Безумовно, порівняння параметрів акустичної і магнітної анізотропії теоретично обґрунтовано для метаморфічних порід Криворізького регіону у зв'язку з присутністю в породах магнітних мінералів зі своїми особливостями текстури.

Підсумковим етапом у порівнянні результатів досліджень параметрів акустичної і магнітної анізотропії став тектонофаціальний аналіз отриманих даних (рис. 4).

Встановлено, що як магнітні, так і акустичні коефіцієнти анізотропії, що розраховуються з відповідних тензорів, відображають зміни тектонофаціальних умов утворення досліджених порід.

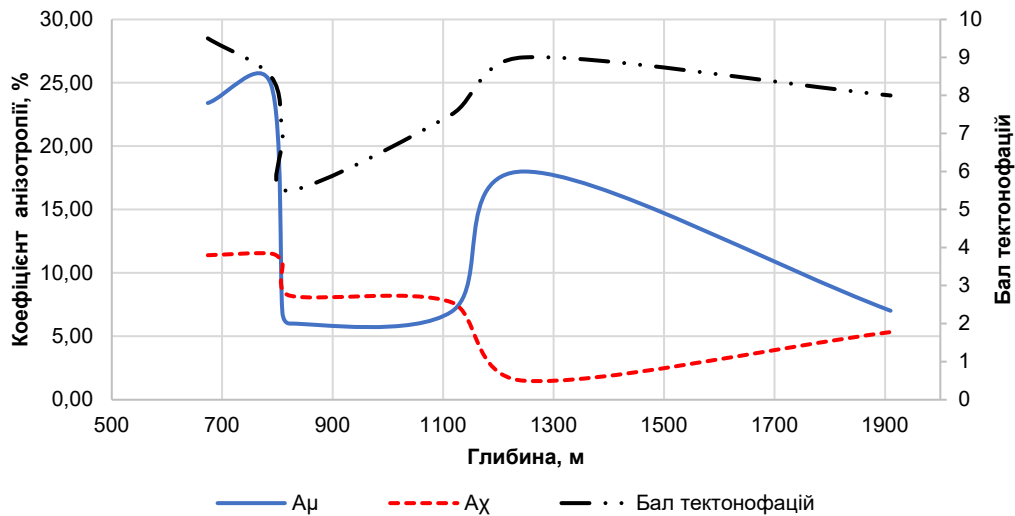


Рис. 4. Взаємозв'язок балів тектонофацій порід з магнітною і акустичною анізотропією

Висновки

Під час дослідження колекції зразків свердловини "Супутник-2" (490–2720 м) Криворізької надглибокої свердловини вивчено параметри магнітної анізотропії, які корелюються з параметрами акустичної анізотропії, встановленими авторами раніше. Дані свідчать про те, що внаслідок впливу різних тектонічних умов, зокрема мезозони і крихко-в'язкої та крихкої вторинної епізони, відбувалася зміна текстурно-структурних особливостей зразків, що вплинуло на параметри їхньої магнітної та акустичної анізотропії. Зокрема, за дослідженнями магнітної анізотропії встановлено чотири групи порід подібно до чотирьох (VII–X) акустичних тектонофацій, визначених авторами в попередніх роботах.

Проведені дослідження мають бути продовжені для встановлення більш глибоких зв'язків геологічних і фізичних факторів, що вплинули на виявлені магнітну та акустичну анізотропію зразків. Для таких досліджень необхідно вивчити зразки з наявністю високомагнітних мінералів.

Список використаних джерел

- Безродна, І., Безродний, Д., Козіонова, О. (2017). Аналіз впливу мінерального скелету порід-колекторів Руновщинської площі на пружні та акустичні параметри (за результатами математичного моделювання). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 77, 52–58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.06>
- Безродний, Д.А. (2008). Пружна анізотропія метаморфічних порід Кривбасу і її використання для вирішення задач тектонофаціального аналізу. *Дис. ... канд. геол. наук.* КНУ ім. Т. Шевченка.
- Гузій, М.І. (1999). Магнітна анізотропія докембрійських гранітоїдів (на прикладі Середньопридніпровського блока Українського щита). *Дис. ... канд. геол. наук.* КНУ ім. Т. Шевченка.
- Продайвода, Г.Т., Вижва, С.А., Безродний, Д.А., Безродна, І.М. (2011). Акустичний текстурний аналіз метаморфічних порід Криворіжжя. ВПЦ "Київський університет".
- Bezrodna, I.M., Vyzhva, S.A., Bezrodnyi, D.A., Popov, S.A. (2017). Comparative monitoring of parameters of the acoustic and elastic anisotropy of sandstones based on the data of laboratory ultrasonic investigations. *Матеріали XI Міжнародної конференції "Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища"*, 2017, Київ.
- Kern, H. (1982). P- and S-wave velocities in crustal and mantle rocks under the simultaneous action of high confining pressure and high temperature and

the effect of the rock micro-structure. In: W. Schreyer (Ed.), *High-Pressure Research in Geosciences*. Stuttgart.

Lanza, R., Meloni, A. (2006). *The Earth's Magnetism. An Introduction for Geologists*. Springer-Verlag.

Stacey, F.D., Banerjee, S.K. (1974). *The Physical Principles of Rock Magnetism*. Elsevier.

Tarling, D.H., Hrouda, F. (1993). *The Magnetic Anisotropy of Rock*. Chapman & Hall.

Wenk, H.-R., Van Houtte, P. (2004). *Texture and anisotrop. Rep. Prog. Phys.*

References

- Bezrodna, I.M., Bezrodnyi, D.A., Kozionova, O. (2017). Analysis of mineral matrix of Runovshchinska area reservoir rocks on the elastic and acoustic parameter (based on the results of mathematical modelling). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 77, 52–58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.06> [in Ukrainian].
- Bezrodna, I.M., Vyzhva, S.A., Bezrodnyi, D.A., Popov, S.A. (2017). Comparative monitoring of parameters of the acoustic and elastic anisotropy of sandstones based on the data of laboratory ultrasonic investigations. *Матеріали XI Міжнародної конференції "Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища"*.
- Bezrodnyi, D.A. (2008). Elastic anisotropy of the Krivbas' metamorphic rocks and its utilization for solving problems of the tectonofacial analysis. *Thesis ... Cand. Sci. (Geol.): 04.00.22*. Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian].
- Guzij, M.I. (1999). *Maginitna anizotropiya dokembrijskih granitoidiv (na prikhladi Serednopridniprovskogo bloka Ukraininskogo shita)*. *Thesis ... Cand. Sci. (Geol.)*. Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Russian].
- Kern, H. (1982). P- and S-wave velocities in crustal and mantle rocks under the simultaneous action of high confining pressure and high temperature and the effect of the rock micro-structure. In: W. Schreyer (Ed.), *High-Pressure Research in Geosciences*. Stuttgart.
- Lanza, R., Meloni, A. (2006). *The Earth's Magnetism. An Introduction for Geologists*. Springer-Verlag.
- Prodajvoda, G.T., Vyzhva, S.A., Bezrodnij, D.A., Bezrodna, I.M. (2011). *Akustichnij teksturnij analiz tektonofacij metamorfichnih porid Krivorizhzhya*. VPC "Kyiv. Un-t" [in Ukrainian].
- Stacey, F.D., Banerjee, S.K. (1974). *The Physical Principles of Rock Magnetism*. Elsevier.
- Tarling, D.H., Hrouda, F. (1993). *The Magnetic Anisotropy of Rock*. London: Chapman & Hall.
- Wenk, H.-R., Van Houtte, P. (2004). *Texture and anisotrop. Rep. Prog. Phys.*
- Отримано редакцією журналу / Received: 21.04.23
Прорецензовано / Revised: 01.06.23
Схвалено до друку / Accepted: 31.08.23

Iryna BEZRODNA, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-6835-5276
e-mail: bezin3@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Dmytro BEZRODNY, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
e-mail: manific2@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF MAGNETIC ANISOTROPY OF ROCK SAMPLES FROM THE POLIGON OF THE KRIVORIZKA EXTREMELY DEEP WELL

Understanding the reasons and principles of anisotropy of geological rocks opens the way to assess geodynamic processes in regions, enables to track changes of geological factors that form them, provides information about the structure and directions of the dynamics of geological rocks and etc.

The aim of this study is the investigation of the nature of magnetic anisotropy of a collection of 26 samples that were taken from the well "Suputnyk-2" (490–2720 m) of the Kryvorizka extremely deep well. The samples consist of the following rocks: biotite schists, gneisses, ferruginous quartzites, muscovite quartzites, microcline-plagioclase granites. The authors used equipment of the KLY-2 series to measure the magnetic susceptibility of samples having the shape of cuberhombic decahedron. The authors have performed primary processing of measurement results and calculation of anisotropy parameters in the ANIZO10 program.

The following parameters were determined as a result of the analysis: value of magnetic susceptibility (χ); statistical value of the standard deviation; normal values of magnetic susceptibility along three axes; coefficients characterizing magnetic anisotropy ($H1 - H6$); magnetic inclination angle (D) and magnetic inclination angle (I).

The authors performed an initial classification of rocks based on the practical data processing scheme. Analyzing the calculations based on the ellipsoid of magnetic susceptibility, four rock classes were obtained: the shape of a sphere (12%), a flattened shape (46%), triaxial (23%) and a complex ellipsoid shape (19%). This indicates the complex geological conditions where rocks from the well "Suputnyk-2" (490–2720 m) were formed. It is confirmed that the samples belong to the VII–X tectonofacies according to the authors' previous research.

The authors have investigated the coefficient of differential magnetic anisotropy, such as acoustic anisotropy. According to the results of the calculations, it was established that samples with low magnetic anisotropy are only 3.8% of the total number of samples. Highly anisotropic samples of the collection comprise 53.8% of the total number. It indicates the variety of processes that affected the rocks during their formation.

According to the previous research of the authors, the coefficient of acoustic anisotropy of the well samples also varies from 2.8 to 24.9%. The symmetry of the acoustic tensor in the majority of rock textures is rhombic.

The final step in comparing the research results of the parameters of acoustic and magnetic anisotropy involved a tectonofacial analysis of the obtained data. It was determined that both magnetic and acoustic anisotropy coefficients, calculated from their respective tensors, reflect changes in tectonofacial conditions during the formation of the studied rocks.

Keywords: *magnetic anisotropy, cuberhombic decahedron, classification, acoustic and anisotropy.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.