

**ОРЛІНСЬКА ОЛЬГА**

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-3202-7577>e-mail: [Olha.Orlinska@mipolytech.education](mailto:Olha.Orlinska@mipolytech.education)**ПІКАРЕНЯ ДМИТРО**

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»

<https://orcid.org/0009-0004-8095-0846>e-mail: [dmitriy.pikarenya@mipolytech.education](mailto:dmitriy.pikarenya@mipolytech.education)**ПІЛЮГІН ВІТАЛІЙ**

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-1237-9081>e-mail: [vitalii.piliuhyn@mipolytech.education](mailto:vitalii.piliuhyn@mipolytech.education)**ФЕСЕНКО ЕДУАРД**

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-7641-642X>e-mail: [fesenkoed@gmail.com](mailto:fesenkoed@gmail.com)

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН ТРІЩИНУВАТОСТІ ТА ОБВОДНЕННЯ НА ЗАЛІЗОРУДНОМУ РОДОВИЩІ ІННОВАЦІЙНИМ ГЕОФІЗИЧНИМ МЕТОДОМ

Розглянуті можливості дослідження зон тріщинуватості в кар'єрах і гірничих виробках, а також на поверхні інноваційний геофізичний метод природнього імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ). Для визначення зон підвищеного обводнення і тріщинуватості він використаний на Білозерському залізорудному родовищі. Результати застосування методу показали добру збіжність з вимірами тріщинуватості, які заміряні у виробках. Аналіз результатів проведених досліджень комплексом геологічних і геофізичних методів з прогнозування зон тріщинуватості з підвищеною проникністю на південному фланзі Білозерського залізорудного родовища дає змогу зробити висновки щодо розмірів зон обводнення і тріщинуватості, їх простягання, а також надати рекомендації для безпечного відпрацювання таких ділянок під час гірничих робіт.

Ключові слова: залізорудне родовище, тріщинуватість, обводнення, складні гірничо-геологічні умови, природне імпульсне електромагнітне поле Землі, електророзвідувальні методи, інновації.

**ORLINSKA OLHA**

Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC

**PIKARENIA DMITRO**

Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC

**PILYUGIN VITALII**

Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC

**FESENKO EDUARD**

Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC

## DETERMINATION OF FRACTURE AND WATERING ZONES IN AN IRON ORE DEPOSIT BY AN INNOVATIVE GEOPHYSICAL METHOD

The article considers the possibilities of studying fracture zones in quarries and mine workings, as well as on the surface, using an innovative geophysical method of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NPEMFE). It was used at the Bilozerskoye iron ore deposit to identify areas of increased watering and fracturing. The results of the method application showed good agreement with the fracture measurements taken in the workings. The analysis of the results of the studies carried out using a set of geological and geophysical methods to predict fracture zones with increased permeability on the southern flank of the Bilozerskoye iron ore deposit allows us to draw conclusions about the size of watering and fracture zones, their extension, and provide recommendations for the safe development of such areas during mining operations. In order to find out the position of fractured zones under the rocks of the sedimentary cover on the surface, a study of PIEMZ was carried out. They were carried out at two sites in extremely difficult man-made conditions on the surface near the mine dump.

Zones of increased fracturing with dominant azimuths of sublatitudinal and submeridional extension are identified within the ore body, which are confined, mainly, to the rocks of the lying and hanging sides. The identified zones are 20 m to 120 m long and 10 m to 20 m wide. In the junctions of the sub-latitudinal and sub-meridional zones, increased fracturing and hydration of crystalline rocks is expected, where concentrated flow of groundwater from the higher aquifer in the form of concentrated jets may also occur.

Intersection nodes in the rocks of the lying side, as well as at the contact of the ore body and rocks of the lying side, are predicted to be the most water-rich.

Keywords: iron ore deposit, fracturing, watering, difficult mining and geological conditions, natural pulsed electromagnetic field of the Earth, electrical prospecting methods, innovations.

### Постановка проблеми

Розробка залізорудних родовищ відкритим і підземним способами призводить до оновлення природної та формування техногенної тріщинуватості і, як наслідок, до розкриття водоносних горизонтів, що призводить до порушення гідродинамічного режиму підземних вод, створення депресійних лійок, зон підтоплення, а також суттєво ускладнює виробничий процес. Окремою проблемою є водовідведення підземних вод із гірничих виробок. Їхній складний мінеральний склад із підвищеною концентрацією солей не дає змоги скидати ці води до природних водойм, а зберігання їх у ставках-накопичувачах стає дедалі неможливішим з огляду на заповнення проектних місткостей і передаварійний стан останніх. Для вивчення та запобігання

подібним небезпечним геолого-екологічним явищам необхідний постійний моніторинг розвитку тріщинуватості в межах кар'єрів та виробок, а також прилеглих до них територій, особливо якщо вони розташовані поблизу населених пунктів.

### Виклад основного матеріалу

Моніторинг динаміки розвитку тріщинуватості можна проводити або за допомогою безпосередніх замірів елементів тріщинуватості в уступах кар'єрів і виробках, або використовувати геофізичні методи для виявлення систем тріщинуватості. Перший спосіб ефективний для територій відкритих, що мають малопотужний осадовий чохол із виходами на поверхню кристалічних порід.

Другий застосовується на закритих територіях із досить потужним осадовим чохлом. І перший, і другий способи мають як низку переваг, так і недоліки. У першому випадку під час безпосередніх вимірів і спостережень досягається висока достовірність результатів безпосередньо в кар'єрах на відслоненнях або в вибоях гірничих виробок, а ось простеження систем тріщинуватості на прилеглі території в разі невисокого відслонення - завдання складне, яке можна розв'язати суб'єктивно. Геофізичні методи мають свої недоліки й основний із них - неоднозначність розв'язання зворотної задачі в умовах слабкої оголеності територій. Таким чином, з огляду на всі переваги і недоліки способів, **метою досліджень** є вибір оптимального комплексу методів безпосередніх спостережень і геофізичних досліджень. При цьому розв'язувалися **задачі** виявлення і простежування тріщинуватості та зон обводненості в Білозерському залізорудному родовищі.

Комплексні дослідження передбачали виміри елементів залягання тріщин гірничим компасом у доступних стінках кар'єра з подальшою побудовою діаграм тріщинуватості, а також проведення геофізичних робіт інноваційним методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), що добре зарекомендував себе під час розв'язання таких завдань [1], який відноситься до групи електророзвідувальних геофізичних методів. Метод заснований на реєстрації ПЕМПЗ, яке складається з трьох джерел: зовнішнього – сонячна радіація і космічні поля; внутрішнього – обумовлюється геологічними процесами під або безпосередньо на денній поверхні; техногенного – різного роду промислові і побутові випромінювання. Діапазон частот такого інтегрального імпульсного електромагнітного поля від перших герц до мега- і навіть гігагерц. Природне імпульсне електромагнітне поле, що генерується саме внутрішніми джерелами, використовується з метою вивчення геологічних особливостей територій.

Відомо досить багато процесів і явищ, в результаті або протягом яких виникає електромагнітне випромінювання або електромагнітна емісія (застосовуються обидва терміни). У роботах [1, 2] вказується, що основними джерелами електромагнітного поля можуть бути такі явища:

1. П'єзоелектричний ефект, що полягає у здатності твердих тіл певного типу викликати електричні заряди залежно від прикладених механічних напружень або зміні лінійних розмірів (прямий п'єзоефект) або змінювати лінійні розміри залежно від прикладеної різниці потенціалів (зворотний п'єзоефект). У природі цю властивість мають кварц, турмалін, халькопірит, сфалерит, слюди та деякі інші мінерали.

2. Деформації гірських порід у процесі одновісного стиснення або ударного впливу. При цьому електромагнітні поля виникають на перших стадіях деформації, досягаючи свого максимуму під час порушення суцільності порід і різко втрачаючи інтенсивність після утворення тріщин.

3. Електрохімічні та електрокінетичні явища, пов'язані з хімічними реакціями в системі «розчин-порода» або з рухом розчинів по тріщинах, порах і капілярах у породі.

4. Піроелектричний ефект - здатність деяких речовин генерувати електричні заряди під час нагрівання або охолодження. Серед мінералів піроефектом володіють турмалін, піротин, нікелін, вурцит, цинкіт тощо.

5. Трибоелектричний ефект, спричинений тертям, яке створюється під час руху блоків гірських порід по розломах, що призводить до виникнення електростатичних зарядів.

6. Електризація при розколюванні, характерна для деяких мінералів: кварцу, турмаліну, сфалериту, слюд, гіпсу, галіту та ін.

Під час виконання гірничих робіт у генерації електромагнітних полів можуть бути задіяні всі перераховані вище явища і джерела, проте провідна роль належить першим двом - п'єзоефекту і деформаціям

В результаті перерахованих процесів утворюється стрибкоподібний сплеск електромагнітного випромінювання, який і називається імпульсом електромагнітного поля. Він характеризується різким збільшенням амплітуди і енергії випромінювання та дуже коротким (мілі- і мікросекунди) часом прояву. Частота проходження імпульсів ПЕМПЗ від перших герц до 20 кілогерц, цим поле ПЕМПЗ відрізняється від атмосферних і техногенних джерел. В поле ПЕМПЗ відсутня будь-яка періодичність, характерна для техногенних випромінювачів, що служить для розділення цих джерел.

Електромагнітне випромінювання має здатність поширюватися в твердих породах на значну відстань від джерела, при цьому його амплітуда і енергія змінюється досить слабо. Якщо ж на шляху поширення електромагнітного випромінювання зустрічається ділянки замочування порід або зона порожнечі (обводнені і сухі тріщини і т.п.), то інтенсивність випромінювання дуже різко зменшується, а при потужній зоні воно взагалі розсіюється або поглинається. Завдяки цій особливості можна виділяти ділянки, які мають різну щільність потоку електромагнітних імпульсів, тобто кількості імпульсів за одиницю часу.

Ідея застосування методу ПЕМПЗ з метою проведення даного дослідження наступна: імпульсне електромагнітне поле генерується к кристалічних породах Українського щита. Якщо на шляху його розповсюдження зустрічаються обводнені ділянки порід, то його рівень та кількість імпульсів має

зменшуватися. Теж саме буде проявлятися у тріщинуватих породах, до яких можна віднести насипні техногенні ґрунти.

В основу інтерпретації карт покладена особливість поля ПЕМПЗ, а саме – зменшення щільності потоку імпульсів магнітної складової електромагнітного поля у ділянках, які розущільнені, тріщинуваті або обводнені. Додатково використовується вигляд рисунку поля ПЕМПЗ. Так, для суцільних, монолітних порід та матеріалів характерне дуже диференційоване поле, з великою кількістю ізоліній та великим розмахом (амплітудою) значень. Для тріщинуватих ділянок рисунок поля більш витриманий, але також диференційований, хоча у меншому ступеню. Обводнені ж ділянки мають спокійний, «розмитий» рисунок поля, з невеликою кількістю ізоліній, значення яких знаходяться на низьких рівнях

Теоретичні передумови застосування методу ПЕМПЗ підтверджені численними дослідженнями [1-12].

Це дає підставу вважати результати ПЕМПЗ достовірними і залучати його для вирішення завдань даного дослідження.

### Характеристика об'єкту досліджень

Білозерський залізорудний район приурочений до однойменної Білозерської зеленокам'яної структури (БЗКС) Середньопридніпровського блоку Українського щита (УЩ). У геологічній будові беруть участь різні комплекси порід, що утворюють два структурних поверхи. Нижній структурний поверх представлений докембрійськими метаморфізованими і сильно дислокованими осадово-вулканогенними та інтрузивними породами зеленокам'яного комплексу БЗКС. Ця структура відноситься до середньопридніпровського типу ЗКС із трьома повними мегациклами порід: нижнього вулканогенного, середнього теригенного і верхнього вулканогенного, що відповідають серіям стратиграфічного підрозділу докембрійських утворень УЩ. Родовища заліза приурочені до запорізької свити білозерської серії (середній мегацикл), що представлена залізорудною формацією білозерського типу (магнетитові, карбонат- і хлорит-магнетитові залізисті кварцити та багаті руди, в т.ч. окислені).

У тектонічному плані БЗКС являє собою монокліналь із крутим східним падінням. Розміщення її у вузлі перетину трьох систем регіональних розломів УЩ ( $17-287^\circ$ ,  $35-305^\circ$ ,  $77-347^\circ$ ) [13]. зумовило розчленування БЗКС на три мікроблоки - Західний, складений переважно породами сурської свити, Центральний (білозерська серія) та Північний (солонівська свита). Структура ускладнена підпорядкованими елементами складчастості, будиначу, розривів, розсланцювання порід різних рангів.

Верхній структурний поверх складений осадовими відкладами крейдіяно-неогенового віку і залягає практично горизонтально. Його потужність сягає 250 м.

У гідрогеологічному відношенні Південно-Білозерське залізорудне родовище розташоване в межах північно-східної частини Причорноморського артезіанського басейну, що охоплює західні райони Запорізької області. На розробку родовища впливають такі водоносні горизонти:

– Водоносний горизонт кристалічних порід, що характеризується вкрай нерівномірною обводненістю, вищою водопоглинанням рудного поклада, гідравлічним зв'язком із водоносними горизонтами осадових відкладень. Найбільш обводненими вважаються тектонічні тріщини, які є водопровідними каналами і колекторами підземних вод. Тріщини розбивають кристалічний масив на окремі блоки, що вирізняються більшою щільністю, збереженістю і малим водопоглинанням. Водопрояви в гірничих виробках, що перетинають ці блоки, мають здебільшого форму крапежу, а дренажні свердловини виявляються безводними. Міжблокові тектонічні тріщини досить водопоживні. Приплив води в окремі дренажні свердловини під час їхнього розкриття досягає  $130 \text{ м}^3/\text{год}$  за дебіту дренажних вузлів до  $350-400 \text{ м}^3/\text{год}$  (північна ділянка родовища). Крім того, тектонічні тріщини є провідниками взаємозв'язку водоносного горизонту кристалічного масиву з водоносним горизонтом осадової товщі. Кристалічні породи рудного поклада володіють вищими фільтраційними властивостями порівняно з вміщувальними породами. Припливи висячого і лежачого боку різні: у висячому вони в середньому вищі в 10 разів, ніж у лежачому (приплив води в лежачому боці поклада зрідка досягає  $50 \text{ м}^3/\text{год}$ , а в умовах висячого боку на горизонті 840 м зростає до  $300 \text{ м}^3/\text{год}$ ).

– Сильно обводнені зони кори вивітрювання кристалічних порід, потужність якої змінюється від 4-8 м до 30-40 м. У зв'язку з тим, що поширення кори вивітрювання має тут як площинну, так і зональну вертикальну форму, приурочену до тектонічних порушень, водоносний горизонт кристалічних порід і кори вивітрювання гідравлічно взаємопов'язані і являють собою єдиний водоносний комплекс. Приплив води в окремі свердловини, що розкривають цю зону, на початкових етапах освоєння родовища досягав  $200 \text{ м}^3/\text{год}$ .

За хімічним складом води тріщинуватих кристалічних порід докембрію дуже різні. Шахтні води рудної товщі (до глибини 400 м) за типом хлоридно-гідрокарбонатні натрієві з мінералізацією  $0,9-1,6 \text{ г}/\text{дм}^3$ . На глибоких горизонтах (840 м, 940 м) води хлоридно-натрієві, мають мінералізацію  $80-100 \text{ г}/\text{дм}^3$ . У результаті змішування вод різної солоності формуються води із середньою мінералізацією до  $10-12 \text{ г}/\text{дм}^3$ .

– Водоносний горизонт у крейдіяних відкладеннях, що приурочений до різнозернистих пісків нижньої крейди, потужність яких становить до 50 м. Глибина залягання водоносного шару - 220-230 м від земної поверхні. Горизонт високонапірний, величина напору сягає 170-200 м. Режим водоносного горизонту формується під впливом водовідливу на Південно-Білозерському залізорудному родовищі та на водозаборах. Зниження рівня водоносного горизонту в крейдіяних відкладеннях на шахтному полі розпочато в січні 1965 р., водовідлив становив близько  $4,0 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ , до 1966 р. він досяг  $11,0 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ . Надалі поверхневий

водовідлив зменшувався і після 1976 р. мав величину близько 2,0 тис.м<sup>3</sup>/добу. За хімічним складом води крейдяного водоносного горизонту, здебільшого, гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридні та сульфатно-гідрокарбонатно-хлоридні натрієві з мінералізацією від 0,6 до 1,0 г/дм<sup>3</sup> рідше 1,5 г/дм<sup>3</sup>.

– Бучацький водоносний горизонт приурочений до різнозернистих пісків із прошарками глин, залягає безпосередньо на крейдяних відкладах і локально на скельних породах, напірний.

Підземний водовідлив з метою осушення Південно-Білозерського залізрудного родовища почали здійснювати з 1966 р. з продуктивністю близько 1,1 тис. м<sup>3</sup>/добу, яка в міру збільшення площі гірничих робіт зростає і до 2007 року коливалася в межах від 40 до 50 тис. м<sup>3</sup>/добу. У результаті в докембрійському водоносному горизонті почали розвиватися дві відокремлені депресійні воронки. Перша сформувалася в південній частині шахтного поля, рівень у її центрі знизився до кінця 1970 р. на 395 м. Друга депресійна воронка утворилася на північній ділянці, зниження рівня в її центрі на цей період становило 235,0 м. До кінця 1975 р. обидві воронки з'єдналися, і почався розвиток районної депресії, положення рівня в якій визначається відмітками ведення гірничих робіт. Зниження рівня підземних вод на рік становить близько 7,0 м.

Зниження рівня підземних вод кристалічного масиву безперервно розвивається в міру розширення за площею і поглиблення системи підземних гірничих виробок. З 1962 р. до 1970 р. рівень підземних вод знизився на 421-422 м, тобто до позначки горизонту 480 м. Швидкість зниження рівня протягом цього періоду в середньому становила 52 м/рік. Із 1971 р. до 1982 р. за незмінної глибини воронки депресії, що відповідає позначці горизонту 480 м, відбувалося її безперервне розширення. З 1982 р. формування порушеного режиму підземних вод водоносного горизонту кристалічних порід відбувалося в умовах підготовки до відпрацювання рудного покладу на поверххах 480-640 м, і до кінця 1983 р. зниження рівня підземних вод досягло 400-500 м. У такий спосіб сформувалася двоярусна система депресійних лійок, різних за глибиною і з центрами, зміщеними відносно одна одної.

### Методика проведення робіт

Для з'ясування положення зон тріщинуватості під породами осадового чохла на поверхні проведено дослідження ПЕМПЗ. Вони виконувалися на двох майданчиках у вкрай складних техногенних умовах на поверхні в районі гірничого відвала. На першому майданчику відпрацьовано 6 профілів (через 10 м) переважно субширотного напрямку і 15 профілів орієнтованих субмеридіонально. Профілі на другому майданчику закладені вхрест простягання рудного тіла по азимуту 65°ПнС. Відстань між точками спостережень не перевищувала 10 м. Зйомка проводилася радіохвильовим індикатором напружено-деформованого стану (РХІНДС) і мікропроцесорним індикатором електромагнітного поля «СІМЕІЗ». Висота приймальної антени, спрямованої вертикально донизу, не перевищувала 1 м; на ділянках перетину лінії електропередач її положення обирали таким чином, щоб знизити вплив перешкод. Технічні характеристики приладу забезпечували реєстрацію щільності потоку ПЕМПЗ в діапазоні частот 0 – 50 кГц за частоти проходження 0 – 10000 імпульсів за секунду (імп/сек).

За даними виконаних спостережень побудовано криві зміни поля за профілями і узагальнюючу карту-схему щільності потоку ПЕМПЗ, на яких виділено зони знижених значень ПЕМПЗ, характерні для ділянок підвищеної тріщинуватості та обводненості порід фундаменту.

Для підтвердження виявлених зон тріщинуватості в підземних гірничих виробках Запорізького залізрудного комбінату були проведені виміри азимутів і кутів падіння. Особливу увагу приділяли мінеральному заповненню тріщин – незаповнені (порожні) і заповнені (кварц, карбонати, сульфідні тощо).

Щоб уникнути впливу на аномальне магнітне поле від пластів залістистих кварцитів, до замірів азимутів тріщин застосовувалася така методика. Безпосередньо в точці, де проводили заміри тріщин, вимірювали напрямок гірничої виробки, який фіксували в кожній точці спостереження. Подальші заміри проводилися за загальноприйнятими методиками роботи з гірничим компасом.

Під час опрацювання вимірів тріщин за планами гірничих виробок ЗЗРПК вираховували напрямок виробки відносно північного географічного полюса. Різниця вимірів азимутів напряму виробки між магнітним і істинним меридіаном становила магнітне схилення безпосередньо в кожній точці спостереження. Для подальшого опрацювання вимірювань цю величину вносили в азимуту падіння і простягання тріщин. Вимірювання тріщин проводилися на двох горизонтах гірничих виробок ЗЗРПК.

### Результати досліджень

За даними виконаних спостережень побудовано криві зміни поля за профілями (рис. 1), на яких виділено зони знижених значень густини потоку імпульсів ПЕМПЗ. Виявлені зони мають протяжність від 20 до 120 м і ширину від 10 до 20 м, простягання їх субширотне і субмеридіональне. У західній частині проєкції на поверхню лежачого боку рудного тіла виділяється досить потужний вузол перетину зон зі зниженими значеннями густини потоку ПЕМПЗ, що характерно для ділянок підвищеної тріщинуватості й обводненості порід фундаменту. У східній частині з сторони висячого боку рудного покладу також відзначається розвиток зон підвищеної тріщинуватості, але їхня протяжність, ширина, густина значно менші, що дає змогу говорити про менший водопритлив у виробки з цього боку.

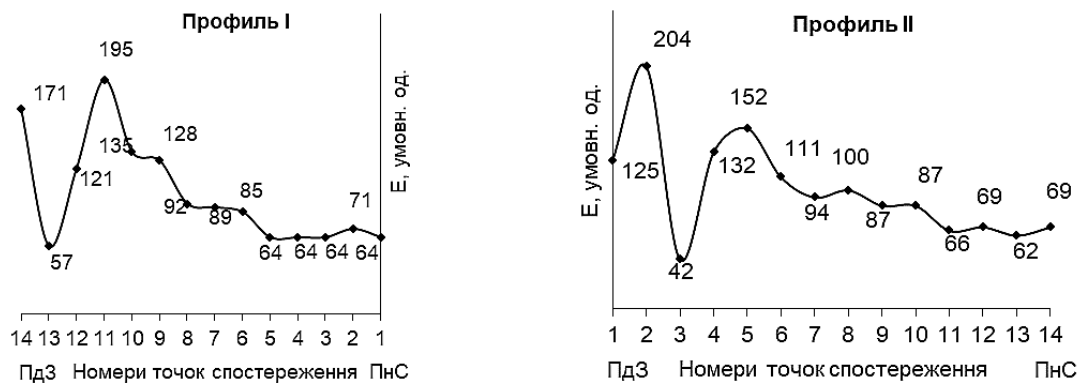


Рис. 1. Криві щільності потоку імпульсів магнітної складової природного імпульсного електромагнітного поля Землі (в умовних одиницях). Вісь ординат розташована в початковій точці профілю

За даними польових спостережень побудовано карту щільності потоку магнітної складової ПЕМПЗ і тектонічну схему ділянки робіт (рис. 2). Аналіз тектонічної схеми показує, що розривні порушення або, точніше, зони підвищеної тріщинуватості, виявлені в полі ПЕМПЗ, мають широтне, діагональне (50-60°) і меридіональне орієнтування, причому останнім властиві найнижчі значення щільності потоку магнітної складової (рис. 2). Вузли перетину різноорієнтованих зон підвищеної тріщинуватості характеризуються зниженими значеннями щільності потоку імпульсів ПЕМПЗ.

Аналіз тріщинуватості порід у шахті на глибині 840 м показує, що тріщини групуються в кілька систем (рис. 3). Порожні (незаповнені тріщини) в основному утворюють систему з азимутами простягання 0 - 180°, а заповнені - 80 - 295°. Серед мінералів, що заповнюють тріщини, виокремлюють кварц сірий до темного, кварц молочно-білий, карбонати і сульфіди (головним чином, піротин, рідше пірит). Поряд з дрібними тріщинами виділяються зони підвищеної тріщинуватості, які добре картуються в гірничих виробках. Ці зони мають субмеридіональне орієнтування, потужність 1 - 2 до 4 метрів.

Спільний аналіз тектонічної схеми, побудованої за геофізичними матеріалами, і гістограми тріщинуватості показує, що максимальна кількість заповнених гідротермально-метасоматичними утвореннями тріщин мають азимут простягання 80-90° ПнС, 290-295° ПнЗ, 305-310° ПнЗ, тобто, з огляду на точність вимірів ±5-10°, мають субширотне орієнтування. На тектонічній схемі цим зонам тріщинуватості на поверхні відповідають напрямки розломів 77°, 90°. Незаповнені тріщини розташовуються переважно в субмеридіональному напрямку, їхні азимут простягання відповідають орієнтуванню розломів 0, 17, 347°.

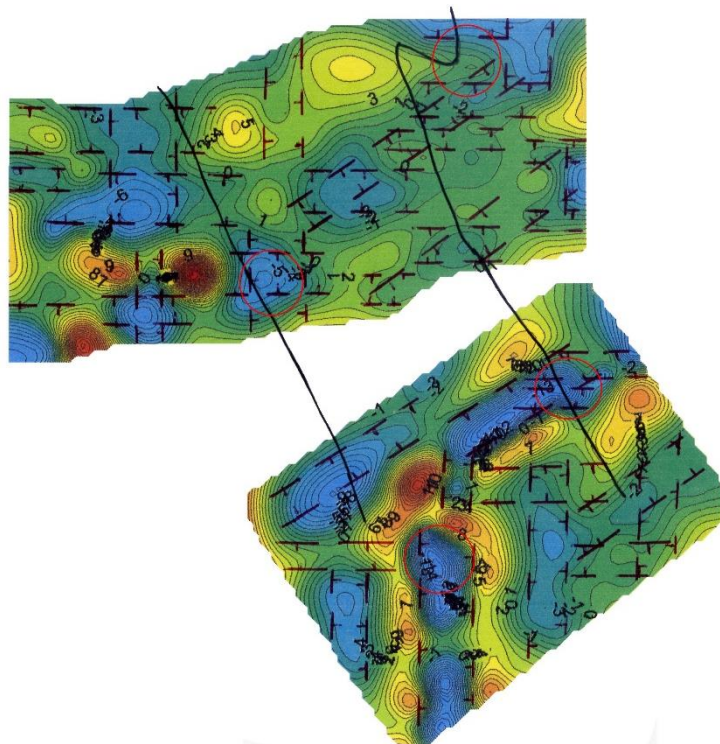


Рис. 2. Карта-схема щільності потоку ПЕМПЗ. Червоні лінії - зони тріщинуватості та розривних порушень; чорні лінії - контур рудного тіла; сині ділянки - зони знижених значень ПЕМПЗ, жовті - середні значення, червоної - високі. В колах - вузли перетину розломів, що є найбільш водообільними

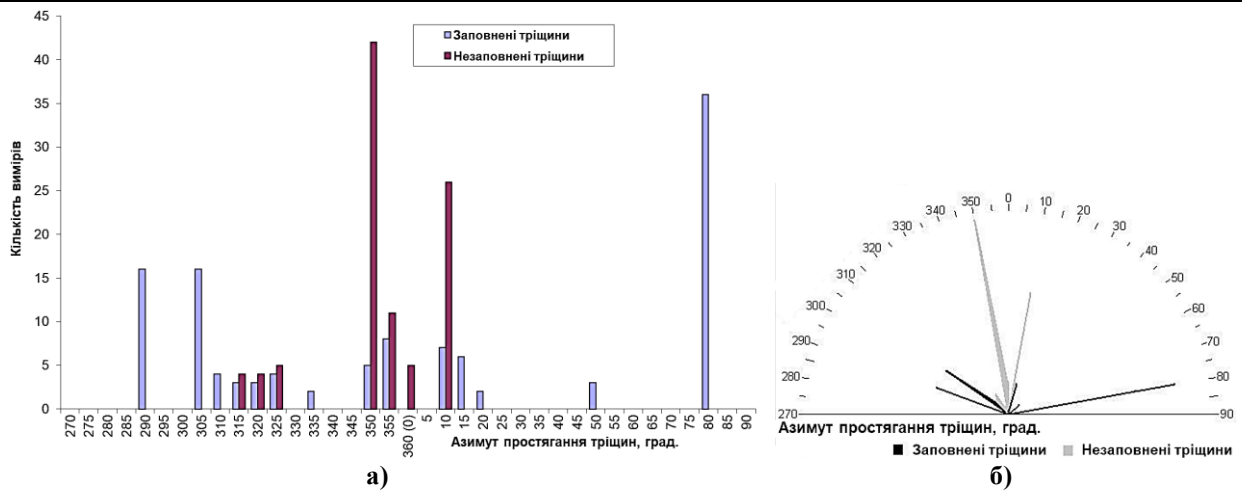


Рис. 3. Гістограма (а) та троянда-діаграма (б) розподілу тріщинуватості за азимутами простягання в гірничих виробках Запорізького залізрудного комбінату на горизонті 840 м

Знаходять своє пояснення низькі значення щільності потоку, характерні для меридіональної системи. Подібні мінімуми щільності потоку магнітної складової ПЕМПЗ пов'язані з високим обводнюванням гірських порід в зонах розривних порушень, оскільки вода, розчини, є екраном для імпульсного електромагнітного поля. Дійсно, максимальна кількість незаповнених мінералами тріщин (рис. 3) характеризується субмеридіональним простяганням, а заповнені кварц-карбонат-сульфідним матеріалом тріщини мають азимут простягання 80°ПнС, 290-300°ПнЗ.

Тріщини фундаменту і водоносні горизонти осадового чохла тісно пов'язані між собою. Так, підземне буріння з квершлягу на горизонті 340 м показало водоприплив у шахту від 1,2 м<sup>3</sup>/год із субширотних зон тріщинуватості до 10,3 м<sup>3</sup>/год із субмеридіональних. Це викликано тим, що субмеридіональні тріщини «порожні» і вода з осадового чохла вільно дрениється на глибину. Субширотні тріщини заповнені жильними мінералами, тому водоприплив тут слабший. Подібна ситуація спостерігається і на горизонті 840 м. Гідрокарбонатний хлоридно-натрієвий склад із мінералізацією від 1,6 г/дм<sup>3</sup> (горизонт 400 м) до 80 г/дм<sup>3</sup> (горизонт 840 м) свідчить про те, що її джерелом є породи осадового чохла. У міру надходження на глибину вода розігривається і на горизонті 840 м має температуру 37-42°C.

### Висновки

Аналіз результатів проведених досліджень з прогнозування зон тріщинуватості з підвищеною проникністю на південному фланзі Білозерського залізрудного родовища дає змогу зробити наступні висновки та рекомендації.

1. У межах рудного тіла виділено зони підвищеної тріщинуватості з домінуючими азимутами субширотного та субмеридіонального простягання, які приурочені, в основному, до порід лежачого та висячого боків. Виявлені зони мають протяжність від 20 м до 120 м, ширину від 10 м до 20 м.
2. У вузлах перетину субширотних і субмеридіональних зон очікується підвищена тріщинуватість і обводненість кристалічних порід, де також може мати місце зосереджений перетік підземних вод із вищерозміщеного водоносного горизонту у вигляді концентрованих струменів.
3. Найбільш водообільними прогноуються вузли перетину в породах лежачого боку, а також на контакті рудного тіла і порід лежачого боку.
4. У висячому боці родовища зони підвищеної тріщинуватості поширені рідше і мають невелику протяжність і ширину. Переважно вони розташовані поза рудним тілом. Тут прогноуються менша локальна водообільність порівняно з породами лежачого боку.
5. Для рудного тіла характерні субмеридіональні зони підвищеної тріщинуватості, не заповнені мінеральними новоутвореннями та субширотні, заповнені кварц-карбонатним матеріалом.

### Рекомендації

1. Під час проектування трасувань гірничих виробок враховувати наявність виділених ділянок з очікуваною підвищеною тріщинуватістю і водопоглинанням. Це дасть змогу вжити заходів щодо випереджального тампонування водоносних зон тріщинуватості та скоротить водоприплив підземних вод, зокрема й прісних, у гірничі виробки і сприятиме збереженню цінних водних ресурсів.
2. Параметри виїмкових камер під час відпрацювання рудного покладу мають визначатися після проходки підготовчих виробок і буріння розвідувальних свердловин.
3. Для уточнення просторового положення зон підвищеної тріщинуватості та водообільності продовжити вивчення гірського масиву запобіжного цілика геофізичними методами з гірничих виробок шахти. Зменшення водоприпливу в гірничі виробки призведе до зниження витрат на водовідведення і забезпечить безпечніший та ефективніший виробничий процес.

## Література

1. Hart, D.A. The Influence of Magnetic Fields, Including the Planetary Magnetic Field, on Complex Life Forms: How Do Biological Systems Function in This Field and in Electromagnetic Fields? *Biophysica* 2024, 4, 1-21. <https://doi.org/10.3390/biophysica4010001>.
2. Mamedov A.I., Pikarenya D.S., Maksimova N.N. Influence of Mining Enterprises on the Development of Technogenic Fractures of Crystalline Rocks in the Area of Kremenchuk / A.I. Mamedov, D.S. Pikarenya, N.N. Maksimova // *Naukoviy visnik NSU*. – 2010. – № 6. – P. 3-8..
3. Greiling, R.O. Natural electromagnetic radiation (EMR) and its application in structural geology and neotectonics / R.O. Greiling, H. Obermeyer // *J Geol Soc India* 75. – 2010.P. 278–288 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12594-010-0015-y>
4. Volodymyr Chepurnyi V. Improvement of the device's design for increasing the efficiency of geophysical research using the Earth's natural pulsed electromagnetic field method / V. Chepurnyi, S. Liash, O. Hrytsai, Z. Dobrovolska // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1348 012022/ - 2024. DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012022
5. Штогрин М.В. Застосування різних частот методу ПІЕМПЗ для виявлення різноглибинних розломів / М. В.Штогрин, Т. М. Штогрин // *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. – 2016. - № (2(41)). – С. 24–31.
6. Improvement of the device's design for increasing the efficiency of geophysical research using the Earth's natural pulsed electromagnetic field method. Volodymyr Chepurnyi, Serhii Liash, Olena Hrytsai and Zoia Dobrovolska. Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1348, V International Conference "ESSAYS OF MINING SCIENCE AND PRACTICE" 08/11/2023 - 10/11/2023 OnlineCitation Volodymyr Chepurnyi et al 2024 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1348 012022DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012022
7. Frid V., Rabinovitch A., Bahat D. Fracture induced electromagnetic radiation / V. Frid, A. Rabinovitch, D. Bahat // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2003. – Vol. 36, №13. DOI: 10.1088/0022-3727/36/13/330
8. Дзьоба У.О. Ефективність застосування методу ПІЕМПЗ для моніторингу стану геологічного середовища при вирішенні прикладних інженерних задач // *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. - 2020. - Т. 25, вип. 2(37). - С. 238 – 253. DOI: 10.18524/2303-9914.2020.2(37).216574
9. Kuzmenko E. D. The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field / E. D Kuzmenko, S. M. Bagriy, U. O. Dzoba // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2018. – Vol. 27(3). – P. 466 – 477.
10. Rabinovitch A. Directionality of electromagnetic radiation from fractures // A. Rabinovitch, V. Frid, D. Bahat // *International Journal of Fracture*. – 2017. - 204(2). DOI: 10.1007/s10704-016-0178-7
11. Shao H, Radeisen E, Hesser J, Wang W, Kolditz O. Coupled Processes at Micro- and Macroscopic Levels for Long-Term Performance Assessment Studies of Nuclear Waste Repositories. *Minerals*. 2024; 14(5):453. <https://doi.org/10.3390/min14050453>
12. Наконечний В.Г., Пікареня Д.С., Орлінська О.В., Белянська О.Р., Гунько С.О. Удосконалення пошуку радіоактивних речовин за допомогою комплексування радіометричних та геофізично-розвідувальних методів / В. Г. Наконечний, Д. С. Пікареня, О. В. Орлінська, О. Р. Белянська, С. О. Гунько // *Екологічні науки*. 2023. - № 3(48). С. 126–131. DOI: 10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.20
13. Vignaroli, Gianluca and Mancini, Marco and Brillì, Mauro and Bucci, Francesco and Cardinali, Mauro and Giustini, Francesca and Voltaggio, Mario and Yu, Tsai-Luen and Shen, Chuan-Chou . Spatial-Temporal Evolution of Extensional Faulting and Fluid Circulation in the Amatrice Basin (Central Apennines, Italy) During the Pleistocene. *Frontiers in Earth Science*, 8, (2020), URL: <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2020.00130>, DOI 10.3389/feart.2020.00130

## References

1. Hart, D.A. The Influence of Magnetic Fields, Including the Planetary Magnetic Field, on Complex Life Systems Function in This Field and in Electromagnetic Fields? *Biophysica* 2024, 4, 1-21. <https://doi.org/10.3390/biophysica4010001>.
2. Mamedov A.I., Pikarenya D.S., Maksimova N.N. Influence of Mining Enterprises on the Development of Technogenic Fractures of Crystalline Rocks in the Area of Kremenchuk / A.I. Mamedov, D.S. Pikarenya, N.N. Maksimova // *Naukoviy visnik NSU*. – 2010. – № 6. – P. 3-8..
3. Greiling, R.O. Natural electromagnetic radiation (EMR) and its application in structural geology and neotectonics / R.O. Greiling, N. Obermeyer // *J Geol Soc India* 75. – 2010.R. 278–288 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12594-010-0015-y>
4. Volodymyr Chepurnyi V. Improvement of the device's design for increasing the efficiency of geophysical research using the Earth's natural pulsed electromagnetic field method / V. Chepurnyi, S. Liash, O. Hrytsai, Z. Dobrovolska // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1348 012022/ - 2024. DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012022
5. Shtohryn M.V. Zastosuvannia riznykh chastot metodu PIEMPZ dlia vyvaylennia riznohlybynykh rozlomiv / M. V.Shtohryn, T. M. Shtohryn // *Naukoviy visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*. – 2016. - № (2(41)). – С. 24–31.
6. Improvement of the device's design for increasing the efficiency of geophysical research using the Earth's natural pulsed electromagnetic field method. Volodymyr Chepurnyi, Serhii Liash, Olena Hrytsai and Zoia Dobrovolska. Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1348, V International Conference "ESSAYS OF MINING SCIENCE AND PRACTICE" 08/11/2023 - 10/11/2023 OnlineCitation Volodymyr Chepurnyi et al 2024 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1348 012022DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012022
7. Frid V., Rabinovitch A., Bahat D. Fracture induced electromagnetic radiation / V. Frid, A. Rabinovitch, D. Bahat // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2003. – Vol. 36, №13. DOI: 10.1088/0022-3727/36/13/330
8. Dzoba U.O. Efektyvnist zastosuvannia metodu PIEMPZ dlia monitorynhu stanu heolohichnoho seredovyscha pry vyrishenni prykladnykh inzhenernykh zadach // *Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky*. - 2020. - Т. 25, vyp. 2(37). - С. 238 – 253. DOI:

---

10.18524/2303-9914.2020.2(37).216574

9. Kuzmenko E. D. The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field /E. D Kuzmenko, S. M. Bagriy, U. O. Dzoba // Journal of Geology, Geography and Geoecology, 2018. – Vol. 27(3). – P. 466 – 477.
10. Rabinovitch A. Directionality of electromagnetic radiation from fractures // A. Rabinovitch, V. Frid, D. Bahat // International Journal of Fracture. – 2017. - 204(2). DOI: 10.1007/s10704-016-0178-7
11. Shao H, Radeisen E, Hesser J, Wang W, Kolditz O. Coupled Processes at Micro- and Macroscopic Levels for Long-Term Performance Assessment Studies of Nuclear Waste Repositories. Minerals. 2024; 14(5):453. <https://doi.org/10.3390/min14050453>
12. Nakonechnyi V.H., Pikarenia D.S., Orlinska O.V., Bielianska O.R., Hunko S.O. Udoskonalennia poshuku radioaktyvnykh rehovyn za dopomohoiu kompleksuvannia radiometrychnykh ta heofizychno-rozviduvalnykh metodiv / V. H. Nakonechnyi, D. S. Pikarenia, O. V. Orlinska, O. R. Bielianska, S. O. Hunko // Ekolohichni nauky. 2023. - № 3(48). S. 126–131. DOI: 10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.20
13. Vignaroli, Gianluca and Mancini, Marco and Brilli, Mauro and Bucci, Francesco and Cardinali, Mauro and Giustini, Francesca and Voltaggio, Mario and Yu, Tsai-Luen and Shen, Chuan-Chou . Spatial-Temporal Evolution of Extensional Faulting and Fluid Circulation in the Amatrice Basin (Central Apennines, Italy) During the Pleistocene. *Frontiers in Earth Science*, 8, (2020), URL: <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2020.00130>}, DOI 10.3389/feart.2020.00130