

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Кафедра геології та екології

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
за ступенем вищої освіти «бакалавр»
зі спеціальності 103 Науки про Землю ОПП Геологія

Тема роботи
«Варіативність фізико-механічних властивостей гірських порід і руд
Ганнівського родовища»

Виконав здобувач групи НЗГ-22
Науковий керівник
Нормоконтролер
В.о. завідувача кафедри

Руслана ДІМНІЧ
Ганна СМІРНОВА
Олександр ТРУНІН
Світлана ПАНОВА

Кривий Ріг
2026

Криворізький національний університет

Гірничо-металургійний факультет

Кафедра геології та екології

Ступінь вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Спеціальність: 103 Науки про Землю ОПП Геологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри _____ Світлана ПАНОВА

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну (бакалаврську) роботу

Дімніч Руслани Віталіївни

1. Тема: **«Варіативність фізико-механічних властивостей гірських порід і руд Ганнівського родовища».**

Затверджена наказом по КНУ № 107с від « 19 лютого » 2026 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи: « 09 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані по кваліфікаційній бакалаврській роботі: Літературні та фондові відомості про геологічну будову та особливості залягання порід і руд Ганнівського родовища; дані геологорозвідувальних робіт; результати лабораторних випробувань фізико-механічних властивостей порід і руд (тривісне та одновісне стиснення, зсув, густина, тріщинуватість); статистичні вибірки показників міцності для різних петрографічних різновидів.

4. Зміст пояснювальної записки: Літературні відомості щодо геологічної та структурно-тектонічної характеристики Ганнівського родовища; методика визначення та аналізу фізико-механічних властивостей гірських порід; результати досліджень варіативності (мінливості) фізико-механічних показників руд і вмісних порід за глибиною та площею поширення; оцінка впливу варіативності властивостей масиву на стійкість укосів кар'єру (або на ефективність руйнування порід); узагальнення отриманих результатів та висновки.

5. Перелік графічного матеріалу: Схематична карта міцності порід і руд Ганнівського родовища із винесенням областей високої, середньої, низької та дуже низької міцності гірничих масивів у контурах кар'єру.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	старший викладач Г.Я Смірнова	24.02.2026	15.03.2026
2	старший викладач Г.Я Смірнова	14.03.2026	25.04.2026
3	старший викладач Г.Я Смірнова	23.04.2026	05.06.2026

7. Календарний план

Етапи роботи	Термін виконання
Написання розділу 1. Геологічна характеристика родовища.	22.02 – 13.03.2026
Написання розділу 2. Теоретичні основи дослідження фізико-хімічних властивостей порід і руд.	14.03 – 23.04.2026
Написання розділу 3. Фізичні та технічні властивості руд.	24.04 – 06.06.2026
Написання розділів «Реферат», «Вступ», «Висновки», «Список використаних джерел».	08.06 – 11.06.2026

Дата видачі завдання « 20 » лютого 2026 р.

Завдання видав

науковий керівник

Ганна СМІРНОВА

Завдання отримала

здобувачка

Руслана ДІМНІЧ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 40 стор., 7 рис., 4 табл., 11 літературних джерел.

Об'єкт досліджень: залізисті кварцити та вміщуючі породи продуктивної товщі Ганнівського родовища Північного залізорудного району Криворізького залізорудного басейну.

Мета роботи: дослідити геологічну будову, мінералого-петрографічні особливості, тектонічну порушеність, фізичні та технічні властивості залізистих кварцитів і вміщуючих порід Ганнівського родовища та оцінити їх вплив на стійкість гірничих масивів кар'єру.

Методи досліджень: геологічний, мінералого-петрографічний, мікроскопічний, мікрозондовий, структурно-тектонічний, фізико-технічний, статистичний аналіз та методи тривимірного моделювання.

У роботі наведено характеристику географічного положення, геологічної будови, стратиграфії, тектонічних особливостей, інтенсивності диз'юнктивних порушень, мінералогічного складу та фізико-механічних властивостей порід Ганнівського родовища. Розглянуто закономірності розвитку вторинних геологічних процесів і їх вплив на інженерно-геологічні умови відкритої розробки родовища.

За результатами досліджень встановлено, що продуктивна товща Ганнівського родовища представлена аутигенно-метаморфогенними різновидами залізистих кварцитів (магнетитовими, залізнослюдко-магнетитовими, кумінгтоніт-магнетитовими та магнетит-кумінгтонітовими), у складі яких переважають кварц, магнетит і гематит. Досліджено вплив процесів натрієвого метасоматозу, тектонічних деформацій (брекчіювання, катаклазування, мілонітизації) та гіпергенних змін на густину, об'ємну масу, пористість і міцність порід. Встановлено, що зазначені процеси

суттєво впливають на фізико-механічні властивості гірських порід та визначають ступінь стійкості гірничих масивів Ганнівського кар'єру.

Ключові слова: Криворізький залізрудний басейн, Ганнівське родовище, залізисті кварцити, магнетитові кварцити, мінералогічний склад, тектонічна порушеність, фізико-механічні властивості, стійкість гірничих масивів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОДОВИЩА	9
1.1. Географічне та адміністративне положення.....	9
1.2. Геологічна будова родовища.....	13
1.3. Процеси метасоматичного перетворення.....	16
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД І РУД.....	18
2.1. Мінеральний склад.....	18
2.1.1. Сингенетичні мінерали продуктивної товщі.....	18
2.2. Хімічний склад руд і порід.....	21
2.3. Тектоніка.....	24
РОЗДІЛ 3. ФІЗИЧНІ ТА ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РУД	26
3.1. Показники фізичних та технічних параметрів руд.....	26
ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

ВСТУП

Ганнівське родовище розташоване в межах Північного залізрудного району Криворізького залізрудного басейну та є одним із найбільших об'єктів відкритого видобутку залізистих кварцитів. Геологічна будова родовища характеризується складними структурно-тектонічними умовами, що сформувалися в зоні взаємодії Криворізько-Кременчуцького та Девладівського глибинних розломів. Основними структурними елементами території є Ганнівська синклінальна складка та система диз'юнктивних порушень різного рангу, які зумовили інтенсивний розвиток процесів катаклазування, брекчіювання, мілонітизації та інших деформаційних перетворень гірських порід.

Складна геологічна будова безпосередньо впливає на умови відкритої розробки родовища. Інтенсивна тектонічна порушеність і неоднорідність мінерального складу спричиняють значну просторову мінливість фізико-механічних властивостей руд і вміщуючих порід. За результатами попередніх досліджень густина порід змінюється в межах 3,40–3,89 г/см³, пористість - від 0,94 до 2,90 %, а коефіцієнт міцності за шкалою М. М. Протод'яконова - від менше 5 у тектонічно порушених і вивітрілих породах до 15–20 у незмінених магнетитових кварцитах. Саме ці показники значною мірою визначають механічну та геомеханічну стійкість бортів кар'єру.

Особливе значення для оцінювання стійкості гірничих масивів мають процеси метасоматичних, тектонічних і гіпергенних перетворень. Вони змінюють мінеральний склад, текстурно-структурні особливості та фізико-механічні властивості порід, що необхідно враховувати під час проєктування параметрів відкритої розробки, планування буровибухових робіт і прогнозування стійкості бортів кар'єру.

Для досягнення поставленої мети в роботі використано комплекс сучасних геологічних методів дослідження, який включає мінералого-петрографічний аналіз,

оптичні та мікрозондові дослідження, вивчення структурно-тектонічної будови родовища, статистичне опрацювання результатів лабораторних випробувань фізико-механічних властивостей порід, а також побудову карт і моделей просторового розподілу показників міцності та стійкості гірничих масивів. Експериментальна база дослідження ґрунтується на фондових матеріалах ПрАТ «Північний ГЗК», результатах геологічних і лабораторних досліджень, а також на даних наукових праць, присвячених геологічній будові та фізико-механічним властивостям порід Ганнівського родовища.

РОЗДІЛ 1

ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОДОВИЩА.

1.1 Географічне та адміністративне положення

Ганнівське родовище розташоване у північній частині Криворізького залізрудного басейну на території міста Кривий Ріг Дніпропетровської області. Родовище входить до складу Північного гірничо-збагачувального комбінату та належить до Північного (Ганнівського) залізрудного району Кривбасу (рис. 1.1)



Рис. 1.1. Положення Ганнівського кар'єру.

Територія Ганнівського родовища характеризується хвилястим степовим рельєфом. Абсолютні відмітки поверхні змінюються переважно від 132 до 150 м. Загальний нахил місцевості простежується у південно-східному напрямку до долини річки Саксагань. Значний вплив на сучасний рельєф здійснила багаторічна розробка родовища відкритим способом. [5]

На Ганнівському родовищі здійснюється відкритий видобуток бідних магнетитових кварцитів Криворізького залізрудного басейну. Родовище розташоване в межах Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита та належить до Північного залізрудного району Кривбасу [1].

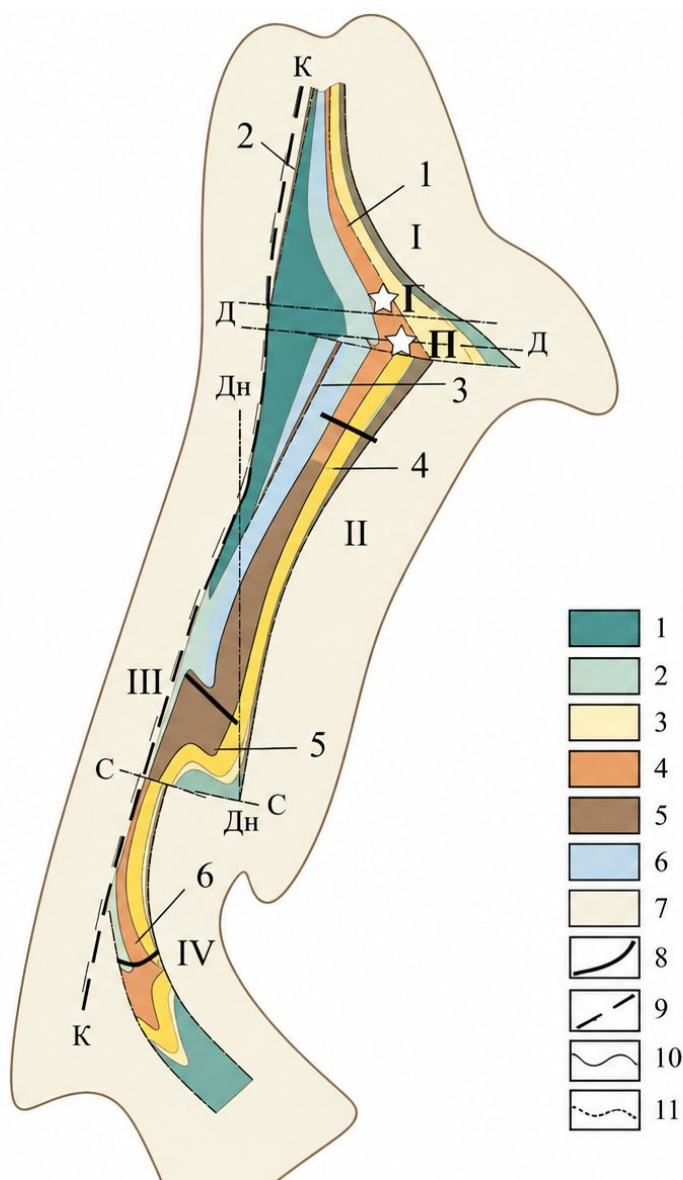


Рис. 1.2. Схематична геологічна карта Криворізької структури [1].

Метаморфічні утворення. Верхній архей: 1 – конкська серія. Нижній протерозой: 2-5 – криворізька серія: 2 – новокриворізька світа; 3 – скелюватська світа; 4 – саксаганська світа; 5 – гданцівська світа. Середній протерозой: 6 – глеюватська світа. Магматичні утворення: 7 – гранітоїди дніпропетровського комплексу середнього архею; 8 – дайки діабазів неопротерозою.

Інші умовні позначення: 9 – розломи мантійного закладення; 10 – розломи мантійного-корового та корового закладення; 11 – лінії стратиграфічних контактів.

Залізорудні райони: I – Північний (Ганнівський); II – Центральний (Саксаганський); III – Південний; IV – Інгулецький (Лихманівський).

Залізорудні смуги: 1 – Східно-Ганнівська; 2 – Західно-Ганнівська; 3 – Дальні західні смуги; 4 – Саксаганська; 5 – ділянка замикання Криворізького синклінорію; 6 – Лихманівська.

Розломи: К-К – Криворізько-Кременчуцький; Д-Д – Девладівський; Дн-Дн – Діагональний; С-С – Склеюватська зона розломів.

На схемі показано положення Ганнівського родовища в межах Північного залізорудного району Криворізького басейну. Як видно з рисунка 1.2, Ганнівське родовище належить до Північного залізорудного району Криворізького басейну. Воно приурочене до Східно-Ганнівської залізорудної смуги, яка характеризується складною геологічною будовою, високим ступенем метаморфізму та розвитком тектонічних порушень. Саме ці особливості визначають умови залягання рудних тіл і впливають на технологію відкритої розробки родовища [3].

Родовища північної частини Криворізького басейну відзначаються складнішою геологічною будовою порівняно з іншими ділянками регіону. Для них характерний високий ступінь динамотермального метаморфізму, а також значний розвиток деформаційних і метасоматичних процесів. Ганнівська структура включає дві залізорудні смуги — Східно-Ганнівську та Західно-Ганнівську. У межах Східно-Ганнівської смуги розташоване Ганнівське родовище [3, 10].

1.2 Геологічна будова родовища.

Геологічна будова Ганнівського родовища сформована кристалічними породами архейського та нижньопротерозойського віку, які перекриваються пухкими відкладами кайнозойського осадового чохла.

За сучасними уявленнями Ганнівське родовище розташоване в межах Східно-Ганнівської залізорудної смуги Північного залізорудного району Криворізького басейну. Геологічна будова родовища характеризується складною стратиграфічною будовою, значною дислокованістю порід, розвитком тектонічних порушень та високим ступенем динамотермального метаморфізму [2].

Під час виконання даної роботи за основу прийнято стратиграфічну схему, яка використовується геологічною службою ПрАТ «Північний ГЗК» і наведена у фондових матеріалах Ганнівського родовища [1].

Фундамент Криворізької структури представлений гранітоїдами дніпропетровського комплексу мезоархейського віку. Вище залягають товщі амфіболітів, різноманітних кристалічних сланців і силікатних кварцитів, які складають докембрійський розріз родовища.

Архейські породи перекриваються відкладами криворізької серії, утворення яких пов'язане з процесами осадонакопичення, діагенезу та подальшого динамотермального метаморфізму. Після завершення цих процесів породи зазнали інтенсивних тектонічних деформацій, метасоматичних змін і гіпергенних перетворень [3].

У стратиграфічному розрізі криворізької серії виділяють новокриворізьку, скелюватську, саксаганську, гданцівську та глеюватську світи.

Новокриворізька світа представлена амфіболітами, metabазитами, різними типами кристалічних сланців і силікатними кварцитами.

Скелюватська світа складена мусковітовими кварцитами, кварц-мусковітовими та тальковмісними сланцями.

Основне промислове значення має саксаганська світа, в межах якої розташована продуктивна товща Ганнівського родовища. Видобуток залізистих кварцитів

здійснюється переважно в межах лежачої пачки першого залізного горизонту, що є основним продуктивним горизонтом родовища (рис. 1.3) [1].

Породами, що підстеляють продуктивну товщу, є нульовий залізистий горизонт та нульовий і перший сланцеві горизонти. Вони складені переважно некондиційними магнетит-силікатними кварцитами із прошарками гранат-біотитових, кварц-біотитових і кумінгтонітових сланців.

Над продуктивною товщею залягають некондиційні магнетит-силікатні кварцити, які характеризуються відносно однорідним мінеральним складом та формують верхню частину геологічного розрізу родовища.

Особливості геологічної будови центральної частини Ганнівського родовища наведені на рис. 1.3.

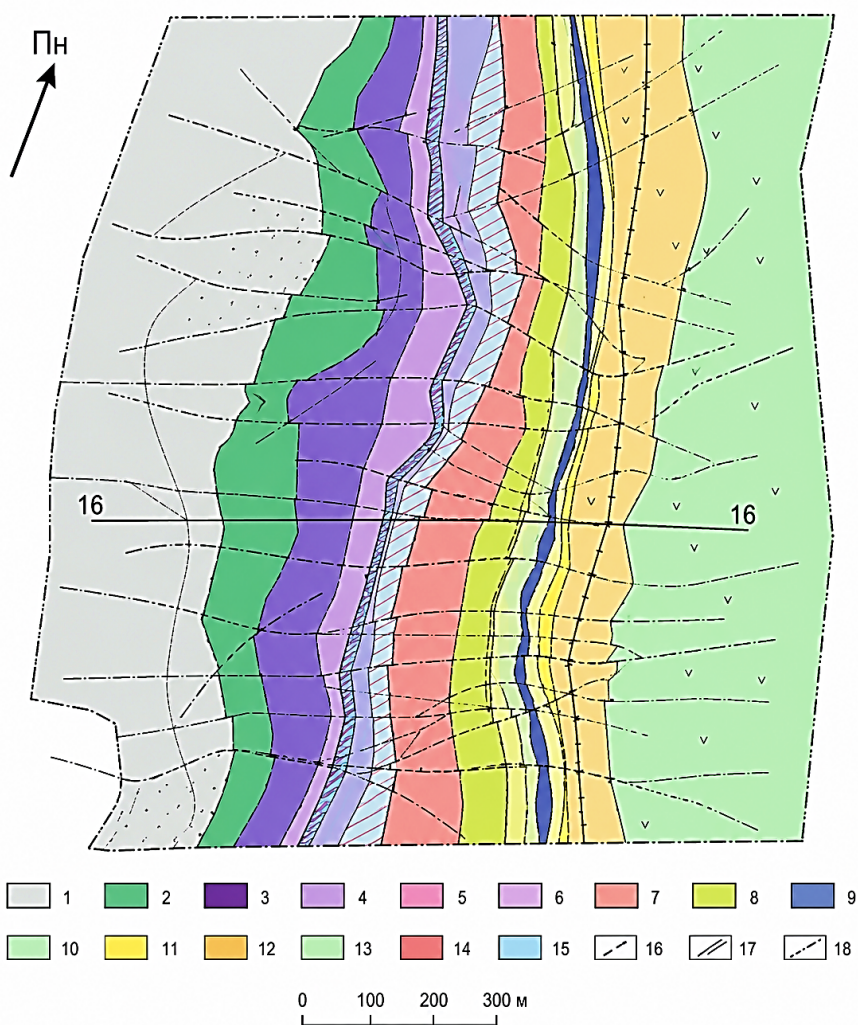


Рис. 1.3. Фрагмент геологічної карти допалеозойських порід центральної частини Ганнівського родовища.

Продовження рис.1.3.

1 - метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 2-9 - саксаганська світа:

2 - магнетит-силікатні кварцити і сланці другого сланцевого горизонту; 3-6 - магнетит-силікатні кварцити висячої пачки першого залізистого горизонту: 3 - четвертої підпачки; 4 - третьої підпачки; 5 - другої підпачки; 6 - першої підпачки; 7 - магнетитові руди лежачої пачки першого залізистого горизонту; 8 - сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту; 9 - магнетит-силікатні кварцити нульового залізистого горизонту; 10 - сланці та силікатні кварцити нульового сланцевого горизонту; 11-12 - скелюватська світа: 11- тальк-вмісні сланці верхньої підсвіти; 12 - кварц-мусковітові сланці та мусковітові кварцити об'єднаних середньої та нижньої підсвіт; 13 - амфіболіти та метакластоліти новокриворізької світи; 14 - гранітоїди дніпропетровського комплексу; 15 - брекчії, катаклазити, мілоніти; 16 - лінії стратиграфічно згідних контактів товщ; 17 - лінії стратиграфічно незгідних контактів товщ; 18 - розривні порушення.

Рис. 1.3 демонструє просторове розташування стратиграфічних горизонтів, літологічний склад порід та систему основних тектонічних порушень. Для родовища характерна значна дислокованість порід, що обумовлена інтенсивним розвитком розривних структур різних напрямків [1].

Тектонічна будова Ганнівського родовища є складною. Воно розташоване в межах Ганнівської синклінальної структури Північного залізорудного району Кривбасу. Найбільший вплив на формування сучасної будови родовища мали глибинні розломи та процеси динамотермального метаморфізму [3].

Ганнівська синкліналь характеризується значною мінливістю ширини та потужності окремих горизонтів. Ядро складки сформоване кварц-силікатними сланцями та кварцитами гданцівської й глеюватської світ, тоді як крила складені породами новокриворізької, скелюватської та саксаганської світ [3].

У межах родовища широко розвинені розривні порушення різної орієнтації, зони брекчіювання, катаклазу та мілонітизації. Саме вони істотно впливають на фізико-механічні властивості порід і стійкість гірничих масивів [2, 5].

За результатами сучасних геолого-мінералогічних досліджень встановлено, що найвищими показниками міцності характеризуються магнетитові кварцити, тоді як тальковмісні та біотитові сланці є менш стійкими до розвитку деформаційних процесів [6].

Таким чином, геологічна будова Ганнівського родовища визначається поєднанням складної стратиграфічної будови, інтенсивної тектонічної порушеності та високого ступеня метаморфізму. Саме ці особливості необхідно враховувати під час відкритої розробки родовища та оцінювання стійкості бортів кар'єру [2, 5].

Отже, тектонічна будова Ганнівського родовища характеризується складною системою складчастих і розривних структур. Провідну роль у формуванні сучасної будови родовища відіграють тектонічні порушення, які супроводжуються процесами брекчіювання, катаклазу, мілонітизації та динамометаморфізму. Саме вони значною мірою визначають інженерно-геологічні умови розробки родовища та безпосередньо впливають на стійкість бортів кар'єру [5].

1.3. Процеси метасоматичного перетворення

Метасоматичні процеси на Ганнівському родовищі є важливим етапом геологічної еволюції порід і суттєво вплинули на їхній мінеральний склад, текстурно-структурні особливості та фізико-механічні властивості. Основним типом метасоматичних перетворень є вуглекисло-натрієвий метасоматоз, який проявився переважно в межах продуктивної товщі саксаганської світи [3].

Під впливом вуглекисло-натрієвих гідротермальних розчинів первинні магнетит-силікатні кварцити зазнали мінералогічних змін, у результаті чого сформувалися егіринові та рибекітові різновиди метасоматично змінених кварцитів. Метасоматичні процеси супроводжувалися перекристалізацією порід, зміною їхнього мінерального складу та локальним перерозподілом хімічних компонентів [3].

Найбільш інтенсивно метасоматичні зміни простежуються в межах залізистих горизонтів і зон тектонічних порушень, які слугували каналами міграції гідротермальних розчинів. Значно слабше вони проявлені у породах скелюватської, гданцівської та глеюватської світ, де масштаби вторинних перетворень є обмеженими [1].

Метасоматичні процеси тісно пов'язані з розвитком тектонічних структур і є одним із чинників, що визначають неоднорідність фізико-механічних властивостей гірських порід. Формування метасоматитів сприяло локальному зміцненню окремих ділянок масиву, хоча водночас у зонах інтенсивної тріщинуватості могли виникати ослаблені ділянки порід [2, 8].

Дослідження сучасного стану гірничого масиву Ганнівського родовища свідчать, що характер розвитку метасоматичних процесів необхідно враховувати під час оцінювання стійкості бортів кар'єру, прогнозування деформацій та вибору параметрів відкритої розробки родовища [5].

Висновок. Метасоматичні перетворення є одним із важливих геологічних процесів, що вплинули на формування сучасної будови Ганнівського родовища. Вони зумовили зміну мінерального складу та фізико-механічних властивостей порід, сприяли формуванню егіринових і рибекітових різновидів кварцитів та локальному зміцненню окремих ділянок гірського масиву. Врахування особливостей розвитку метасоматичних процесів має важливе значення під час оцінювання стійкості бортів кар'єру та забезпечення безпечної експлуатації родовища [2, 5].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД І РУД.

2.1. Мінеральний склад

2.1.1. Сингенетичні мінерали продуктивної товщі

За результатами мінералого-петрографічних досліджень продуктивної товщі Ганнівського родовища встановлено, що основними рудоутворювальними мінералами є магнетит, кварц, гематит та кумінгтоніт. Саме співвідношення цих мінералів визначає мінералогічні різновиди залізистих кварцитів і суттєво впливає на фізико-механічні властивості гірських порід [1, 3].

Для продуктивної товщі Ганнівського родовища характерні магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові, магнетитові, кумінгтоніт-магнетитові та магнетит-кумінгтонітові кварцити. Така закономірність відображає особливості формування та метаморфічного перетворення залізистих кварцитів Північного залізорудного району Криворізького басейну [1].

Магнетит є основним рудним мінералом продуктивної товщі та присутній практично в усіх різновидах кварцитів. Для характеристики особливостей його хімічного складу було проаналізовано результати мікрозондового аналізу зерен магнетиту, виконаного в попередніх дослідженнях [9]. Узагальнені результати наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Результати мікрозондового аналізу зерен магнетиту продуктивної товщі
Ганнівського родовища [9].

№ з/п	V2O5	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	<u>FeO</u>	<u>MnO</u>	<u>ZnO</u>	<u>CaO</u>	<u>NiO</u>	<u>CoO</u>	Total
1	0,000	0,021	0,048	0,000	94,744	0,021	0,021	0,000	0,000	0,000	94,855
2	0,005	0,009	0,000	0,001	93,447	0,032	0,005	0,002	0,007	0,009	93,535
3	0,000	0,012	0,000	0,007	94,698	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	94,717
4	0,010	0,000	0,022	0,002	94,522	0,003	0,000	0,003	0,000	0,013	94,575
<u>Min</u>	0,000	0,000	0,000	0,000	93,447	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	93,535
<u>Max</u>	0,010	0,021	0,048	0,007	94,744	0,032	0,021	0,003	0,007	0,013	94,855
<u>Average</u>	0,004	0,010	0,022	0,003	94,353	0,014	0,007	0,001	0,002	0,005	94,420
<u>Sigma</u>	0,005	0,009	0,020	0,003	0,611	0,015	0,010	0,002	0,004	0,007	0,601

Аналіз результатів, наведених у табл. 2.1, показує, що основним компонентом магнетиту є оксид заліза (FeO), вміст якого змінюється від 93,447 до 94,744 %. Вміст інших компонентів є незначним і представлений переважно TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, MnO, ZnO, CaO, NiO та CoO.

На основі аналізу опублікованих результатів мікрозондових досліджень можна зробити висновок, що магнетит продуктивної товщі Ганнівського родовища характеризується достатньо однорідним хімічним складом. Незначні коливання концентрацій домішкових елементів можуть бути пов'язані з особливостями умов кристалізації магнетиту та подальшим впливом метасоматичних процесів [2, 5].

Таким чином, аналіз наведених літературних даних свідчить, що магнетит є найбільш стабільним рудним мінералом продуктивної товщі, а зміни його хімічного складу є незначними, що підтверджує високий ступінь однорідності досліджених руд.

Окрім магнетиту, важливими породоутворювальними мінералами є кварц, гематит та кумінгтоніт. Саме їх кількісне співвідношення визначає мінералогічний різновид кварцитів та їх фізико-механічні властивості. Для оцінювання середнього мінерального складу різних типів кварцитів було проаналізовано та узагальнено результати мінералогічних досліджень, опублікованих у [9], які наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Середній мінеральний склад руд продуктивних товщ
Ганнівського родовища [9].

Мінеральні різновиди кварцитів	Вміст мінералів, мас. %							
	магнетит	кварц	гематит	¹ силікати-1	² силікати-2	³ карбонати	⁴ інші	загалом
магнетитзаліз нослюдкові	27,18	39,63	31,02	0,79	0,18	0,69	0,51	100,00
Залізнослюдко - магнетитові	45,71	40,01	11,39	1,08	0,31	0,96	0,54	100,00
магнетитові	52,01	40,79	2,34	2,08	0,69	1,38	0,71	100,00
кумінгтоніт- магнетитові	43,81	38,44	0,21	13,48	1,42	1,72	0,92	100,00
магнетит- кумінгтонітові	29,34	31,66	0,15	33,42	2,39	1,98	1,06	100,00

² – силікати - 2 (твердість за Ф.Моосом – до 3) – біотит, мусковіт, хлорит, тальк, селадоніт, стильномелан тощо).

– кальцит, сидерит, сидероплезит;

³ – інші мінерали: апатит, пірит, піротин, халькопірит, ільменіт, хроміт, рутил, графіт, барит, целестин, гіпс тощо.

Як видно з табл. 2.2, головними компонентами всіх мінералогічних різновидів кварцитів є магнетит і кварц, сумарний вміст яких становить від 61 до 93 %. Найбільший вміст магнетиту характерний для магнетитових кварцитів (52,01 %), тоді як максимальна частка кварцу спостерігається у магнетитових та залізнослюдко-магнетитових кварцитах.

Аналіз літературних даних, наведених у табл. 2.2, також показує, що вміст гематиту істотно змінюється залежно від мінералогічного різновиду порід. Найбільша його кількість характерна для магнетит-залізнослюдкових кварцитів, тоді як у кумінгтонітвмісних кварцитах його вміст є мінімальним. Для кумінгтоніт-

магнетитових і магнетит-кумінгтонітових кварцитів характерне збільшення частки силікатних мінералів, що безпосередньо пов'язано зі зростанням вмісту кумінгтоніту.

За результатами аналізу опублікованих матеріалів можна зробити висновок, що співвідношення магнетиту, кварцу, гематиту та кумінгтоніту є одним із головних чинників, які визначають фізико-механічні властивості продуктивної товщі Ганнівського родовища та впливають на стійкість гірського масиву [2, 5, 6].

Проведений аналіз літературних джерел та узагальнення результатів попередніх мінералогічних досліджень продуктивної товщі Ганнівського родовища показали, що основними породоутворювальними мінералами є магнетит, кварц, гематит і кумінгтоніт. Найвищою механічною стійкістю характеризуються магнетитові кварцити, тоді як підвищений вміст кумінгтоніту знижує міцність окремих різновидів кварцитів. Аналіз наведених у літературі результатів підтверджує, що мінералогічний склад безпосередньо впливає на фізико-механічні властивості гірських порід і повинен враховуватися під час оцінювання стійкості бортів кар'єру та проектування відкритих гірничих робіт [2, 5, 6].

2.2. Хімічний склад руд і порід

Хімічний склад залізистих кварцитів Ганнівського родовища тісно пов'язаний із їх мінералогічним складом та особливостями формування продуктивної товщі. Для різних мінералогічних різновидів кварцитів характерні закономірні зміни вмісту основних хімічних компонентів, що відображає особливості аутигенно-метаморфогенної зональності родовища [1, 5].

У межах продуктивної товщі виділяють магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові, магнетитові, кумінгтоніт-магнетитові та магнетит-кумінгтонітові кварцити. У напрямку від центральної частини продуктивного горизонту до його периферії спостерігається поступове зменшення вмісту загального заліза (Fe_{заг.}) та магнетитового заліза (Fe_{магн.}), що зумовлено зміною мінерального складу порід [1].

Для оцінювання особливостей зміни вмісту загального та магнетитового заліза у різних мінералогічних різновидах кварцитів побудовано графік за результатами аналізу хімічного складу порід [9], який наведено на рис. 2.1.

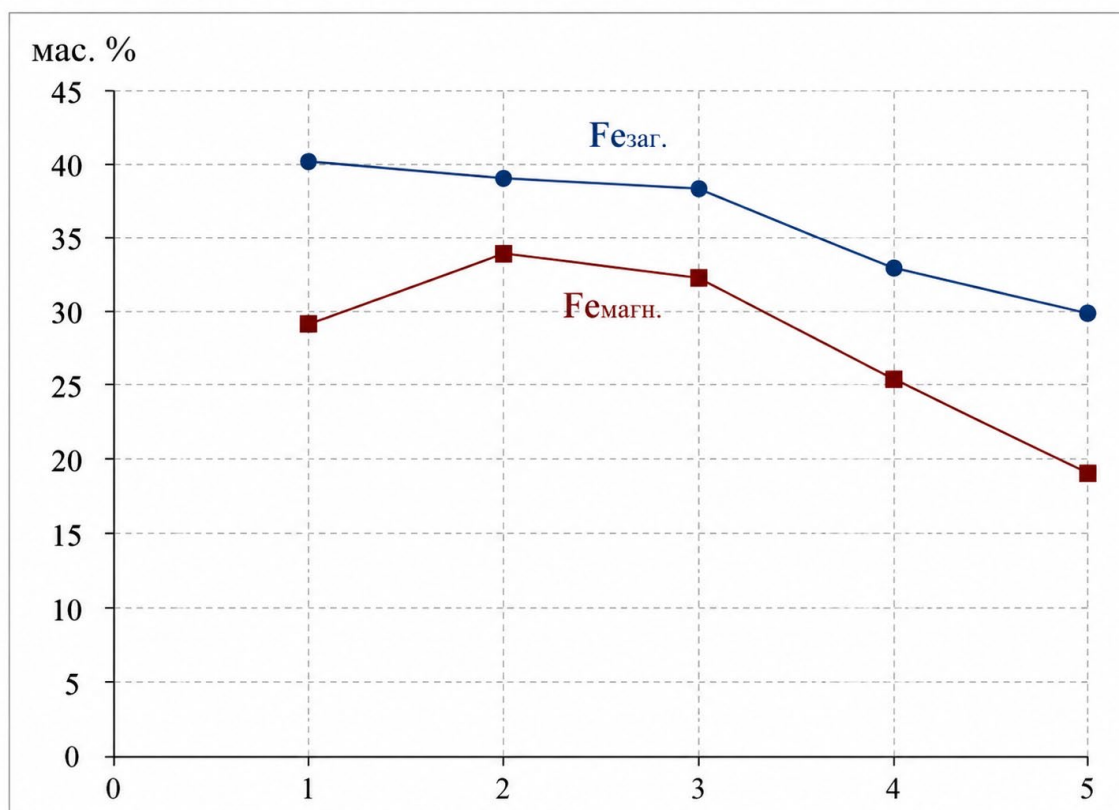


Рис. 2.1. Варіативність вмісту $Fe_{заг.}$ і $Fe_{магн.}$ у складі магнетитових кварцитів продуктивної товщі Ганнівського родовища [9].

Як видно з рис. 2.1, найбільший вміст загального заліза характерний для магнетит-залізнослюдкових кварцитів і становить близько 40 %. У напрямку до кумінгтонітвмісних різновидів кварцитів цей показник поступово зменшується приблизно до 30 %. Аналогічна закономірність простежується і для магнетитового заліза: його вміст знижується від близько 30 % до 20 %, що пов'язано зі зменшенням частки магнетиту та збільшенням кількості силікатних мінералів у складі порід [1].

Значний вплив на хімічний склад продуктивної товщі Ганнівського родовища мали процеси натрієвого метасоматозу. Під дією вуглекисло-натрієвих розчинів відбувалося часткове винесення кремнезему та формування егіринових і рибекітових

метасоматитів, що супроводжувалося локальним підвищенням вмісту загального заліза [3, 8].

Тектонічні процеси також суттєво вплинули на хімічний склад порід. У зонах брекчіювання, катаклазу та мілонітизації спостерігається зниження вмісту як загального, так і магнетитового заліза. Це пояснюється розвитком вторинних мінералів, гідратацією первинних кварцитів та змішуванням рудного матеріалу із вміщуючими породами [2, 7].

Певний вплив на хімічний склад мають і процеси гіпергенного перетворення. У зоні вивітрювання відбувається часткове вилуговування кремнезему, внаслідок чого дещо збільшується вміст загального заліза. Одночасно процес мартитизації магнетиту призводить до зміни його мінерального складу та незначного зменшення вмісту магнетитового заліза [3].

Висновок. Аналіз хімічного складу продуктивної товщі Ганнівського родовища показав, що вміст основних хімічних компонентів закономірно змінюється відповідно до мінералогічної зональності залізистих кварцитів. Найвищі концентрації загального та магнетитового заліза характерні для центральної частини продуктивного горизонту, тоді як у периферійних зонах їх вміст поступово зменшується. Отримані результати свідчать, що хімічний склад є важливою характеристикою руд, однак не є визначальним чинником оцінювання стійкості гірських масивів. Вирішальну роль у формуванні фізико-механічних властивостей порід відіграють їх мінералогічний склад, структурно-текстурні особливості та ступінь тектонічної порушеності [2, 5, 6].

2.3 Тектоніка

Тектонічна будова Ганнівського родовища сформувалася внаслідок тривалого розвитку Криворізької структури та багаторазової активізації глибинних розломів. Родовище розташоване в межах Східно-Ганнівської залізорудної смуги Північного залізорудного району Кривбасу, де широко розвинені складчасті та розривні структури різних масштабів [1].

Основними елементами тектонічної будови є численні розривні порушення, зони брекчіювання, катаклазу, мілонітизації та інтенсивної тріщинуватості. Саме вони визначають сучасну блокову будову родовища та значною мірою впливають на фізико-механічні властивості гірських порід [2, 5].

Протягом геологічної історії неодноразова активізація Девладівського та Криворізько-Кременчуцького глибинних розломів спричинила утворення складної системи диз'юнктивних порушень. Унаслідок цього сформувалися окремі тектонічні блоки, які відрізняються ступенем порушеності порід, розвитком зон дроблення та характером тріщинуватості [1].

Польові геологічні дослідження показують, що найбільш поширеними є брекчіювані, катаклязовані та мілонітизовані різновиди залізистих кварцитів і вміщуючих порід. Їх розвиток супроводжується погіршенням фізико-механічних властивостей масиву, що необхідно враховувати під час проектування параметрів уступів і бортів кар'єру [2, 5].

За результатами геолого-структурних досліджень у межах Ганнівського родовища виділено чотири основні тектонічні блоки: південний, центральний південний, центральний північний та північний [5].

У процесі аналізу геологічних матеріалів встановлено закономірності просторової зміни ступеня тектонічної порушеності родовища. У напрямку від південної частини до північної спостерігається поступове зменшення інтенсивності диз'юнктивних деформацій, скорочується кількість зон брекчіювання та катаклазу, а також зменшується частка метасоматично змінених порід. Одночасно збільшується кількість відносно незмінених вміщуючих порід у межах контуру кар'єру [5].

Проведені дослідження свідчать, що найбільш порушені ділянки характеризуються найнижчими показниками стійкості гірничих масивів. Найбільш несприятливими є зони розвитку брекчій, катаклазитів та мілонітів, де інтенсивність тріщинуватості значно перевищує середні значення для родовища.

Таким чином, тектонічна будова Ганнівського родовища визначається складною системою розривних порушень, які контролюють блокову будову масиву та безпосередньо впливають на його стійкість. Саме тому під час планування відкритих гірничих робіт необхідно враховувати просторовий розподіл тектонічно порушених зон і ступінь їх розвитку [2, 5].

Висновок. Аналіз тектонічної будови Ганнівського родовища показав, що провідну роль у формуванні сучасної структури масиву відіграють диз'юнктивні порушення. Найбільший вплив на стійкість гірничих масивів мають зони брекчіювання, катаклазу, мілонітизації та інтенсивної тріщинуватості. Встановлені закономірності зміни тектонічної порушеності необхідно враховувати під час прогнозування стійкості бортів кар'єру, проектування гірничих робіт та побудови геомеханічних моделей [2, 5, 6].

Розділ 3

Фізичні та технічні властивості руд

3.1. Показники фізичних та технічних параметрів руд

Фізичні та технічні властивості гірських порід є одними з основних характеристик, що визначають їх поведінку під час відкритої розробки родовища. Саме густина, об'ємна маса, пористість і міцність істотно впливають на стійкість уступів, параметри буропідривних робіт та безпечність ведення гірничих робіт. Для Ганнівського родовища ці показники значною мірою визначаються мінеральним складом порід, їх текстурно-структурними особливостями, а також впливом тектонічних і метасоматичних процесів [2, 5, 6].

Для оцінювання фізичних і технічних властивостей основних різновидів руд і вміщуючих порід Ганнівського родовища було проаналізовано та узагальнено результати попередніх досліджень, наведені в [9]. Узагальнені дані представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Середні показники фізичних та технічних параметрів руд продуктивної та вміщуючих товщ Ганнівського родовища [9].

Назви порід	Фізичні та технічні показники			
	Густина, г/см ³	Об'ємна маса, г/см ³	Пористість%	Міцність, од.
Кварцити магнетит- залізнослюдкові, залізнослюдко- магнетитові	3,86	3,82	0,95	16,3
Кварцити магнетитові червоношаруваті	3,76	3,72	1,07	18,4
Кварцити магнетитові сірошаруваті	3,69	3,64	1,18	18,1
Кварцити кумінгтоніт- магнетитові	3,51	3,46	1,33	16,5
Кварцити магнетиткумінгтонітові	3,44	3,40	1,26	16,1
Сланці та безрудні кварцити першого сланцевого горизонту	2,94	2,91	1,24	12,2
Кварцити магнетит-силікатні нульового залізного горизонту	3,23	3,18	1,34	17,1
Сланці та силікатні кварцити нульового сланцевого горизонту	3,07	3,03	1,29	11,9

Кварцити магнетит-силікатні першої підпачки висячої пачки	3,33	3,27	1,70	17,3
Кварцити магнетит-силікатні другої підпачки висячої пачки	3,39	3,34	1,47	16,9
Брекчії, катаклазити, мілоніти	3,68	3,57	2,90	13,4
Метасоматити егіринові	3,89	3,85	0,94	21,0
Метасоматити рибекітові	3,75	3,70	1,25	17,3
Кварцити магнетитові окварцовані	3,65	3,61	1,18	22,7
Кварцити магнетитові гіпергенно змінені	3,80	3,71	2,54	13,4

Аналіз даних табл. 3.1 показує, що найбільшими значеннями густини та об'ємної маси характеризуються егіринові метасоматити (3,89 та 3,85 г/см³ відповідно), а також магнетит-залізнослюдкові кварцити (3,86 та 3,82 г/см³). Це пояснюється високим вмістом магнетиту та інших залізовмісних мінералів.

За результатами аналізу літературних даних встановлено, що найменші значення густини характерні для сланців і безрудних кварцитів першого та нульового сланцевих горизонтів, де густина становить 2,94–3,07 г/см³, а об'ємна маса – 2,91–3,03 г/см³. Це зумовлено переважанням силікатних мінералів і значно меншим вмістом рудної складової.

Аналіз узагальнених результатів свідчить, що пористість порід змінюється від 0,94 до 2,90 %. Мінімальні її значення характерні для егіринових і рибекітових метасоматитів, тоді як максимальні спостерігаються у брекчіях, катаклазитах і мілонітах. Така закономірність пояснюється тим, що тектонічні процеси призводять до інтенсивного дроблення порід та збільшення їх тріщинуватості [2, 6].

На підставі аналізу наведених у літературі результатів встановлено, що міцність порід також істотно змінюється залежно від їх складу. Найбільш міцними є окварцьовані магнетитові кварцити (22,7 од.) та егіринові метасоматити (21,0 од.), тоді як найнижчі показники характерні для сланців нульового сланцевого горизонту (11,9 од.) і гіпергенно змінених магнетитових кварцитів (13,4 од.) [5, 6].

Висновок: Проведений аналіз літературних джерел та узагальнення результатів попередніх фізико-механічних досліджень показали, що фізичні та технічні властивості гірських порід Ганнівського родовища тісно пов'язані з їх мінеральним складом і структурно-текстурними особливостями. Найвищими показниками густини та міцності характеризуються породи з високим вмістом магнетиту, тоді як найбільша пористість властива тектонічно порушеним різновидам. Отримані в попередніх дослідженнях результати, проаналізовані в цій роботі, свідчать про необхідність врахування фізичних і технічних властивостей гірських порід під час оцінювання стійкості бортів кар'єру та проектування параметрів відкритих гірничих робіт.

Для оцінювання впливу хімічного складу на фізичні властивості було побудовано кореляційні залежності між загальним вмістом заліза та густиною й об'ємною масою порід (рис. 3.1).

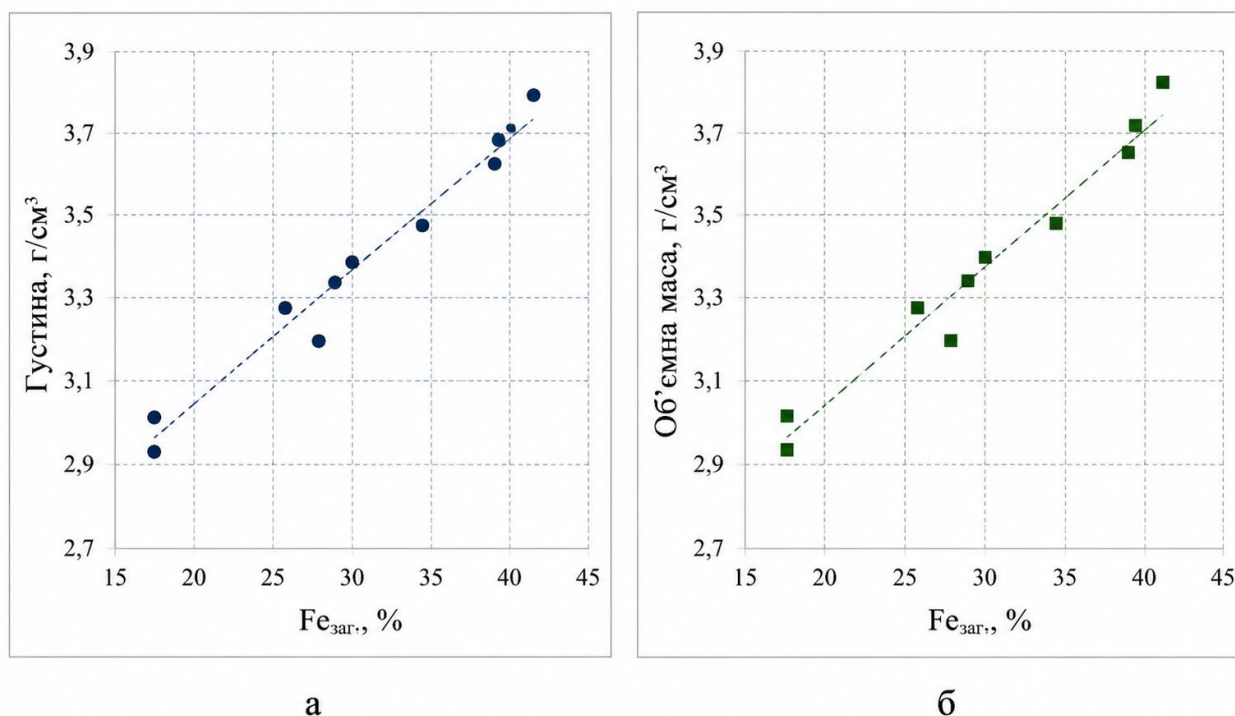


Рис. 3.1. Залежність густини (а) і об'ємної маси (б) від загального вмісту заліза в складі сингенетичних руд і порід Ганнівського родовища.

Як видно з рис. 3.1, зі збільшенням загального вмісту заліза закономірно зростають густина та об'ємна маса порід. Отримані залежності характеризуються високими коефіцієнтами кореляції (понад 0,95), що свідчить про визначальний вплив вмісту магнетиту і гематиту на фізичні властивості руд. Саме ці мінерали мають найбільшу густину серед основних компонентів залізистих кварцитів, тому зі збільшенням їх частки закономірно зростають і фізичні характеристики порід [5, 6].

Крім густини та об'ємної маси, важливими характеристиками є пористість і міцність порід. Для визначення характеру їх зміни залежно від вмісту заліза були побудовані відповідні графіки (рис. 3.2).

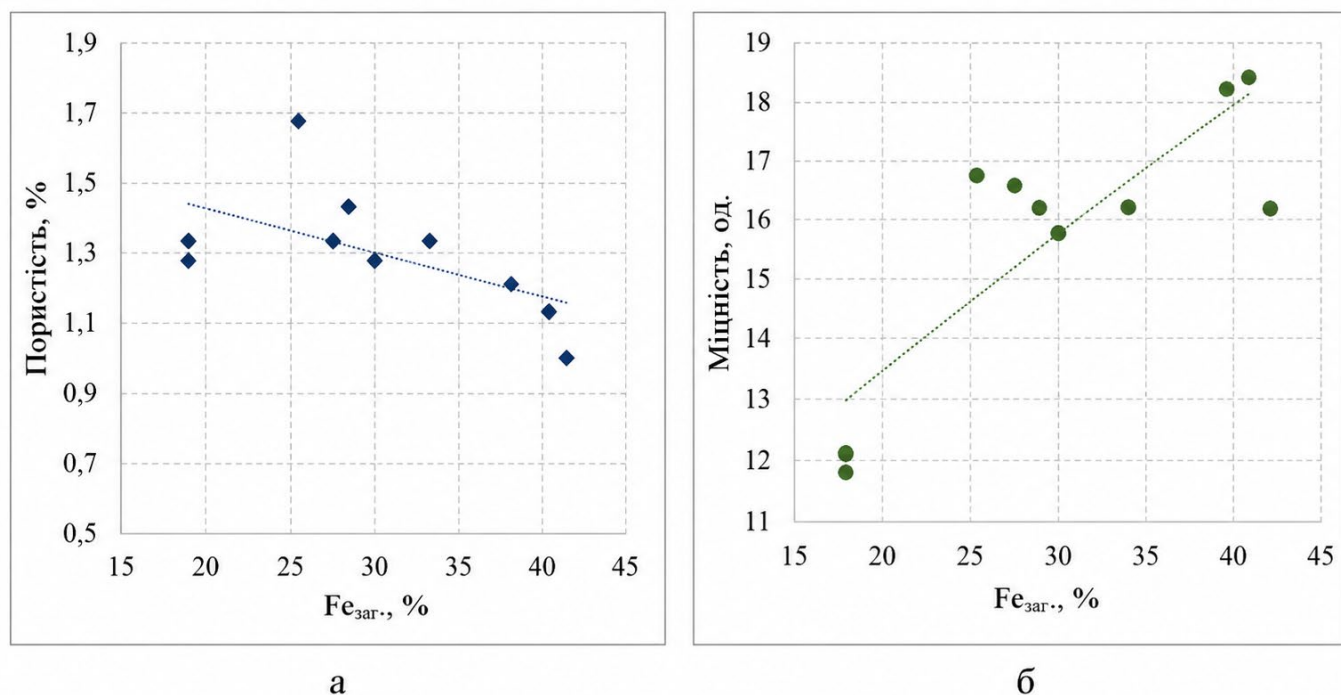


Рис. 3.2. Залежність пористості (а) й міцності (б) від загального вмісту заліза сингенетичних руд і порід Ганнівського родовища.

Аналіз рис. 3.2 показує, що зі збільшенням загального вмісту заліза пористість порід поступово зменшується, тоді як їх міцність, навпаки, збільшується. Проте залежність є менш вираженою, ніж для густини та об'ємної маси, оскільки на ці показники значною мірою впливають текстурно-структурні особливості порід, ступінь їх тріщинуватості та розвиток вторинних геологічних процесів [2, 5].

Особливо помітний вплив на фізичні властивості мають процеси тектонічного дроблення. Формування брекчій, катаклазитів і мілонітів супроводжується збільшенням пористості, зменшенням густини, об'ємної маси та міцності порід. Натомість натрієвий метасоматоз сприяє ущільненню масиву внаслідок заповнення тріщин вторинним кварцом, егірином і рибекітом, що позитивно впливає на фізико-механічні властивості порід [5, 6].

Процеси гіпергенного перетворення, навпаки, супроводжуються розвитком тріщинуватості, вилуговуванням окремих компонентів та збільшенням пористості, що призводить до помітного зниження міцності руд і вміщуючих порід [2, 6].

За сукупністю фізичних і технічних характеристик породи Ганнівського родовища можна умовно поділити на три групи. До першої належать найбільш міцні різновиди - магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові, магнетитові кварцити, а також егіринові та окварцьовані метасоматити. Другу групу складають породи середньої міцності, представлені магнетит-кумінгтонітовими кварцитами та безрудними кварцитами. До третьої групи належать найменш міцні різновиди – сланці, брекчії, катаклазити, мілоніти та гіпергенно змінені кварцити (табл. 3.2.). [5, 6].

У практиці відкритих гірничих робіт одним із головних показників міцності є коефіцієнт міцності за шкалою М. М. Протод'яконова. Для Ганнівського родовища його визначення виконувалося відповідно до вимог ГОСТ 21153.1-75, що дозволило встановити просторовий розподіл міцності руд і вміщуючих порід [5].

За результатами досліджень побудовано карту просторового розподілу міцності порід Ганнівського родовища (рис. 3.3).

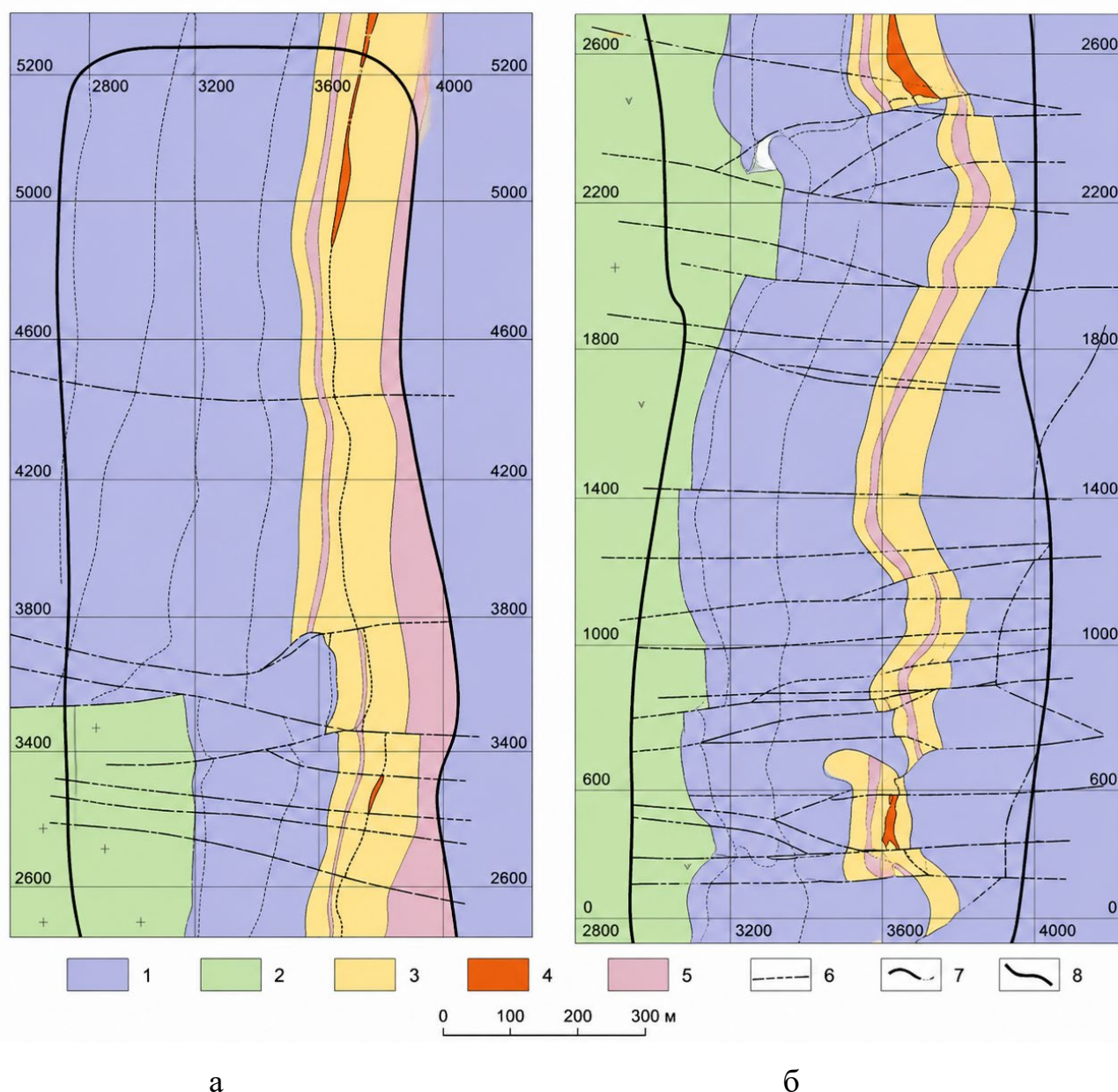


Рис. 3.3 Схематична карта міцності порід Ганнівського родовища [1].

1-4 – руди та гірські породи високої (1), середньої (2), низької (3) і дуже низької (4) міцності; 5 – контакти стратиграфічних горизонтів; б - розривні порушення; 7 – контур кар'єру.

Аналіз карти показує, що найбільш міцні різновиди порід приурочені до центральної частини продуктивної товщі, де переважають магнетитові кварцити. Зниження міцності спостерігається поблизу зон тектонічних порушень, а також у ділянках розвитку гіпергенних і метасоматичних перетворень. Саме ці зони потребують особливої уваги під час проектування параметрів бортів кар'єру та планування гірничих робіт [5].

Таблиця 3.2.

Розподіл порід Ганнівського родовища на групи міцності

Група міцності	Міцність (од.)	Пористість (%)	Об'ємна маса (г/см ³)	Густина (г/см ³)
Міцні	16-18,4	0,95-1,3	3,4-3,8	3,4-3,9
Середні	13- 16,0	1,3-1,7	3,0-3,2	3,0-3,4
Неміцні	11–13,0	1,7-2,5	3,1-3,8	3,3-3,9

Таким чином, фізичні та технічні властивості порід Ганнівського родовища визначаються поєднанням їх мінерального складу, текстурно-структурних особливостей і ступенем розвитку вторинних геологічних процесів. Найвищою міцністю характеризуються магнетитові кварцити та егіринові метасоматити, тоді як найменш стійкими є тектонічно порушені та гіпергенно змінені породи. Отримані результати є основою для оцінювання стійкості гірничих масивів і вибору раціональних параметрів відкритої розробки Ганнівського родовища [2, 5, 6].

ВИСНОВКИ

Фізичні та технічні властивості магнетитових кварцитів і вміщуючих порід Ганнівського родовища є одними з основних чинників, що визначають механічну стійкість гірничого масиву та безпечність ведення відкритих гірничих робіт. Тому показники густини, об'ємної маси, пористості та міцності доцільно враховувати під час оцінювання інженерно-геологічних умов, побудови карт міцності та прогнозування стійкості бортів кар'єру.

За результатами проведених досліджень встановлено, що продуктивна товща Ганнівського родовища характеризується чітко вираженою аутигенно-метаморфогенною мінералогічною зональністю. Основу мінерального складу руд становлять кварц, магнетит і гематит, сумарний вміст яких перевищує 90 мас. %. Висока твердість цих мінералів (5–7 за шкалою Мооса) зумовлює значну міцність незмінених магнетитових кварцитів та їх високу стійкість до механічних навантажень.

Встановлено, що фізико-механічні властивості порід суттєво залежать від розвитку вторинних геологічних процесів. Процеси натрієвого метасоматозу, які супроводжувалися егіринізацією та рибекітизацією, сприяли ущільненню порід, зменшенню їх пористості до 0,94 % та підвищенню міцності до 21,0–22,7 од. Натомість тектонічні порушення та гіпергенні процеси викликали інтенсивне тріщиноутворення, брекчіювання, катаклазування й мілонітизацію, що призвело до збільшення пористості до 2,54 % і суттєвого зниження міцності порід.

Під час аналізу фізичних властивостей встановлено високий позитивний кореляційний зв'язок між загальним вмістом заліза, густиною та об'ємною масою порід, що обумовлено високою густиною магнетиту і гематиту. Водночас залежність між вмістом заліза, пористістю та міцністю має менш виражений характер, оскільки

на ці показники значний вплив мають структурно-текстурні особливості порід, ступінь їх тріщинуватості та інтенсивність вторинних геологічних процесів.

Таким чином, фізичні та технічні властивості порід Ганнівського родовища визначаються комплексною дією літолого-мінералогічних, тектонічних і метасоматичних чинників. Отримані результати мають практичне значення для оцінювання стійкості гірничих масивів, обґрунтування параметрів відкритої розробки, вибору технології ведення буропідливних робіт та забезпечення безпечної експлуатації Ганнівського кар'єру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Євтехов В.Д. Складання мінералого-технологічної класифікації руд Ганнівського родовища з метою виробництва високоякісного залізорудного концентрату. Заключний звіт з НДР №551 / В. Д. Євтехов, О. С. Демченко, В. В. Філенко, А. В. Євтехова, М. О. Шепелюк, Д. М. Прилепа та інші. — Кривий Ріг : Фонди Криворізького національного університету, 2020. 160 с.
2. Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг.В., Демченко О.С., Євтехов Є.В. Вплив природних факторів на стійкість розкритих гірничих масивів Кривбасу. Мінералогічний фактор. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1-2 (43-44)., 2020. Стор. 44-65. DOI 10.31721/2306-5443-2020-43-44-1-2-43-63
3. Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг., В., Євтехов Є.В. Геологічні фактори утворення руд і гірських порід Північного залізорудного району. Седименація та діагнез. Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-практична конференція. Матеріали конференції 17-12 листопада 2020 року, Кривий Ріг. Видав.центр КНУ, С. 59-61.
4. Тіхлівець С.В. Передумови складання спеціалізованої ГІС сейсмічної стійкості гірничих масивів Північного залізорудного району Криворізького басейну. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євтеховські читання», 7 квітня 2023, Кривий Ріг, 2023, С. 92-95.
5. Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. Геологічні засади розробки 3D моделі стійкості бортів Ганнівського кар'єру Північного ГЗКу. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1 (49)., 2023, С. 26-32. 10.31721/2306-5443-2023-49-1-26-32.
6. Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. Фізичні властивості залізистих кварцитів як показник впливу на стійкість розкритих гірських масивів Ганнівського родовища.

Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1-2 (45-46)., 2021, С. 83-90. DOI 10.31721/2306-5443-2021-45-46-1-2-83-89.

7. Тіхлівець Сг.В., Харитонов В.М., Тіхлівець С.В. Геологічні фактори впливу на стійкість гірничих масивів Північного залізорудного району Криворізького басейну. Стратиграфічний фактор. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євтеховські читання», 5 квітня 2024, Кривий Ріг, 2024, С. 87-89.

8. Тіхлівець Сг.В., Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В. Епігенетичні процеси як чинник впливу на стійкість гірничих масивів Північного залізорудного району. Мінералогія України: сучасний стан і перспективи: Дванадцяті наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка: матеріали. Відп. ред. О. Матковський. Львів : Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2022. С. 21-25.

9. Тіхлівець Сг.В. Геологічні фактори стійкості гірничих масивів родовищ Північного залізорудного району : дис. д-ра філософії : 103 Науки про Землю. Кривий Ріг : Криворізький національний університет, 2024. 150 с.

Фондові

10. Плотніков О.В. Звіт «Геолого-економічна переоцінка Ганнівського родовища залізистих кварцитів». Академія Гірничих наук України. Відділення геології, геодезії, екології та картографії.– Кривий Ріг.– 2010.

11. Проєкт «Відпрацювання Ганнівського родовища ПРАТ "ПівніГЗК" відкритим способом на період 2021-2037 роки, розташованого на землях Червоненської сільської ради у Криворізькому районі Дніпропетровської області. Реконструкція». ТОВ «Южгіпроруда», 2020.