

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

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

Тема роботи
**«АДАПТАЦІЯ МЕТОДИКИ МІНЕРАЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ
ЗАЛІЗНИХ РУД В УМОВАХ СУЧАСНИХ РИЗИКІВ (НА ПРИКЛАДІ
ОДНОГО З РОДОВИЩ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ)»**

Виконав магістрант групи НЗГ-23-1м

Євген СУХОМЛІН

Науковий керівник

Віталій ХАРИТОНОВ

Нормоконтролер

Олександр ТРУНІН

В.о. завідувача кафедри

Світлана ПАНОВА

Кривий Ріг
2024

Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра геології та екології
Другий (магістерський) рівень вищої освіти
Спеціальність: 103 Науки про Землю ОПП Геологія

З А Т В Е Р Д Ж У Ю
В.о. завідувача кафедри _____ Світлана ПАНОВА
« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну (магістерську) роботу
Сухомліна Євгена Володимировича

1. Тема: «Адаптація методики мінералогічного аналізу залізних руд в умовах сучасних ризиків (на прикладі одного з родовищ Криворізького басейну)». Затверджена наказом по КНУ № 156с від «19» лютого 2024 р.
2. Термін подання студентом закінченої роботи: «27» листопада 2024 р.
3. Вихідні дані по кваліфікаційній магістерській роботі: фондові та опубліковані матеріали; 22 штуфних зразка, які представляють залістисті кварцити продуктивної товщі (5-6 залістистий горизонт саксаганської світи криворізької серії) Первомайського родовища Криворізького басейну; 17 полірованих і прозорих препаратів, виготовлених з них; класифікований дроблений матеріал залістистих кварцитів продуктивної товщі родовища (класи крупності $-0,125+0,071$; $-0,071+0,045$ і $-0,045$ мм).
4. Зміст пояснювальної записки:
 - реферат;
 - зміст;
 - вступ;
 - короткий опис геологічної будови Первомайського родовища;
 - фактичний матеріал та методика проведених досліджень;
 - адаптація методики мінералогічного аналізу залізних руд в умовах сучасних ризиків на прикладі Первомайського родовища Криворізького;
 - висновки;
 - література;
 - додатки.

5. Перелік графічного матеріалу.

Аркуш 1. Оглядова карта району розташування Первомайського родовища Ресурс «Google Планета Земля Pro».

Аркуш 2. Схема положення Первомайського родовища в межах Криворізького басейну.

Аркуш 3. Геологічна карта допалеозойських утворень Первомайського родовища.

Аркуш 4. Геолого-мінералогічний розріз Первомайського родовища по лінії 2–2.

Аркуш 5. Фактичний матеріал.

Аркуш 6. Мікроскопічне зображення різновидів порід продуктивної товщі Первомайського родовища.

Аркуш 7. Принципова схема гранулометричного аналізу за методикою «віртуального уламку».

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	канд. геол. н. доцент Віталій ХАРИТОНОВ	25.04.23	29.05.23
2	док. геол. н. професор Анатолій БЕРЕЗОВСЬКИЙ	30.05.23	26.06.23
3	канд. геол. н. доцент Віталій ХАРИТОНОВ	27.06.23	04.07.23
4	канд. геол. н. доцент Віталій ХАРИТОНОВ	05.07.23	02.09.23

7. Календарний план:

Етапи роботи	Термін виконання
1. Аналіз інформаційних джерел	02.03.24 – 20.04.24
2. Складання короткого геологічного нарису про геологічну будову об'єкта робіт	21.04.24 – 16.05.24
3. Підготовка колекції зразків і обґрунтування комплексу методів дослідження	17.05.24 – 27.06.24
4. Адаптація методики діагностики мінералів	28.06.24 – 28.07.24
5. Адаптація методики кількісного аналізу	29.07.24 – 29.08.24
6. Адаптація методики гранулометричного аналізу	30.08.24 – 30.09.24

7. Підготовка тез за результатами дослідження до публікації в матеріалах наукової конференції	01.10.24 – 02.11.24
8. Оформлення списку літератури і додатків	03.11.24 – 26.11.24

Дата видачі завдання «02» березня 2024 р.

Завдання видав
науковий керівник

Віталій ХАРИТОНОВ

Завдання отримав
магістрант

Євген СУХОМЛІН

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна (магістерська) робота: 60 с., 27 рис., 5 табл., 42 літературних джерел, 7 додатків.

Об'єкт дослідження — методика мінералогічного аналізу на прикладі залізистих кварцитів одного з родовищ Криворізького басейну.

Предмет дослідження – можливості адаптації мінералогічного аналізу у сучасних умовах з використанням прикладних програмних продуктів.

В основу роботи покладений фактичний матеріал: 22 штуфних зразка залізистих кварцитів продуктивної товщі Первомайського родовища Криворізького басейну; 17 полірованих і прозорих препаратів, виготовлених з них; класифікований дроблений матеріал залізистих кварцитів продуктивної товщі родовища (класи крупності $-0,125+0,071$; $-0,071+0,045$ і $-0,045$ мм). Використане лабораторне обладнання: мікроскопи МБС-9, Bresser, МП-9, ВН200М-Р, обладнаних відеоокуляром SIGETA. Використані комп'ютерні програми і застосунки: CorelDraw, Microsoft Office для Windows, Rock Identifier.

Перший розділ містить стислий аналіз інформації про геологічну будову Первомайського родовища. Показано, що складна його геологічна будова, широкий набір корисних копалин, строкатий мінеральний склад основної рудної сировини, зумовлений накладеними процесами — усе це визначає складність мінерального аналізу порід і руд як продуктивної товщі родовища, так і оточуючих її верств.

Другий розділ присвячено опису фактичного матеріалу, який було покладено в основу роботи. Наведені фото зразків залізистих кварцитів, тектонічних брекчій, катаклазитів, натрієвих метасоматитів. Також зазначено про застосоване обладнання для проведення мінералогічного і гранулометричного аналізу порід продуктивної товщі Первомайського родовища.

У третьому розділі представлені результати оцінки можливостей проведення мінералогічного аналізу залізистих кварцитів і супутніх їм порід за допомогою застосунку автоматизованої діагностики «Rock Identifier», а також гранулометричного аналізу за методикою «віртуального уламку». Доведено, що здобувачі вищої освіти зможуть провести мінералогічний аналіз, у супроводі з гранулометричним, за адаптованими методиками на віддаленні від мінераграфічної чи петрографічної лабораторії, з іншого міста України або із-за кордону.

Ключові слова: залізні руди, мінералогічний аналіз, гранулометричний аналіз, магнетит, гематит, кварц, рибекіт, егірін, Первомайське родовище, Криворізький басейн.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	7
1. КОРОТКА ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРВОМАЙСЬКОГО РОДОВИЩА.....	9
1.1. Економіко-географічні відомості.....	9
1.2. Історія геологічної вивченості.....	11
1.3. Стратиграфія.....	13
1.5. Тектоніка.....	15
1.6. Ендогенні процеси.....	18
1.7. Гіпергенез.....	19
1.8. Корисні копалини.....	19
2. ФАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
3. АДАПТАЦІЯ МЕТОДИКИ МІНЕРАЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ЗАЛІЗНИХ РУД В УМОВАХ СУЧАСНИХ РИЗИКІВ НА ПРИКЛАДІ ПЕРВОМАЙСЬКОГО РОДОВИЩА КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ....	31
3.1 Аналіз інформаційних джерел за темою роботи.....	31
3.2. Адаптація методики діагностики мінералів.....	33
3.1.1. Макроскопія.....	33
3.1.2. Мікроскопія у прохідному і відбитному світлі.....	36
3.2. Адаптація гранулометричного аналізу.....	44
ВИСНОВКИ.....	47
ЛІТЕРАТУРА.....	48
ДОДАТКИ.....	53
ДОДАТОК А.....	54
ДОДАТОК Б.....	55
ДОДАТОК В.....	56
ДОДАТОК Г.....	57
ДОДАТОК Д.....	58
ДОДАТОК Е.....	59
ДОДАТОК Ж.....	60

ВСТУП

Здобувачі вищої освіти спеціальності 103 Науки про Землю, які навчаються за ОПП Геологія, в умовах сучасних ризиків не завжди мають можливості постійного доступу до лабораторій і літотечних фондів. Нетривале перебування вимушує виконувати роботу в більш інтенсивному темпі. У зв'язку з чим, адаптація методики мінералогічного аналізу може полягати у таких кроках: попереднє планування роботи і чітке дотримання плану; цифрова документація зразків та препаратів; використання онлайн-ресурсів.

На допомогу здобувачам існує низка застосунків до смартфонів, адаптація яких до конкретних геологічних і мінералогічних завдань, дозволить розширити арсенал апаратного забезпечення студентів, наприклад, «Ідентифікатор породи (Rock Identifier)». Цей застосунок орієнтований на миттєве отримання інформації про склад, характеристики та можливість використання різноманітних мінералів, гірських порід і руд. Проте, у описі до застосунку мова не йде про його можливості при роботі з мікроскопічним зображенням мінеральної сировини. Якщо застосунок буде не менш ефективним для ідентифікації мінералів у відбитому і прохідному світлі, це підвищить його прикладне значення. Ще одним напрямком дослідження мінеральної сировини - є оцінка розмірів окремих індивідів, якими вона складена. Використання віртуальних методик без суттєвого зменшення достовірності отриманих результатів — є запорукою пришвидшення гранулометрії, як однієї зі складових мінералогічного аналізу. У зв'язку з вище викладеним тема кваліфікаційної роботи є актуальною.

Мета роботи оцінити можливість проведення мінералогічного аналізу за адаптаційними методиками.

Для досягнення мети автор роботи виконав такі завдання:

- аналіз інформації з опублікованих, фондових джерел та інтернет-ресурсів;
- відбір проб залізистих кварцитів продуктивної товщі Первомайського родовища, а також прозорих і полірованих препаратів виготовлених з них;
- макроскопічний опис і складання особистого віртуального каталогу зразків залізистих кварцитів у застосунку «Ідентифікатор гірських порід»;
- мікроскопічне вивчення залізистих кварцитів у прозорих і полірованих препаратах та складання особистого віртуального каталогу зразків залізистих кварцитів у застосунку «Ідентифікатор гірських порід»;

- гранулометричний аналіз методом віртуального уламку у відбивному світлі;
- гранулометричний аналіз магнетитових індивідів за допомогою окуляр-мікрометра;
- відбір проб дробленого матеріалу залізистих кварцитів Первомайського родовища;
- визначення ступеню розриву магнетитових частинок;
- порівняння результатів отриманих гранулометричних даних з реальним ступенем розкриття магнетитових індивідів.

Об'єкт дослідження — методика мінералогічного аналізу на прикладі залізистих кварцитів одного з родовищ Криворізького басейну.

Предмет дослідження – можливості адаптації мінералогічного аналізу у сучасних умовах з використанням прикладних програмних продуктів.

Вихідний матеріал - 22 зразки залізистих кварцитів і супутніх ним порід продуктивної товщі Первомайського родовища, 17 прозорих та 17 полірованих шліфів, виготовлених з них, а також класифікований дроблений матеріал лабораторно-технологічної проби залізородної сировини продуктивної товщі Первомайського родовища.

В результаті було доведено, що в умовах сучасних ризиків, за допомогою застосування «Ідентифікатор гірських порід», а також методики віртуального уламку, можливо проводити адаптований мінералогічний аналіз залізородної сировини родовищ, наближених за генезисом до криворізьких.

Наукове значення роботи полягає в розробці алгоритму проведення адаптованого мінералогічного аналізу залізородної сировини здобувачами вищої освіти.

Прикладне значення роботи полягає у можливості використання складених автором каталогів зразків та мікроскопічних зображень залізистих кварцитів здобувачами вищої освіти.

За результатами досліджень, висвітлених у кваліфікаційній магістерській роботі, були опубліковані матеріали у збірці тез та повідомлень XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів», 28-29 листопада 2024 р., м. Кривий Ріг.

При зборі вихідного матеріалу і проведенні лабораторних досліджень автора роботи підтримували співробітники кафедри геології та екології Криворізького національного університету кандидата геологічних наук доцента Світлани Валеріївни Тіхлівець, Валентини Вікторівни Філенко, Світлани Григорівни Глущенко, за що висловлює їм глибоку вдячність.

Слова подяки автор кваліфікаційної роботи магістра також висловлює науковому керівнику - доценту кафедри геології та екології Криворізького національного університету кандидату геологічних наук доценту Віталію Миколайовичу Харитонову.

1. КОРОТКА ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРВОМАЙСЬКОГО РОДОВИЩА

1.1. Економіко-географічні відомості

Первомайське родовище залізистих кварцитів знаходиться у Тернівському районі м. Кривий Ріг Дніпропетровської області (рис. 1.1). Родовище разом з Ганнівським виділено у Північний залізрудний район Криворізького басейну. Обидва родовища становлять сировинну базу ПРАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат» («ПівнГЗК»). Первомайське розробляється Першотравневим кар'єром комбінату.

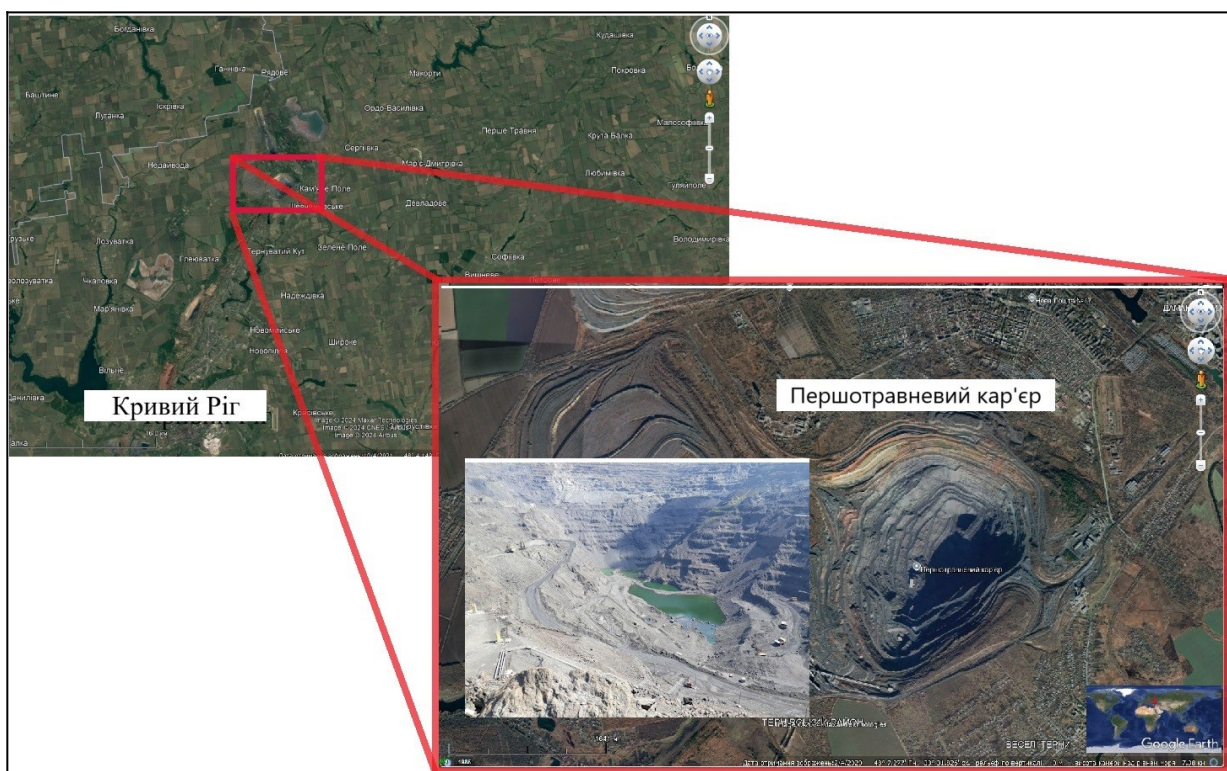


Рис. 1.1 – Оглядова карта району розташування Первомайського родовища Ресурс «Google Планета Земля Pro».

Кар'єр є одним з найбільших в Україні. Його проєктна глибина дорівнює 650 м. У поточний момент розміри кар'єру становлять на 2,5 тис. м,

ширин і понад 3 тис. м у довжину, глибина - 400 м. Позначка нижнього горизонт ведення гірничих робіт кар'єру -285 м [40].

Межею родовища на півночі є гірничий відвід шахти Першотравнева, на півдні – рудний поклад виклинюється. На заході родовище обмежене товщею метаморфізованих вулканогенно-кластогенних утворень, які відносять до гданцівської та глеуватської світ [5]; на сході – масивом гранітоїдів дніпропетровського комплексу [14]. Площа території родовища становить 6,5 км².

Район, де міститься родовище являє собою степову рівнину правобережного Придніпровського плато. Її порізано балками і вона має уклін на південний схід в напрямку долини р. Саксагань, яка є лівою притокою р. Інгулець. Остання впадає у р. Дніпро. Найвищі абсолютні відмітки ділянки розташування родовища сягають +135 м (вододіл балок Червона Північна і Грядкувата).

Клімат в межах міста вологий континентальний з дуже спекотним літом. Його середній місяць є найтеплішим в продовж року. Середнє значення температурного максимуму (t_{\max}) місяця становить +27,8 °С (рис. 1.2). Січень є найхолоднішим місяцем, середнє значення температурного мінімуму (t_{\min}) становить -6,3 °С [41]. Коливання температури упродовж року від t_{\max} до t_{\min} відповідають діапазону +13,7 °С до +4,5 °С. Середньорічна температура становить +9 °С.

Показник	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, °С	13	18,9	23,5	31,8	35,8	36,4	38,6	39,6	32,2	31,7	21,7	15,3	39,6
Середній максимум, °С	-0,9	0,1	6,1	15	21,8	25,2	27,8	27,5	21,4	14	5,5	0,4	13,7
Середня температура, °С	-3,5	-3,1	1,9	9,6	15,9	19,5	21,8	21,2	15,6	9,1	2,3	-2,1	9
Середній мінімум, °С	-6,3	-6,2	-1,8	4,4	9,8	13,7	15,7	15	10,1	4,7	-0,6	-4,7	4,5
Абсолютний мінімум, °С	-27,2	-27,3	-21	-8,9	-1,6	2,8	7,3	5	-3,7	-10	-18,6	-24,5	-27,3
Норма опадів, мм	30	29	24	28	45	62	58	32	38	37	31	28	442
Днів з опадами	17	15	13	13	11	11	10	9	8	9	14	18	148
Днів з дощем	7	6	8	12	11	11	10	9	8	8	10	9	109
Днів зі снігом	13	10	6	1	0	0	0	0	0	1	5	11	47

Рис. 1.2. Кліматичні показники м. Кривого Рогу [41].

Основна кількість опадів спостерігається у квітні-жовтні — 268 мм. Переважно це дощ, рідше сніг. Днів з дощем упродовж року більше удвічі ніж зі снігом. Зливові дощі супроводжуються грозами та градом. Найвірогідніше це може відбутися з травня по серпень.

Стійкого снігового покриву не буває — понад половини зим є малосніжними чи взагалі безсніжними. Середня висота снігу становить сніжного покриву сягає 0,1 м, максимальне зафіксоване значення цього показника склало 0,3 см. Відлиги взимку обумовлюють зимові паводки на

річках. Типовим явищем впродовж зим є ожеледиця, від чого сильно страждає виробничий і виробничий транспорт. В межах території, що розглядається вітри дмуть переважно на північ та схід, рідше за на південь. Проте бувають штилі, які відмічені на початку осені та влітку.

Родовище знаходиться в північній частині крупного промислового центру, представленого численними промисловими підприємствами добувального, збагачувального та переробного спрямування на залізні руди. Підприємства між собою та містом пов'язані лініями Придніпровської залізничної дороги. Також тут широко розвинута мережа асфальтованих доріг з автомобільним, тролейбусним і трамвайним сполученням. Родзинкою в місті є швидкісний трамвай підземного та наземного пересування.

1.2. Історія геологічної вивченості

Історію вивчення Первомайського родовища доцільно розглядати в рамках геологічних вишукувань Криворізького басейну.

Початком вивчення проявів залізних руд в межах Криворіжжя вважають записи Василя Зуєва стосовно залізного шиферу.

Наступною віхою у вишукуваннях залізрудних родовищ басейну є діяльність Олександра Поля. Самі він доклав чимало зусиль, що б в нашому місті почалася розробка залізних руд. А саме у гірничих виробках максимально викриваються таємниці геологічної будови Землі.

Першою працею, присвяченою стратиграфії криворізької структури, є опублікована трикомпонентна схема поділу товщі порід криворізької серії (датована 1880 р. під авторством Станіслава Конткевича).

Кінець 19-го сторіччя ознаменувався геологічними роботи Валеріана Домгера, Порфирія П'ятницького, Олександра Михальського.

На початку 20-го сторіччя їх естафету підхопили Олександр Фаас, Йосип Танатар, Микола Світальський, Едуард Фукс, Юлія Половинкіна. Їх продовжувачами були Леонід Мартиненко, Юрій Гершойг, Павло Каніболоцький, Яків Белєвцев та ін. Вчені-геологи з успіхом вирішували питання стратиграфії, тектоніки, мінералогії, петрографії, генезису родовищ Криворізького басейну [35].

Геологічна зйомка М 1:50000 в межах Криворіжжя, яку ви була проведена у період з 1955 до 1960 рр.

Перші вишукування технологічних властивостей залізистих кварцитів Первомайського родовища були проведені у 1950-1955 рр. Було встановлено, що магнітною сепарацією можна отримати концентрат якістю 66,5 мас.% заліза загального. Саме ці результати стали обґрунтуванням доцільності будівництва Північного гірничо-збагачувального комбінату. У подальші роки науково-дослідні установи міста («Механобрчормет», НДГРІ) продовжували роботу з удосконалення схем переробки залізистих кварцитів.

Згодом постала необхідність нарощування сировинної бази комбінату і у першій половині 70-х років на родовищі була проведена детальна розвідка до глибини 700 м.

У 1990 р. була проведена дорозвідка родовища. А наприкінці 20-го сторіччя - детальні дослідження мінералого-технологічних показників руд Первомайського родовища. В результаті в його межах були виділені близько 50 мінеральних різновидів, які були винесені на мінералого-технологічні карт і розрізи [35].

Започатковані на межі тисячоліть в нашій країні ринкові відносини вимагали збільшення зиску від видобутої з надр мінеральної маси. Тому були активізовані вишукування корисних копалин, супутніх залізородній сировині. Були досліджені прояви скандію, ванадію, цирконію, ітрію, титану, германію, технічним гранатам, декоративній, гемологічній, колекційній сировині, мінеральним пігментам, піскам, суглинкам та ін. [6, 7, 10, 14, 18, 33-35].

Дослідження родовища не припиняється і дотепер. За останні 10 років у світ вийшло декілька наукових праць.

У 2015 році було проведено геолого-економічну переоцінку Первомайського родовища (кер. Олександр Плотніков [36]). В роботі [12] спрощено описано актуальну класифікацію руд Первомайського родовища. В роботі [13] наведені уточнені дані про рибекитизацію магнетитових кварцитів Первомайського родовища.

У 2019 р. була проведена геолого-економічна оцінка залізородної сировини Первомайського родовища (кер. І.В.Шепель). Висновком стала доцільність об'єднання рудного відводу Першотравневого кар'єру та шахтного поля родовища шахти Першотравнева [39].

Стаття [9] присвячена правовим аспектам видобутку залізних руд Криворізького басейну. Автори наводять стисло характеристику родовищ басейну, у тому числі, Первомайського. Ґрунтуючись на особливостях мінерального складу руд родовищ автори доводять, що їх переробку слід вважати глибокою (вторинною), тобто зі зміною мінеральних форм, агрегатно-фазового стану і кристалохімічної структури окремих мінералів.

Один з підрозділів монографії [14] присвячений впливу натрієвого метасоматозу на збагачуваність залізородної сировини родовищ Криворізького басейну. Автор доводить, що внаслідок рибекітизації рудних і нерудних прошарків магнетитових кварцитів відбувається вдосконалення морфології індивідів і агрегатів магнетиту, а також заміщення тонковкрапленого магнетиту, що разом з негативним дає і позитивний ефект. В результаті позитивний аспект впливу на збагачуваність рибекітових. Оскільки рибекітові метасоматити як бідні магнетитові руди дають в результаті переробки високоякісний залізородний концентрат.

Публікація [24] присвячена питанню уніфікованому підходу до класифікації різновидів залізних руд та супутніх ним утворень з родовищ Кривбасу. Автором запропонований принцип створення назви мінералого-

петрологічного різновиду залізистих кварцитів, яку було розроблено враховуючи досвід вивчення бідних залізних руд Первомайського родовища.

Дисертаційне дослідження, основні результати якого висвітлені у роботі [38], направлене на узагальнення мінеральної, хімічної, фізико-механічної, технічної інформації про залізисті кварцити для створення 3D-моделі стійкості гірничих масивів Первомайського та Ганнівського родовищ Північної частини району Кривбасу. Автором доведено зв'язок низки геологічних (сингенетичних, епігенетичних та ін.) процесів на стійкість гірничих масивів. Змістовно обґрунтувавши принципи структурного оперативного картування Первомайського родовища автором була побудована модель родовища з виділенням ділянок гірничих масивів, складених породами різної стійкості.

Попри чисельну кількість публікацій і тривалу історію вивчення родовища, залишається необхідність уточнення мінерального, петрографічного і гранулометричного складу залізородної сировини. А виклики сьогодення потребують внесення коректив у стандартну методику досліджень.

1.3. Стратиграфія

Первомайське родовище, як складова Криворізького басейну, пов'язане з однойменною геологічною структурою, яку виділено в межах Криворізько-Кременчуцької структурно-фаціальній зони (СФЗ) Придніпровського мегаблоку Українського щита (УЩ). В межах мегаблоку також виділяють ще одну СФЗ — Середньопридніпровську [10]. Стратиграфічний розріз в межах мегаблоку представлений утвореннями архею і протерозою (докембрій) та кайнозою. Розріз докембрійської віку включає славгородський (палеоархей), аульський (мезоархей), конкський (неоархей) і криворізько-білозерський комплекси (палеопротерозой), а також гданцівську і глеюватську світи. Славгородський і аульський комплекси подібні для обох СФЗ. Починаючи з конкського комплексу стратиграфічні розрізи Криворізько-Кременчуцької і Середньопридніпровської СФЗ відрізняються. В межах Криворізько-Кременчуцької СФЗ конкський комплекс представлений (знизу до гори) латівською і новокриворізькою світами та конкською серією. Криворізько-білозерський комплекс представлений двома одновіковими серіями — криворізькою і білозерською, які мають різне поширення. Криворізька серія міститься в західній частині Придніпровського мегаблоку в межах Криворізько-Кременчуцької СФЗ, саме з нею пов'язані родовища Криворізького басейну, у тому числі Первомайське.

Криворізька серія поділена на скелюватську і саксаганську. Тривалий час до її складу також відносили гданцівську і глеюватську. Згідно більш

пізнім уявлення про стратиграфію регіону, ці світи є окремими підрозділами (рис. 1.3).

В межах Первомайського родовища докембрійські утворення представлені аульським, конкським і криворізько-білозерським комплексами.

Найдавнішими є породи аульського комплексу (вік 3,8-3,2 млрд р.), які представлені амфіболітами, біотит-амфіболовими і біотитовими гнейсами, кристалічними сланцями. Комплекс поділений на дві світи (верхню і нижню). Нижня поєднує утворення кристалосланцево-гнейсової формації, верхня - кристалосланцево-амфіболітової. Відомостей про товщину світ в межах родовища нами не виявлено. Загалом для Придніпровського мегаблоку поєднана потужність світ перевищує 4500 м.

Далі, угору по розрізу, залягають утворення конкського комплексу (вік 3,2-2,5 млрд р.). Дані про наявність в межах Первомайського родовища порід (монокварцові метапсефіт-псаміти) латівської світи відсутні. У розрізі комплексу на родовищі відомі амфіболіти новокриворізької світи. Товщина в межах родовища сягає понад 500 м. Раніше, до 2015 р., світа входила до складу криворізької серії. На поточний момент її виведено, як самостійну стратиграфічну одиницю віком 3,0-2,296 млрд р. [10].

Утворення палеопротерозойського віку на родовищі представлені скелюватською (метаморфізовані кластогенні породи, метаморфічно змінені вулканічні породи 50-170 м) і саксаганською (залізисті кварцити, серицитові, хлоритові, актинолітові, серицит-біотитові, хлорит-актинолітові, гематит-хлоритові, хлорит-біотитові, біотит-амфіболові сланці товщиною 350-600 м) світами криворізької серії. А також породами гданцівської (метапісковики, мономінеральні і залізисті кварцити, магнетит-хлоритові, хлорит-слюдяні сланці, доломітові мармури товщиною 40-260 м) і глеюватської (метапісковиково-алевроглинисті відклади, метаконгломерати, метадоломіти, мергелисті метапеліти потужністю до 2000 м). Між товщами гданцівської і глеюватської світ, вірогідно, була суттєва перерва в седиментогенезі. Вік утворень конксько-білозерського комплексу не перевищує 2,5 млрд р. [10].

Найбільш молодими породами в межах Первомайського родовища є палеогенові конгломерати, неогенові строкатобарвні глини, піски, бентоніт-вмістні глини та четвертинні лесоподібні суглинки і сучасні ґрунти. Зазначені утворення перекривають докембрійські породи. Характеризуються близьким до горизонтального заляганням і значенням товщини від 25 до 100 м.

Стратиграфічна шкала					
Загальна	Регіональна				
Акротема	Еонотема	Придніпровський мегаблок			
Протерозойська		Віковий мали роїв діпазон			
Нижньопротерозойська		<2500			
Верхньопротерозойська		3200 - 2500			
Середньопротерозойська		3800 - 3200			
Нижньопротерозойська		> 3800			
Криворізько-білозерський комплекс	Криворізька серія	Саксганська світа	Скелюватська світа	Білозерська серія	Запорізька світа
Криворізько-білозерський комплекс	Криворізька серія	Саксганська світа	Скелюватська світа	Білозерська серія	Запорізька світа
Конський комплекс	Конська серія	Солонянська світа	Алферівська світа	Чортомлицька світа	Сурська світа
Аульський комплекс	верхня світа (кристалосланцево-амфіболітова формація) (>3000 м)	нижня світа (кристалосланцево-гнейсова формація) (>1500 м)			
Славгородський комплекс (>2500-3000 м)	лейкогранулітова формація				
	ендербіто-гнейсова формація				

Рис. 1.3. Стратиграфічний розріз Придніпровського мегаблоку [10, зі спрощенням].

1.5. Тектоніка

Первомайське родовище розташоване в межах синклінальної складки, якою ускладнене східне крило Криворізької структури. Товща порід протерозойського віку в межах родовища має флексурний вигин, що має поперечне орієнтування до загального простягання порід Криворізької структури. Назва зазначеної синклінальної складки — Первомайська синкліналь. Її ядро — є місцем локації продуктивної товщі родовища. Вісь складки має субширотне простягання. Значення кута поміж крил складки лежить в межах від 100 до 110°. Значення кута заглиблення шарніру складки коливається від 45° до 60°.

Виникнення Первомайської синкліналі спричинило закладання чисельних розломних структур вищих порядків, які орієнтовані поздовжньо і поперечно відносно неї. Широкий розвиток диз'юнктивів в межах родовища (рис. 1.4, 1.5) став визначальним фактором супутніх тектоніці геологічних процесів (динамометаморфізм, метасоматоз, заліковування тріщин гідротермальними жилами).

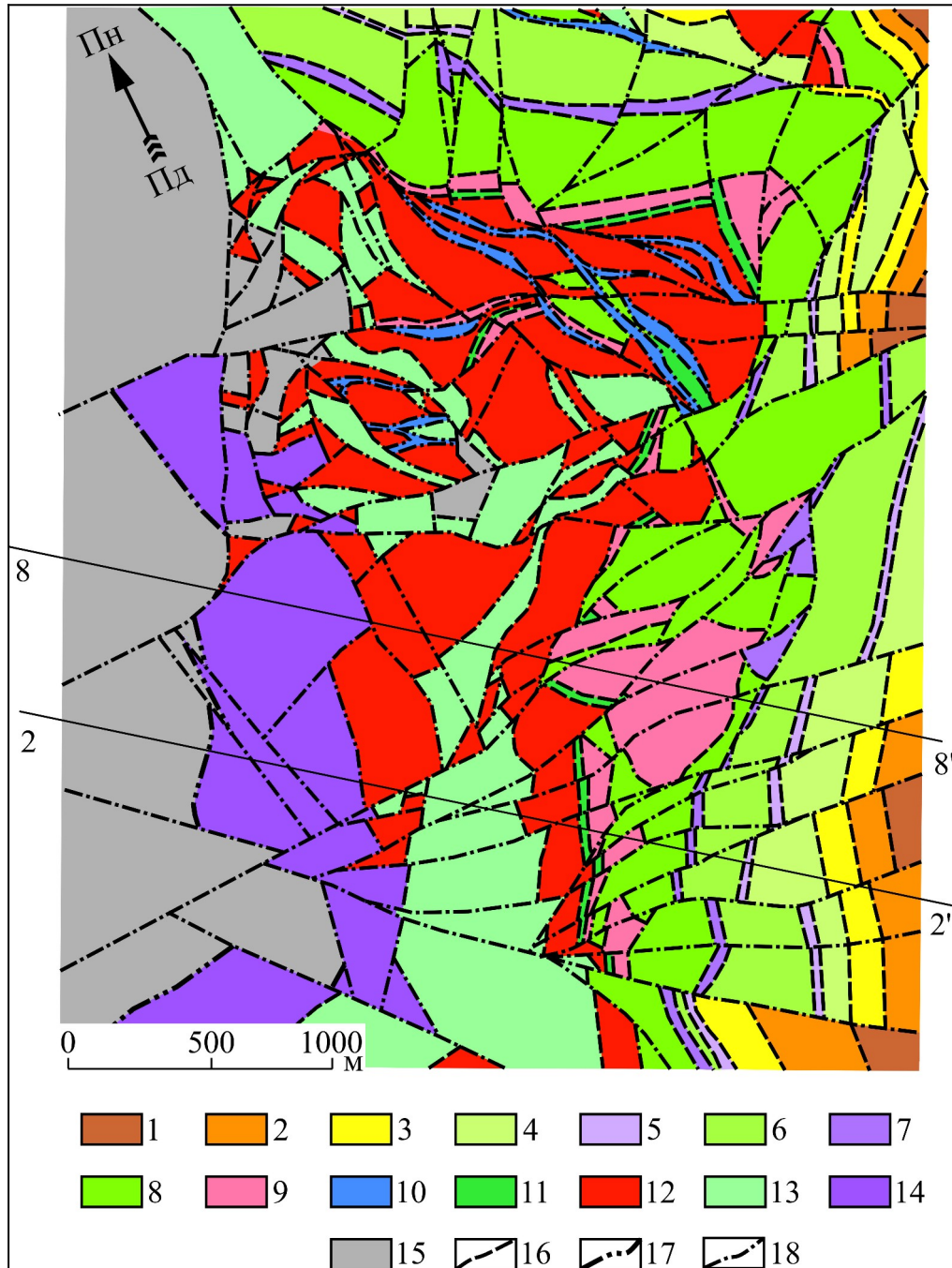


Рис. 1.4. Геологічна карта допалеозойських утворень Первомайського родовища [32].

1-15 – криворізька серія: 1 – метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 2-11 – саксаганська світа: 2 – магнетит-силікатні кварцити сьомого залізного горизонту; 3 – магнетит-силікатні кварцити та сланці сьомого сланцевого горизонту; 4 – магнетитові руди шостого залізного горизонту; 5 – магнетит-силікатні кварцити та сланці шостого сланцевого горизонту; 6 – магнетитові руди п'ятого залізного горизонту; 7 – сланці та силікатні кварцити об'єднаного третього-п'ятого сланцевого горизонту; 8 – магнетит-силікатні кварцити другого залізного горизонту; 9 – сланці та силікатні кварцити другого

Продовження підпису до рис. 1.3

магнетит-силікатні кварцити першого залізного горизонту; 11 – сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту; 12-14 – скельватська світа: 12 – тальк-вмісні сланці верхньої підсвіти; 13 – кварц-мусковітові сланці середньої підсвіти; 14 – мусковітові кварцити нижньої підсвіти; 15 – брекчії змішаного складу; 16 – лінії стратиграфічно згідного залягання товщ; 17 – лінії стратиграфічно незгідного залягання товщ; 18 – розривні порушення.

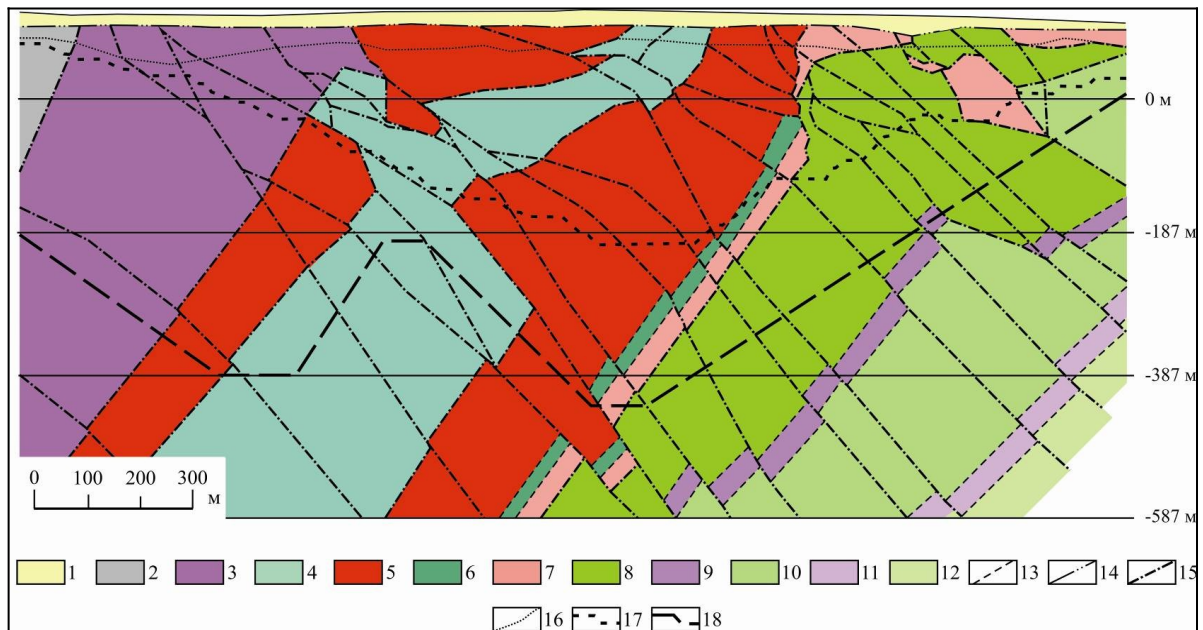


Рис. 1.5 Геолого-мінералогічний розріз Первомайського родовища по лінії 2–2 [32].

1 — породи осадового чохла; 2 — метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 3-12 – криворізька серія: 3-11 – саксаганська світа: 3 – магнетит-силікатні кварцити сьомого залізного горизонту; 4 – магнетит-силікатні кварцити та сланці сьомого сланцевого горизонту; 5 – магнетитові руди шостого залізного горизонту; 6 – магнетит-силікатні кварцити та сланці шостого сланцевого горизонту; 7 – магнетитові руди п'ятого залізного горизонту; 8 – сланці та силікатні кварцити об'єднаного третього-п'ятого сланцевого горизонту; 9 – магнетит-силікатні кварцити другого залізного горизонту; 10 – сланці та силікатні кварцити другого сланцевого горизонту; 11 – магнетит-силікатні кварцити першого залізного горизонту; 12 – сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту; 13 – лінії стратиграфічно згідного залягання товщ; 14 – лінії стратиграфічно незгідного залягання товщ; 15 – розривні порушення; 16-18 – контури кар'єру різних років.

1.6. Ендогенні процеси

Динамометаморфізм проявився в механічній руйнації порід окремих тектонічних блоків, які прилягають до площини розривних порушень. Продуктами цього геологічного процесу стали брекчії, катаклазити, мілоніти.

Підпорядкованим різновидом метаморфізму на Первомайському родовищі є термальний. Його продуктами стали роговики і мушковітити. Першопричиною термометаморфізму стало вкорінення дайок середнього і кислого складу [35]. Термальні перетворення сягнули у бік екзоконтакту дайок на глибину до 1,0 м.

Екзотичною рисою Північного залізорудного району Кривбасу є прояв імпактного метаморфізму [35]. Ударного впливу метеоритом зазнали породи докембрійського віку, в результаті утворилася Тернівська астроблема. Зміна порід в межах Первомайського родовища полягає у подрібненні і частковому розплавленні, а також виникнення характерних для імпактного метаморфізму мінералів: тридиміт, коесит, стишовіт, діамант. Діаметр астроблеми, за даними авторів роботи [1], становить 18 000 м. Її вік коливається від 0,26 до 0,31 млрд. р.

Докембрійські породи Первомайського родовища зазнали інтенсивного перетворення внаслідок натрієвого метасоматозу. За мінеральним складом виділяють егіринові, рибекітові метасоматити та альбітити. Положення їх тіл контролюється тектонічним і мінералогічним факторами. Егіринізація та рибекітизація відбулася у залізистих кварцитах і залізовмісних кварцитосланцях [26, 31], а альбітити – у кварц-біотитових сланцях. Ще одним з проявів метасоматозу є залізний (рудний). Його утворення обумовлене: 1) розчинами, збагаченими на залізо, які передували натрієвим; 2) давніми гіпергенними змінами – вилуговування кварцу з подальшим метаморфізмом і натрієвим метасоматозом; 3) виносом кремнезему натрієвими розчинами із зон брекчіювання залізистих кварцитів [35]. На користь останнього говорить позиція тіл рудних метасоматитів, саме у зонах подрібнення та зім'яття порід.

В межах Первомайського родовища присутні магматичні утворення:

- мігматити, тоналіт-тронд'єміти, гранодіорити, кварцові діорити Дніпропетровського комплексу (вік 3,2-3,4 млрд. р. [25]);
- метаморфізованими базитами і ультрабазитами новокриворізької і скелюватської світ (2,6-2,4 млрд. р. [2]);
- трахіандезитами, трахітами, трахіліпаритами і лавами, лавобрекчіями кислого складу (0,24-0,36 млрд. р. [35]);
- дайки ультраосновного та основного сколаду Девладівського дайкового комплексу 2,2-2,8 млрд. р. [25].

1.7. Гіпергенез

Гіпергенні зміни порід докембрійського віку, загалом в межах Криворізького басейну та Первомайського родовища зокрема, неодноразово досліджувалися низкою авторів. Детальний аналіз результатів попередніх дослідників наведено у роботі [3, 4]. Кори вивітрювання виникали неодноразово, у періоди перерв в седиментогенезі. Нижче ми наводимо короткий опис гіпергенних змін, з врахування сучасного стратиграфічного поділу Криворізько-Кременчуцької СФЗ.

Всього можна нарахувати 5 етапів короутворення.

1. Мезоархейський гіпергенез, який охопив утворення аульського комплексу.
2. Неоархейський гіпергенез, який охопив утворення конкського комплексу.
3. Постсаксаганський — продукти вивітрювання порід криворізької серії стали матеріалом для нижньої частини товщі утворень гданцівської світи.
4. Посткриворізький — тривав з кінця протерозою до палеогену. Проявився у формуванні площових і лінійних кір вивітрювання уламки, яких стали матеріалом базальної частини товщ кайнозойського чохла.
5. Неоген-антропогенний триває до тепер. Полягає розвитку зон маршалітизації шарів гематитових кварцитів та екзогенного окварцування.

1.8. Корисні копалини

Первомайське родовище локалізоване в місці поєднання Північного і Центрального залізородних районів Криворізького басейну (рис. 1.6). Основною товщею видобутку на родовищі є 5й-6й-залізистий горизонт саксаганської світи. Його представляють залізисті породи, які утворюють пластоподібний поклад. Він порушений розломами і зонами катаклазу, по яким до його меж «затягнуті» чисельні блоки некондиційних порід, які разом з кондиційними утворюють строкату мозаїку.

Розмір блоків коливається у широких межах. Різне орієнтування простягання шарів і азимут їх падіння свідчать про зміщення блоків по відношенню один до одного у декількох площинах. Відстань, на яку блоки, що склали одне ціле, відстоять зараз один від одного може нараховувати декілька десятків метрів. Зазначене обумовлює уривчастість зруденіння за простяганням та за падінням.

Зонами розмежування поміж блоків часто є скупчення тектонічних брекчій і катаклазованих порід. Потужність зон тектонічно змінених порід коливається від 0,1 до 100,0 м. Серед уламків брекчій присутній автохтонний і алохтонний матеріал.

Розмір окремих тектонічних брили сягає 1 м у поперечнику і навіть перевищує. Близько 5% об'єму продуктивної товщі представлено брекчіями. Залізисті кварцити продуктивної товщі мають загальну шарувату текстуру, яка коливається від тонко- до грубошаруватої (від 3 до понад 10 см). Серед якісних кварцитів зустрічаються некондиційні прошарки сланців, малорудних і безрудних кварцитів. Зазвичай їх потужність змінюється від 2 до 5 м. Проте, відмічається зона скупчення некондиційних прошарків товщиною від 5 до 50 м. Її пов'язують зі слабо проявленим шостим сланцевим горизонтом саксаганської світи, який через свою нечіткість пропущений в розрізі саксаганської світи криворізької серії родовища.

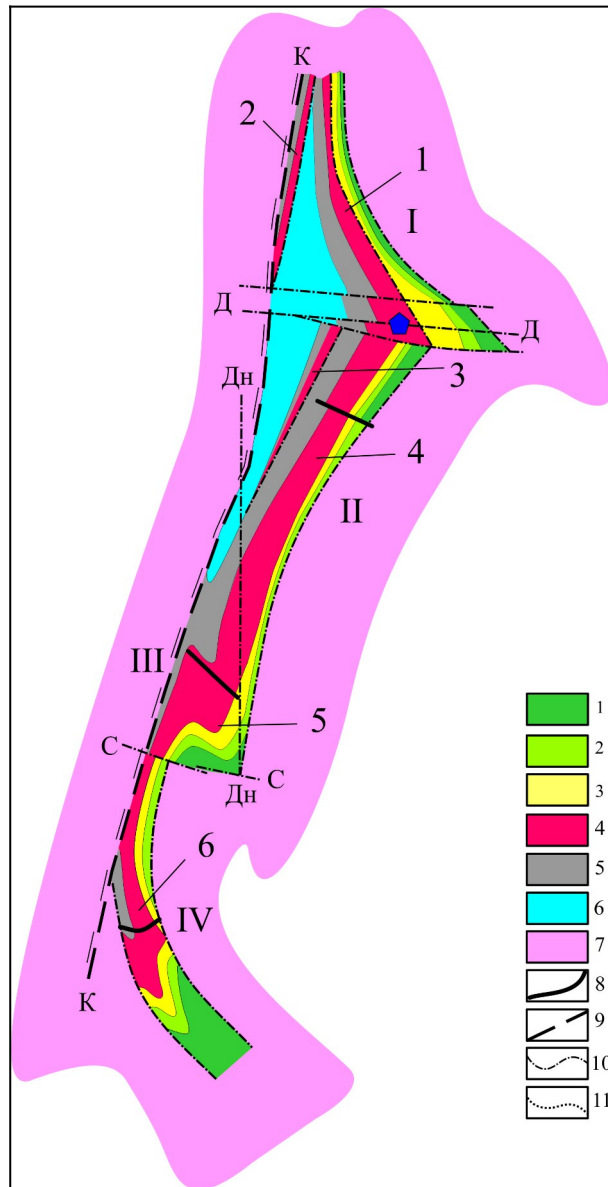


Рис. 1.6 – Положення Первомайського родовища (пентагон) в межах Криворізького басейну [38].

Продовження підпису до рис. 1.6

1 – метакластоліти та метабазити новокриворізької світи; 2 – амфіболіти та метакластоліти конкської серії; 3 – метакластоліти та метаультрабазити (талькові сланці) скелюватської світи; 4 – залізисті кварцити та сланці саксаганської світи; 5 – метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 6 – метакластоліти глеюватської світи; 7 – гранітоїди дніпропетровського комплексу; 8 – дайки діабазів; 9 – глибинні розломи мантійного закладення; 10 – глибинні розломи корового закладення; 11 – стратиграфічні контакти товщ.

Залізорудні райони: I – Північний (Ганнівський); II – Центральний (Саксаганський); III – Південний; IV – Ингулецький (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 – Скелюватська зона розломів.

За петрографічним складом продуктивна товща Первомайського родовища є доволі строкатою. На думку авторів публікації [32] в її межах можна виділити 163 рядових мінеральних різновидів порід і руд, які можна укрупнити у 75 різновидів, які у свою чергу поєднати у 8 об'єднаних різновидів. Останні наведені у таблиці 1.1.

Згідно угоди №1118 від 28 серпня 2020 р. між Державною службою геології та надр України і ПРАТ «ПівнГЗК» наведена інформація про запаси залізних руд Первомайського родовища, затверджені протоколом ДКЗ України № 5001 від 21.12.2019 р. (таблиця 1.2).

В межах Первомайського родовища окрім залізних руд присутні прояви руд [5, 16, 35]: Sc (до 200 г/т), V (до 2000 г/т), Y (500 г/т), металів групи TR (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Yb, Lu – сумарно до 2500 г/т), Ge (до 80 г/т), Pt, Os, Pd, Ir та ін. (до 1 г/т), Au (від 0,1 до 5 г/т).

Серед неметалічної сировини на родовищі є відомі знахідки діаманту, скупчення індустріального гранату (альмандин — прогнольні запаси сланців, що його містять складають 100 млн. т; вміст корисного мінералу коливається в інтервалі 5-20 об'ємн. %), тальк-вмістних сланців, піроксенів, амфіболів (їх ресурси можуть сягнути близько 1 млрд. т), мусковіт-вмістних сланців (близько 500 млн. т), мармуру, малорудних і безрудних кварцитів, сурику, лімоніту, рибекіту, селадоніту та інших мінеральних пігментів, будівельної, гемологічної та колекційної сировини [5, 7, 8, 35].

Таблиця 1.1

Об'єднані мінеральні різновиди порід і руд продуктивної товщі
Первомайського родовища, за [32] зі спрощеннями

Індекс різновиду	Мінеральні різновиди об'єднані	Поширеність, %
1	2	3
1о	кварцити залізнослюдко-магнетитові і магнетит-залізнослюдкові	1,4
2о	кварцити магнетитові червоношаруваті та сірошаруваті	54,7
3о	метасоматити рибекіт-магнетит-егіринові та рибекіт-магнетит-егіринові із залізною слюдкою	0,9
4о	кварцити і метасоматити кумінгтоніт- і рибекіт-вмістні	19,8
5о	біотит-кумінгтоніт-магнетитові і магнетит-біотит-кумінгтонітові сланці	10,1
6о	катаклазити і мілоніти рудні	5,0
7о	брекчії сумісного складу	5,1
8о	катаклазити і мілоніти сумісного складу	3,0

Таблиця 1.2

Балансові запаси залізних руд Первомайського родовища [37]

Категорія	Запаси, тис. т	Номера проб			
		Fe _{заг}	Fe _{маг}	P	S
1	2	3	4	5	6
Балансові руди у контурі кар'єру					
B	172 107	35,6	28,06	0,066	0,139
C ₁	623 720	35,64	27,66	0,056	0,12
B+C ₁	795 827	35,63	27,75	0,059	0,125
C ₂	31 343	37,3	30,2	0,042	0,103
B+C ₁ +C ₂	827 170	35,69	27,84	0,057	0,127
З невизначеним промисловим значенням (за межами проєктного контуру кар'єру)					
C ₂	618 980	34,52	26,13	0,051	0,137

Висновки за 1 розділом

Первомайське родовище Криворізького басейну є одним із важливих об'єктів з видобутку залізних руд в Україні. Геологічна будова родовища досить складна, чому сприяє розташування родовища в зоні перетину Криворізько-Кременчуцького і Девладівського розломів.

Основна частина родовища представлена залізистими кварцитами, які є головними рудоносними породами. Стратиграфічно вони відносяться до саксаганської світи криворізької серії. Також на родовищі присутні сланці, метакластоліти, амфіболіти, тектонічні брекчії. Усі вони за віком є докембрійськими. Перекриті ці породи утвореннями осадового чохла кайнозойського віку.

Оскільки Первомайське родовище розташоване в межах перетину глибинних розломів, то воно являє собою глибоко зруйновану структуру — Первомайську синкліналь, розбиту на чисельні блоки. До 5% від об'єму продуктивної товщі займають тектонічні брекчії, які виступають своєрідним клеєм поміж блоків.

Одним із ключових процесів у формуванні геологічного середовища в межах Первомайського родовища є накладений метасоматоз, який значно змінив хімічний склад порід. По тектонічним розломам відбувалося проникнення натрієвих гідротермальних розчинів, що призвело до перекристалізації первинних залізистих кварцитів, переважно, у егіринові і рибекітові метасоматити. Також на родовищі мав місце рудний метасоматоз, що призвів до формування зон концентрації залізорудної речовини. Локалізовані такі ділянки у зонах прояву тектонічних брекчій.

Окрім залізних руд, запаси яких становлять майже 830 млн т, на родовищі виявлені декілька різновидів металічних і неметалічних корисних копалин.

Складна геологічна будова родовища, широкий набір корисних копалин в його межах, строкатий мінеральний склад основної рудної сировини, обумовлений накладеними процесами — усе це обумовлює складність мінерального аналізу порід і руд як продуктивної товщі родовища, так і оточуючих її верств.

2. ФАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводились з використанням літотечного фонду кафедри геології та екології Криворізького національного університету. Були відібрані 22 штуфних зразка (рис. 2.1-2.3), які представляють залістисті кварцити продуктивної товщі (5-6 залістистий горизонт саксаганської світи криворізької серії) Первомайського родовища Криворізького басейну, а також 17 полірованих і прозорих препаратів, виготовлених з деяких з них. Також був відібраний класифікований дроблений матеріал залістистих кварцитів продуктивної товщі родовища. Дослідження проводили для класів крупності $-0,125+0,071$; $-0,071+0,045$ і $-0,045$ мм.

В роботі було використане таке лабораторне обладнання: мікроскопи МБС-9, Bresser, МП-9, ВН200М-Р, відеоокуляр SIGETA. З метою перевірки можливості адаптації макроскопічного і мікроскопічного опису зразків залізних руд були використані комп'ютерні програми і застосунки: CorelDraw, Microsoft Office для Windows, «Rock Identifier». застосунок «Rock Identifier» [42].

Віртуальні гранулометричні дослідження були проведені за такою методикою. В межах полірованої поверхні шліфа було зроблено дев'ять знімків полів зору мікроскопу при збільшенні 60^{\times} . У подальшому вони були поєднані у загальну панораму з використанням графічного редактору CorelDRAW. Поверх панорами були накладені ряди кіл з діаметром 5 мм і 2,5 мм. Такі значення, з врахуванням збільшення фото, відповідають реальному розміру 0,083 і 0,042 мм, відповідно. Далі, окремо була підрахована кількість кіл, в межах яких: 1) присутній лише магнетит, що відповідає «чистому» уламку рудного мінералу; 2) присутні кварц і магнетит, кількість останнього займає площу кола понад 50%, що відповідає багатим зросткам магнетиту; 3) присутні кварц і магнетит, кількість останнього займає площу кола до 50%, що відповідає бідним зросткам магнетиту. Кола, що представляють різний тип віртуальних уламків («чисті», багаті й бідні зростки) магнетиту, були пофарбовані в різний колір (рис. 2.2). Наступний крок - були підраховані їх кількості, а потім розрахований вміст у об'ємних відсотках.

Для контролю отриманих результатів були проведені гранулометричні дослідження за стандартною методикою [11] по 30 замірів у кожному полірованому препараті, загальна кількість замірів становила 510. Статистична обробка проводилась методом побудови гістограм за методикою описаною в роботі [20].

Отримані гранулометричні дані за двома методами були порівняні з результатами визначення ступеня розкриття магнетиту у подрібненому матеріалі залістистих кварцитів продуктивної товщі Первомайського родовища. Використовувалася формула відношення частки «чистих» уламків магнетиту до суми часток усіх уламків, що містять магнетит, віднесене до 100% (формула 2.1).

$$S_{роз}^M = (Ч_ч / (Ч_ч + \Sigma Ч_{зр})) \cdot 100, \text{ де} \quad (2.1)$$

$S_{роз}^M$ — ступінь розкриття магнетитових індивідів, %;

$Ч_ч$ — частка «чистих» уламків магнетиту, об.%;

$\Sigma Ч_{зр}$ — сума часток багатих та бідних зростків магнетиту, об.%;

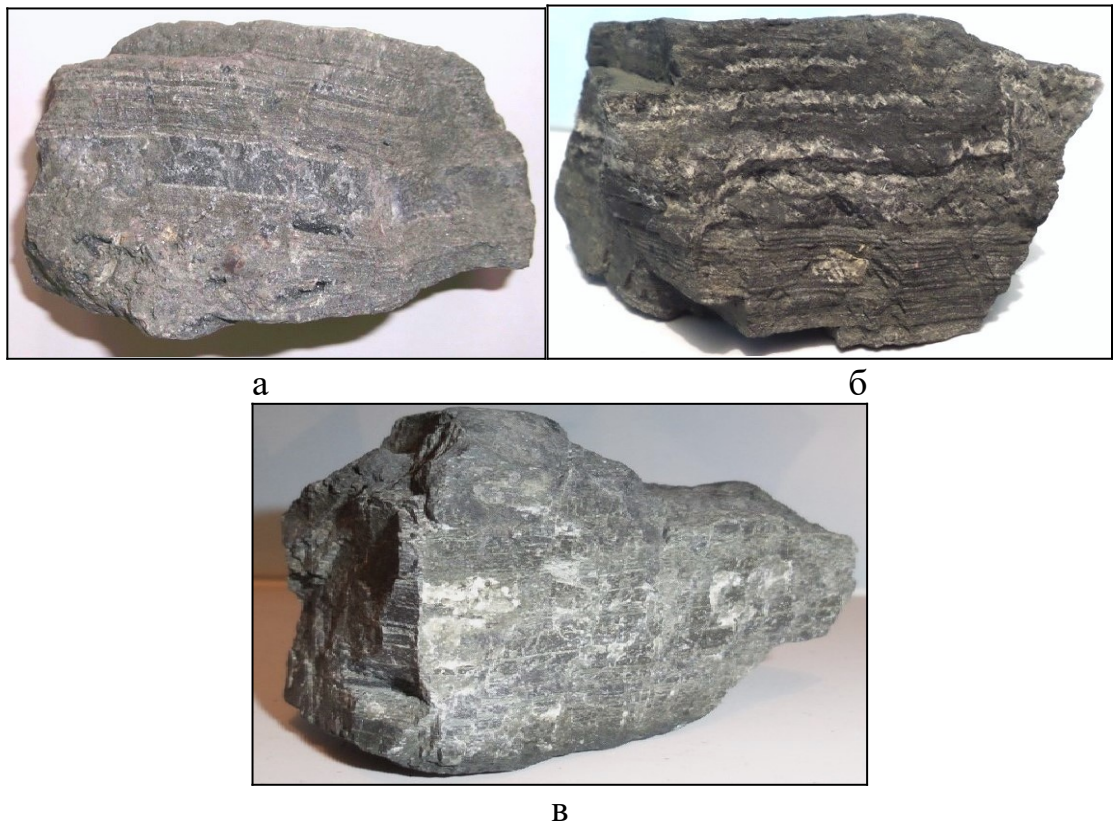


Рис. 2.1. Кварцит сірошаруватий. Проби П.5 (а), П.12 (б), П.15 (в).

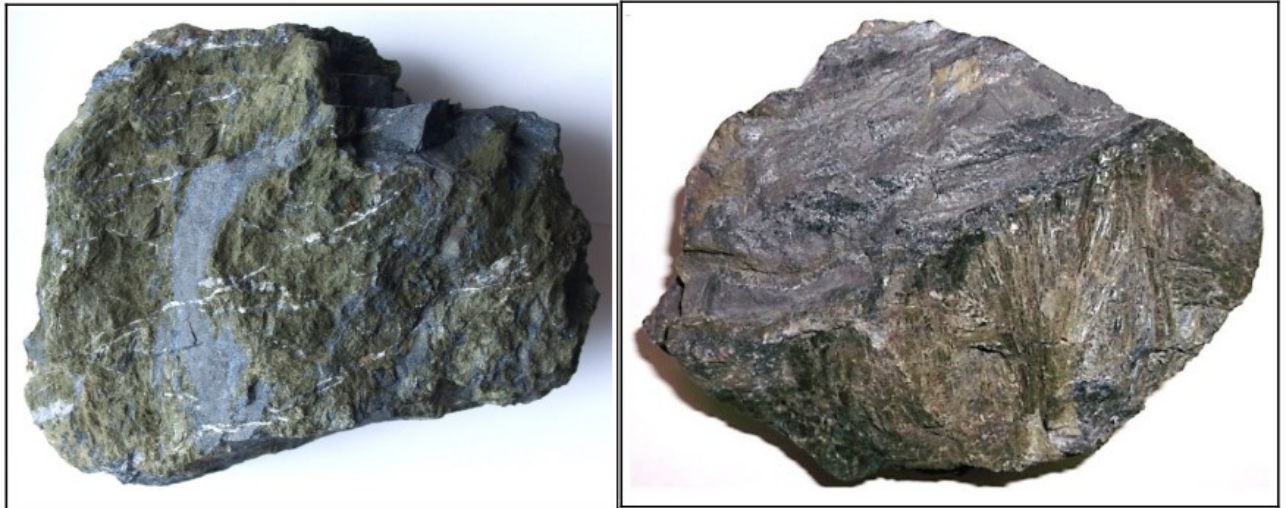


Рис. 2.2. Метасоматит рибекіт-егіриновий. Проби П.1 (а), П.6 (б).



а

б



в

г

Рис. 2.2. Тектонічна брекчія. Проби П.2 (а), П.10 (б), П13 (в), П14 (г).



а

б



в

г

Рис. 2.3. Кварцит червоно-сірошаруватий. Проби П.3(а), П.9(б), П.11 (в), П.14 (г).



а

б

Рис. 2.4. Кварцит червоно-сірошаруватий егірінізований. Проби П.4 (а), П.20 (б).

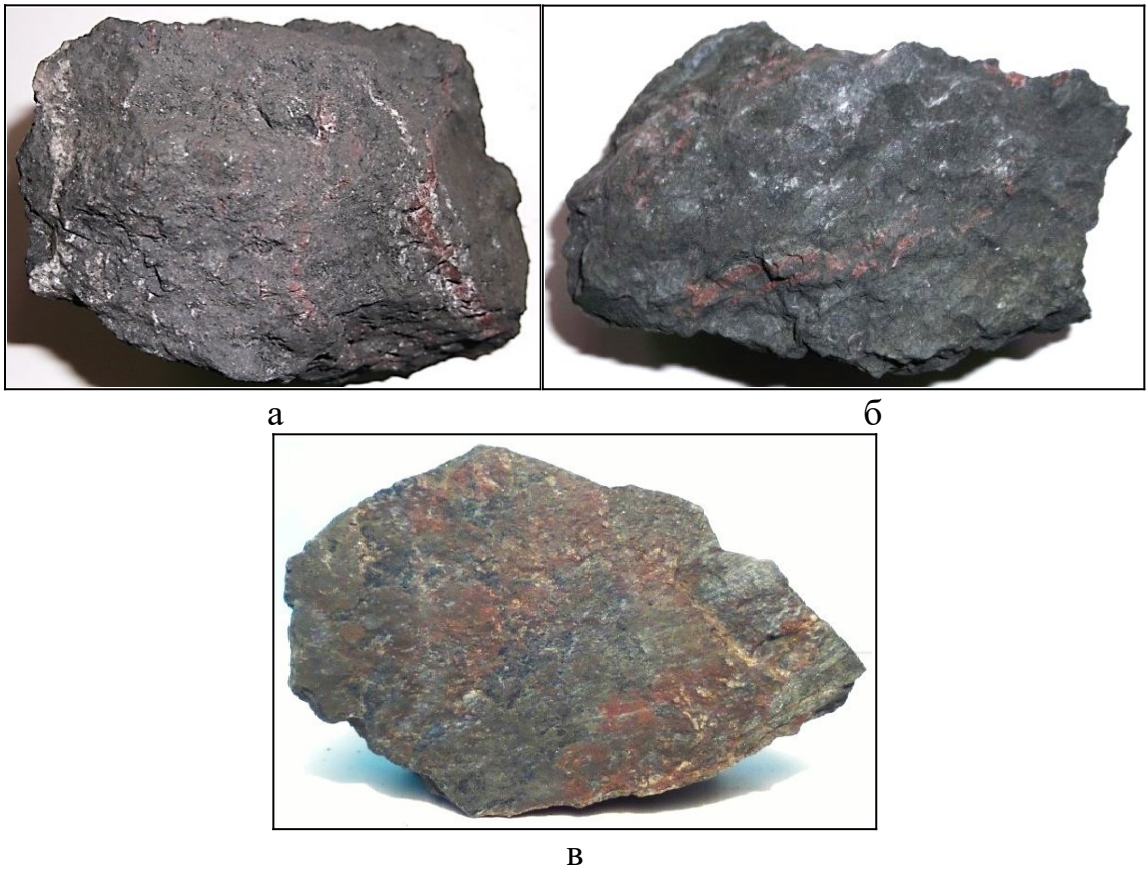


Рис. 2.5. Катаклазит. Проби П.7 (а), П.8. (б), П.19 (в).

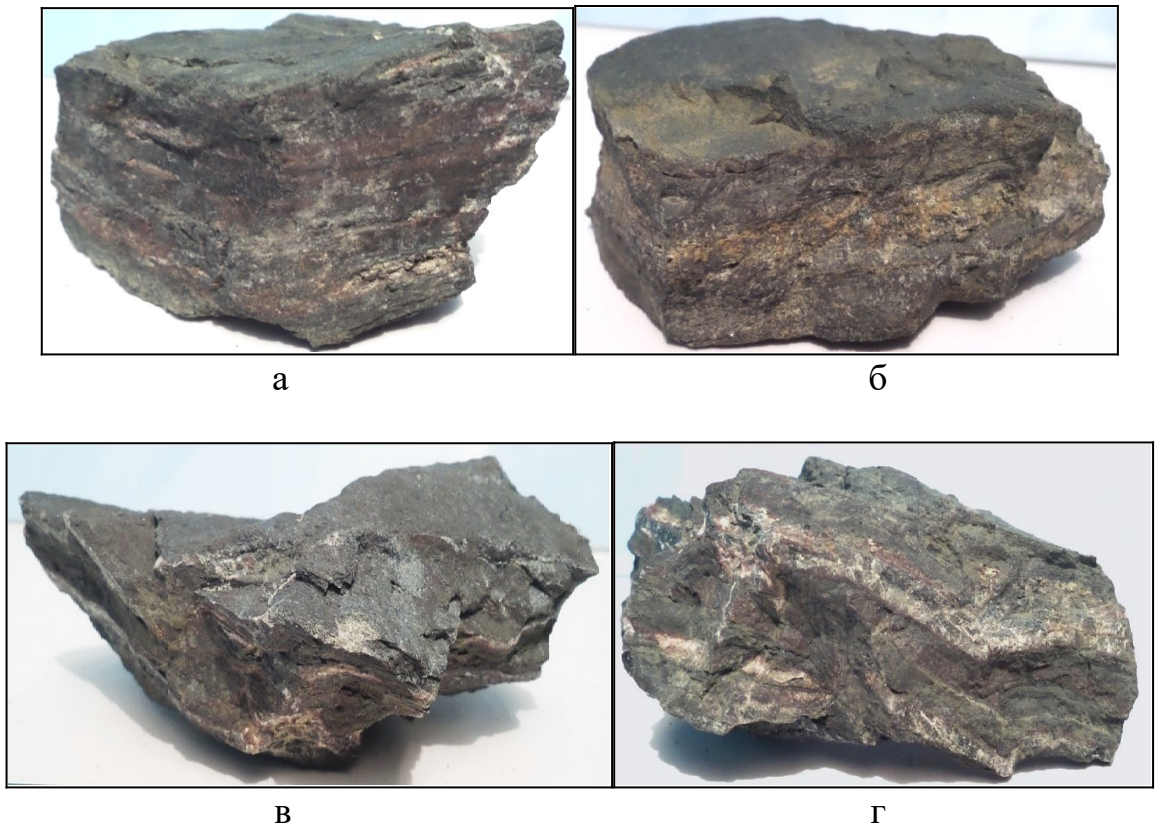
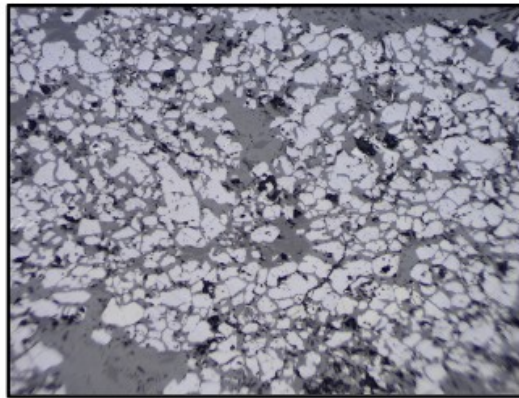
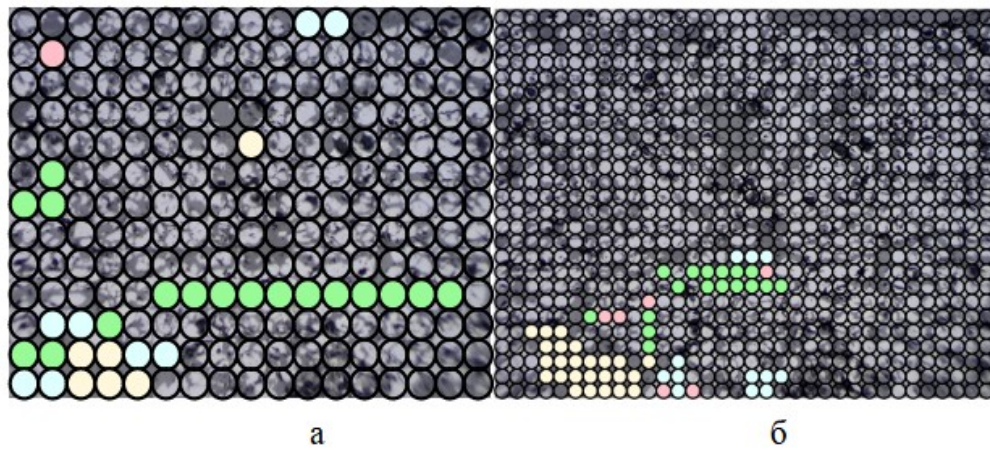


Рис. 2.6. Кварцит силікат-магнетитовий зелено-червоно-сірошаруватий. Проба П.17 (а), П.18 (б), П.21 (в), П.22 (г).



- — «чистий» уламок магнетиту ● — багатий зросток магнетиту
● — бідний зросток магнетиту ● — уламок без магнетиту

Рис. 2.7. Схема методу віртуального уламку.

а — кола відповідають реальному розміру 0,083 мм; *б* - кола відповідають реальному розміру 0,042 мм; *в* — вихідне мікрображення залістого кварциту у відбитому світлі; збільшення $60\times$.

Список і обсяги виконаних автором кваліфікаційної роботи завдань наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Перелік виконаних робіт та використаного фактичного матеріалу	
Види робіт	Об'єми
1	2
аналіз інформаційних джерел	42 джерела
віртуальна діагностика зразків кварцитів	22 зразка
віртуальний мінералогічний аналіз у прохідному і відбитому світлі	34 препарати
мікро- і макрофотографування	167 знімків
цифрова обробка світлин	167 знімків
гранулометричний аналіз за допомогою окуляр-мікрометра	510 значень
гранулометричний аналіз методом віртуального уламку	153 поля мікроскопу
визначення ступеня розкриття	9 проб по 3 класи крупності, у кожному аналізувались 100 уламків
оформлення рукопису	1 рукопис
оформлення презентації	1 презентація

Висновки за 2 розділом

Комплекс застосованих методів і обсяг фактичного матеріалу свідчать про достовірність отриманих результатів, які висвітлені у розділі 3. А також підтверджують повноту виконання завдання, поставлених автором кваліфікаційної роботи для досягнення мети дослідження.

3.

АДАПТАЦІЯ МЕТОДИКИ МІНЕРАЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ЗАЛІЗНИХ РУД В УМОВАХ СУЧАСНИХ РИЗИКІВ НА ПРИКЛАДІ ПЕРВОМАЙСЬКОГО РОДОВИЩА КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

3.1. Аналіз інформаційних джерел за темою роботи

Питанням можливості застосування віртуальних технологій для вивчення мінеральної сировини піднімалося у багатьох публікаціях впродовж останніх десятиліть. Не стояли осторонь цього співробітники і здобувачі освіти Криворізького національного університету. В роботі [17] описані спроби провести віртуальний аналіз мікрозображень руди для визначення її мінерального складу. Автори пропонували застосовувати прикладні неспеціалізовані комп'ютерні програми для аналізу зображень фосфоританової сировини з деяких родовищ України.

Питанню комп'ютерного визначення відбитної здатності головних мінералів залізних руд для їх діагностики і виявлення типоморфних ознак присвячена робота [6]. Автори описали досвід використання програмного пакету CorelDraw для виявлення різниці у кількості відбитого світла гематитом, кварцом і магнетитом на цифрових мікрозображеннях полірованих шліфів, які були виготовлені із сировини Глеюватського родовища Криворізького басейну.

У повідомленні на науково-практичній конференції [17] містяться результати гранулометричного аналізу титаномагнетитових руд Кропивнянського родовища Житомирської області України за методикою віртуального уламка. Порівнявши дані про розмірність індивідів титаномагнетиту, отримані за допомогою комп'ютерних технологій і традиційного мінераграфічного методу (вимірювання окуляр-мікрометром), автори дійшли висновку про високу ефективність віртуального гранулометричного аналізу.

Публікація [27] присвячена виявленню характерних рис тріщинуватості індивідів гранату зі сланців Ганнівського родовища Кривбасу за допомогою прикладної комп'ютерної програми PLTV.

В роботі [19] наведено узагальнення досвіду дослідження фосфоританових руд студентами-геологами за допомогою неспеціалізованих комп'ютерних програм з відкритим доступом. Показана можливість

вивчення оптичних властивостей, особливостей внутрішньої будови окремих мінералів і кількісного складу руд загалом.

Особливе посилення уваги до проблеми віртуального дослідження корисних копалин відбулося у зв'язку з масовим переходом навчання на дистанційну форму, що було вимушеним заходом протистояння пандемії Ковід-19. Так, у трьох публікаціях В. М. Харитонова за 2022 р. зазначається про збільшення ролі віртуальних колекцій зразків корисних копалин для підготовки здобувачів вищої освіти в умовах воєнного стану [21], віртуальної мікроскопії як інноваційної трансформації освіти в сучасних умовах [22]. А також описано досвід використання ресурсу «Віртуальний мікроскоп відкритого університету Сполученого Королівства Великобританії та Північної Ірландії» для вивчення петрографії і мінераграфії здобувачами вищої освіти спеціальності 103 Науки про Землю [23].

В роботі [29] зазначено про важливість оперативного визначення розміру частинок руди на основі аналізу її зображень. Адже, за висловом авторів, ручний метод гранулометричного аналізу передбачає багато етапів і займає тривалий період часу. На противагу, система визначення розмірності руди по комп'ютерним зображенням, є швидкою, точною та адаптованою. Технологія комп'ютерного бачення, яку описують вчені, реалізує визначення розміру частинок руди в режимі онлайн із можливістю розрахунку розподілу частинок за розміром. Контроль похибки між віртуальним просіюванням і реальним гранулометричним аналізом, проведений на прикладі цеху дроблення збагачувальної фабрики, показав, що онлайн система може точно визначити розподіл частинок руди за розміром.

У публікації [30] наведені статистичні дані застосування віртуальної обробки зображень у гірничодобувній галузі з 1988 по 2021 рік (рис 3.1). До 2014 року кількість публікацій, присвячених питанню комп'ютерної обробки зображень у гірництві, збагаченні, геології, мінералогії та інших науках була менше ніж 100 на рік. З 2014 по 2021 рік кількість наукових статей неухильно зростала і у 2019 році досягла понад 200 за рік. Після 2010 року до віртуального аналізу зображень гірничої маси стали залучати нейронні мережі. Також автори навели опис принципової схеми автоматичного аналізу зображень, який базується на теорії комп'ютерного зору. До схеми входять: оптичне зображення, обробка візуальної інформації, штучний інтелект та електромеханічна інтеграція. У висновку вчені відзначають, що практичне застосування обробки зображень має велике значення для майбутніх розробок у галузі гірничої промисловості.

З аналізу попередніх публікацій можна зазначити, що проблема комп'ютеризації досліджень мінеральної сировини є актуальною і повністю досить не вирішеною. Особливо в напрямку гранулометричних досліджень. Вчені ще намагаються вдосконалити методики, додавши можливості штучного інтелекту, що бурхливо розвивається. Важливість зазначеного прикладного питання посилюється необхідністю впроваджувати віртуальні методи дослідження сировини при дистанційній формі підготовки фахівців. У зв'язку з чим тема публікації є актуальною.

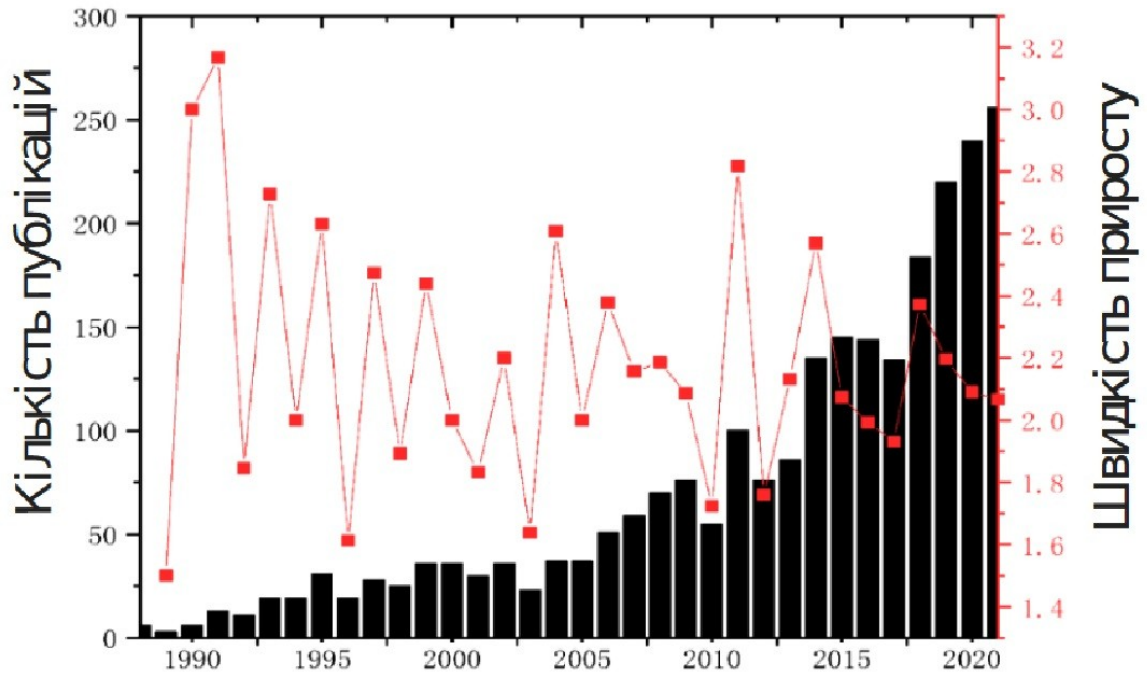


Рис 3.1. Кількість публікацій щороку та темпи зростання з 1988 по 2021 рік. За даними [30].

3.2. Адаптація методики діагностики мінералів

3.2.1. Макроскопія

Для проведення дистанційної діагностики різноманітних корисних копалин, у тому числі залізних руд, зручно використовувати застосунок «Rock Identifier» (Ідентифікатор породи). Він дозволяє базуючись на чисельній базі фотографій зразків провести визначення порід та окремих мінералів.

Для цього дослідник робить фото зразка і застосунок надає декілька варіантів його назви, кожна з яких супроводжується базовою характеристикою: колір, твердість, тип структури, прозорість, склад тощо.

Якщо жоден з варіантів не підходить, то є можливість знайти самостійно подібне зображення в інтернет (рис. 3.2).

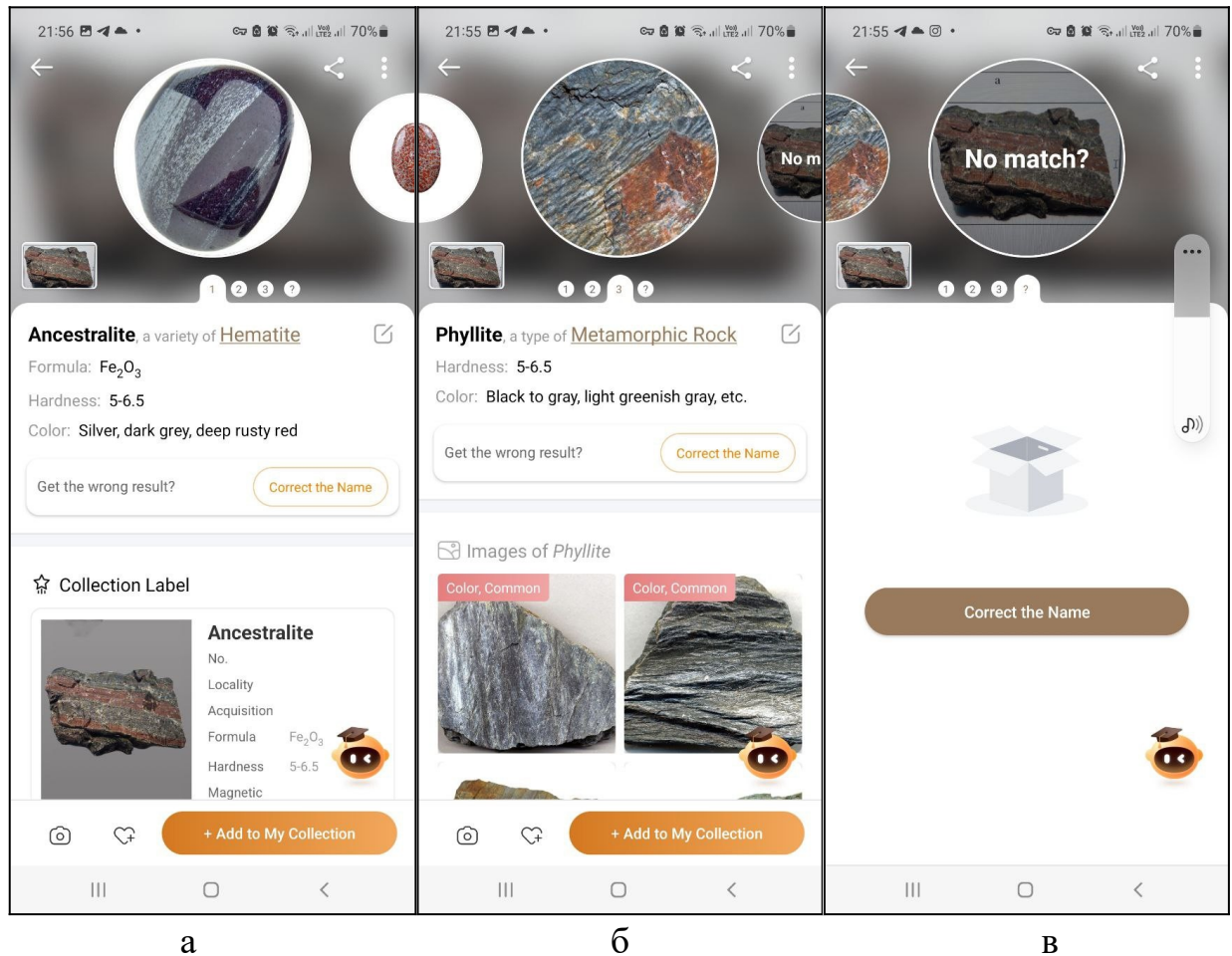


Рис. 3.2. Скриншоти з монітору смартфона під час роботи у застосунку «Rock Identifier».

а — перший варіант назви зразка, який діагностується; варіант наближений, але не зовсім задовольняє, оскільки відповідає назві лише одному мінералу, який міститься дослідженому зразку — гематиту;

б — варіант «філіт» зовсім не підходить;

в — закладка з функцією додайте коректну (правильну) назву.

Якщо подібне фото не буде знайдено, або жодний з варантів далекий від істинного визначення, то дослідник має можливість самостійно ввести назву і основні характеристики.

Таким чином, можна скласти особистий каталог, зразки з якого потім можна використати для ідентифікації інших зразків.

Серед додаткових функцій застосунку є

- можливість роботи у офлайн-режимі, для цього слід завантажити базу фото попередньо. Також ця функція доступна при використанні особистого каталогу;
- професійна соціалізація - обмін світлинами зразків з представниками геологічної спільноти;
- пошук мінералів за назвою для додаткового вивчення.

За необхідності певні зображення можна видалити, для чого слід натиснути 3 крапки у нижньому правому куті непотрібне зображення та вибрати функцію «delete» (рис. 3.3).

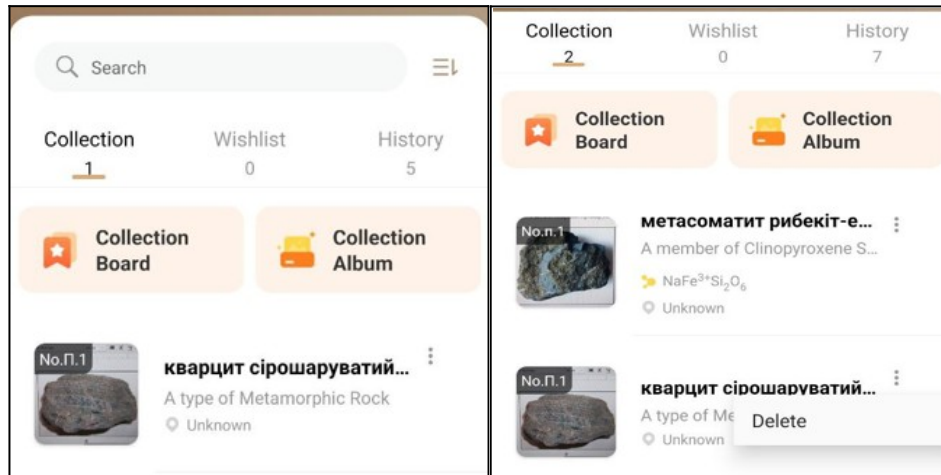


Рис. 3.3. Функція «видалити».

Отже, «Rock Identifier» дозволяє працювати з нещодавно зробленим фото, а також вибрати його зі свого каталогу, або з галереї смартфона.

Застосунок доступний для встановлення на гаджетах з системами iOS та Android.

Автор кваліфікаційної роботи створив каталог фото зразків кварцитів і супутніх їм порід з продуктивної товщі Первомайського родовища (рис. 3.4).

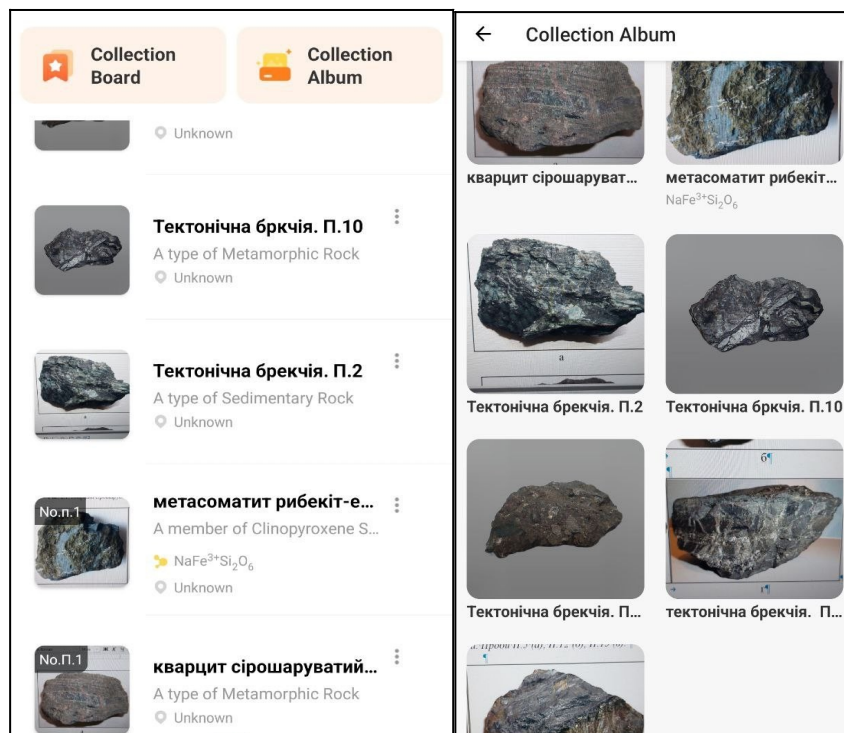


Рис. 3.4. Скриншот з особистим каталогом у вигляді колекційної дошки (а) та колекційного альбому (б).

Завдяки такому каталогу можна проводити віртуальну діагностику зображень залізистих кварцитів, натрієвих метасоматитів, тектонічних брекчій, катаклазитів. Поповнивши каталог більшою кількістю зразків можна провести більш точну діагностику зразка, який буде описуватися у подальшому.

3.2.2. Мікроскопія у прохідному і відбитому світлі

Стандартне вивчення корисних копалин, у тому числі залізних руд, проводять у прохідному і відбитому світлі. Для дослідження зразків на просвіт виготовляють тонкі прозорі препарати — шліфи. Нами були вивчені 17 шліфів за допомогою поляризаційного мікроскопу МП-9. Дослідження проводилися у поляризованому світлі при паралельних та схрещених ніколях. Були виявлені кварц, кумінгтоніт, рибекіт, егірин, карбонат (рис. 3.5-3.7). У відбитому світлі були встановлені магнетит, гематит (мартит, залізна слюдка), кварц, карбонат, гранат (рис. 3.8-3.10).

Далі, мікрофотографії поля зору мікроскопу завантажувались у застосунок «Rock Identifier». Серед запропонованих варіантів вірних не пропонувалося жодного разу. Необхідно було самостійно вводити коректну назву.

Основною причиною цього, на нашу думку, є обмеження алгоритму пошуку «Rock Identifier», який орієнтований на макроскопічне розпізнавання гірських порід, а не на аналіз мікроскопічних зображень.

Можливими заходами з вирішення зазначеної проблеми є такі.

1. Розширити базу даних застосунку додавши мікрофотографії типових мінералів, структур та текстур залізистих кварцитів.
2. Створити особистий каталог, до якого додавати мікрофотографії вручну разом з описом, наприклад, з літературних джерел або каталогів з літотечних фондів науково-дослідних установ чи музеїв.

Нами була прийнята спроба створити такий особистий каталог. Мікрозображення прозорих і полірованих шліфів були з успіхом додані у разом із супровідною інформацією. У застосунку є можливість у подальшому корегувати інформацію до кожного зображення. Окрім назви, можна додати місце локації, режим спостереження (прохідне чи відбитне світло, один чи два ніколі, збільшення), описати властивості присутніх на фото мінералів. До особистого каталогу можна додавати фото зроблені заздалегідь і з попередньо нанесеними на них символами назв мінералів або одразу після фотографування (рис. 3.11, 3.12).

Також є можливість додати декілька мікрофото наближених за змістом. Наприклад, різні ділянки одного шліфа.

Далі, при роботі з особистим каталогом, можна відшукати зображення необхідних мінералів користуючись пошуком (рис. 3.13.).

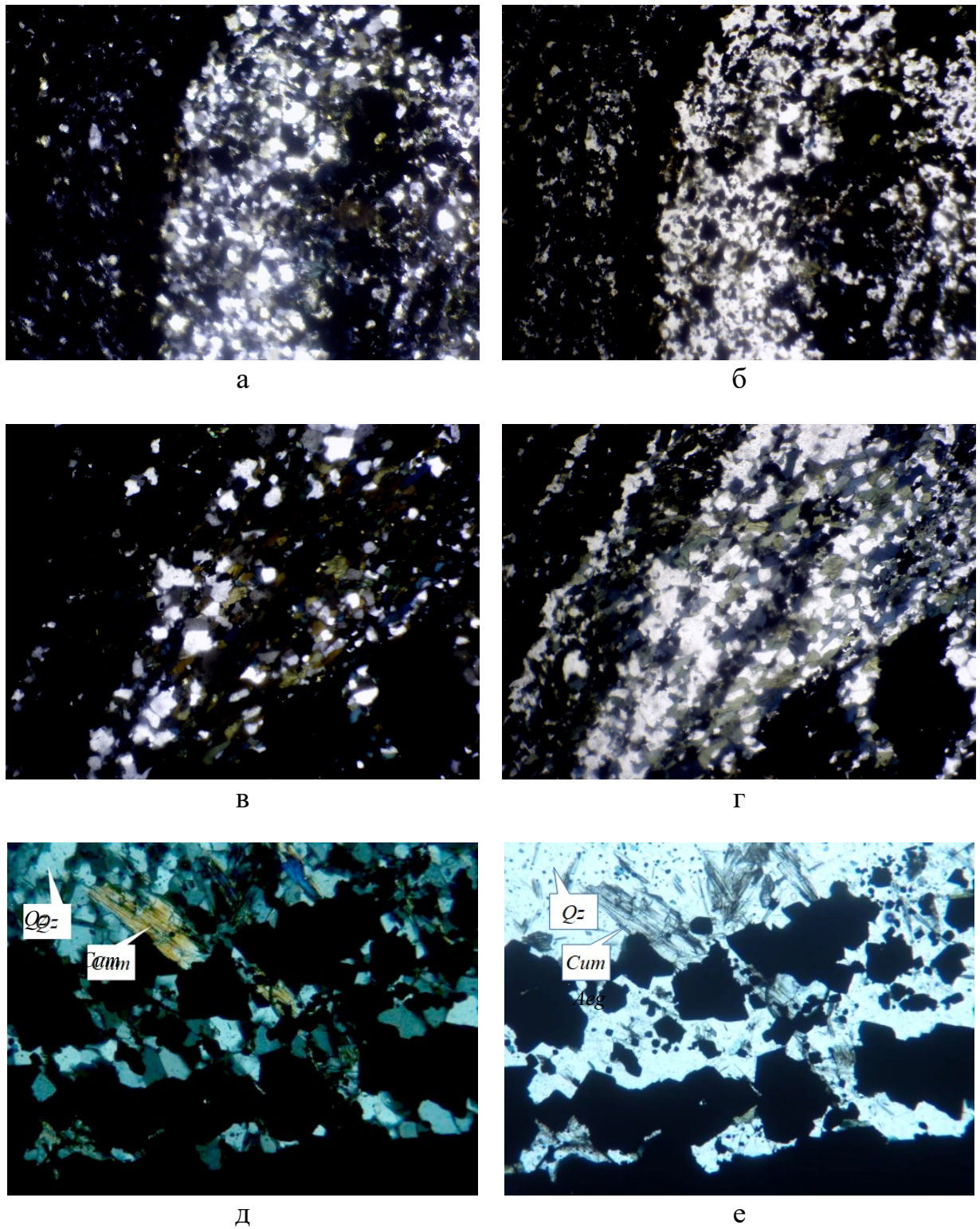
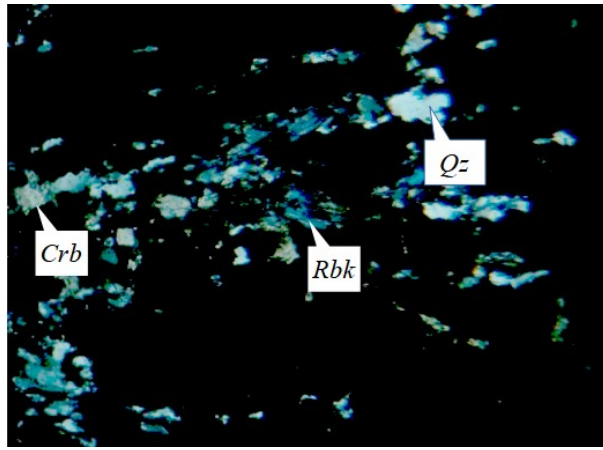


Рис. 3.5. Мінерали кварциту сірошаруватого у прохідному світлі. Збільшення 60^x.

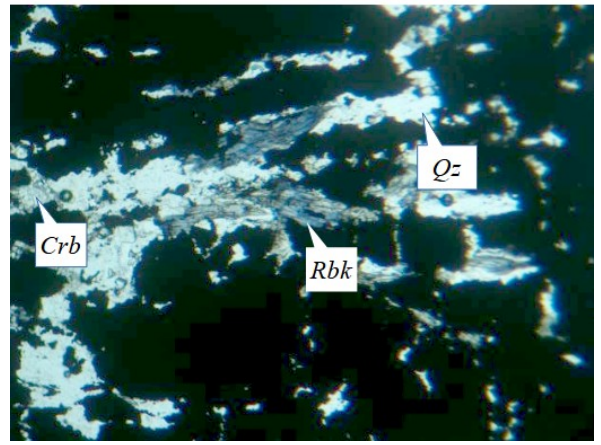
а, б - проба П.5; в, г — П.15; д, е — проба П.12.

а, в, д — ніколи схрещені; б, г, е — ніколи паралельні.

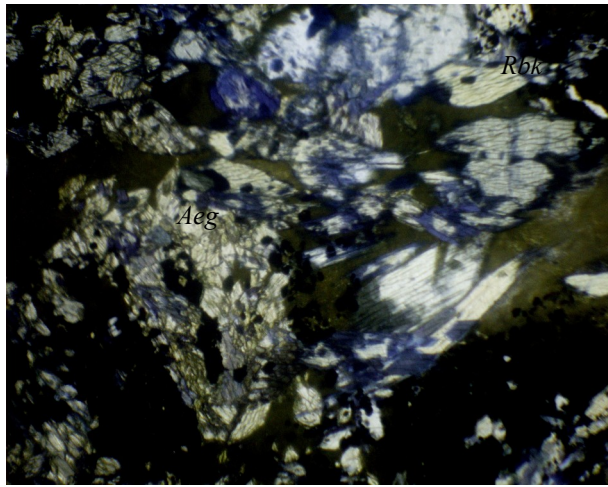
Qz — кварц; Cum — кумінгтоніт; Aeg — егірин; Rbk — рибекіт.



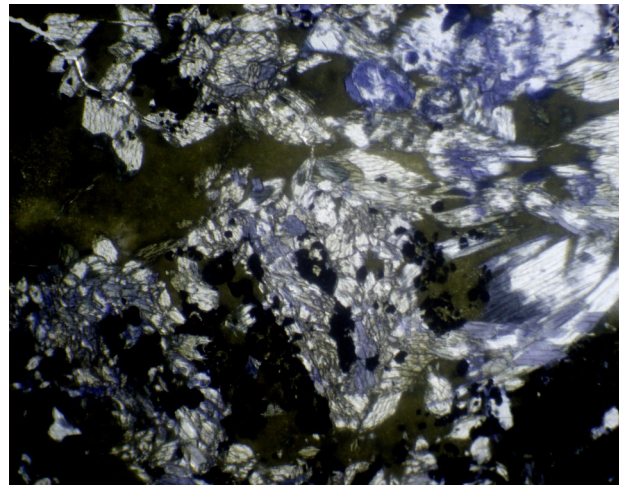
а



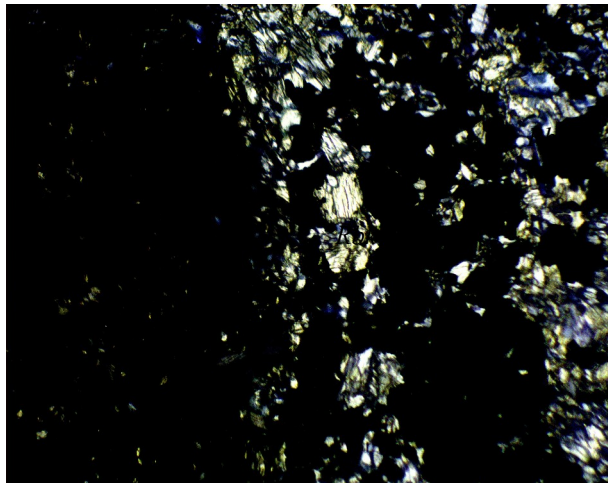
б



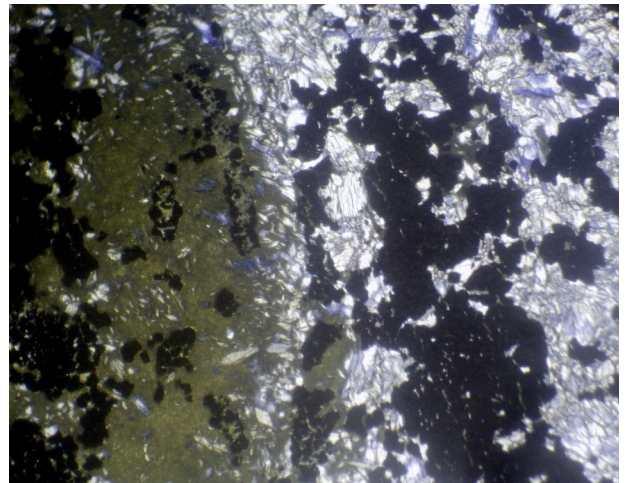
в



г



д



е

Рис. 3.6. Мінерали метасоматиту рибекіт-егіринового у прохідному світлі. Збільшення $60\times$.

а, б — проба П.1; в-е — П.6.

а, в, д — ніколи схрещені; б, г, е — ніколи паралельні.

Qz — кварц; Cmt — кумінгтоніт; Aeg — егірин; Rbk — рибекіт; Crb — карбонат.

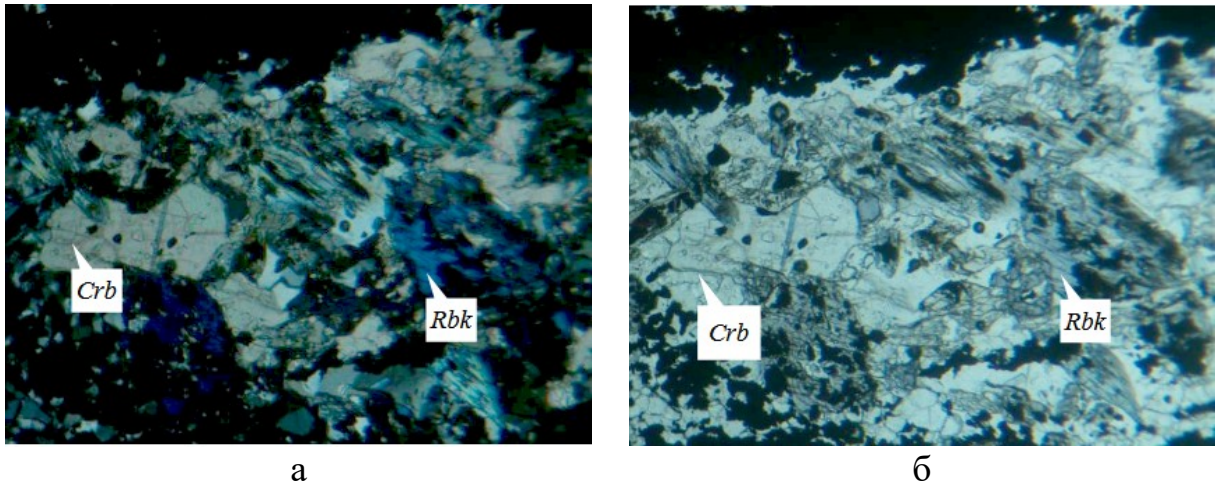


Рис. 3.7. Фрагмент кварц-рибекіт-карбонатного прожилку у метасоматиті рибекіт-егіриновогому. Проба П.1. Збільшення $60\times$.
 а — ніколи схрещені; б — ніколи паралельні.
 Rbk — рибекіт; Crb — карбонат.

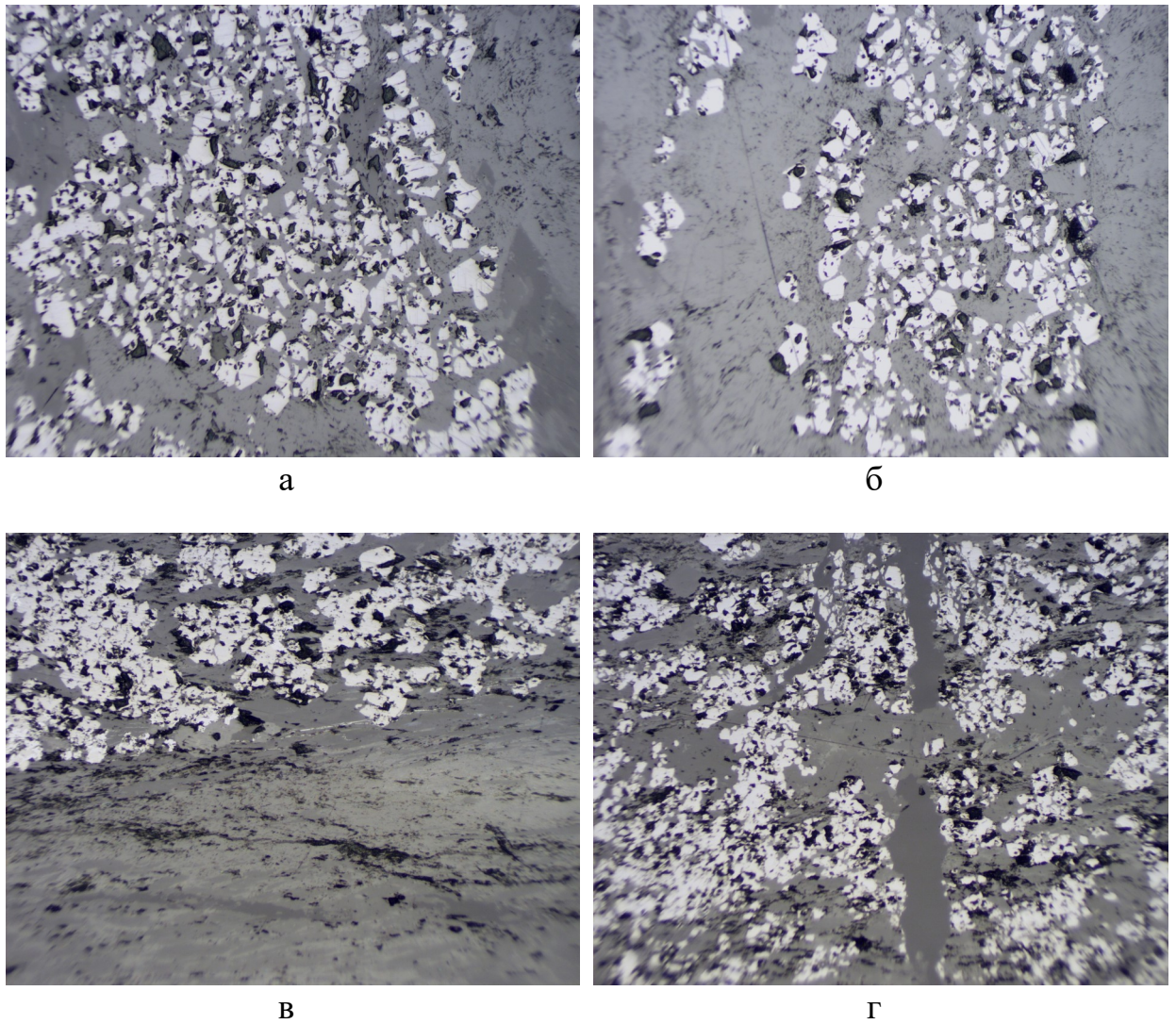


Рис. 3.8. Мінерали досліджених кварцитів у відбитому світлі. Збільшення $60\times$.

Продовження підпису до рис. 3.8

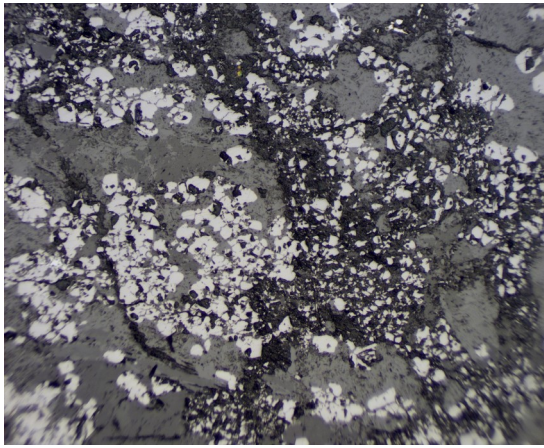
а – переважно магнетитовий прошарок; проба П.15;

б – перешарування магнетитового і нерудних (переважно кварцових) прошарків; проба П.12;

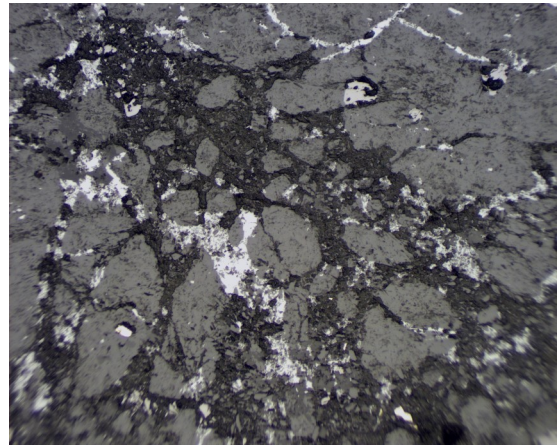
в – контакт кварц-магнетитового і сланцевого (хлорит, кумінгтоніт) прошарків; проба П.15;

г – січний по відношенню шаруватості породи (кварцовий?) прожилок; проба П.22.

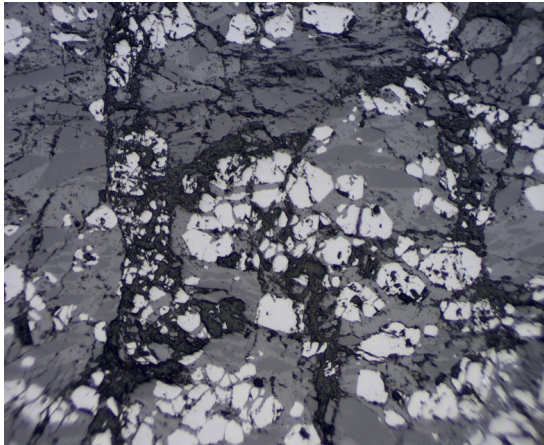
Темно-сіре — кварц; сіре — силікати (хлорит, кумінгтоніт, рибекіт, егірін); світло-сіре — магнетит.



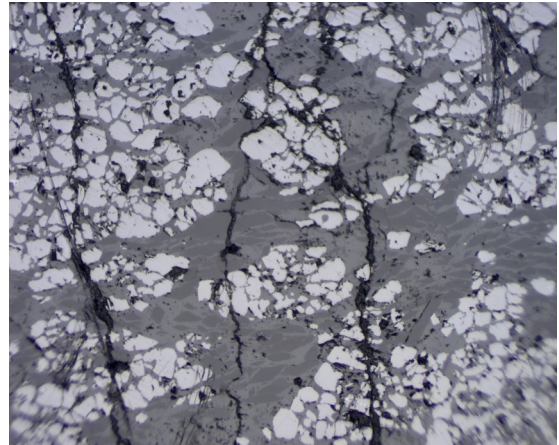
а



б



в

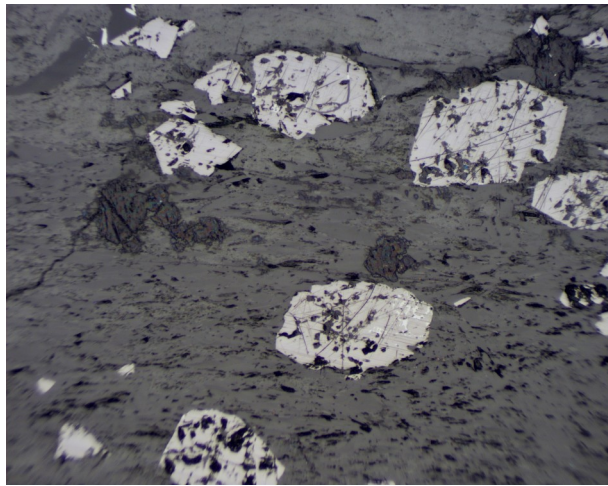


г

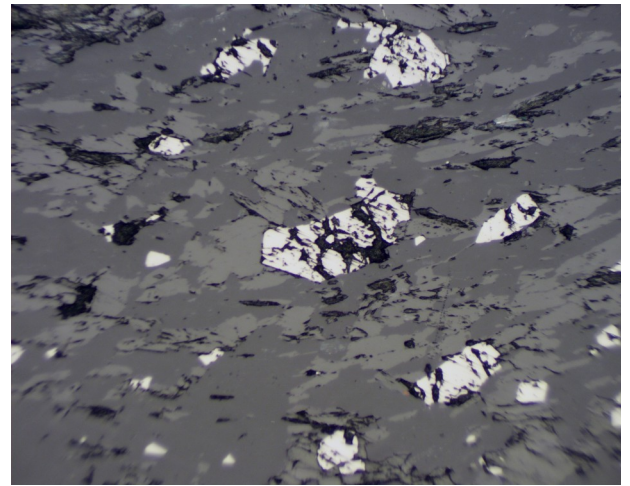
Рис. 3.9. Мінерали досліджених тектонічних брекчій і катаклазитів у відбитому світлі. Збільшення $60\times$.

а – проба П.2; *б* – проба П.10; *в* – проба П.14; *г* – проба П.19.

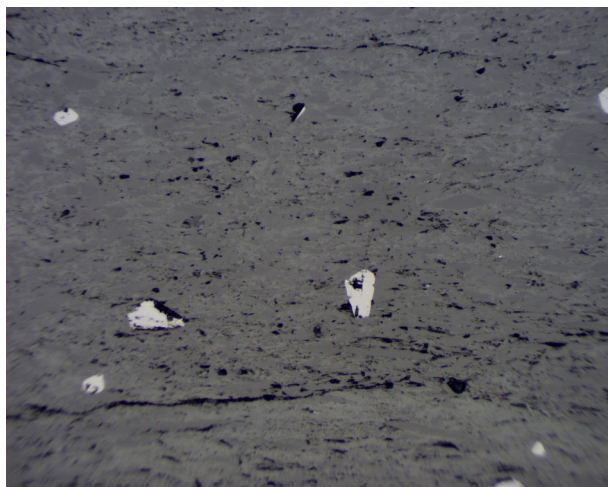
Темно-сіре — кварц; сіре — силікати (хлорит, кумінгтоніт, рибекіт, егірін); світло-сіре — магнетит; біле — гематит.



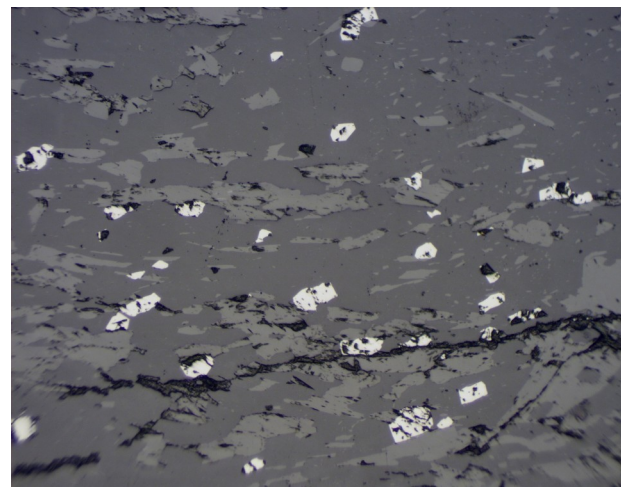
а



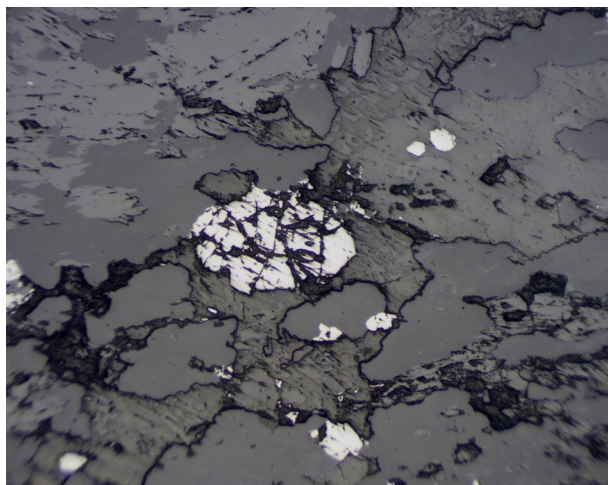
б



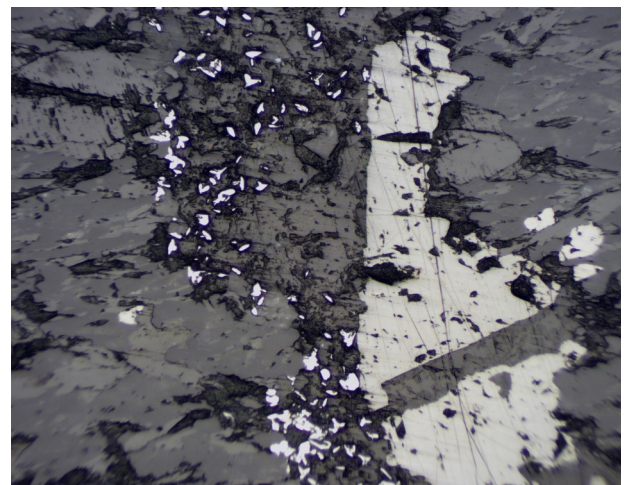
в



г



д



е

Рис. 3.10. Рудні мінерали заліза у нерудних прошарках і прожилках досліджених кварцитів у відбитому світлі. Збільшення $60\times$.

а – зерна гранату та магнетиту у сланцевому прошарку; деякі магнетитові індивіди мартитизовані (в центрі кадру); проба П.22;

б – зерна магнетиту у переважно кварцовому прошарку; проба П.17;

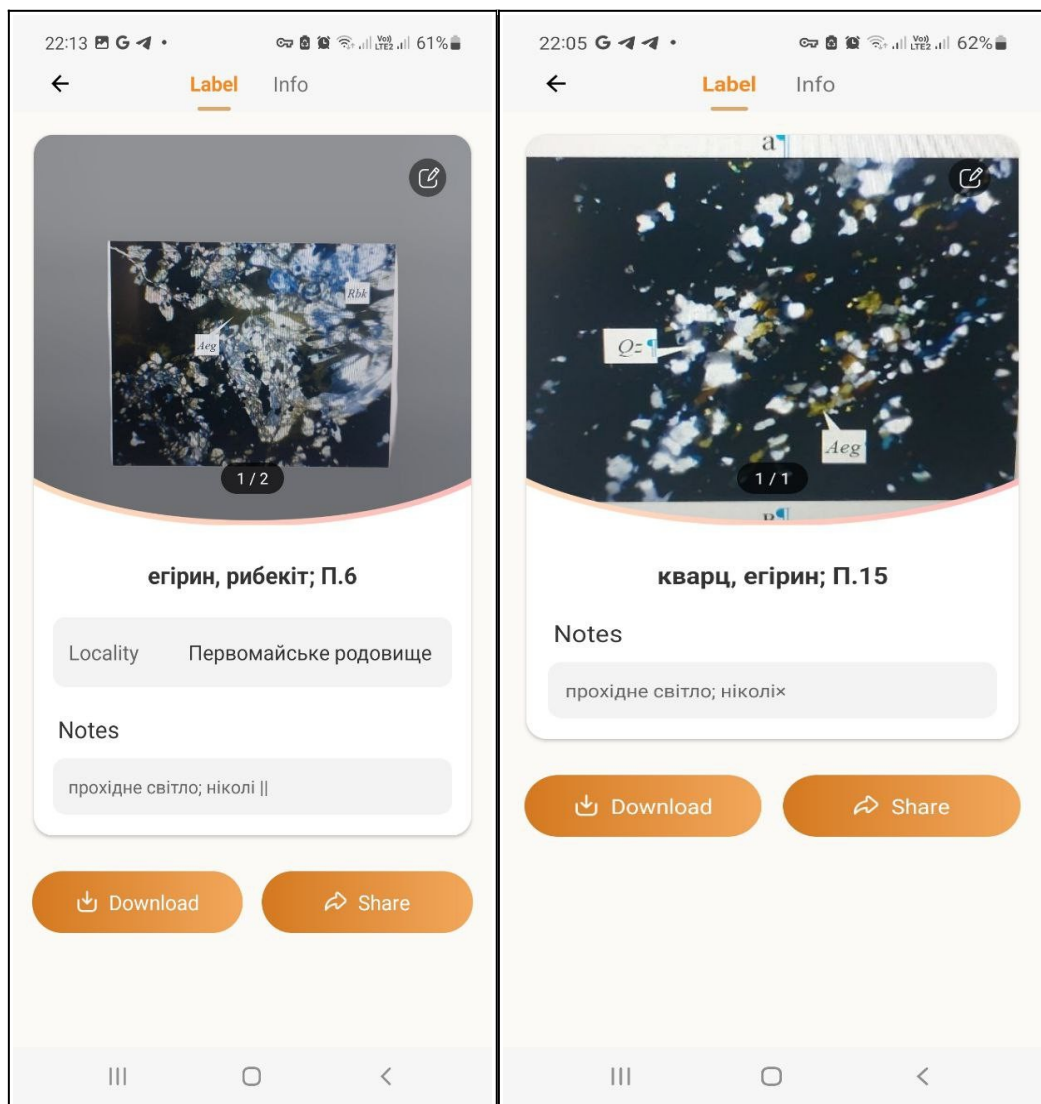
Продовження підпису до рис. 3.10

в, г – дрібні зерна магнетиту у сланцевому (*в*) і переважно кварцевому (*г*) прошарках; проба П.21;

д – зерна магнетиту у кварц-карбонатному січному прожилку; проба П.18.

е – зерна магнетиту та гематиту у кварц-карбонатному січному прожилку; проба П.22.

Темно-темно-сіре — гранат; темно-сіре — кварц; сіре — силікати (хлорит, кумінгтоніт, рибекіт, егірин); світло-сіре — магнетит; біле — гематит (залізна слюдка).



а

б

Рис. 3.11. Скриншот з мікрображенням мінералів у прозорих шліфах, виготовлених зі зразків натрієвих метасоматитів (а) і залістих кварцитів (б) Первомайського родовища.

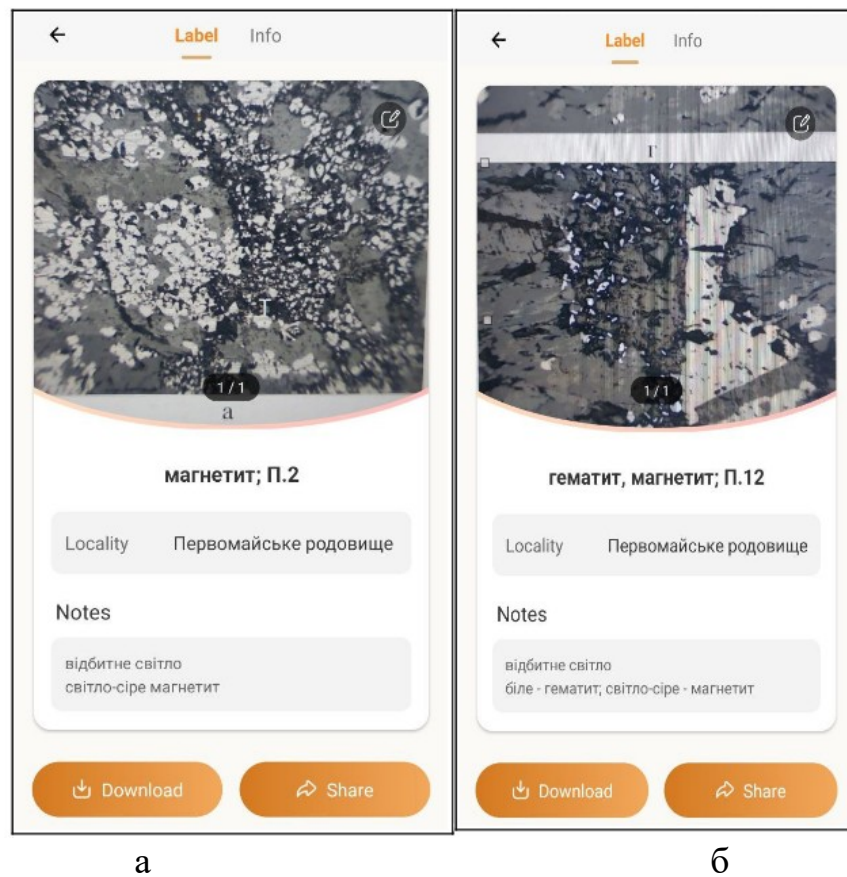


Рис. 3.12. Скриншот з мікрображенням мінералів у прозорих шліфах, виготовлених зі зразків тектонічної брекчії (а) і залізистих кварцитів (б) Первомайського родовища.

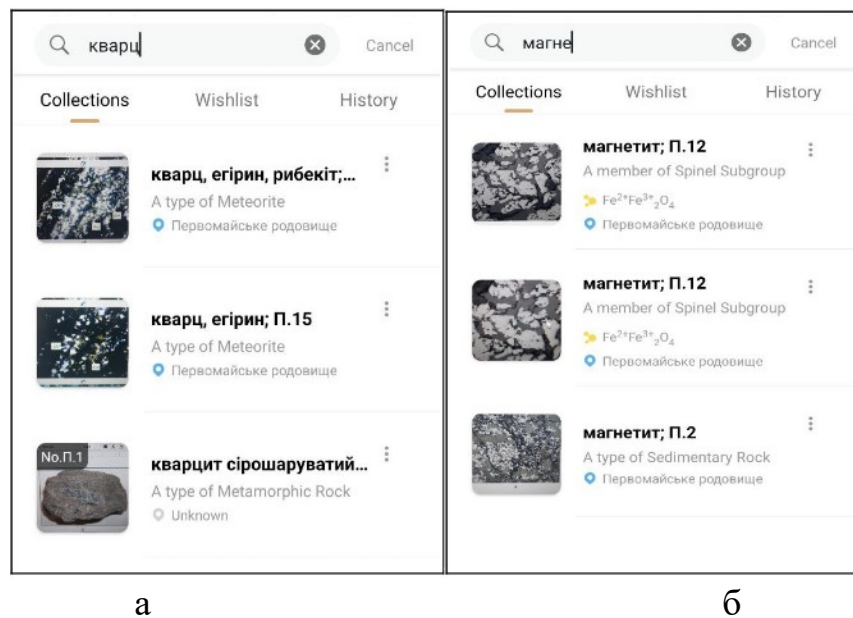


Рис. 3.13. Скриншот, демонструє можливість пошуку фото з мікрображенням мінералів у прозорих (а) і полірованих (б) шліфах за назвою.

Таким чином, відсутність коректних результатів від застосунку, підкреслює важливість знань з петрографії та мінераграфії. Технології автоматичного аналізу спрощують діагностику, проте у складних випадках, наприклад мікроскопічне вивчення залізородної сировини метаморфічного генезису, людський фактор залишається ключовим.

3.3. Адаптація гранулометричного аналізу

Опанування методикою вимірювання розміру індивідів у відбитому чи прохідному світлі є невід'ємною складовою підготовки здобувачів вищої освіти спеціальності 103 Науки про Землю за ОПП Геологія у Криворізькому національному університеті. Зараз вища освіта в Україні, як інші сфери діяльності, вимушена адаптуватися до сучасних викликів. Обмеження доступу до лабораторій можна компенсувати впровадженням віртуальних технологій проведення мінералогічних досліджень, зокрема гранулометричного аналізу зерен рудних мінералів.

Отримані методом віртуального уламку гранулометричні дані (табл. 3.1) свідчать, що при більшій крупності уламків частка багатих зростків магнетиту перевищує частку бідних. А при дрібнішому розмірі уламків, виявлене зворотне відношення зростків магнетиту.

Таблиця 3.1

Характер віртуальних уламків залізистих кварцитів (Первомайське родовище, Криворізький басейн)

Розмір уламків, мм	Середній вміст уламків (об.%)			
	з магнетитом			без магнетиту
	«чисті» уламки	багаті зростки	бідні зростки	
0,083	67,76	9,84	11,31	11,09
0,042	73,34	3,16	2,29	21,21

Після статичної обробки гранулометричних даних, отриманих за допомогою окуляр-мікрометра було визначено, що переважні значення розміру перетинів індивідів магнетиту у площині полірованого шліфа, коливаються в інтервалі 0,012-0,086 мм — 372 значення, що становить 72,9 % від загальної кількості замірів (рис. 3.14).

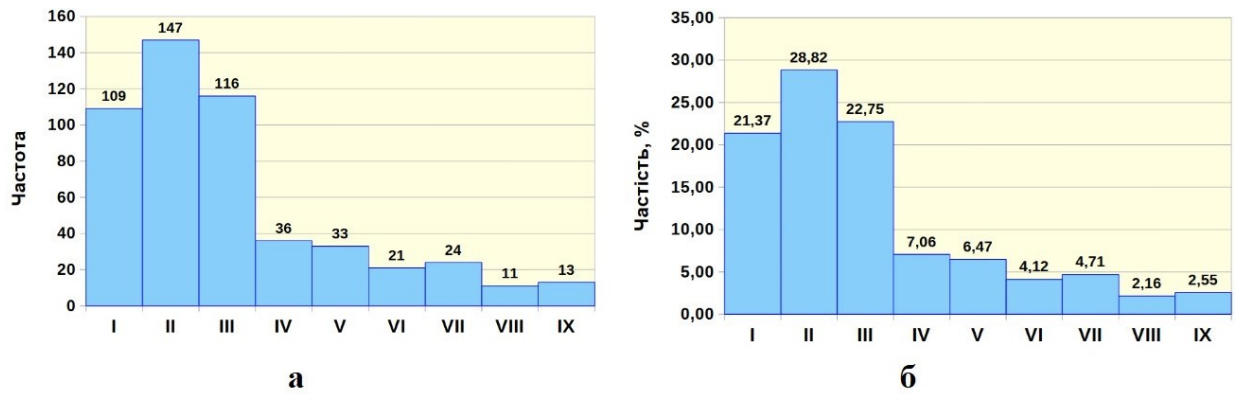


Рис. 3.14. Розподіл значень розміру індивідів магнетиту із залізистих кварцитів продуктивної товщі Первомайського родовища.

I-IX — інтервали значень (мм): I - 0,012-0,049; II - 0,049-0,086; III - 0,086-0,123; IV - 0,123-0,160; V - 0,160-0,197; VI - 0,197-0,234; VII - 0,234-0,271; VIII - 0,271-0,308; IX — 0,308-0,345.

Середина діапазону значень розміру зерен магнетиту, який поєднує три перші інтервали становить 0,049 мм. Тоді, можна зазначити що більшість уламків магнетитових індивідів будуть чистими при руйнації залізистого кварциту до цієї крупності.

Результати розрахунку ступеня розкриття магнетиту у подрібненому матеріалі залізистих кварцитів продуктивної товщі Первомайського родовища Криворізького басейну наведені в таблиці 3.2. Повного розкриття зерен магнетиту не виявлено навіть у найдрібнішому класі (-0,045 мм). Близько семи відсотків частинок, що містять магнетит є зростками.

Розрахунки ступеня розкриття магнетиту у віртуальних уламках показали, що при крупності частинок 0,083 мм (можна співнести з реальним класом крупності -0,125+0,071 мм), частка «чистих» уламків магнетиту становитиме 76,2 %. При крупності 0,042 мм (відповідає класу -0,045 мм) — їх кількість сягне 93,1 %. Отже, різниця в наведених результатах незначна.

Таблиця 3.2

Розподіл уламків магнетиту різного ступеня розкриття в окремих класах крупності подрібненого матеріалу залізистих кварцитів продуктивної товщі Первомайського родовища

Класи крупності, мм	Вміст уламків (об.%)				Ступінь розкриття зерен магнетиту
	з магнетитом			без магнетиту	
	«чисті» уламки	багаті зростки	бідні зростки		
-0,125+0,071	66,83	10,46	12,19	10,52	74,7
-0,071+0,045	78,64	4,86	4,12	12,38	89,8
-0,045	69,38	2,94	2,36	25,32	92,9

Висновки за 3 розділом

Для мінералогічного аналізу залізистих кварцитів і супутніх їм порід може бути корисним застосунок автоматизованої діагностики «Rock Identifier». Він має обмеження, проте дозволяє створити власний каталог фото зразків з детальним описом і супровідною інформацією. За допомогою якого можна виконувати діагностику реальних зразків, виходів відслонень та їх фото. Також у застосунку є можливість поширювати як каталог загалом, так і окремі зразки. Що є особливо корисним при дистанційній формі навчання.

Методика віртуального уламку може бути застосована без зменшення точності досліджень з суттєвим підвищенням експресності гранулометричного аналізу. Провести його здобувачі вищої освіти зможуть на віддаленні від мінераграфічної чи петрографічної лабораторії, з іншого міста України або із-за кордону.

На поточний момент найкращим підходом є комбінування традиційного мінералогічного аналізу і віртуальних методик, що підкреслює важливість людської експертизи у поєднанні з цифровими технологіями. У майбутньому вдосконалення алгоритмів розпізнавання, збільшення бази даних зразків мінералів, гірських порід та корисних копалин, особливо з можливістю інтеграції мікроскопічних зображень, можуть суттєво підвищити ефективність таких технологій.

ВИСНОВКИ

Первомайське родовище залізних руд розташоване у Криворізькому басейні. Його геологічна структура є досить складною через розташування в зоні перетину Криворізько-Кременчуцького та Девладівського глибинних розломів. Родовище має форму сильно зруйнованої синкліналі, відомої як Первомайська. Вона розділена на численні блоки, між якими близько 5% об'єму продуктивних порід займають тектонічні брекчії.

Основу родовища представляють залістисті кварцити, які належать до саксаганської світи криворізької серії і формують основну рудоносну товщу. Крім того, в складі родовища присутні сланці, амфіболіти, тектонічні брекчії та метакластоліти, всі вони мають докембрійський вік. Більш молоді осадові відклади кайнозойського віку їх перекривають у вигляді чохла.

Важливу роль у формування сучасного вигляду геологічного середовища відіграв метасоматоз, який вплинув на хімічний склад метаморфічних порід. По тріщинах і розломах у їх товщу проникли натрієві гідротермальні розчини, що викликали метасоматоз кварцитів в егірин- та рибекіт-вмістні породи. Також у процесі рудного метасоматозу утворилися зони, де концентрувалася залізорудна речовина. Ці зони, як правило, пов'язані з тектонічними брекчіями.

Складна геологія, різноманітність корисних копалин і мінерального складу обумовлюють труднощі в аналізі продуктивних порід і прилеглих верств. Застосування автоматизованих інструментів, таких як «Rock Identifier», спрощує і прискорює мінералогічні дослідження. Ця програма дозволяє створювати каталог зразків з описами, діагностувати зразки як у польових умовах, так і за фото, а також ділитися результатами дистанційно. Віртуальні методи, наприклад, гранулометричний аналіз «віртуального уламку», значно підвищують ефективність дослідження без втрати точності, що особливо корисно для студентів і науковців, які працюють віддалено.

Найкращий підхід сьогодні — це комбінація традиційного аналізу та сучасних цифрових методів, що підкреслює важливість людської експертизи в поєднанні з технологіями. У майбутньому розвиток алгоритмів розпізнавання, розширення бази даних зразків і можливість аналізу мікроскопічних зображень можуть суттєво підвищити ефективність досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

Опублікована

1. Бондарчук С.Б., Паранько І.С., Собко О.В. До питання про природу Тернівської структури Кривбасу. Збірник наукових праць НГАУ. Дніпропетровськ: вид-во НГАУ, 1998. С. 89-92.
2. Державна геологічна карта кристалічного фундаменту України. М 1:200 000. Серія: Центральноукраїнська. Аркуші: М-36-XXXIV (Жовті Води), L-36-IV (Кривий Ріг). Пояснювальна записка. Укладачі В.В.Захаров, А.В.Мартинюк, Ю.М.Токар. Київ: Геоінформ, 2002 (Державна геологічна служба, КП «Південукргеологія», криворізька КГП). 101 с.
3. Додатко О.Д., Дорфман Я.З. Про кори вивітрювання порід залізисто-кременистої формації Криворіжжя. Доповіді АН УРСР. Серія Б, 1973. №5. С. 395-398.
4. Євтехов В.Є., Березовський А.А. Загальна геологічна історія як основа єдиної стратиграфічної шкали докембрійських порід Першотравневого та Ганнівського родовищ Криворізького залізорудного басейну. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, 2023 р. Том 25. № 2. С. 11-34.
5. Євтехов В.Д. Етапи формування комплексної мінерально-сировинної бази залізорудних родовищ Криворізько-Кременчуцького лінеаменту. Відомості Академії гірничих наук України, 1997. №4. С. 111-114.
6. Жукова Ю.В., Харитонов В.М. Визначення абсолютного значення відбивної здатності гематиту, магнетиту та кварцу Глеюватського родовища з використанням комп'ютерних технологій. Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців», 21-23 березня 2013р., м. Кривий Ріг. Кривий Ріг: видавництво Криворізького технічного університету, 2013. С. 35-37.
7. Ковальчук Л.М. Деякі риси геології і прикладної мінералогії Ганнівського родовища абразивного гранату. Науковий вісник Національної гірничої академії України, 2000. №4. С.18-19.
8. Ковальчук Л.М. Технологічна мінералогія гранат-вмісних сланців Ганнівського родовища Криворізького басейну. Автореферат дисертації ... канд. геол. Наук. Кривий Ріг: Криворізький технічний ун-т, 2003. 20 с.

9. Михайлов В., Шнюков С., Коструба А., Харитонова Т., Григорєва Х., Ткалич М. Правові аспекти переробки залізних руд Криворізького залізорудного басейну Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2022. Геологія. 1(96). С. 64-75.

10. Проект нової стратиграфічної схеми фундаменту Українського щита. В.П. Кирилюк, А.М.Лисак, О.Б. Бобров, В.В. Покалюк, О.В. Гайовський, О.А. Лисенко, О.М. Шевченко. Львів: ЗУКЦ, 2023. 79 с.

11. Рузіна М.В., Яцина Д.В., Жильцова І.В. Рудна мікроскопія з основами технологічної мінераграфії : навч. посібник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. 229 с.

12. Стеценко В.В. Прикладна мінералогія мусковіт-вміщуючих порід скелюватської світи Криворізького басейну. Автореф. дисертації на здобуття наук. ступеню канд. геол. н. за спец. 04.00.20 – мінералогія, кристалографія. Кривий Ріг: вид-во Криворізького технічного університету, 2001. 21 с.

13. Стрельцов В.О., Євтехов В.Д., Євтехова А.В., Шепелюк М.О. Технологічна мінералогія залізорудних рибекітових метасоматитів Криворізького басейну. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2018. №2 (81). С. 23–27.

14. Стрельцов В.О. Вплив процесів натрієвого метасоматозу на якість руд. У кн. Дослідження екологічного стану територій пост-майнінгу в Україні на прикладі Криворізького басейну та його оточення. НАН України ; Інститут телекомунікацій і глобал. інформ. простору ; Центр проблем морської геології, геоєкології та осадового рудоутворення. Київ : Ніка-Центр, 2021. С. 154-162.

15. Сукач В.В., Курило С.І., Шурко М.М. Геолого-структурна позиція, формаційна належність та генетичні особливості гранітоїдів Демуринського комплексу (Середньопридніпровський мегаблок Українського щита). Геологічний журнал, 2014. №2 (347). С. 17-28.

16. Харитонов В.М. Мінералогія скандію Первомайського родовища Кривбасу : автореф. дис... канд. геол. Наук: 04.00.20. Кривий Ріг: вид-во Криворізького технічного ун-ту, 2000. 20 с.

17. Харитонов В.М. Піскун О.В. Кіріченко О.О. Аналіз зображень полірованих і прозорих препаратів фосфор-титанових руд Кропивенського і Носачівського родовищ України. Геолого-мінералогічний вісник, 2011. № 1 (25). С. 74-83.

18. Харитонов В.М., Власенко А.В. Гранулометричний аналіз титаномagnetитових руд Кропивнянського родовища Житомирської області. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, металогенії гірничовидобувних регіонів», 27-29 листопада 2014 р., м. Кривий Ріг. Кривий Ріг: вид-во Криворізького національного університету, 2014. С. 25-27.

19. Харитонов В.М. Дослідження Р-Ті-руд студентами спеціальності «Науки про Землю (геологія)» з використанням неспеціалізованих комп'ютерних програм / Матеріали XIV Міжнародної конференції «Стратегія

якості у промисловості та освіті» 4-7 червня 2018 р., м. Варна, Болгарія. В 2-х томах. Т.2. Дніпро-Варна: «Дике поле», 2018. С. 322-326.

20. Харитонов В.М. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни «Мінераграфія і спеціальні методи досліджень мінеральної сировини» для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти (всіх форм навчання) спеціальність 103 Науки про Землю ОПП – Геологія заліковий модуль 1 «МІНЕРАГРАФІЯ». Кривий Ріг: видавництво Криворізького національного університету, 2020. 16 с.

21. Харитонов В.М. Роль віртуальних колекцій зразків корисних копалин для здобувачів вищої освіти в умовах воєнного стану. Музейна педагогіка в умовах воєнного стану : збірник матеріалів Міжнародного круглого столу, м. Київ, 26 травня 2022 р. / за наук. ред. С. О. Довгого. Київ: Національний центр «Мала академія наук України», 2022. С. 415-419.

22. Харитонов В.М. Віртуальна мікроскопія — розвиток цифровізації навчання. Інноваційні трансформації в сучасній освіті: виклики, реалії, стратегії : зб. матеріалів IV Всеукраїнська відкрита науково-практична онлайн-форуму, Київ, 27 жовтня 2022 р. / за заг. ред. І. М. Савченко, В. В. Ємець. Київ: Національний центр «Мала академія наук України», 2022. С. 376-379.

23. Харитонов В.М. Віртуальний мікроскоп відкритого університету Сполученого Королівства Великобританії та Північної Ірландії – застосунок для вивчення геологічних дисциплін. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничовидобувних регіонів», 25-26 листопада 2022 р., м. Кривий Ріг. Кривий Ріг: вид-во Криворізького національного університету, 2022. С. 80-84.

24. Харитонов В.М. Мінералого-петрологічний контроль залізорудних товщ родовищ Криворізького басейну. Матеріали конференції «Залізорудні родовища України: сучасні проблеми та перспективи розробки», 21-22 березня 2024 року м. Київ, Україна. Київ: вид-во Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2024. С. 84-84.

25. Щербаков І.Б. Еволюція магматизму Українського щита. Мінералогічний журнал. 2000. 22, 2/3. С. 36-47.

26. Щербаков І.Б. Петрологія Українського щита. Львів: ЗУКЦ, 2005. 366 с.

27. Юрін А.О., Харитонов В.М., Філенко В.В. Тріщинуватість індивідів гранату як художньо-естетична ознака декоративності гранат-вмісних сланців Ганнівського родовища Кривбасу Матеріали XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців», 29-31 березня 2018 р., м. Кривий Ріг. Кривий Ріг: вид-во Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет», 2018. С. 58-62.

28. Evtekhov E.V., Ishchenko M.I., Evtekhov V.D., Georgiieva O.P. Evolution of the productive strata structure of Pervomayske deposit of Kryvbas in the

context of the third ore body formation. Геолого-мінералогічний вісник, 2008 р. № 1 (19). С. 82-84.

29. L. Ma, Y. Zhang, G. Song, Z. Mf and T. Lu. Ore Granularity Detection and Analysis System Based on Image Processing. Chinese Control And Decision Conference (CCDC). Nanchang, China, 2019. P. 359-366, doi: 10.1109/CCDC.2019.8832862.

30. Qin, S., Li, L. Visual Analysis of Image Processing in the Mining Field Based on a Knowledge Map. Sustainability, 2023. 15. 1810. <https://doi.org/10.3390/su15031810>

31. Tikhliyets S., Filenko V. Mineralogy of sodium metasomatites of the Pervomayske deposit and their influence on quality of iron ore concentrate. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2017. № 4 (29). С. 53-58.

Фондова

32. Євтехов В.Д., Демченко О.С., Четверик М.С., Бабій К.В., Свистун В.К., Пігулевський П.Г., Тіхлівець С.В., Філенко В.В., Євтехова А.В., Шепелюк М.О., Прилепа Д.М., Тіхлівець С.В., Юрін А.О., Євтехов В.Є., Горбенко О.В., 2020. Дослідження геодинамічного стану породного масиву прибортових частин Первомайського та Ганнівського кар'єрів ПАО «ПівніГЗК» з метою визначення ділянок можливих аварійних техногенних ситуацій. Заключний звіт з НДР №551. Кривий Ріг: Фонди Криворізького національного університету. 126 с.

33. Кулик А.П. Дослідно-методичні роботи по застосуванню ядерно-фізичних і магнітометричних методів опробування залізистих кварцитів на глибоких горизонтах кар'єрів ПівніГЗКу, що розробляє Першотравневе і Ганнівське родовища, 1995-2003 р.р. Криворізький р-н Дніпропетровської обл., 2003. Фонди ДНВП «Геоінформ України». інв. № 59111.

34. Левченко М.М. Попередня геолого-економічна оцінка Ділянки № 1 та Ділянки № 2 Ганнівського родовища цегельної сировини. Долинський р-н Кіровоградської обл., 2007. Фонди ДНВП «Геоінформ України». інв. № 61031.

35. Лутова З.О. Актуалізація складу суміші бідної залізної руди Ганнівського і Первомайського родовищ. Кваліфікаційна (магістерська) робота за спеціальністю 103 Науки про Землю. Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2021. 101 с.

36. Плотніков О.В. Геолого-економічна переоцінка Первомайського родовища залізистих кварцитів. м. Кривий Ріг Дніпропетровської обл., 2015.– фонди ДНВП «Геоінформ України». інв. № 64592.

37. Угода № 1118 від 28.08.2020 року про умови користування надрами з метою видобування корисних копалин (нова редакція). Додаток до спеціального дозволу на користування надрами, наданого з метою видобування корисних копалин залізних руд ділянки надр Первомайського родовища та

родовища поля шахти Першотравнева № 1118 від 21.10.1997 року. Київ, 2020. 11 с.

38. Тіхлівець Сг.В. Геологічні фактори стійкості гірничих масивів родовищ Північного залізорудного району. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 Науки про Землю. Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2024. 150 с.

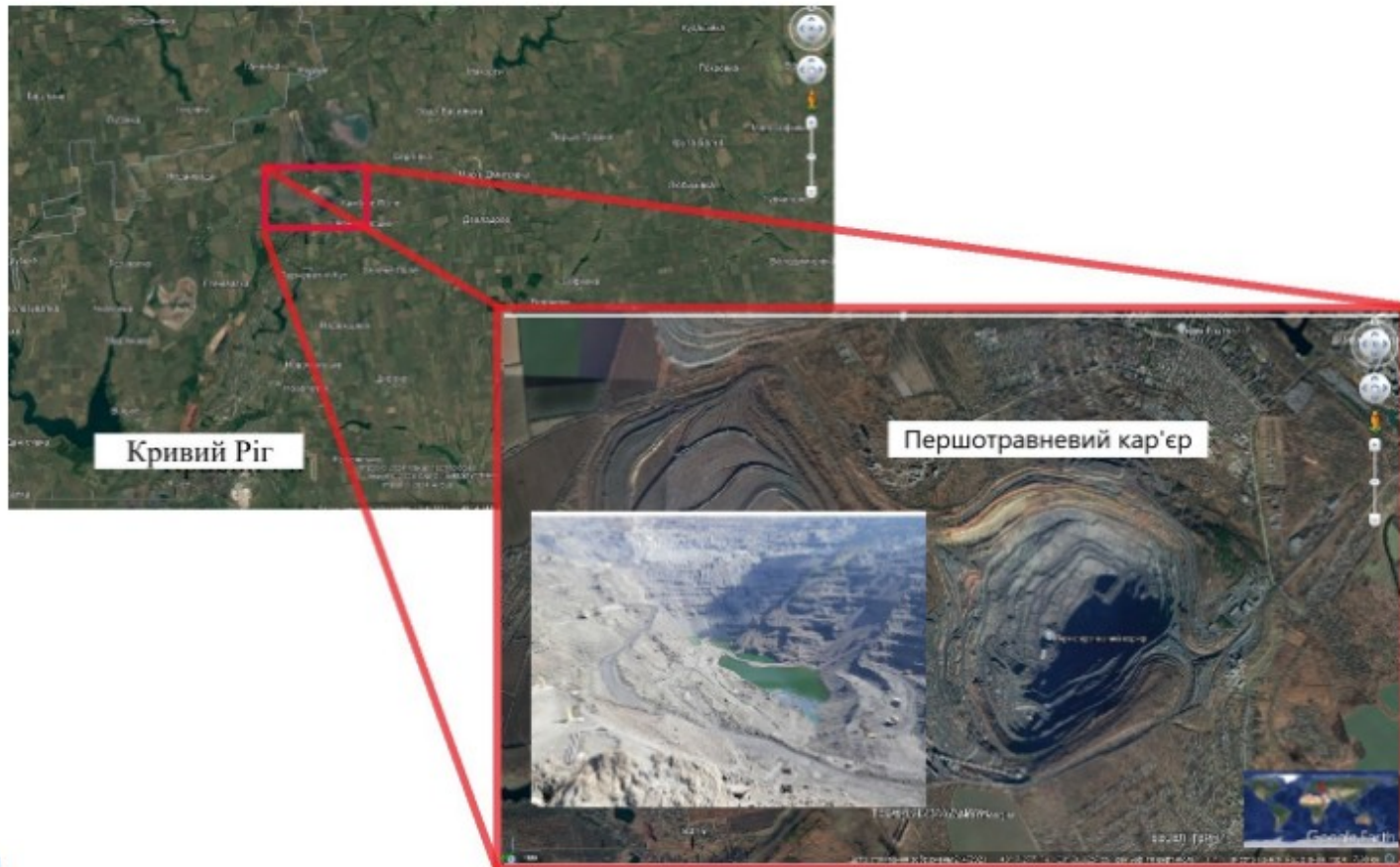
39. Шепель І.В. Геолого-економічна оцінка Первомайського родовища залізних руд з метою об'єднання Первомайського родовища та родовища поля шахти Першотравнева в один об'єкт надрокористування (станом на 01.06.19) Тернівський р-н Дніпропетровська обл., 2020. Фонди ДНВП «Геоінформ України». інв. № 66498.

Електронні ресурси

40. <https://sevgok.metinvestholding.com/ua/about/structure>
41. <https://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=19733&cityname=Krivoy-Rog-Ukraine>
42. <https://rockidentifier.com/>

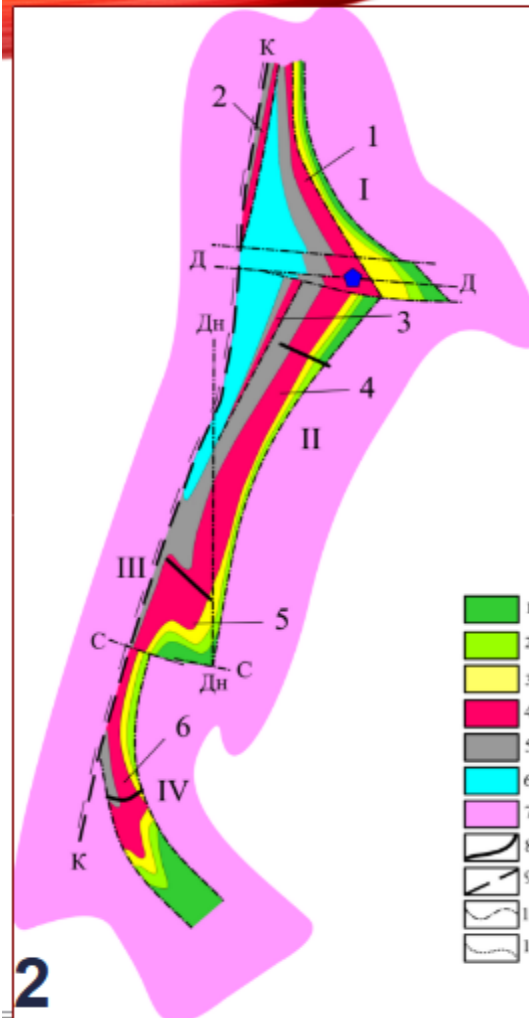
ДОДАТКИ

Аркуш 1. Оглядова карта району розташування Первомайського родовища Ресурс «Google Планета Земля Pro».



1

Аркуш 2. Схема положення Первомайського родовища в межах Криворізького басейну.



1 – метакластоліти та metabазити новокриворізької світи; 2 – амфіболіти та метакластоліти конкської серії; 3 – метакластоліти та метаультрабазити (талькові сланці) скелюватської світи; 4 – залізисті кварцити та сланці саксаганської світи; 5 – метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 6 – метакластоліти глеюватської світи; 7 – гранітоїди дніпропетровського комплексу; 8 – дайки діабазів; 9 – глибинні розломи мантійного закладення; 10 – глибинні розломи корового закладення; 11 – стратиграфічні контакти товщ.

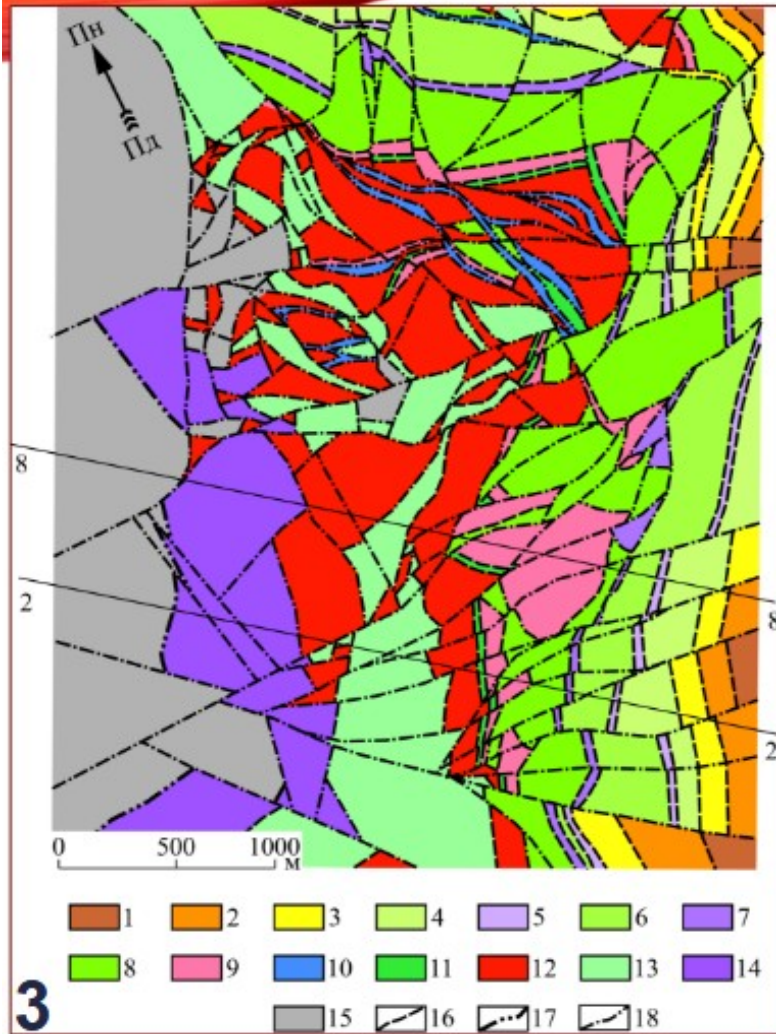
Залізородні райони: I – Північний (Ганнівський); II – Центральний (Саксаганський); III – Південний; IV – Інгулецький (Лихманівський).

Залізородні 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 – Скелюватська зона розломів. [Тіхлівець Ст.В., 2024]

2

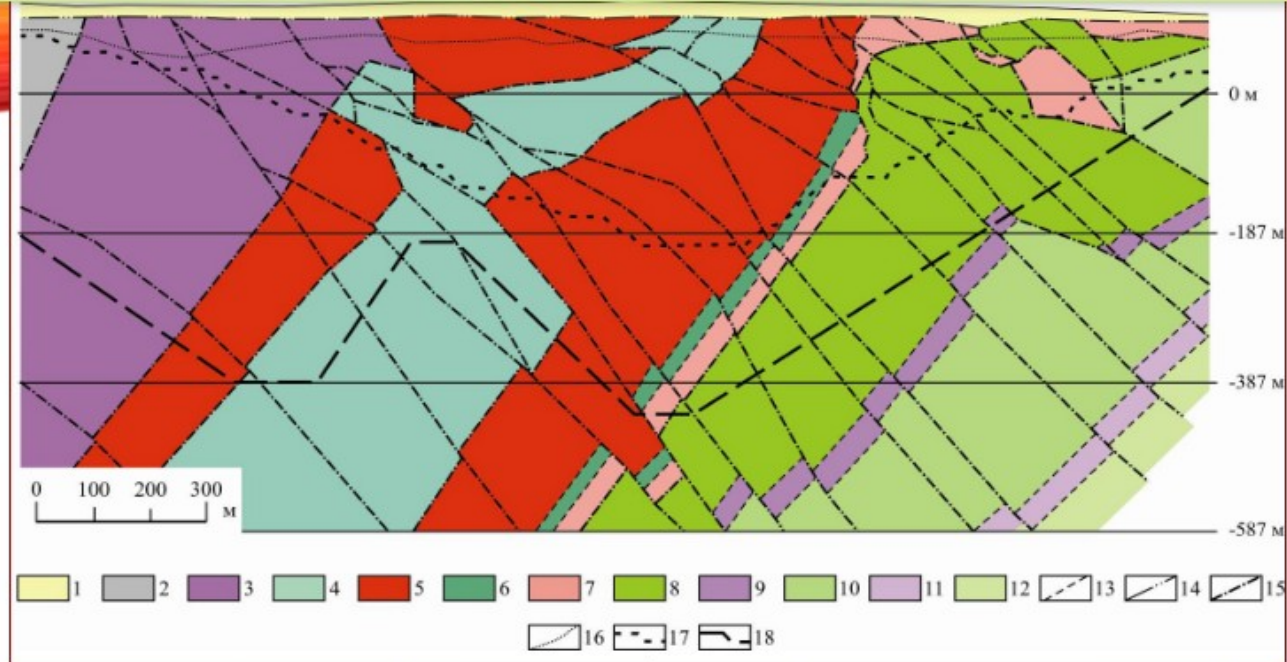
Аркуш 3. Геологічна карта допалеозойських утворень Первомайського родовища.



1-15 – криворізька серія: 1 – метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 2-11 – саксаганська світа: 2 – магнетит-силікатні кварцити сьомого залізного горизонту; 3 – магнетит-силікатні кварцити та сланці сьомого сланцевого горизонту; 4 – магнетитові руди шостого залізного горизонту; 5 – магнетит-силікатні кварцити та сланці шостого сланцевого горизонту; 6 – магнетитові руди п'ятого залізного горизонту; 7 – сланці та силікатні кварцити об'єднаного третього-п'ятого сланцевого горизонту; 8 – магнетит-силікатні кварцити другого залізного горизонту; 9 – сланці та силікатні кварцити другого магнетит-силікатні кварцити першого залізного горизонту; 11 – сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту; 12-14 – скелюватська світа: 12 – тальк-вмісні сланці верхньої підсвіти; 13 – кварц-мусковітові сланці середньої підсвіти; 14 – мусковітові кварцити нижньої підсвіти; 15 – брекчії змішаного складу; 16 – лінії стратиграфічно згідного залягання товщ; 17 – лінії стратиграфічно незгідного залягання товщ; 18 – розривні порушення.

[Євтехов В.Д. та ін., 2020]

Аркуш 4. Геолого-мінералогічний розріз Первомайського родовища по лінії 2–2.



1 — породи осадового чохла; 2 – метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 3-12 – криворізька серія: 3-11 – саксаганська світа: 3 – магнетит-силікатні кварцити сьомого залізного горизонту; 4 – магнетит-силікатні кварцити та сланці сьомого сланцевого горизонту; 5 – магнетитові руди шостого залізного горизонту; 6 – магнетит-силікатні кварцити та сланці шостого сланцевого горизонту; 7 – магнетитові руди п'ятого залізного горизонту; 8 – сланці та силікатні кварцити об'єднаного третього-п'ятого сланцевого горизонту; 9 – магнетит-силікатні кварцити другого залізного горизонту; 10 – сланці та силікатні кварцити другого сланцевого горизонту; 11 – магнетит-силікатні кварцити першого залізного горизонту; 12 – сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту; 13 – лінії стратиграфічно згідного залягання товщ; 14 – лінії стратиграфічно незгідного залягання товщ; 15 – розривні порушення; 16-18 — контури кар'єру різних років.

4

[Євтехов В.Д. та ін., 2020]

Аркуш 5. Фактичний матеріал.

Кварцит сірошаруватий.
Проба П.12



Метасоматит рибекіт-егіриновий. Проба П.1



Тектонічна брекчія. Проба
П.10



Кварцит червоно-сірошаруватий. Проба П.11

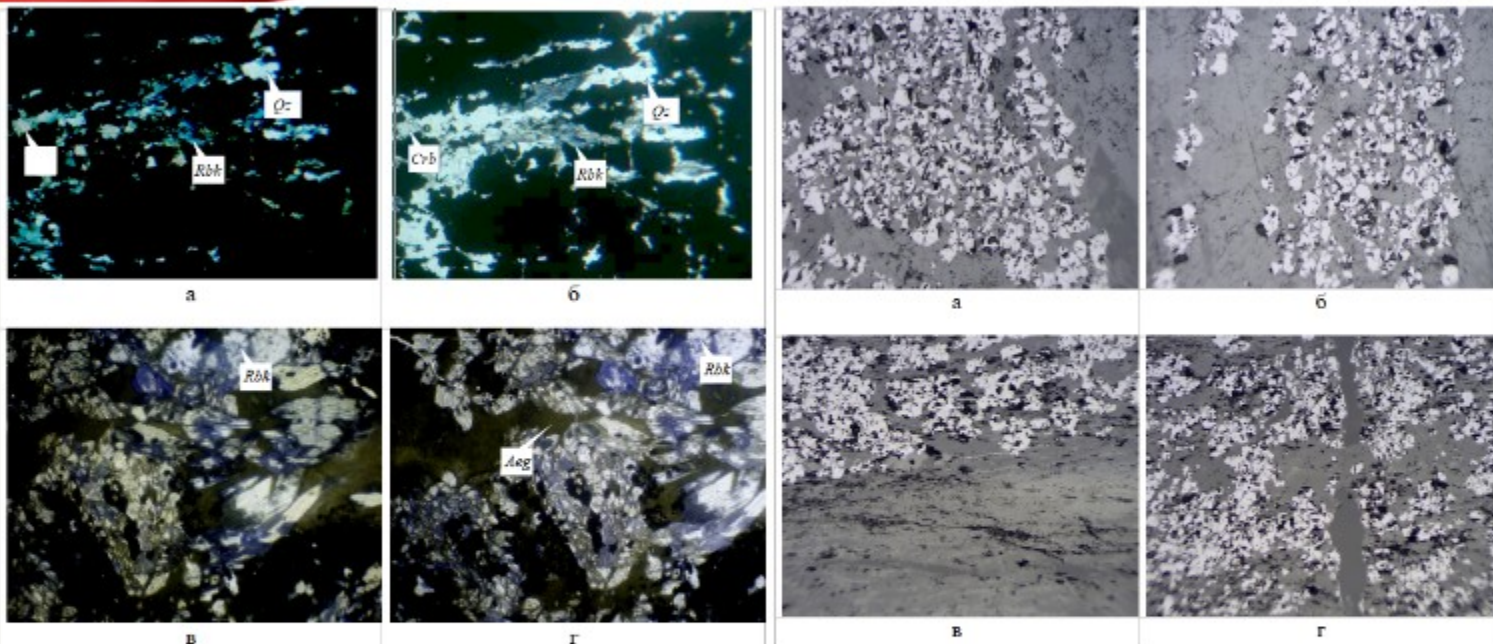


Катаклазит. Проба П.8.



Кварцит силікат-магнетитовий зелено-червоно-сірошаруватий.
Проба П.17

Аркуш 6. Мікроскопічне зображення різновидів порід продуктивної товщі Первомайського родовища.



Мінерали метасоматиту рибекіт-егіринового у прохідному світлі. Збільшення 60X.

а, б — проба П.1; в, г — П.6.

а, в — ніколи схрещені; б, г — ніколи паралельні.

Qz — кварц; Crb — кумінгтоніт; Aeg — егірин; Rbk — рибекіт; Crb — карбонат.

Мінерали досліджених кварцитів у відбитому світлі. Збільшення 60X.

а — переважно магнетитовий прошарок; проба П.15;

б — перешарування магнетитового і нерудних (переважно кварцових) прошарків; проба П.12;

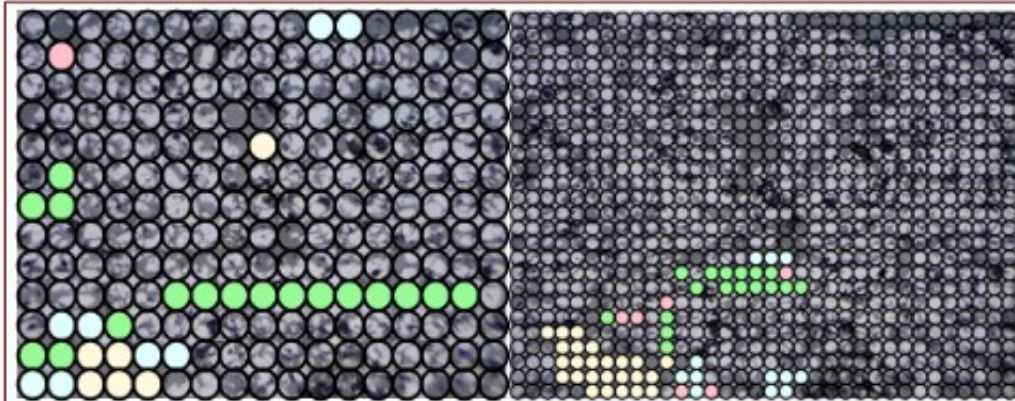
в — контакт кварц-магнетитового і сланцевого (хлорит, кумінгтоніт) прошарків; проба П.15;

г — січний по відношенню шаруватості породи (кварцовий?) прожилок; проба П.22.

Темно-сіре — кварц; сіре — силікати (хлорит, кумінгтоніт, рибекіт, егірин); світло-сіре — магнетит.

6

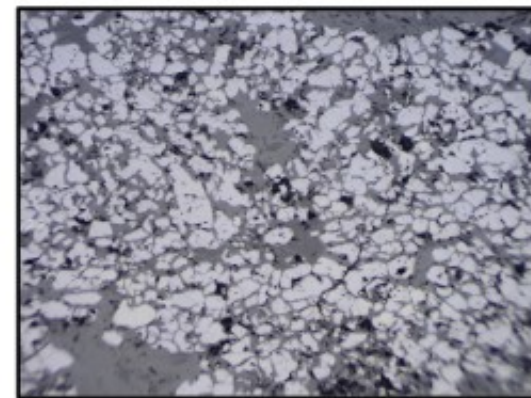
Аркуш 7. Принципова схема гранулометричного аналізу за методикою «віртуального уламку».



а

б

а — кола відповідають реальному розміру 0,083 мм; б - кола відповідають реальному розміру 0,042 мм; в — вихідне мікрображення залізного кварциту у відбитому світлі; збільшення 60X.



в

- — «чистий» уламок магнетиту
- — багатий зросток магнетиту
- — бідний зросток магнетиту
- — уламок без магнетиту