

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
«МІНЕРАЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БЕРІЛІЄВИХ МЕТАСОМА-
ТИТІВ ПЕРЖАНСЬКОГО РОДОВИЩА»

Виконав здобувач групи НЗГ-24м

Дмитро МУТАЛІМОВ

Науковий керівник

Анатолій БЕРЕЗОВСЬКИЙ

Нормоконтролер

Олександр ТРУНІН

В.о. завідувача кафедри

Світлана ПАНОВА

Кривий Ріг

2025

Криворізький національний університет

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри _____ Світлана ПАНОВА

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну (магістерську) роботу

Муталімова Дмитра Руслановича

1.Тема: «Мінералогічні особливості берилієвих метасоматитів пержанського родовища»

Затверджена наказом по КНУ № 206с від «10» квітня 2025 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи: «27» листопада 2025 р.

3. Вихідні дані по кваліфікаційній магістерській роботі: робота заснована на дослідженні зразків з Пержанського родовища берилію, які були зібрані в 2015-2018 роках, на відомостях, які знаходяться в літературних і фондових джерелах: про склад, структуру, стратиграфію та інші особливості геології Пержанського родовища.

4. Зміст пояснювальної записки: історія вивчення родовища, дані про геологічну будову родовища, матеріал і методи дослідження, результати дослідження компонентного складу пержанських гранітів і метасоматитів, висновки, література.

5. Перелік графічного матеріалу: презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	професор А. А. Березовський	20.10.2025	30.10.2025
2	професор А. А. Березовський	31.10.2025	10.11.2025
3	професор А. А. Березовський	11.11.2025	20.11.2025

7. Календарний план

Етапи роботи	Термін виконання
Написання розділу 1. Геологія та тектоніка пержанського родовища	20.10 – 30.10.2025
Написання розділу 2. . Матеріал і методи дослідження.	31.10 – 10.11.2025
Написання розділу 3. Результати дослідження.	11.11 – 20.11.2025
Написання розділів «Реферат», «Вступ», «Висновки», «Література».	21.11 – 25.11.2025

Дата видачі завдання «01» квітня 2025 р.

Завдання видав
науковий керівник

Анатолій БЕРЕЗОВСЬКИЙ.

Завдання отримав
магістрант

Дмитро МУТАЛІМОВ.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна (магістерська) робота: 25 с., 11 рис., 2 табл., 4 літературних джерел.

Об'єкт досліджень – берилієві руди Пержанського родовища, які представлені слюдисто-кварц-польовошпатовими метасоматитами та пержанськими гранітами.

Предмет досліджень – мінеральний склад, петрографічні особливості та хімічні характеристики гентгельвіну й асоційованих рудних та породоутворювальних мінералів Пержанського родовища.

Мета роботи – визначити мінералого-геохімічні особливості гентгельвіну різних типів Пержанського родовища та встановити залежність їхнього складу й кольору від елементів-домішок на основі мікроскопічних та мікрозондових досліджень.

Задачі роботи – дослідити геологічну будову Суцано-Пержанської зони та Пержанського рудного поля; охарактеризувати типи метасоматитів і рудоносних структур родовища. Виділити морфологічні й колірні різновиди гентгельвіну. Провести мікроскопічні дослідження рудних та породоутворювальних мінералів. Виконати мікрозондовий аналіз хімічного складу гентгельвіну. Встановити вплив домішок (Zn, Fe, Mn та ін.) на забарвлення різних генерацій гентгельвіну. Узагальнення отриманих результатів та визначення мінералого-петрографічних особливостей берилієвих руд родовища.

Ключові слова: Пержанське родовище, гентгельвін, берилієві руди, метасоматити, мікрозондовий аналіз, мінералогія, рудоносність, кварц-польовошпатові породи, Суцано-Пержанська зона.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
Розділ 1. ГЕОЛОГІЯ ТА ТЕКТОНІКА ПЕРЖАНСЬКОГО РОДОВИЩА.....	8
1.1. Коротка геологічна характеристика Волинського мега- блоку.....	9
1.2. Особливості геологічної будови Суцано-Пержанської зони розломів.....	10
1.3. Особливості геологічної будови Пержанського берилієвого родовища.....	13
1.4. Характеристика берилієвих руд Пержанського родовища.....	18
Розділ 2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	21
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
ВИСНОВКИ.....	24
ЛІТЕРАТУРА.....	25

ВСТУП

Пержанське берилієве родовище знаходиться на території Житомирської області України, на відстані 2 км від села Перга (Perha) (рис. 1).



Рис. 1. Місцезнаходження села Перга, поблизу якого знаходиться Пержанське берилієве родовище.

На відстані 1–3 км від Пержанського берилієвого родовища розташовані Ястребетське фтор-рідкоземельно-цирконієве родовище, Юрівське родовище апатит-ільменітових руд, Суцанське родовище дистенових крарцитів і Центральне рудопроявлення флюориту.

Пержанське берилієве родовище є єдиним у світі родовищем, в якому промислові концентрації берилію пов'язані з дуже рідкісним мінералом – гентгельвіном ($\text{Zn}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$). Це родовище було відкрито в 1960 році і приурочене до пержанських гранітів. Площа родовища дорівнює 21 км².

Систематичне вивчення Пержанського родовища розпочато в 1950 році і триває до теперішнього часу. У 1962–1977 роках на його території проводилися детальні геологорозвідувальні роботи [2]. За результатами цих робіт підраховані і в 1977 році затверджені запаси берилієвих руд.

У 1977–1984 роках на окремих ділянках Пержанського рудного поля проводилися пошукові роботи. В результаті були виявлені перспективні ділянки для проведення подальших розвідувальних робіт. Була також виявлена нова структура, яка вміщує берилієві руди. Ця структура отримала назву «Східна рудоносна структура».

Найбільш детально геологічна будова Пержанського рудного поля була досліджена в 1970 році під час проведення робіт з геологічної зйомки в масштабі 1: 5000 [2].

У 1991–1995 роках у центральній частині Пержанського рудного поля проводилися геологічні роботи з пошуку ітрію та інших рідкоземельних мінералів. Результати цих робіт підтвердили високу перспективність наявності на даній території родовища рідкоземельних руд.

Під час розвідки Пержанського родовища було проведено великий комплекс технологічних досліджень, які дозволили розробити кращу схему збагачення всіх типів берилієвих руд. Було досліджено 27 проб, маса яких становила від 10 кг до 3023 кг. Крім цього, було досліджено три проби масою 53 тонни, 65 тонн і 89 тонн [2].

Крім берилієвих руд у породах Пержанського родовища були виявлені високі концентрації срібла. У 1983–1984 роках було досліджено пробу масою 87 кг. Було виявлено, що ця проба містить срібла – 213–280 грам на тонну, свинцю – 8,5–8,9 %, цинку – 1,36–1,42 %, міді – 0,86–1,12 %. Дослідження дозволили встановити, що породи даної проби є багатую рудою для срібла і свинцю. Її основними рудними мінералами є галеніт, сфалерит, халькопірит, халькозин, ковелін, борніт і гентгельвін. Мінерали срібла – прустит і фрейбергїт – вкраплені в сульфіди. Після гравітаційного збагачення половини порід цієї проби було отримано концентрат із вмістом свинцю 50,9 % і срібла 1510 грам на тонну. Після флотації іншої половини порід цієї проби було отримано концентрат із вмістом свинцю 34,6 % і срібла 800 грам на тонну. Особливістю флотаційного срібла є те, що воно містить ще й золото. Його вміст дорівнює 70 грам на тонну. У той час як вміст золота в породах проби становив всього 0,02–0,025 грама на тонну.

В результаті технологічного дослідження проби масою 3155 кг було отримано концентрат масою 18,06 кг і хвостів масою 146,5 кг. Концентрат містив Ta_2O_5 – 0.35 %, Nb_2O_5 – 10.25 %, ZrO_2 – 23.5%, TR_2O_3 – 7.11%. Мінералогічні дослідження в концентраті виявили: колумбіту і танталіту – 15,8 %, циркону – 49 %, ільменіту – 2,3 %, каситериту – 0,9 %. За результатами рентгеноструктурних аналізів вміст Ta_2O_5 в колумбіті та танталіті становило 16 %. Після збагачення цього концентрату було отримано колумбіт – танталовий концентрат із вмістом Ta_2O_5 – 3.5 %, Nb_2O_5 – 42 % и ZrO_2 – 50 % [2].

Промисловий видобуток берилієвих руд на Пержанському родовищі ніколи не проводився.

1.

ГЕОЛОГІЯ ТА ТЕКТОНІКА ПЕРЖАНСЬКОГО РОДОВИЩА

Пержанське берилієве родовище знаходиться в Суцано-Пержанській зоні розломів, яка розділяє Коростенський і Осницький блоки Українського щита (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Розташування родовища Перха відносно структур Українського щита.

Коростенський блок входить до складу Волинського мегаблоку. Осницький блок раніше також входив до складу Волинського мегаблоку, але зараз він включений до складу Осницько-Микашевичського вулканогенно-плутонічного поясу. Родовище приурочене до середньої частини Суцано-Пержанської зони, яка виділяється під назвою «Пержанське рудне поле» (рис. 1.2).

Нижче наводиться коротка геологічна та тектонічна характеристика Волинського мегаблоку, Суцано-Пержанської зони та Пержанського рудного поля.

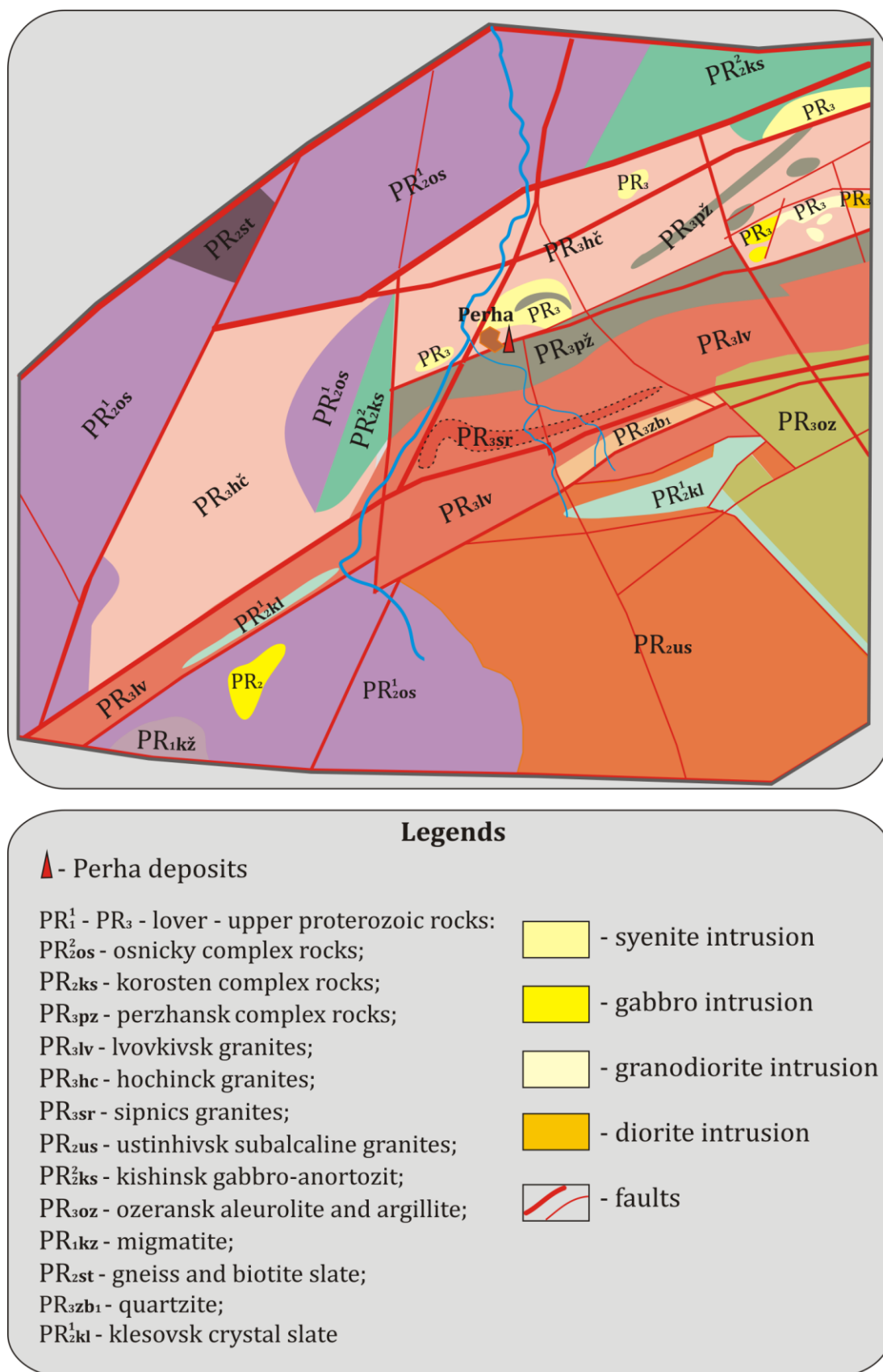


Рис. 1.2. Пержанський рудний район.

(рисунок складено на основі аналізу геологічної карти кристалічної основи північно-західної та центральної частин Українського щита, масштабу 1:200 000 [1].

1.1. Коротка геологічна характеристика Волинського мегаблоку

Волинський мегаблок відокремлюється від інших великих тектонічних елементів Українського щита зонами глибинних розломів (рис. 1.3). Зазначимо, що назви розривних порушень, інтрузій, окремих великих тектонічних елементів Волинського мегаблоку та межі мегаблоку не є загальноприйнятими. У різних статтях і монографіях вони називаються по-різному. Нижче наводиться лише один із варіантів назв, який використовується найчастіше.

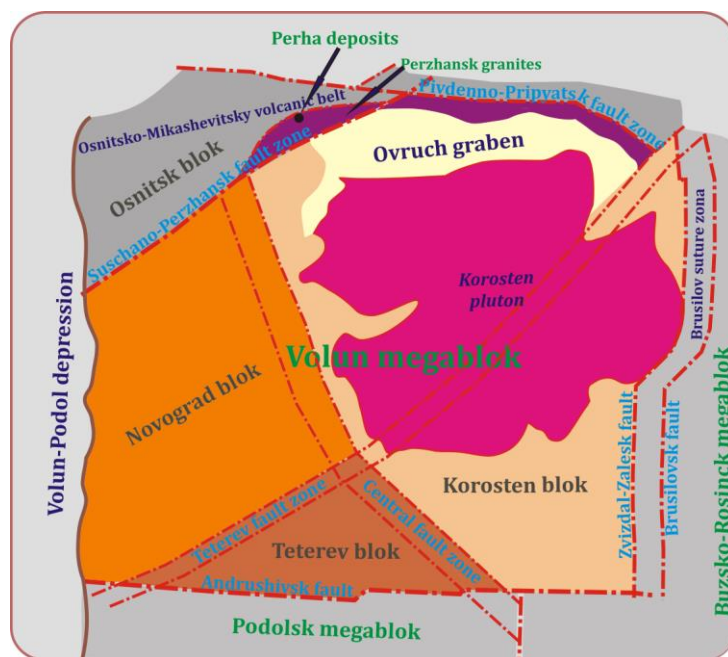


Рис. 1.3. Будова Волинського мегаблоку Українського щита та розташування родовищ *Perha*.
(рисунок складено на основі аналізу різних тектонічних карт України)

З півночі та північного заходу Волинський мегаблок відокремлюється від Осницько-Микашевичського вулканогенно-плутонічного поясу Сущано-Пержанською зоною розломів. З півдня він відокремлюється від Подільського мегаблоку Андрушівською зоною розломів. Зі сходу Волинський блок відокремлюється від Брусилівської шовної зони Звіздаль-Залеською зоною розломів (рис. 1.3). Неодноразові тектонічні активації Волинського мегаблоку призводили до численних переміщень блоку і його частин як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках.

Волинський мегаблок характеризується двоповерховою будовою. Нижній структурний поверх представлений палеоархейськими метаморфічними

породами дністровсько-бузької серії та ендербітами гайворонського комплексу. Порооди нижнього структурного поверху залягають в основному на глибині і є фундаментом для перекриваючих його неоархейських(?) і протерозойських відкладень.

У складі верхнього протерозойського поверху Волинського мегаблоку виділяють кілька структурних підповерхів. Нижній підповерх складається в основному з метаморфічних неоархей-протерозойських порід хоморської серії. Середній підповерх представлений палеопротерозойськими метаморфічними утвореннями тетеревської серії і ультраметаморфічними породами шереметьєвського і житомирського комплексів. Верхній підповерхневий прошарок представлений слабо метаморфізованими вулканогенно-осадовими відкладами білокоровицької, овруцької та вильчанської серій.

Відмінною рисою геологічної будови Волинського мегаблоку є широкий розвиток різних за складом палеопротерозойських інтрузій. У межах блоку поширені різноманітні за складом і віком дайки. Структурний план Волинського мегаблоку характеризується лінійною складчастістю північно-західного простягання.

1.2. Особливості геологічної будови Суцано-Пержанської зони

Суцано-Пержанська зона являє собою систему розривних порушень (розломів) північно-східного простягання. Вона має ширину 0,5–15 км і протяжність близько 200 км. Площини окремих розломів Суцано-Пержанської зони падають у північно-західному напрямку і мають кути падіння 50–80°. У межах Суцано-Пержанської зони неодноразово проявлялися динамометаморфізм та інтрузивний магматизм. Ця зона є рудоконтролюючою структурою. У її межах знаходяться родовища та рудопрояви рідкісних, рідкоземельних, кольорових та благородних металів.

Порооди Суцано-Пержанської зони зазнали дислокаційного метаморфізму (розшарування, катаклаз, міноні-тизацію). Локально вздовж зони поширені кварц-мікроклінові та мікроклін-альбітові метасоматити, а також грейзени. Найбільш широко метасоматити і грейзени розвинені в середній частині Суцано-Пержанської зони, де приурочені до пержанських гранітів.

Суцано-Пержанська зона складена різноманітними гірськими породами різного віку. Але найбільш поширеними породами є породи пержанського метасоматичного комплексу. Серед цих порід найбільш поширені ді-стінові кварцити, вторинні кварцити, грейзени, сієніти, лужні сієніти, лужні метасоматити, граніти, граніт-порфіри та сублужні граніти. Основна рудна мінералізація Суцано-Пержанської зони пов'язана з гранітами, які виділяються під назвою «пержанські граніти».

Для гранітів пержанського комплексу характерні однакові умови залягання, приблизно однаковий мінеральний і хімічний склад, відсутність чітких геологічних меж і широкий розвиток накладених процесів калієвого і кварцового метасоматозів.

Залежно від структурних особливостей серед пержанських гранітів виділяють пегматити, середньозернисті граніти та дрібнозернисті граніти. Крім цих різновидів до пержанських гранітів відносять і граніти, що містять кварц блакитно-сірого кольору.

Зазвичай пержанські граніти середньозернисті, рожевого, світло-сірого, червоно-бурого кольорів, з виразною смугасто-порфілобластовою структурою. Вони складені мікроклін-перлітом (40–60 %), кварцом (30–40 %), альбітом (5–20 %), мікрокліном (2–5 %) і біотитом (1–7 %). У них часто зустрічаються мусковіт і мінерали групи алюмофторидів. Аксесонні мінерали представлені флюоритом, мартітом, молібденітом, галенітом, сфалеритом, цирконом, колумбітом та іншими. У пержанських гранітах широко розвинені процеси накладеного калієвого і кремне-кислого метасоматозу.

Рудоносність Суццано-Пержанської зони притаманна тільки її середній частині, яка виділена під назвою «Пержанське рудне поле» (рис. 1.2).

Пержанське рудне поле характеризується широким розвитком лужних метасоматитів. Серед метасоматитів найбільш поширеними є: кварц-польовошпатові, альбіт-калівошпатові та біотит-калівошпатові метасоматити. З зонами розвитку цих метасоматитів пов'язані всі рудні родовища Суццано-Пержанської зони.

Кварц-польовошпатові метасоматити розташовуються в пержанських гранітах і утворюють окремі вузькі тіла потужністю 1–2 м. Вони відрізняються від пержанських гранітів більш світлим кольором і відсутністю слюд. Це середньозернисті, рідко дрібнозернисті, масивні породи. Їх колір змінюється від рожевого до жовтуватого-білого. Їх мінеральний склад: кварц і калієвий польовий шпат, а також незначні кількості альбіту, мікрокліну, біотиту, мусковіту. Аксесуарні мінерали: магнетит і гідроокиси заліза. В одиничних зернах зустрічаються циркон, циртолїт, флюорит, каситерит, гентгельвін і фенакіт.

Альбіт-калівошпатові метасоматити поширені найширше. Це масивні, нерівномірні породи буро-рожевого і рожево-червоного кольорів. Їх мінеральний склад: калієвий польовий шпат (пертит) – до 95% і кварц – до 5%. Біотит майже відсутній, зустрічається у вигляді поодиноких лусочок. Калійний польовий шпат у різному ступені (до 95 %) альбітизований. Основні аксесорні мінерали: циркон, торит, каситерит, циртолїт, флюорит, гентгельвін і фенакіт, магнетит, титаномангнетит. На окремих ділянках зрідка зустрічаються виключно альбітові метасоматити. Вони виникли за рахунок майже повної альбітизації польових шпатів. Альбітові метасоматити приурочені до окремих невеликих тріщин в альбіт-калівошпатових метасоматитах.

Слюдисто-калівошпатові метасоматити являють собою в різному ступені грейзенітизовані дрібно- і середньозернисті породи рожево-темно-

сірого кольору. Їх мінеральний склад: польовий шпат (пертит) – 60-90 %, кварц до 30 %, біотит – до 35 %, мусковіт – до 7 %. Акцесорні мінерали: торит, каситерит, гентгельвін, фенакіт, малакон, магніт, топаз, гадолініт.

Характерними ознаками метасоматитів є широкий розвиток альбітизації, біотизації та окварцювання.

Пержанське рудне поле, яке знаходиться в середині Суцано-Пержанської зони, пов'язане з вузлом перетину різновікових і різноорієнтованих розривних порушень. Ці розломи послужили каналами для інтрузій сієнітів. Подібна тектонічна обстановка створила умови для легкої проникності гарячих розчинів і для виникнення динамометаморфізму.

У процесі переробки вихідних порід Пержанського рудного поля виявлено наступні стадії. На першій стадії відбувалася калішпатизація гранітів Пержанського рудного поля і метаморфізація габро і діоритів. В результаті мінерал плагіоклаз замістився мікроклін-пертитом. На другій стадії відбулася альбітизація порід, які розташовані поблизу зон субширотних розривних порушень, а також зон катаклазу і мілонітизації. В результаті мінерал мікроклін-пертит замістився альбітом. Третя стадія виразилася в грейзенизації і окварцюванні порід. В результаті мінерал біотит замістився сидерофіллітом і феррімусковітом і утворилися скупчення зерен кварцу, з якими пов'язаний мінерал циртоліт.

Всі три перераховані стадії мінералізації являють собою єдиний етап регіонального метаморфізму. Після цього етапу регіонального метаморфізму, локально, в зонах повторного катаклазу, проявився другий етап мінералізації, в якому виділяється чотири стадії. У першій стадії утворилися калішпатові метасоматити. У другій стадії відбувається альбітизація порід, а потім їх окварцювання. На цій стадії утворюється гентгельвін першої генерації. У третій стадії відбувається грейзенизація і утворення гранітів з блакитним кварцом. На цій стадії утворюється гентгельвін другої генерації і розчиняється гентгельвін першої генерації. Четверта стадія пов'язана з утворенням жил кварцу, гентгельвіну пізніх генерацій і всіх сульфідних мінералів, а також флюориту [2].

1.3. Особливості геологічної будови Пержанського берилієвого родовища.

Пержанське берилієве родовище включає дві рудоносні структури: «Крушинську» і «Північну». Ці структури розміщуються в смузі пержанських гранітів, яка має довжину близько 18 км і середню ширину – 1,2 км (рис. 1.4). Це тіло пержанських гранітів має такий мінеральний склад: мікроклін-пертит – 50–70%, кварц – до 35%, альбіт – 2–3%, біотит – 1–5%. Аксесуарні мінерали: флюорит, циртоліт, фенакіт, гентгельвін [2].

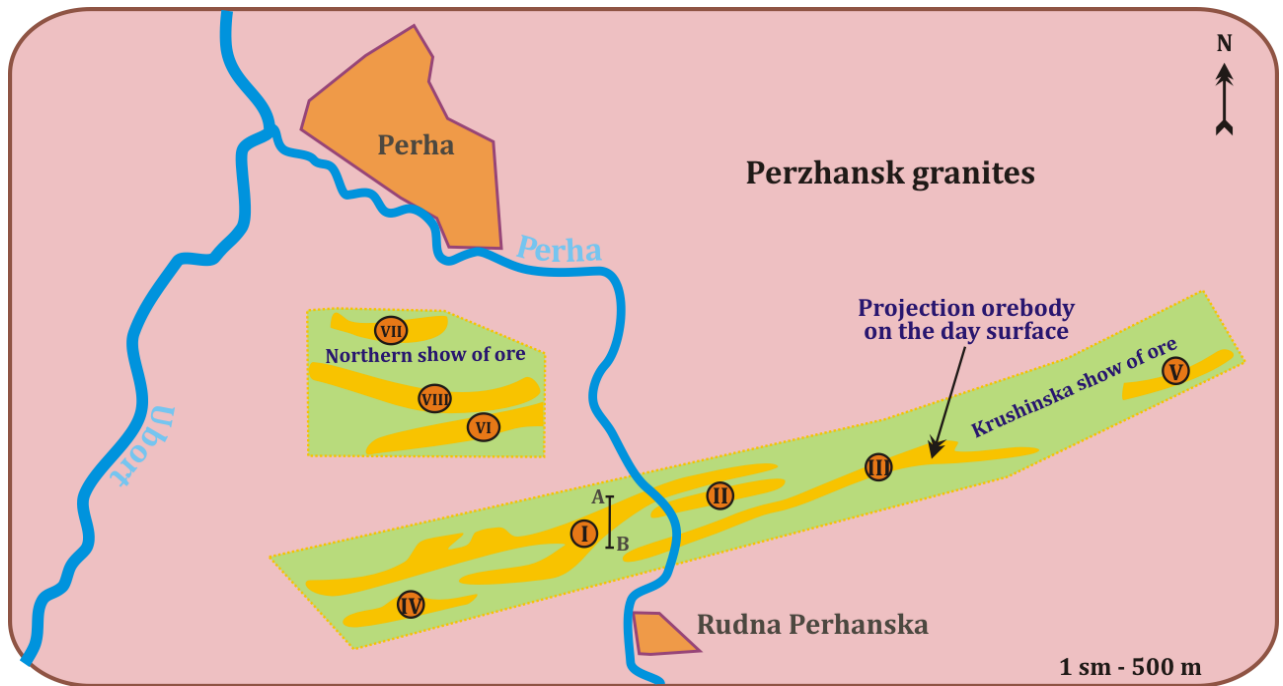


Рис. 1.4. Пержанське родовище берилію.

A-B – лінія геологічного розрізу (рис. 1.7)

(рисунок складений на підставі схеми Пержанського родовища [2].)

Крім пержанських гранітів берилієве орудження приурочене ще й до слюдисто-польошпатових, польошпатових і кварц-польошпатових метасоматитів. Ці метасоматити утворюють у пержанських гранітах витягнуті тіла різноманітних обрисів. У порівнянні з пержанськими гранітами вони вміщують значно менше кремнезему, кальцію, магнію і значно більше Al_2O_3 .

Породоутворюючі мінерали представлені мікроклін-пертитом, альбітом, кварцом і слюдами. Головний мінерал берилію – гентельвін. Аксесуарні мінерали: фенакіт, циркон, флюорит, циртоліт, каситерит, галеніт, магнетит.

Під час проведення геолого-розвідувальних робіт встановлено, що центральна частина прояву берилієвої мінералізації представлена мінералом гентельвіном (рис. 1.5), а периферійна – фенакітом и (рис. 1.6).



Рис. 1.5. Кристали малинового гематиту в мікрокліновому метасоматиті.

Майже в центрі зразка знаходяться сірі кристали галеніту.

Пержанське родовище. Розмір зразка – 4 см x 2,5 см x 2 см.

Фотографія В.В. Левицького



Рис. 1.6. Жовтувато-коричневі призматичні кристали фенакіту на кристалах мікрокліну з вкрапленнями бузкових зерен флюориту.

Пержанське родовище.

Розмір зразка – 2,5 см x 2,5 см x 2,5 см. Фотографія В.В. Левицького.

Метасоматити з гентельвіном виявлені на всій площі Пержанського родовища. Але найбільша концентрація гентельвіну характерна для північного і південного контактів метасоматитів з пержанськими гранітами.

Основні геологічні особливості двох рудоносних структур «Крушинської» і «Північної» Пержанського родовища описані нижче.

Крушинська рудоносна структура має довжину 5,6 км і ширину 530 м. Її площа дорівнює 2,98 квадратних кілометрів.

Вона являє собою смугу пержанських гранітів, яка включає кілька зон берилієвих метасоматитів і фенакітових гранітів.

Крушинська структура складена в основному пержанськими гранітами і гранітами з блакитним кварцом (рис. 1.7). Берилієва мінералізація зустрічається також і в дрібнозернистих гранітах, граніт-порфірах і метасоматитах. Але ці породи в межах Крушинської структури поширені незначно.

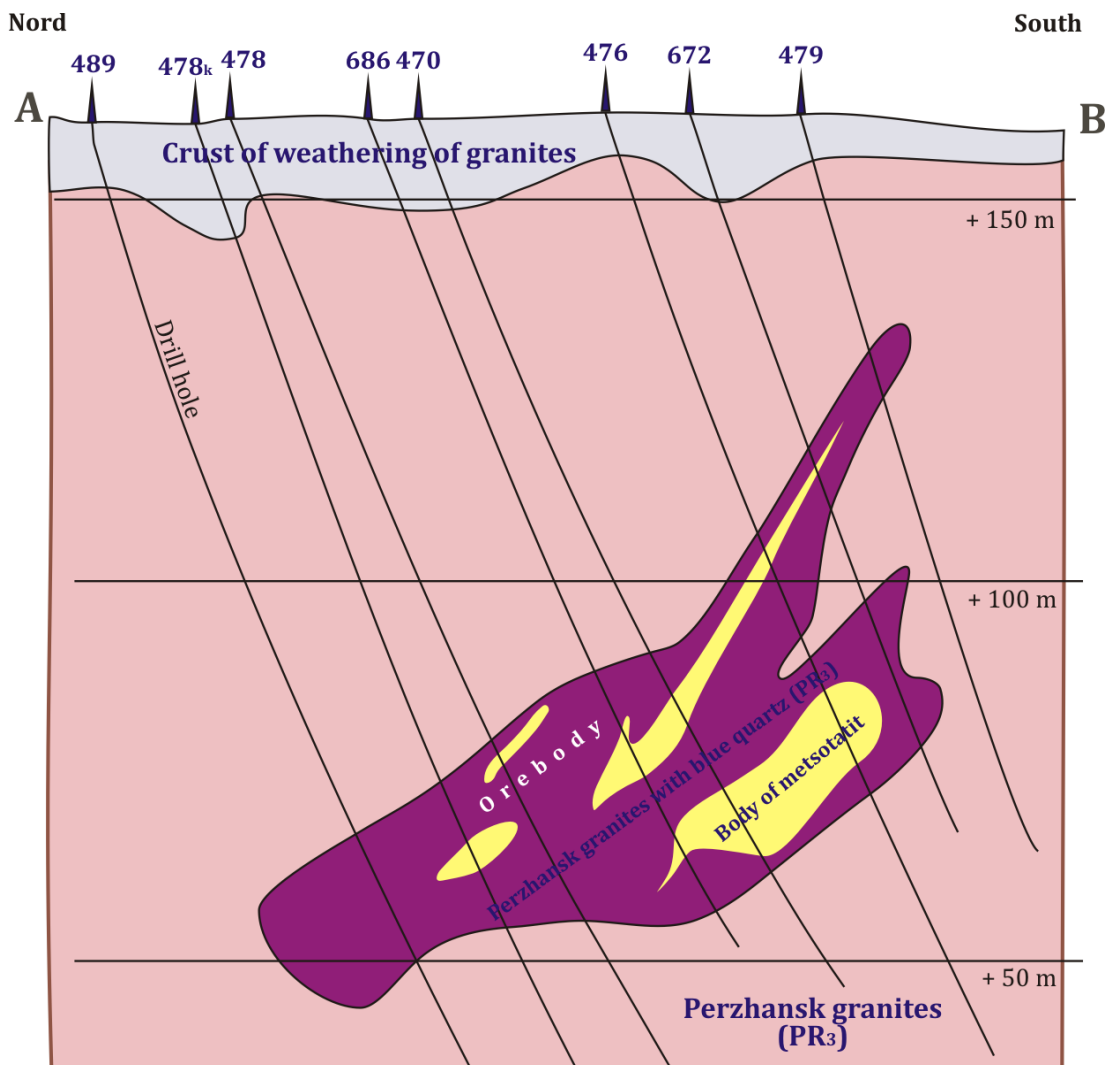


Рис. 1.7. Геологічний розріз через першу рудну зону.
Розташування лінії геологічного розрізу показано на рис. 1.4.
(рисунок складено на основі геологічного розрізу,
наведеного у звіті (Металіди та ін., 1977. Звіт. Київ)).

У межах Крушинської структури виділено п'ять рудних зон довжиною від 420 м до 3000 м і шириною від 35 до 80 м (див. рис. 1.4). Для рудних зон характерне північно-східне простягання. Кути падіння рудних зон коливаються в межах 40–70°. Деякі рудні зони виходять на денну поверхню, а деякі зони залягають на глибинах 300-400 м. Межі рудних зон поступові.

Кожна рудна зона включає рудні від одного до 35 тіл метасоматитів, які часто облямовані смугою гранітів з блакитним кварцом. Відстань між рудними тілами коливається від 5 м до 30 м. Рудні зони часто мають вертикальну зональність. У їх верхніх частинах знаходяться польошпатові метасоматити, а в нижніх – біотит-польошпатові метасоматити. Обидва типи метасоматитів включають багату гентгельвінову мінералізацію. Крім цього, є зональність у напрямку від периферії до центру рудних тіл. По периферії знаходяться: пержанські граніти, потім граніти з блакитним кварцом, потім кварц-польошпатові метасоматити, а в центрі рудних тіл – біотит-польошпатові або польошпатові метасоматити.

У межах Крушинської рудоносної структури зосереджено приблизно 82% запасів категорії C_1 і 74% запасів категорії C_2 гентгельвінових руд Пержанського родовища [2].

Північна рудоносна структура знаходиться в північно-західній частині Пержанського родовища на відстані 700-1400 м від Крушинської рудної структури. Її площа дорівнює 1,05 квадратних кілометрів. Ця структура приурочена до локального вигину смуги пержанських гранітів і включає чотири рудні зони. Рудні тіла представлені в основному метасоматитами довжиною від 50 м до 300 м (див. рис. 1.7). Їх середня глибина залягання становить 130 м.

За внутрішньою будовою і речовим складом рудні тіла Північної структури аналогічні рудним тілам Крушинської структури.

Всі рудні тіла Північної структури супроводжуються вузькими витягнутими зонами гранітів з блакитним кварцом, в яких зрідка зустрічаються флюорит і амазоніт. Для їх внутрішніх зон характерні калішпатизація і біотизація [2].

В цілому в межах Пержанського берилієвого родовища виявлено і досліджено 75 рудних тіл, для яких проведено підрахунок запасів [2].

Запаси гентгельвінових руд дорівнюють: за категорією C_1 – 1711.2 тисяч тонн, за категорією C_2 – 781.7 тисяч тонн [3]. Запаси затверджені в 1977 р. Запаси Пержанського родовища можуть бути істотно збільшені за рахунок включення в їх розрахунок гентгельвінових руд, які знаходяться на глибині, і фенакітових руд.

1.4. Характеристика берилієвих руд Пержанського родовища.

Берилієві руди приурочені до слюдисто-кварц-польошпатових метасоматитів (рис. 1.8), у яких співвідношення породоутворюючих мінералів змінюється в широких межах.



Рис. 1.8. Пержанський кварц-польошпатових гентгельвіновий метасоматит.

*Гентгельвін має малинове забарвлення.
Зразок включає мікроклін, кварц, егірин, молібденіт.*

Берилієві руди родовища належать до дрібнокрапкуватого типу. Залежно від рудного мінералу виділено два типи берилієвих руд: гентгельвінові руди (95–96%) і фенакітові руди (близько 2%).

Залежно від співвідношення породоутворюючих мінералів виділено основні типи рудних тіл (метасоматитів): кварц-польошпатові, польошпат-кварц-слюдисті, слюдисто-польошпатові, польошпатові та фенакітоносні граніти. На родовищі частки різних рудних метасоматитів показані в таблиці 1 [2].

Таблиця 1.1

Частки різних рудних метасоматитів Пержанського родовища берилію

№	Тип метасоматитів	Всього по родовищу	По рудним структурам	
			Крушинська структура	Північна структура
1.	Слюдисто-польовошпатові	76.0%	69.5%	87.0%
2.	Польовошпатові	20.0%	26.0%	11.0%
3.	Кварц-польовошпатові	4.0%	4.5%	2.0%

Основний рудний мінерал – гентгельвін. Він має різні типи забарвлення: малиновий (див. рис. 1.6), коричневий, рожевий (рис. 1.8) й інші. Гентгельвін представлений тетраедрами і зернами розміром від 0,01 мм до 1 мм трьох генерацій.



Рис. 1.8. Рожевий різновид гентгельвіну в кварц-мікрокліновому метасоматиті.

Найбільш ранній гентгельвін першої генерації зустрічається в польовошпатових метасоматитах і чистих альбітитах. Він представлений світложовтими або коричневими тетраедрами і зернами неправильної форми розміром від 0,1 мм до 1 мм, які мають ледь видиму зональність (їх внутрішнє яд-

ро світліше, ніж периферійна зона) . Характерними елементами-домішками є кадмій і титан.

Гентгельвін другої генерації зустрічається в альбіт-польовошпатових метасоматитах і представлений тетраедрами і кородованими зернами. Для нього характерна чітко виражена зональність. Ядро кристалів або зерен світло-жовте або жовте. Зовнішня зона – коричнева або світло-коричнева. Зони відокремлюються одна від одної смугою білого кольору. Часто спостерігається багаторазове чергування цих різних за кольором зон. Характерними елементами-домішками є кадмій, германій, торій.

Гентгельвін третьої генерації зустрічається в польовошпат-кварц-слюдистих, польовошпатових метасоматитах і представлений бурочервоними і коричневими зернами неправильної форми, а також уламками кристалів тетраедрів, які мають слабо помітну зональність.

Відзначимо, що, за даними різних досліджень, у Суцано-Пержанській зоні виділено вісім генерацій гентгельвіну [2].

У гентгельвіні встановлені наступні елементи-домішки: кадмій – 0,08%, титан – 0,03%, свинець, цирконій, мідь, молібден, олово і ніобій – 0,01–0,1%, церій, лантан, вісмут і срібло – 0,001–0,01%, германій, галій, ітрій, ітербій.

Вміст берилію знаходиться в прямій залежності від інтенсивності метасоматичної зміни порід. У метасоматично змінених пержанських гранітах вміст берилію в п'ять або шість разів перевищує його вміст у гранітах, які не були піддані метасоматозу. Найбільші концентрації берилію характерні для метасоматитів. Концентрація берилію в метасоматитах у багато разів перевищує концентрацію берилію в пержанських гранітах.

Корисним компонентом берилієвих руд є цинк. У гентгельвиновому концентраті, отриманому після збагачення гентгельвинових руд, кількість ZnO дорівнює 15.4–24.9%.

2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зразки з Пержанського родовища берилію були зібрані в 2015-2018 роках під час студентських польових робіт, організованих Університетом науки і технологій AGH та Криворізьким національним університетом. Відбір зразків руди здійснювався за допомогою місцевих геологів. У зв'язку з тим, що берилій не може бути визначений за допомогою електронного мікрозонда, його відсоток у гентгельвіні був розрахований за формулою, запропонованою Данном (1976):

$$(\text{Mn, Fe } 2+, \text{Zn, Ca, Mg}): \text{Be} = 4/3 \quad (2.1)$$

Для ідентифікації та характеристики рудних і породоутворювальних мінералів використовувалася мікроскопія у відбитому і прохідному світлі.

Хімічний аналіз гентгельвіну і сульфідів проводився за допомогою електронного мікрозонда JEOL JXA-8230 Super-Probe в лабораторії критичних елементів AGH-KGHM у Кракові. Мікрозонд працював у режимі дисперсії по довжині хвилі при прискорюючій напрузі 15 кВ і струмі зонда 20 нА. Для гентгельвіну використовувалися наступні стандарти і спектральні лінії: альбіт ($\text{SiK}\alpha$, $\text{AlK}\alpha$), родоніт ($\text{MnK}\alpha$), діопсид ($\text{CaK}\alpha$, $\text{MgK}\alpha$), санідін ($\text{KK}\alpha$), віллеміт ($\text{ZnK}\alpha$), фаяліт ($\text{FeK}\alpha$), ангідрит ($\text{SK}\alpha$). Дані електронного мікрозонда були скориговані за допомогою процедури ZAF і програмного забезпечення JEOL.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Гентгельвін належить до групи гельвінів із загальною формулою $\text{Be}_3\text{M}_4(\text{SiO}_4)_3\text{S}$ (де $\text{M} = \text{Fe}^{2+}$, Zn або Mn), до якої також входять гельвіт (Mn член) і даналіт (Fe^{2+} член). З них гентгельвіт є найрідкіснішим видом. Теоретично він містить: 54,54% ZnO , 12,58% BeO , 30,19% SiO_2 і 5,37% S [4].

В ході мікроскопічного і мікрозондового дослідження було виявлено три типи гентгельвіну. За кольором кристалів були виділені наступні типи: рожевий (тип 1), зелений (тип 2) і коричневий (тип 3) (рис. 2.1).

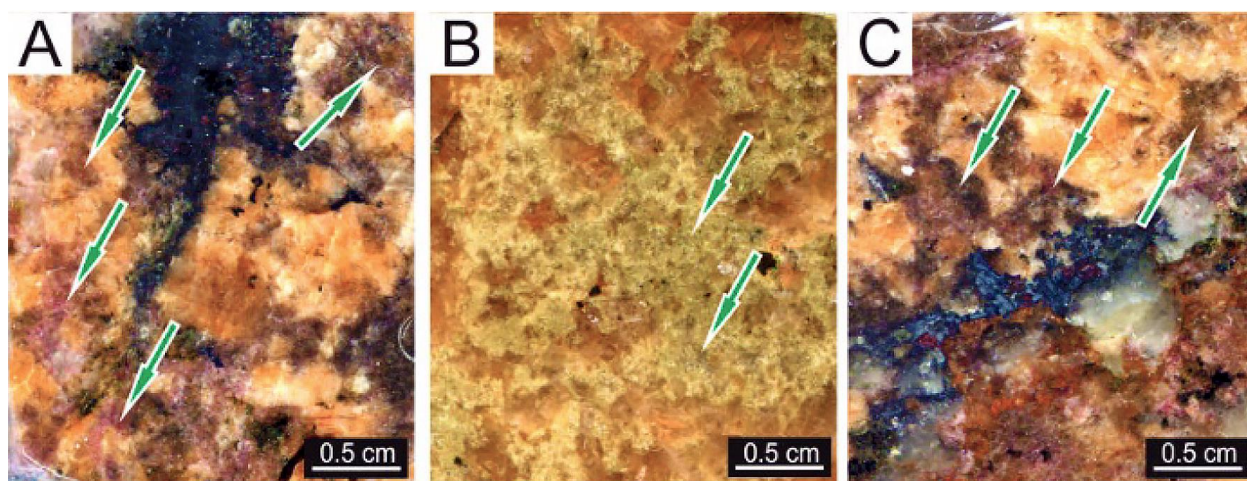


Рис. 2.1. *Різні типи гентгельвіну
(А – тип 1 – рожевий, В – тип 2 – зелений, С – тип 3 – коричневий).*

Для визначення хімічного складу і впливу домішок на колір гентгельвіну було проведено 75 аналізів – 11 для типу 1, 28 для типу 2 і 36 для типу 3 (табл. 2.1, рис. 2.2).

Таблиця 2.1

Типовий середній склад (у мас.%) гентгельвіну з Пержанського родовища

	T.C.	Type 1 (n = 11)	Type 2 (n = 28)	Type 3 (n = 36)
SiO ₂	30.19	31.63	30.94	31.59
MnO	-	1.15	0.62	1.0
ZnO	54.54	42.44	50.56	36.56
FeO	-	8.55	1.37	14.21
S	5.37	5.71	5.66	5.71
BeO	12.58	12.28	12.17	12.37
S=O	2.68	2.85	2.82	2.85
Total	100.00	98.93	98.56	98.61

T.C. – теоретичний склад за Данном [2].

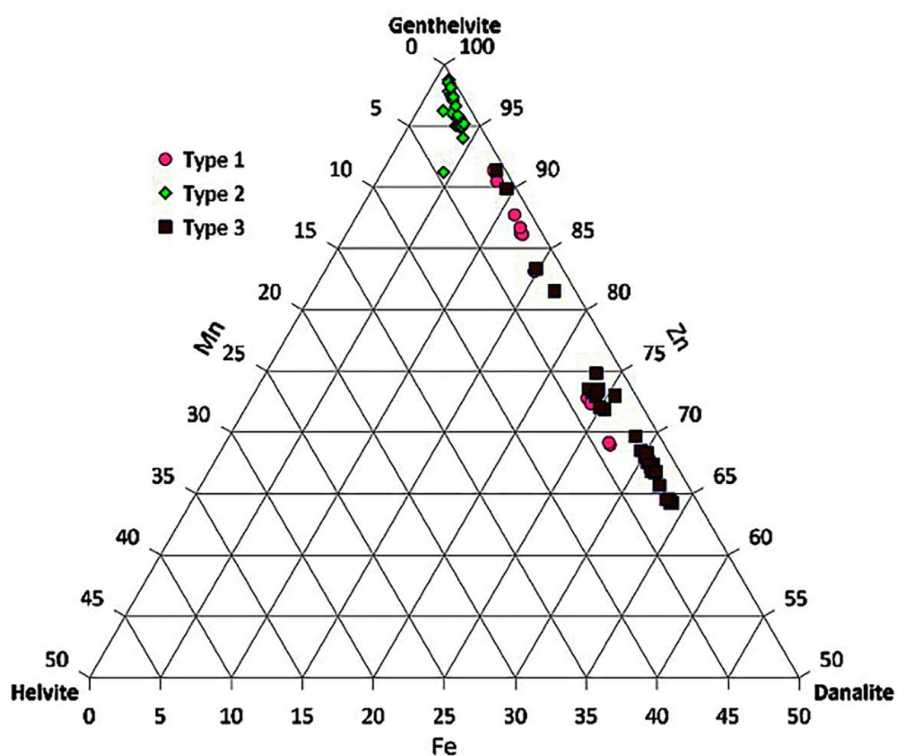


Рис. 2.2. Потрійна діаграма Fe-Mn-Zn гентгельвіну з Пержанського родовища.

ВИСНОВКИ

Кількісні вимірювання макроскопічно забарвлених різновидів гентгельвіну підтвердили відмінності в їх складі.

Рожевий різновид гентгельвіну (тип 1) містить в середньому 12,28% BeO, 42,44% ZnO, 8,55% FeO і 1,15% MnO.

Тип 3 (коричневий) характеризується нижчим вмістом ZnO (36,56%) і вищою часткою BeO (12,37%) і FeO (14,21%). Він також містить менше ZnO (36,56%) і MnO (1,0%) порівняно з типом 1.

Середній вміст гентгельвіну типу 2 представлений наступним чином: 12,17% BeO, 50,56% ZnO, 1,37% FeO і 0,62% MnO.

З усіх досліджених різновидів вміст ZnO іноді близький до теоретичного зеленого варіанту гентгельвіну. Цей результат узгоджується з твердженням Данна (Dunn, 1976) про те, що чистий гентгельвін може варіюватися за кольором від безбарвного до світло-зеленого. В результаті проведених хімічних аналізів було встановлено, що чим темніший гентгельвін, тим більше в ньому Fe і Be і тим менше Zn.

Зелений гентгельвін знайдено вперше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Геологічна карта кристалічної основи північно-західної та центральної частин Українського щита. Масштаб 1 : 200 000. — 1984.
2. Металіді С.В., Нечаєв С.В. Суцано-Пержанська зона (геологія, мінералогія, рудоносність). — Київ: Наукова думка, 1983. — 136 с.
3. Ткачук І.О. Спеціальний дозвіл на використання надр. — Київ, 2019. — 12 с.
4. Dunn P.J. Genthelvite and the helvine group // Mineralogical Magazine. — 1976. — Vol. 40. — Pp. 627–636.