

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.084>
УДК 553.2+549.02(477)

В.В. Сукач¹, д-р геол. наук, зав. відділу

E-mail: svital@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-4710-7230>

Н.В. Баряцька², д-р геол. наук, голов. геолог

E-mail: bariatskan@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-8068-2464>

С.М. Бондаренко¹, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: sbond.igmr@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-7948-3583>

В.О. Сьомка¹, д-р геол. наук, голов. наук. співроб.

E-mail: syomka1949@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-5202-4045>

Ю.Є. Хомич¹, аспірант

E-mail: yuriykhomich@gmail.com; <http://orcid.org/0009-0004-8924-6812>

М.М. Решетник¹, канд. геол. наук, пров. інженер

E-mail: reshetnykmariya@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5067-7728>

М.С. Котенко¹, аспірант

E-mail: kmsaoe@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5004-2968>

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, просп. Акад. Палладіна, 34

² ТОВ "Геологічна сервісна компанія"

04070, м. Київ, Україна, вул. Боричів Тік, 22А

МОЛІБДЕНОВА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ГАННІВСЬКОГО РОДОВИЩА, КРИВОРІЗЬКА СТРУКТУРА

Ганнівське родовище молібдену знаходиться в північно-східному борту Криворізької структури, в межах Східноганнівської монокліналі. Молібденове зруденіння приурочене до контактної зони метабазальтів новокриворізької світи з гранітоїдами демиринського комплексу. Головний обсяг молібденової мінералізації зосереджений в екзоконтакті, в метабазальтах, і лише 10–15 % — в ендоконтактних гранітоїдах. Головна молібденоносна зона представлена слабко зміненими (розсланцьованими, окварцьованими і біотитизованими) дрібнозернистими метабазальтами, які містять жильно-прожилкові утворення кварцового, епідот-кварцового, епідотового, інколи польовошпат-кварцового складу та помірну (0,5–3 %) сульфідну мінералізацію. Обсяг жильного матеріалу складає від 0,5 до 3–5 %. Геолого-морфологічний тип зруденіння — лінійний штокверк. Формування молібденової мінералізації відбувалось у процесі гідротермально-метасоматичних змін вмісних порід. За допомогою електронних мікроскопів JSM-6700F і JXCA-733 діагностовано та вивчено такі рудні мінерали: молібденіт, піротин, пірит, халькопірит, магнетит, ільменіт, льолінгіт, арсенопірит, сфалерит. Виділено декілька послідовних рудних стадій мінералоутворення: рання оксидна (ільменіт-магнетитова), головна сульфідна з молібденітом, арсенідно-сульфоарсенідно-сульфідна потенційно золотоносна та пізня сульфідна. Молібденіт поширений у зальбандах малопотужних (1 мм — 2 см) кварцових прожилків, інколи будинованих, лінз і карманів. Умовно виділено три морфологічні типи молібденіту: а —

Цитування: Сукач В.В., Баряцька Н.В., Бондаренко С.М., Сьомка В.О., Хомич Ю.Є., Решетник М.М., Котенко М.С. Молібденова мінералізація Ганнівського родовища, Криворізька структура. *Мінерал. журн.* 2023. 45, № 4. С. 84–99. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.084>

© Видавець ВД "Академперіодика" НАН України, 2023. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

середньолускуваті видовжені таблиці і пластинки розміром від 0,1 до 1,5—2 мм, орієнтовані субзгідно з прожилками і сланцюватістю порід; б — дрібнолускуваті (від 10—20 $\mu\text{м}$ до 0,1 мм) однаково або хаотично орієнтовані видовжені виділення; в — кристали гексагонально-таблитчастого габітусу завбільшки 0,1—0,7 мм. Окреслено коло питань, які потребують подальшого вивчення: епітаксійні зростки молібденіту і шаруватих силікатів та умови їх утворення, час формування молібденових руд і наявних у межах родовища гранітоїдів.

Ключові слова: Ганнівське родовище молібдену, мезоархей, новокриворізька світа, метабазальти, демуринський гранітоїдний комплекс, молібденіт, піротин, пірит.

Вступ. Попри доволі тривалу історію вивчення Криворізького басейну і вагомі практичні результати щодо залізорудних покладів світового рівня, деякі питання геології і корисних копалин цього регіону потребують подальшого дослідження і розвитку. Серед них особливо актуальним, відповідно до сучасних тенденцій комплексного використання мінеральної сировини, є вивчення нетрадиційних (або альтернативних) для цього регіону видів мінералізації: молібдену, урану, міді, скандію, золота, вісмуту, платиноїдів, вольфраму та ін. Одна із провідних ролей серед альтернативних корисних копалин Кривбасу належить молібдену. У межах регіону виявлено Ганнівське родовище та низку перспективних рудопроявів цього металу: Деріївський, Олександрівський, Шматківський, Червоношахтарський, Мотринський та ін. Ганнівське родовище має високі перспективи щодо промислового освоєння, підтвердженням цьому є геологорозвідувальні роботи (ГРР) 2020—2021 рр., виконані з метою оцінки рудних покладів його центральної частини, відомої як ділянка Червона. Під час виконання цих робіт було отримано нові оригінальні фактичні дані, які суттєво доповнили наші уявлення як про характер молібденового зруденіння, так і про будову вмісного породного комплексу. У цій статті висвітлено матеріали щодо геолого-структурної позиції зруденіння і закономірностей розвитку рудних мінеральних асоціацій, а також надано характеристику головного рудного мінералу — молібденіту.

Історія геологічного вивчення. Вперше молібденову мінералізацію теперішнього Ганнівського родовища було виявлено у 1965—1969 рр. геологорозвідувальною партією № 2 СхідГЗК під час спеціалізованого геологічного картування північної частини Кривбасу.

У 1973—1975 рр. у ході ревізійно-пошукових робіт комплексної партії Криворізької ГРЕ було підтверджено наявність молібденової мінералізації. Протяжність молібденоносних зон в амфіболітах на контакті з гранітоїдами складала 9 км. Планомірні систематизовані ГРР у межах об'єкта, який виокремлювали на той час як Східноганнівський або Ганнівський рудопрояв, розпочалися 1993 р. з пошуків молібдену та вольфраму. За результатами цих робіт Л.В. Гальчанський та ін. (2004) виділили молібденоносну смугу завширшки від 35 до 200 м, оконтурили рудні тіла, відмітили наявність супутніх вольфраму та вісмуту, а також ренію в молібденіті. Загальні (перспективні і прогнозні) ресурси молібдену були оптимістично оцінені у 132,8 тис. т за середнього 0,129 % і бортового 0,03 % вмісту металу.

Починаючи з 2005 року подальші ГРР концентрувались у найперспективнішій центральній частині родовища — на ділянці Червона. За результатами пошуково-оціночних робіт, виконаних Р.І. Постолуком та ін. (2010) в її межах було підраховано запаси і перспективні ресурси молібдену, які склали 34,9 тис. т за середнього 0,053 % і бортового 0,03 % вмісту металу. Оцінені запаси молібдену та їхній обсяг (разом із ресурсами) дають підставу розглядати досліджуваний об'єкт як середнє родовище. Економічно найдоцільнішим є варіант комплексного видобування руд із супутнім вилученням Cu, Bi і W за бортового вмісту Mo 0,05 %.

Наукові дослідження молібденової мінералізації Кривбасу загалом і району Ганнівського родовища у різні роки з різною детальністю виконали М.П. Семененко [11], Р.Я. Белевцев, В.В. Решетняк [10], Ю.Б. Бабков [2], Ю.Ф. Великанов [5, 6], В.К. Бутирін [3, 4], В.М. Іванов [7, 8], О.О. Юшин [16, 17], В.О. Сьомка

[14] та ін. Завдяки цим роботам у загальних рисах було з'ясовано закономірності поширення і геолого-структурні чинники локалізації зруденіння, запропоновано можливі генетичні моделі формування молібденових руд, вивчено мінералого-геохімічні особливості руд, навколорудних метасоматитів і вмісних порід. Серед названих фахівців необхідно відмітити Ю.Ф. Веліканова та ін. [6], дослідження яких дали змогу систематизувати дані щодо розміщення та локалізації проявів молібдену у вулканогенно-осадових товщах Криворізької структури, обґрунтувати висновок, що зруденіння Східноганнявської смуги є найперспективнішим у Кривбасі. Однак ці дослідники помилково відносили до первинноосадових утворень рудовмісні metabaziti новокриворізької світи і розглядали їх у складі єдиного теригенного комплексу разом із саксаганською та скелюватською світами криворізької серії.

В.М. Іванов зі співавторами головну роль у генезисі молібденової мінералізації відводили гідротермальним процесам, пов'язаним із укоріненням гранітоїдів [8]. Водночас у районі Східноганнявської смуги поширені різновікові гранітоїди від 1,8 до 3,07 млрд рр. [1], тому питання про те, які саме гранітоїди є рудогенними, залишається не з'ясованим.

Ревізію-оціночні роботи 2020—2021 рр. передбачали буріння 10 розвідувальних свердловин і позитивно вплинули на розв'язання важливих невирішених і дискусійних питань геології та зруденіння Ганнявського родовища. У результаті комплексного вивчення керну отримано нові оригінальні матеріали, які суттєво доповнюють і актуалізують раніше сформовані уявлення як про характер рудної мінералізації, так і про будову вмісного породного комплексу, частково вже оприлюднені. Зокрема, виявлено важливі факти стосовно онтогенії молібденіту і особливостей його взаємовідносин з породотвірними мінералами [12]; в розрізі родовища виділено кордієрит-антофілітовий горизонт, що перекриває утворення новокриворізької світи [13].

Мета роботи: уточнити та деталізувати геолого-структурну позицію і закономірності локалізації зруденіння молібдену Ганнявського родовища; з'ясувати особливості розвит-

ку і мінеральний склад рудної мінералізації та послідовність формування головних мінеральних асоціацій в рудах; охарактеризувати досліджені рудні мінерали; детально дослідити головний рудний мінерал — молібденіт.

Фактичний матеріал і методи досліджень.

Фактологічною основою виконаних комплексних досліджень є kern 10 розвідувальних свердловин, пробурених у межах Ганнявського родовища в 2020—2021 рр. Серед методів, застосованих під час виконання роботи, важливо відмітити опис стратифікованих утворень із застосуванням номенклатури вихідних вулканогенних та осадових порід, що для Ганнявського родовища виконано вперше. Лабораторні дослідження рядових кернових проб виконано високочутливим маспектрометричним методом на 48 елементів у провідних лабораторіях Європи (Румунія, Ірландія) з міжнародною акредитацією. Мінералого-петрографічні дослідження понад 100 представницьких зразків руд і вмісних порід у шліфах та аншліфах здійснено у відділі геології та геохімії рудних родовищ Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (ІГМР) НАН України за допомогою оптичного поляризаційного мікроскопа *ECLIPSE LV100POL (Nikon)* та електронних мікроскопів *JSM-6700F* і *JXCA-733*.

Геолого-структурна позиція. Ганнявське родовище молібдену знаходиться між м. Кривий Ріг і м. Жовті Води, поблизу с. Ганнявка, неподалік від однойменного кар'єру з видобутку залізистих кварцитів Північного гірничозбагачувального комбінату. Воно приурочене до так званої Східноганнявської смуги метаморфічних порід [3, 6, 7], яка є північно-східним крилом Криворізької синклінальної структури. Породи смуги моноклінально падають на захід під кутом 70—80° у напрямі до ядра синкліналі, через що в літературі часто застосовують назву Східноганнявська монокліналь. У межах родовища вона складена мезоархейськими, переважно основного складу метавулканітами новокриворізької світи, перекритими палеопротерозойськими залізисто-кременистими метатеригенними відкладами скелюватської і саксаганської світ криворізької серії. Зруденіння молібдену розвивається в північно-східному

борті монокліналі (смути), вздовж контакту метабазитів новокриворізької світи з мезоархейськими двопольовошпатовими гранітоїдами демуринського комплексу, які їх проривають (рис. 1). Останні в приконтактової зоні містять ксеноліти метабазальтів новокриворізької світи, а також останці плагіомігматитів дніпропетровського комплексу. В розрізі стратифікованих утворень також зафіксовано гранітоїди (апліти, граніти, пегматоїдні граніти) у вигляді малопотужних дайок, жил і шлірів. У контакті скелюватської та саксаганської світ виділено смугоподібне тіло лейкогранітів ганнівського типу потужністю до 600 м. У деяких свердловинах розкриті метапіроксеніти, ще рідше — меланократові метагабро, які залягають серед метабазальтоїдів у вигляді поодиноких лінзоподібних інтрузій потужністю від перших метрів до 10–20 м.

Породи кристалічного фундаменту практично повсюдно перекриті кайнозойськими та четвертинними відкладами осадового чохла потужністю 35–50 м.

Головне диз'юнктивне порушення — це Криворізько-Кременчуцький глибинний розлом, який відіграв визначальну роль у формуванні Криворізької структури. Власне він представлений тектонічною зоною, до якої належить серія зближених субпаралельних та оперяючих розломів. Звичайно локальні розломи поєднуються з головнішими під гострими кутами, мають незначну протяжність і січуть нашаровані метаморфічні утворення, зім'яті у складки різного рангу. Розломи фіксуються зонами подрібнення, катаклазу порід без суттєвого їх зміщення.

За даними ГДП-200 (В.В. Захаров та ін., 2002), зона Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому має віялоподібну морфологію з утворенням трьох основних розломів — Західного, Тарапаківського та Східного, які, ймовірно, сходяться на глибині. Саме це "віяло" тектонічних порушень контролює лускувато-складчасті форми Криворізької структури, формуючи складчасті парагенезиси різних порядків. У районі родовища виділяється Східний розлом. Він має круте західне падіння 75–85° і простягається в субмеридіональному напрямі вздовж борту Криворізької структури між породами

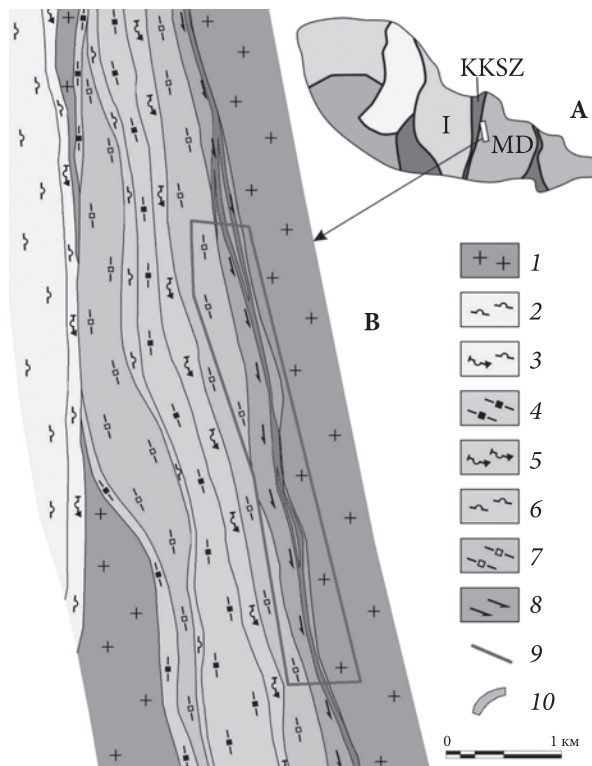


Рис. 1. Схема розміщення Ганнівського родовища молібдену в межах Українського щита (а) і Геологічна карта Ганнівського родовища (б): I — Інгульський і MD — Середньопридніпровський мегаблоку; KKSZ — Криворізько-Кременчуцька шовна зона; 1 — двопольовошпатові гранітоїди; 2 — сланці кварц-біотитові, кварцити (метапісковики); 3 — сланці кварц-амфібол-біотитові; 4 — магнетитові кварцити, метапісковики, метагравеліти; 5 — сланці амфіболові, кордієрит-амфіболові; 6 — сланці мусковітові; 7 — слюдісті кварцити; 8 — амфіболіти; сланці амфіболові (метабазальти); 9 — границя ділянки Червона; 10 — зона молібденової мінералізації

Fig. 1. Location scheme of the Hannivka molybdenum deposit within the Ukrainian Shield (a) and Geological map of Hannivka deposit (b): I — Inghul and MD — Middle Dnipro megablocks; KKSZ — Kryvyi Rih-Kremenchuk suture zone; 1 — two-feldspar granitoids; 2 — quartz-biotite schists (metasandstones); 3 — quartz-amphibole-biotite schists; 4 — magnetite quartzites, metasandstones, metagavelites; 5 — amphibole, cordierite-amphibole schists; 6 — muscovite schists; 7 — mica schists; 8 — amphibolites, amphibole schists (metabasalts); 9 — boundary of the Chervona site; 10 — molybdenum mineralization zone

новокриворізької серії та гранітами демуринського комплексу.

Вмісний породний комплекс. Головний обсяг молібденової мінералізації (до 85–90 %) локалізований у метабазитах новокриворізької світи, представлених двома голо-

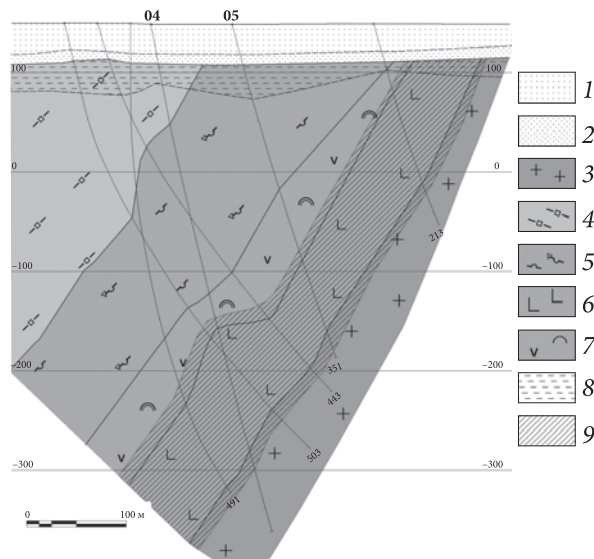


Рис. 2. Геологічний розріз Ганнівського родовища молібдену вздовж профілю бурових свердловин № 6: 1 — четвертинні суглинки; 2 — палеоген-неогенові відклади; 3 — гранітоїди демуринського комплексу; 4 — метапісковики, метагравеліти скелюватської світи; 5 — сланці кордієрит-антофілітові та слюдисті з гранатом; новокриворізька світи; 6 — metabasalts лавової фації; 7 — metabasalts, метаандезибазальти туфової фації; 8 — кора вивітрювання; 9 — зона молібденової мінералізації

Fig. 2. Geological cross-section of the Hannivka molybdenum deposit along the profile No. 6 of drillholes: 1 — Quaternary loams; 2 — Paleogene-Neogene sediments; 3 — granitoids of Demuryne complex; 4 — meta-sandstones, metagraywackes of Skelyuvatka suite; 5 — cordierite-antophyllite and mica schists with garnet; Novokryvorizka suite; 6 — metabasalts of lava facies; 7 — metabasalts, metaandesibasalts of tuff facies; 8 — weathering crust; 9 — molybdenum mineralization zone

вними фаціальними петротипами: 1) metabasalts лавової фації; 2) metabasalts, рідко метаандезибазальти туфової фації, які далі розглянуто як метатуфи.

Звичайно ці два фаціальні різновиди в об'язі новокриворізької світи загальною потужністю 200—250 м утворюють грубе перешарування. Потужність шарів складає від 10—20 до 60—70 м; максимальні її значення найхарактерніші для metabasaltsів. У верхній частині розрізу домінують метатуфи з прошарками metabasaltsів потужністю до 10 м, рідко більше, а в нижній, навпаки, серед metabasaltsів виділяються поодинокі прошарки малопотужних метатуфів. Серед обох різновидів є прошарки від 1 см до 30—40 м сланців біотитових, кварц-біотитових,

кварц-плагіоклаз-біотитових, інколи з гранатом, які ми діагностували як метаморфізовані аргіліти, алевроліти, туфіти з мінливим співвідношенням вулканогенного і осадового матеріалу. Інколи їхня потужність сягає 1 м, або ж вони формують серед metabasaltsів інтервали (2—4 м) інтенсивного насичення малопотужними прошарками. В таких локальних інтервалах вони можуть складати до 40 % обсягу розрізу.

У складі світи metabasaltsи є головним родовмісним петротипом, а метатуфи мають продуктивну мінералізацію лише у випадку, якщо вони знаходяться серед metabasaltsів у молібденоносній зоні у вигляді прошарків потужністю від 5 см до 1 м, рідко більше.

Загалом незмінені metabasaltsи або не містять сульфідів, або містять їх на рівні 0,1—1 %. Сульфідів представлених піротитом і піритом, які наявні приблизно у рівних обсягах, зрідка — халькопіритом. У межах мінералізованих зон, зокрема молібденоносних, рівень сульфідизації може підвищуватись до 2—3 %, локально — до 5 %. Однією із важливих діагностичних ознак метатуфів у розрізах свердловин є суттєво вищий, порівняно з metabasaltsами, рівень сульфідизації, який підвищується до 3—5 % і навіть до 8—15 % в деяких інтервалах.

За морфологією і особливостями поширення як в metabasaltsах, так і в метатуфах сульфідів утворюють: 1) суттєво сульфідні субзгідні, рідше січні прямолінійні, інколи хвилясті переривчасті прожилкоподібні смужки завширшки 1—5 мм, складені зернами від 0,1 мм до 2—3 мм; 2) виділення першого типу, але в асоціації з кварцом, тобто приурочені до кварцових прожилків, лінз, неправильних форм; 3) пилоподібна імпрегнація дрібних зерен (0,1—0,5 мм) у всій масі породи; 4) порівняно великі (завбільшки у перші сантиметри) гнізда, кармани, шліри і скупчення в асоціації з кварцовими прожилками або без них.

У гранітоїдах демуринського комплексу, які проривають metabasaltsи новокриворізької світи, зосереджено не більше 10—15 % молібденових руд. Граніти переважно середньозернисті, середньо-великозернисті, біотитові, мусковіт-біотитові граніти, з варіаціями кольору від рожевого, до жовто-, світло-

Рис. 3. Загальний вигляд типових молібденових руд у поздовжніх розрізах керну свердловин: *a* — в метабазальтах, св. 01, гл. 368,8 м; *b* — у двополювошпатових гранітах, св. 10, гл. 319,2 м; 1 — метабазальт; 2 — кварцові прожилки; 3 — зони біотитизації в метабазальті; 4 — граніт змінений, розсланцьований; 5 — аплітоподібна порода

Fig. 3. General view of typical molybdenum ores in longitudinal sections of borehole cores: *a* — in metabasalts, drillhole 01, depth 368.8 m; *b* — in two-feldspars granites, drillhole 10, depth 319.2 m; 1 — metabasalts; 2 — quartz veins; 3 — biotitization zones in metabasalts; 4 — altered and schistosity granite; 5 — aplite-like rock

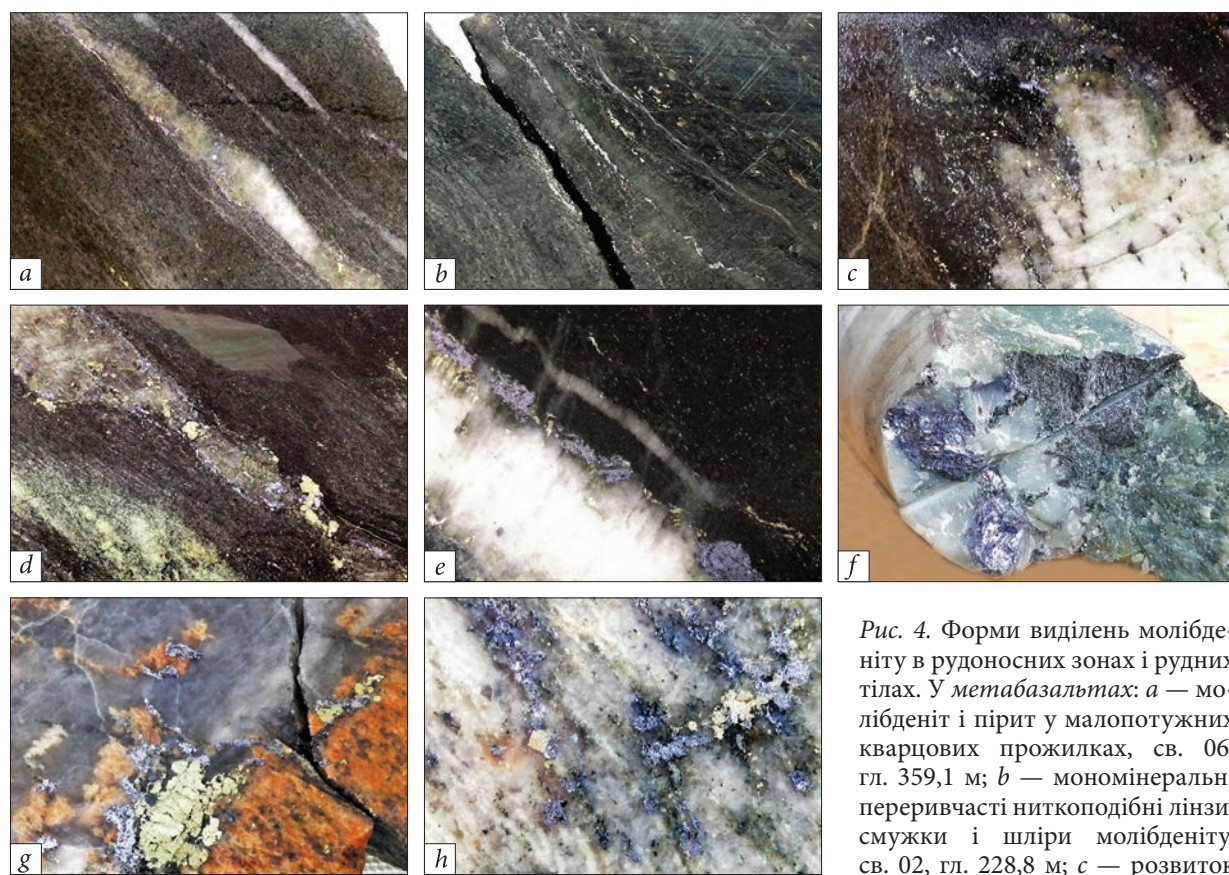
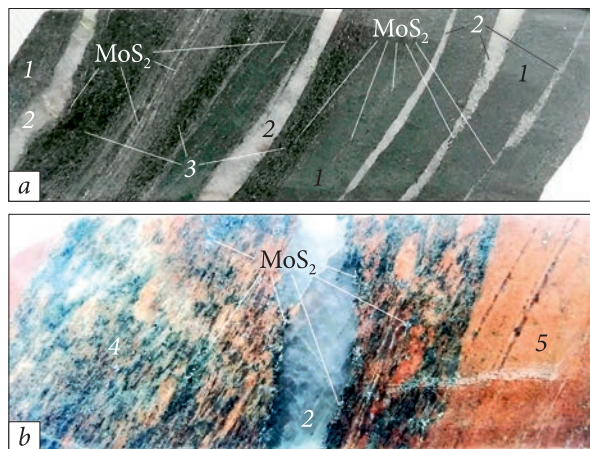


Рис. 4. Форми виділень молібденіту в рудоносних зонах і рудних тілах. У метабазальтах: *a* — молібденіт і пірит у малопотужних кварцових прожилках, св. 06, гл. 359,1 м; *b* — мономінеральні переривчасті ниткоподібні лінзи, смужки і шліри молібденіту, св. 02, гл. 228,8 м; *c* — розвиток

молібденіту вздовж зубчастого обмеження кварцового карману та у вигляді дрібнолускуватої розсіяної вкрапленості, св. 03, гл. 147,1 м; *d* — молібденіт і пірит у вигляді кайм оточують кварцові будини, св. 08, гл. 103,5 м; *e* — пірит-молібденітовий ланцюжок у зальбанді кварцового прожилка, св. 06, гл. 356,1 м; *f* — два великолускуваті вкраплення молібденіту в кварцовій жилі, св. 04, гл. 407,3 м; у гранітах: *g* — лускуваті агрегати молібденіту в асоціації з крупнокристалічним піритом, св. 08, гл. 163,0 м; *h* — скупчення переважно ізометричних вкраплень середньолускуватого молібденіту та кубічного піриту, св. 06, гл. 419,9 м

Fig. 4. Morphology of molybdenite in ore-bearing zones and ore bodies. In metabasalts: *a* — molybdenite and pyrite in thin quartz veins, drillhole 06, depth 359.1 m; *b* — monomineral discontinuous threadlike lenses, strips and slots of molybdenite, drillhole 02, depth 228.8 m; *c* — molybdenite along the jagged boundary of a quartz pocket and fine-scaled scattered disseminated inclusions, drillhole 03, depth 147.1 m; *d* — molybdenite and pyrite rims surrounding quartz veins, drillhole 08, depth 103.5 m; *e* — pyrite-molybdenite chain in zonal band of a quartz vein, drillhole 06, depth 356.1 m; *f* — two coarse-flake molybdenite inclusions in a quartz vein, drillhole 04, depth 407.3 m. In granites: *g* — flaky molybdenite aggregates in association with coarse pyrite, drillhole 08, depth 163.0 m; *h* — mostly isometric inclusions of medium-flaky molybdenite clusters and cubic pyrite, drillhole 06, depth 419.9 m

сірого. Подекуди в основній масі породи виділяються більші (1—1,5 см) зерна польового шпату (переважно мікрокліну), які створюють слабко виражену порфіроподібну структуру. В інтервалах тектоно-метасоматичних змін граніти перетворюються на гнейсоподібні неоднорідні породи переважно сірого, світло-сірого кольору, від середньо- до дрібно-середньозернистих, зростає кількість мусковіту, який заміщує біотит. У результаті підвищення інтенсивності тектонічних процесів (бластокатаклаз, мілонітизація) породи набувають сірих відтінків і дрібнозернистої структури, подекуди нечітко смугастого вигляду за рахунок чергування ділянок катаклазу різної інтенсивності та ступеня окварцювання. Останнє часто виражено появою поодиноких кварцових прожилків потужністю у перші сантиметри та жил — до 2—3 м. Відмічена також розсіяна вкрапленість сульфідів у кількості від 0,5 до 3 %.

Характеристика рудоносних зон і рудних тіл. Зруденіння молібдену приурочене до зони контакту metabазальтів новокриворізької світи з гранітоїдами demuринського комплексу, які укорінилися уздовж північно-східного борту Криворізької структури (рис. 2). Молібденоносна зона потужністю від 15—20 до 100—120 м простягається вздовж контакту на відстань близько 9 км. Загалом вона охоплює екзоконтактові metabазальти (до 100 м), а також власне контакт та ендоконтактові граніти. Іноді суцільність зруденіння молібдену в гранітах може перериватись, а в metabазальтах — віддалятися від контакту на відстань до 50 м у вигляді «рукавів».

У межах мінералізованої зони кількість сульфідів як у metabазальтах, так і в гранітоїдах варіює від 0,5 до 3 %. Безпосередньо молібденіт приурочений до зальбандів малопотужних (0,01—2 см) кварцових жил і прожилків (рис. 3). Часто він є у кварцових лінзах, будинах, карманах. Малопотужні молібденітовмісні кварцові жильно-прожилкові утворення набувають характерного голубувато-металевого відтінку. За морфологією поширені як прямолінійні, однорідні з чіткими обмеженнями жили і прожилки, так і звивисті, хвилясті, з нерівними контактами, неоднорідної внутрішньої будови. Переважна більшість із них невитриманої потужнос-

ті, розлінзовані, будиновані та орієнтовані субзгідно до сланцюватості вмисних порід. Січні взаємовідношення спостерігаються рідко.

В асоціації з молібденітом постійно присутні сульфіді: пірит, піротин, халькопірит. Вони утворюють дрібну (0,1—1 мм) вкрапленість в основній масі породи, рідше субзгідні нитко-, лінзоподібні смужки та гніздоподібні скупчення розміром у перші сантиметри, приурочені до прожилків світло-сірого кварцу. Загалом спостережено більш-менш рівномірний розподіл піриту, піротину і халькопіриту в межах мінералізованої зони (зон). Тоді як для молібденіту у багатьох свердловинних перетинах проявлена симетрична зональність: у напрямі від крайових до центральних частин зони його вміст поступово збільшується від окремих, ледь помітних лусок, переривчастих ниткоподібних виділень до вкраплень, гніздоподібних карманів, лінз, примазок завбільшки 1—5 мм, іноді до 1—2 см (рис. 4). Відповідно вміст молібдену зростає від 0,001 % в крайових до 0,8 % в центральних частинах зони, де звичайно виділяється одне рудне тіло. Тому загальні контури рудних тіл можна виділити під час польової документації за найвищою концентрацією молібденіту в керні, а підтвердити та локалізувати вже за даними лабораторних досліджень і вмістом молібдену у пробах понад 0,01 %.

Зазвичай інтенсивний розвиток молібденіту спостерігається в зонах помірного окварцювання порід, біотитизації metabазальтів і мусковітизації гранітоїдів. Потужність рудних тіл не витримана і змінюється від 1 до 10 м і в роздувах може сягати 18—20 м.

Молібденоносна зона (зони) з наявними в її осьовій частині рудними тілами за морфологією, речовинним складом і внутрішньою будовою розглядається як лінійний штокверк.

Рудні мінерали та послідовність їх утворення. Вивчення структурно-текстурних особливостей і просторово-часових взаємовідносин між рудними мінералами Ганнівського родовища дає змогу виділити декілька послідовних рудних стадій мінералоутворення: рання оксидна (ільменіт-магнетитова); головна сульфідна з молібденітом; арсенідно-сульфоарсенідно-сульфідна (арсеносенова) потенційно золотоносна; пізня сульфідна.

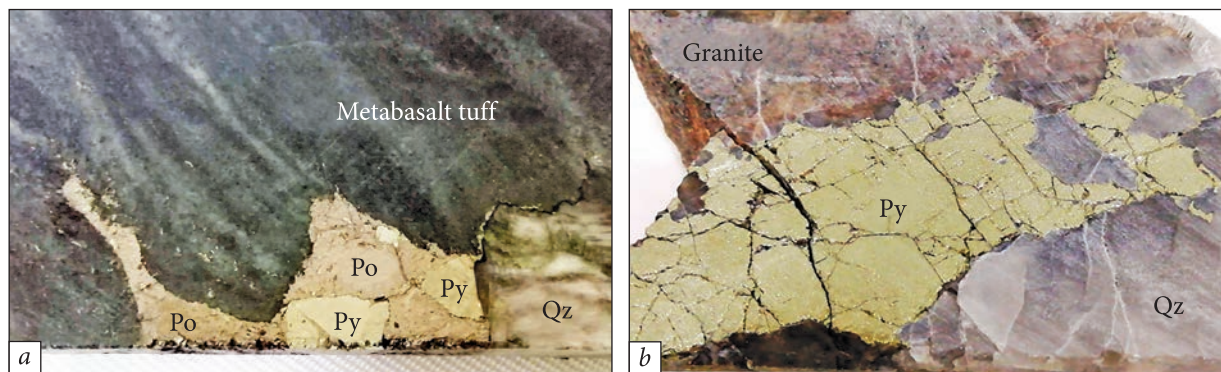


Рис. 5. Скупчення сульфідів у зразках керну зі св. 06: *a* — кварц-сульфідне гніздо в метабазальтовому туфі, піротин (Po) вміщує окремі кристали піриту (Py), зр. 06/231,25; *b* — крупнокристалічний пірит у зальбанді кварцового (Qz) прожилка в гранітах, зр. 06/428,2

Fig. 5. Sulfide clusters in core samples from drillhole 06: *a* — quartz-sulfide nest in metabasalt tuff, pyrrhotite (Po) contains individual pyrite crystals (Py), sample 06/231,25; *b* — large-crystal pyrite in a zalband of quartz (Qz) veinlet in granites, sample 06/428,2

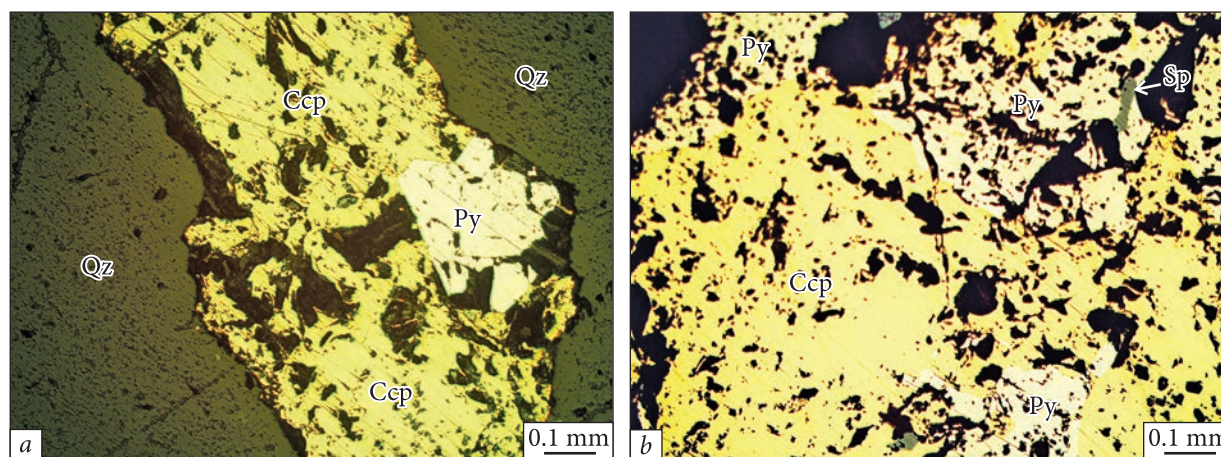


Рис. 6. Халькопірит (Ccp) в зростках з піритом (Py) у кварцовому прожилку в метабазальтах, аншліф 01/380,6. Зерно сфалериту (Sp) міститься у піриті (b)

Fig. 6. Chalcopyrite (Ccp) in intergrowths with pyrite (Py) in quartz veins in metabasalt, polished section 01/380,6. Sphalerite (Sp) grain is contained in pyrite (b)

Мінерали головної рудної стадії сформувались у результаті гідротермально-метасоматичного перетворення вулканогенного мафітового субстрату в умовах метаморфізму переважно епідот-амфіболітової фації та ультраметаморфізму, що відбувались, вірогідно, під впливом укорінення плутонічних масивів і гіпабісальних тіл мезоархейських двопольовошпатових гранітоїдів демуринського комплексу.

Рання оксидна стадія. На ранній стадії утворились оксиди Fe та Ti, які доволі широко розповсюджені у метаморфічних породах родовища. По відношенню до головної, продуктивної на Mo стадії, оксиди є дорудними.

Магнетит (Fe_3O_4) — поширений рудний мінерал у молібденоносних зонах і рудних тілах та більшою мірою у вмісних метабазитах. Подеколи кількість магнетиту у метабазальтових туфах може сягати 3—5 %. Переважно мінерал представлений лінзоподібними видовженими або ізометричними агрегатами неправильних, рідше ідіоморфних зерен завбільшки 0,1—1 мм. Утворення магнетиту відбувалось унаслідок широкого розвитку процесів окиснення на всіх етапах метасоматичного перетворення залізовмісних мінералів. Кристалізація різних генерацій оксиду пов'язана із загальним перебігом і синхронізацією (часовою кореляцією) всіх процесів,

починаючи з метаморфізму, діафторезу і закінчуючи низькотемпературним метасоматозом та гідротермальними перетвореннями. Відкладення магнетиту тривало на кожному етапі і в кожній породі з певними мінералого-геохімічними особливостями.

Ільменіт (FeTiO_3) — типовий акцесорний мінерал метабазитів і сланців різного складу, за обсягом він суттєво поступається магнетиту. Низка текстурних і структурних особливостей просторових співвідношень цих мінералів вказує на синхронно-парагенетичний характер їх утворення. Ільменіт сформувався на оксидній стадії, представлений ізометричними та видовженими, дещо заокругленими зернами. Зокрема в метабазах, де спостерігається максимальна концентрація акцесорного ільменіту, переважна морфологія його виділень призматичновидовжена, заокруглена.

Арсенова мінералізація спорадично наявна в надрудних метапелітах біотит-плагіоклаз-кварцового складу, іноді з гранатом, які в межах скелюватської світи залягають на метабазах новокриворізької світи. Такий тип мінералізації вважають потенційно золотоносним. У більшості випадків він характеризується постійним речовинним складом і не залежить від варіацій кварц-сульфідного співвідношення в породі.

Піротин (FeS) — один із найрозповсюдженіших сульфідів у мінералізованих зонах Ганнівського родовища. Він утворює розсіяну вкрапленість алотріоморфнозернистих дрібних агрегатів, досить великі (1—2 см за перетином) скупчення (рис. 5, а), близькі за текстурою до масивних, серії прожилків, окремі субідоморфні агрегати. Кількість мінералу варіює від поодиноких зерен до густовкраплених скупчень, прожилків і навіть до масивних скупчень. Просторово піротин асоціює з темноколірними мінералами, найчастіше з амфіболом, біотитом у метабазах туфової фації, де його кількість інколи може сягати 12—15 %. Масове відкладення сульфідів відбувалось після формування льолінгіт-арсенопіритової асоціації, нижче від неї за розрізом і вище від продуктивної сульфідної мінералізації з молібденітом.

Пірит (FeS_2) відмічено повсюдно у вмісних породах і в рудах. Його поширення є

значно мінливим. У метатуфах він наявний приблизно в однаковій кількості з піротином, а в метабазах, зокрема рудоносних, він домінує (рис. 5). Часто кількість мінералу прямо залежить від наявності залізовмісних породоутворювальних мінералів. Так, у зонах біотитизації його концентрація може зростати до 5—10 % від обсягу породи. Надзвичайно широкий спектр морфології виділень мінералу спонукає часто до необґрунтованого розрізнення значної кількості його генерацій. Серед основних морфологічних різновидів переважають алотріоморфнозернисті агрегати, інколи в зростках із марказитом, великозернисті скупчення з ідіоморфними обрисами, лінзоподібно-овальні та неправильні форми, а також дрібні прожилки, просічки, дендритоподібні продукти заміщення залізовмісних мінералів. Розмір агрегатів може сягати 5—10 мм, а в гніздах — до 4—5 см і більше (рис. 5, б). Мінерал тісно асоціює з піротином, магнетитом, ільменітом. Просторово-часові взаємовідношення піриту з іншими рудними мінералами свідчать, що найчастіше пірит утворюється внаслідок дисульфідизації більш раннього піротину.

Халькопірит (FeCuS_2) за поширенням в рудах значно поступається піротину та піриту. За часом утворення виділяються дві генерації сульфідів міді. Ранній халькопірит-1 поширений у високотемпературних парагенезисах Pb - Pb - Cu , а також в асоціації з молібденітом. Досить часто більший (0,4—1 мм за видовженням) халькопірит є у кварцових прожилках (рис. 6). Пізній халькопірит-2 фіксується у вигляді мікропрожилків у піриті. Можна припустити, що в інтервалах з підвищеним вмістом халькопіриту збільшується концентрація золота.

Незначно поширені сфалерит, шееліт, галеніт і вісмутин описані в роботі [7], де викладено також не підтверджені дані про знахідки самородних срібла і вісмуту та телуридів вісмуту. Під час цих досліджень в одному із аншліфів було діагностовано сфалерит.

Сфалерит (ZnS) — парагенетичний халькопіриту сульфід, виявлений у вигляді дрібних округлих включень у халькопіриті (рис. 6). Поведінка мінералу в процесі рудного мінералоутворення значною мірою подібна до халькопіриту.

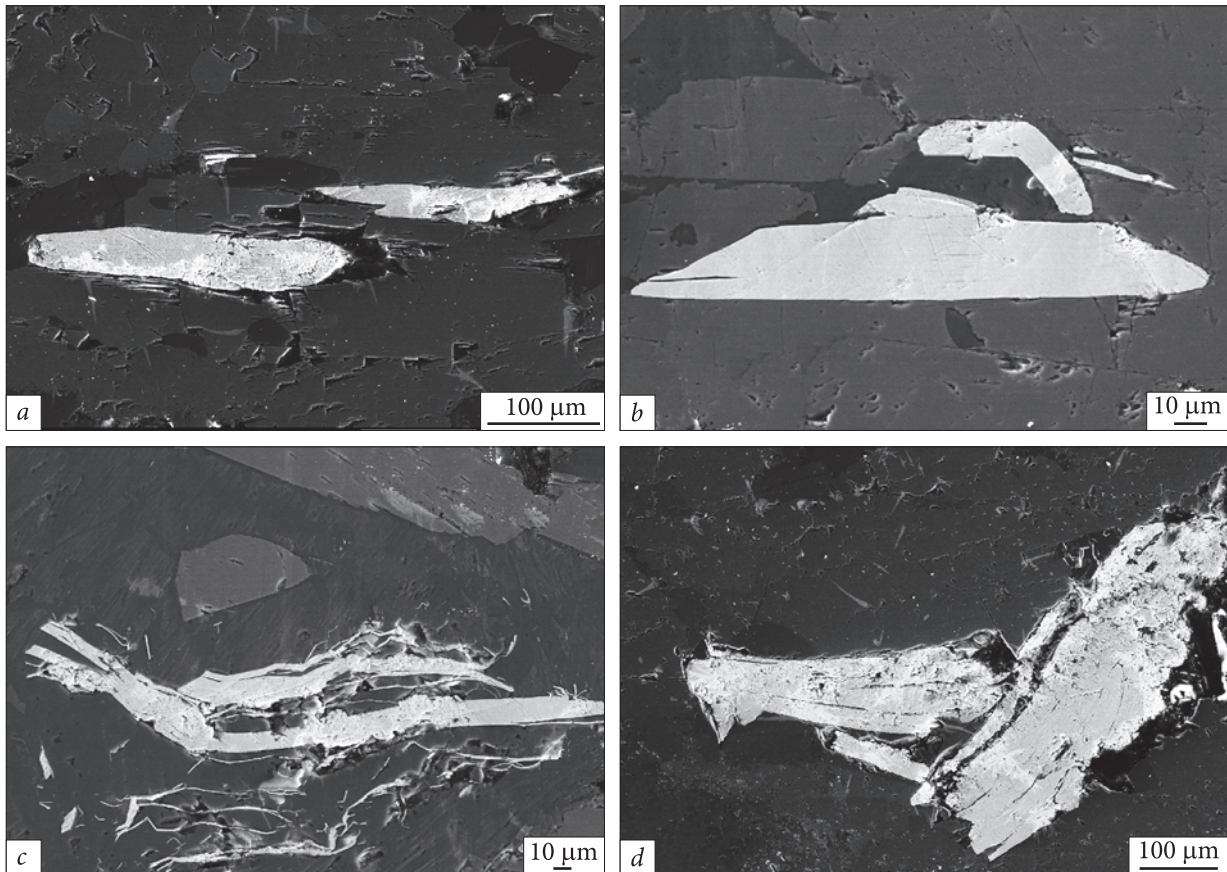


Рис. 7. Електронно-мікроскопічні знімки середньо- (а–f) і дрібнолускуватих (g–h) виділень молибденіту в аншлифах із рудної зони Ганнівського родовища, св. 08, гл. 240,2 м

Fig. 7. Electron microscopic images of medium- (a–f) and fine-flake (g–h) molybdenite inclusions in polished sections from the ore zone of the Hannivka deposit, drillhole 08, depth 240.2 m

Молибденіт (MoS_2) є головним рудним мінералом, який визначає практичну значимість Ганнівського родовища. Відповідно до породного складу рудоносної зони він поширений, переважно, у metabazитах новокриворізької світи (екзоконтакт), меншою мірою — у двопольовошпатових гранітоїдах демуринського комплексу (ендоконтакт) і безпосередньо в їхньому контакті.

Як зазначено вище, молибденіт локалізується переважно у зальбандах малопотужних (від 0,01 до 2 см) субзгідних кварцових жил і прожилків, лінз, карманів, а також у вмісних породах (рис. 4). У metabазальтах найчастіше трапляються мономінеральні (так звані "сухі") або з кварцом тонкі ниткоподібні (~1 мм) лінзочки, переривчасті смужки і шліри (рис. 4, b), частково — тонколускувата розсіяна вкрапленість (рис. 4, c). Для мінералізації у гранітах найхарактернішим є фор-

мування ізометричних ідіоморфних агрегатів (рис. 4, g, h).

За розміром виділення мінералу виділяється дрібно- (в діапазоні від 10—20 μm до 0,1 мм за видовженням) і середньолускуватий (від 0,1 до 1,5—2 мм) молибденіт. Середньолускуваті індивіди розміром 0,2—0,3 мм є найпоширенішими. Це паличко- і лінзоподібні форми (рис. 7, a, b), видовжені таблички і пластинки, правильні обриси яких зазвичай різною мірою порушені, погнуті, надламані, інколи з пустотами, торцеві краї розщеплені, а бокові інколи "ворсисті" (рис. 7, c). У більшості випадків вони орієнтовані субпаралельно з прожилками і сланцюватістю порід, інколи розташовані безсистемно у вигляді скупчень значної кількості індивідів (рис. 7, d, e). Переважно спостерігаються агрегати лише декількох зерен у вигляді гнізд і вкраплень завбільшки 1—5 мм, які в межах рудних

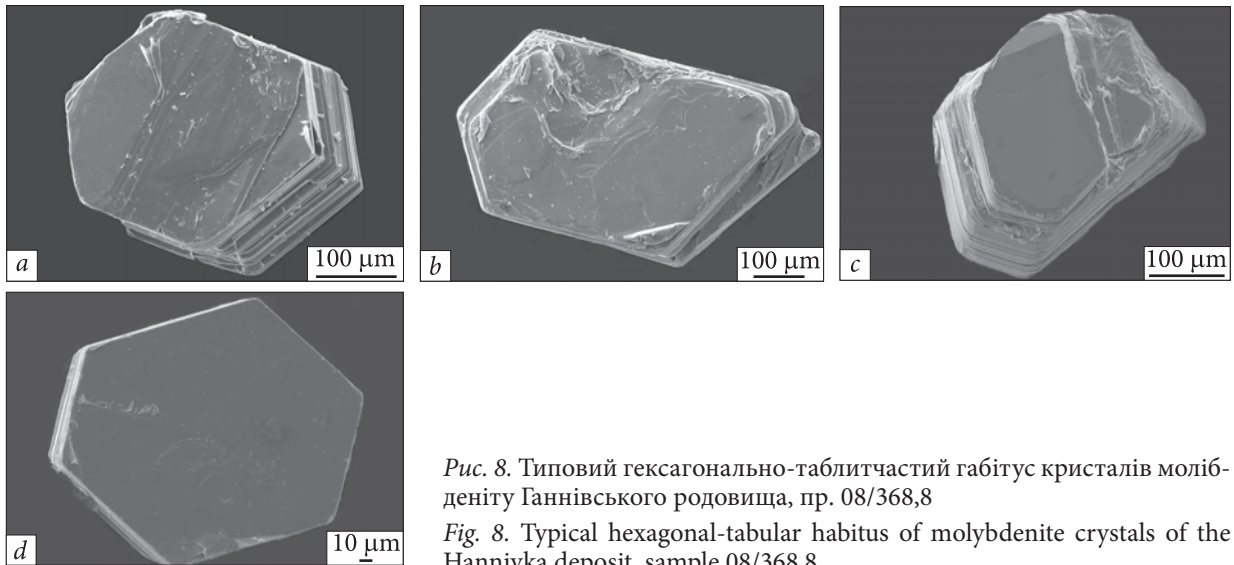


Рис. 8. Типовий гексагонально-таблитчастий габітус кристалів молібденіту Ганнівського родовища, пр. 08/368,8

Fig. 8. Typical hexagonal-tabular habitus of molybdenite crystals of the Hannivka deposit, sample 08/368,8

тіл можуть сягати 1—2 см (рис. 4). Дрібнолускуватий молібденіт представлений однаково орієнтованими або безладно розкиданими окремими лусками (рис. 7, *f, g*), які часто супроводжують більші за розміром виділення (рис. 7, *h*). Дрібнолускуваті скупчення (від 0,3 до 1 мм) також представлені невеликою кількістю виділень, унаслідок чого мають характерну сітчасту, ґратчасту будову. За морфологією агрегати зерен можуть бути видовженими, неправильної амебо- і підковоподібної, іноді ізометричної форми. У монофракціях молібденіту, отриманих із рудних інтервалів у метабазальтах, виявлено також таблитчасті і гексагональні призми завбільшки 0,1—0,7 мм (рис. 8).

Відмічені вище середньо- або дрібнолускуваті агрегати часто утворюють переривчасті смужки та ланцюжки завдовжки 10 см і більше (реальний розмір обмежується діаметром керну), де вони виступають в ролі окремих ланок (рис. 4, *e*). Певної залежності морфології молібденіту від вмісних порід не виявлено. Практично завжди видовжені індивіди чи їхні агрегати орієнтуються субзгідно до загальної сланцюватості порід або простягання прожилків.

Як у зальбандах прожилків, так і в метабазальтах молібденіт представлений дрібно- і середньолускуватими скупченнями і агрегатами та розсіяною вкрапленістю окремих лусок переважно видовженої пластинчастої, рідше таблитчастої, лінзоподібної, ізоме-

тричної форми. Для метабазальтів є доволі характерним розвиток тонких (0,1—1 мм) мономінеральних лінзочок, прожилків, шлірів молібденіту, які в непорушеному керні майже непомітні (рис. 4, *b*), проте яскраво проявляються у вигляді примазок і нальотів після розколювання керну. Найчастіше мінералізація розвивається поблизу кварцових, зрідка — епідот-кварцових і польовошпат-кварцових прожилків у слабо біотитизованих метабазальтах.

На відміну від метабазальтів, у гранітах поширенішими є середньолускуваті скупчення молібденіту у вигляді ізометричних та неправильної форми вкраплень, розмір яких може сягати 1—1,5 см (рис. 4, *g, h*). Вони розташовуються як в зальбандах кварцових прожилків, так і на незначному віддаленні (до 10 см) від них у гранітоїдах. Розмір лусок за видовженням змінюється в інтервалі 0,02—0,25 мм, з максимальними значеннями до 0,5—1,5 мм. У гранітах відмічено асоціацію молібденіту з піритом, біотитом, мусковітом, халькопіритом.

Під рудним мікроскопом мінерал має неоднорідне забарвлення в сірих, білих до блакитного тонах. Для нього характерне двовідбиття та сильна оптична анізотропія. У більшості лусок молібденіту спостережено полісинтетичні двійники тиску, фігури зім'яття, блокове і хвилясте згасання.

Важливою структурно-речовинною особливістю молібденіту Ганнівського родовища

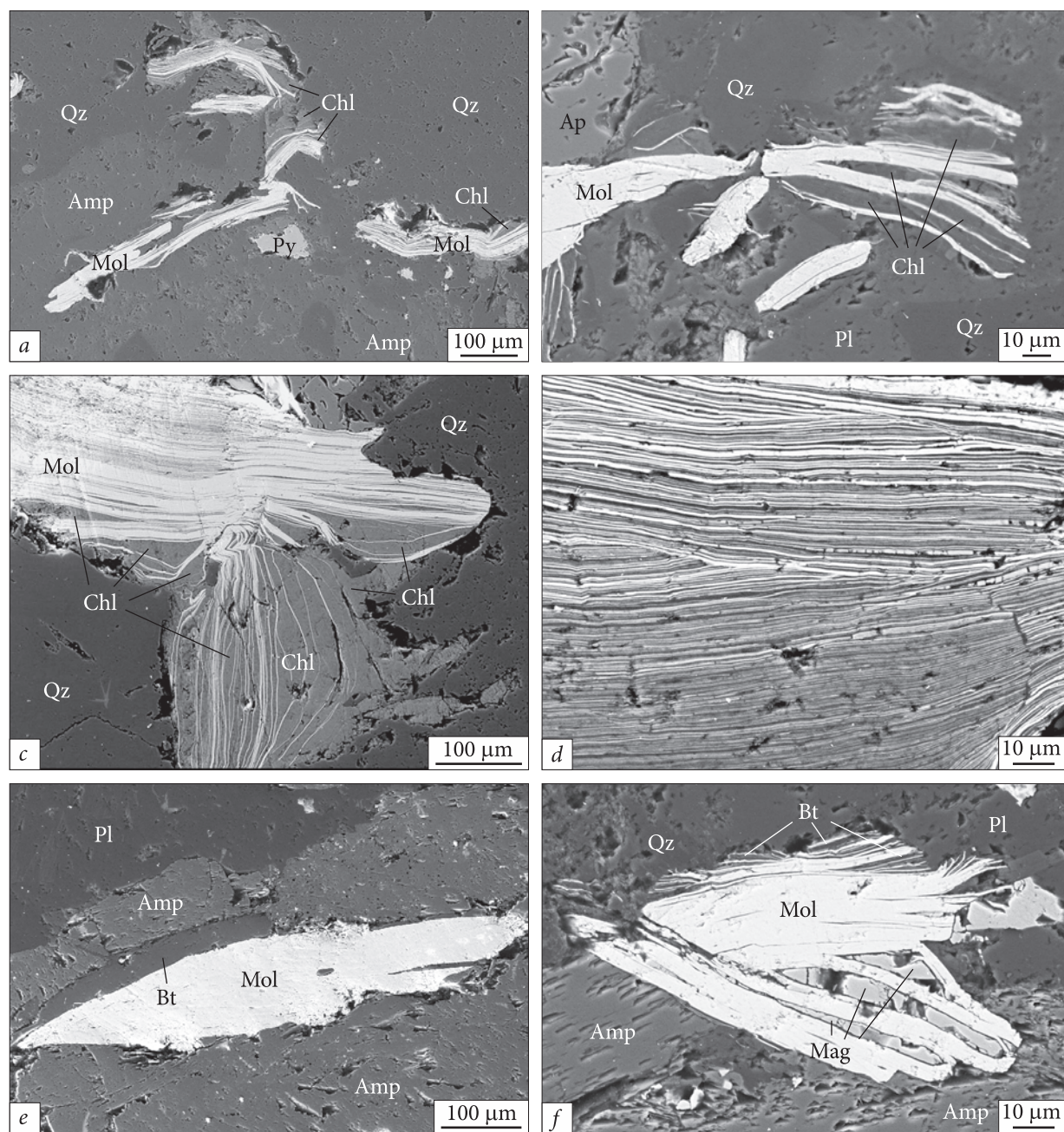


Рис. 9. Електронно-мікроскопічні зображення зростків молібденіту із силікатами в аншліфах із рудних тіл Ганнівського родовища: *a–d* — епітаксійні зростки молібденіту зі слюдами, аншліф 01/367,5; *e, f* — незакономірні зростки молібденіту із силікатами, аншліф 02/240,2

Fig. 9. Electron microscopic images of molybdenite intergrowths with silicates in polished sections from ore bodies of the Hannivka deposit: *a–d* — epitaxial intergrowths of molybdenite with mica, polished section 01/367,5; *e, f* — irregular growths of molybdenite with silicates, polished section 02/240,2

є помітне поширення закономірних (рис. 9, *a–d*) і незакономірних (рис. 9, *e, f*) зростків з шаруватими мінералами [12]. У багатьох випадках у характері цих зростків проглядають виразні кристалографічні закономірності, а границі між мінералами ясні, чіткі без прояву будь-яких процесів хімічної реакційної

взаємодії (заміщення) і явищ корозії. Подібні полімінеральні агрегати закономірного простання бувають настільки тонкими, що в багатьох випадках фіксуються лише завдяки прецизійним електронно-мікроскопічним дослідженням (рис. 9, *d*). Зростки молібденіту зі слюдами і хлоритом певною мірою орієнто-

вані і надзвичайно близькі до епітаксійних або квазіепітаксійних. Це підтверджено таким фактом: надтонке чергування молібденіту та алюмосилікату відбувається чітко в межах границь мінералу-матриці (рис. 9, *a—c*), що пов'язано з проявами характерної для епітаксії тенденції досягнення максимально можливої симетрії міжзернових меж. Селективна активність кристалічних поверхонь шаруватих мінералів зі своєрідним ефектом адсорбції істотно впливає на кристалізацію молібденіту. Саме в подібних зростках виникає низькоенергетична поверхня розділу мінералів. У зв'язку з цим такі зростки можуть переважати над випадковими, незакономірними.

Обговорення. Як бачимо, головна молібденоносна зона Ганнівського родовища представлена різною мірою розсланцьованими, окварцьованими, епідотизованими і біотитизованими метабазальтами. Звичайно вони містять жильно-прожилкові утворення кварцового, епідот-кварцового, епідотового, інколи польовошпат-кварцового складу з біотитом, хлоритом та помірну (0,5—3 %) сульфідну мінералізацію. Обсяг жильного матеріалу складає від 0,5 до 3—5 %. Важливо зазначити, що інтервали інтенсивного розвитку кварц-епідотових та епідотових будинованих прожилків (до 15—20 %) є практично безрудними. Польове вивчення керну розвідувальних свердловин і мінералого-петрографічні, зокрема мікрозондові дослідження, свідчать, що провідним молібдогенерувальним процесом є кремнієво-лужний метасоматоз — окварцювання і біотитизація.

Точка зору про значне поширення і ключову роль процесів скарнування та грейзенізації у формуванні зруденіння молібдену, якої дотримувались автори пошукових (Л.В. Гальчанський та ін., 2004) і пошуково-оціночних робіт (Р.І. Постолук та ін., 2010), базувалась на припущеннях про первинно осадову природу рудовмісних амфіболітів новокриворізької світи. Такі погляди панували серед геологів, які досліджували Криворізьку структуру і апріорі вважали її розріз теригенним. Водночас на сьогодні накопичено достатній обсяг петрографічних, мінералогічних, петрохімічних, геохімічних та інших даних, які однозначно свідчать про вулканогенне походження амфіболітів. Це переважно метавулка-

ніти основного складу: метабазальти лавової і туфової фацій. Власне продуктивна мінералізація локалізується переважно в лавових метабазальтах. Метатуфи доволі рідко містять окремі вкраплення молібденіту і є практично безрудними, хоча рівень їхньої сульфідизації (піротин і пірит) високий. Водночас головною умовою утворення скарноїдів є наявність вихідних вапняковисто-силікатних порід. Слід відмітити, що в породах є небагато (<1 %) карбонатних утворень, представлених поодинокими малопотужними (0,1—1 см) післягенетичними прожилками, які мають безперечно вторинний розвиток і не можуть бути значним джерелом для утворення скарноїдів.

Згадані вище науковці також помилково віднесли до високотемпературної зони скарнування поширені в межах родовища породи кордієрит-антофілітового складу, які складають стратифікований горизонт — метаморфізовану кору вивітрювання, що сформувалась на мезоархейських метабазитах новокриворізької світи [13]. До того ж кордієрит-антофілітовий горизонт у вертикальному розрізі свердловин не має ані просторового, ані генетичного зв'язку з рудною мінералізацією і залягає на відстані близько 100 м від молібденоносних зон.

Щодо наявності грейзенів, то подекуди зруденіння молібденіту в гранітах демуринського комплексу дійсно пов'язується з локальними ділянками окварцювання та мусковітизації. Проте його частка в загальному обсязі руд несуттєва.

Складним і дискусійним є питання належності рудогенних гранітоїдів Ганнівського родовища до того чи іншого комплексу або породного типу, і, відповідно, віку формування мінералізації. В районі родовища відомі такі різні за віком і складом гранітоїди: плутонічні плагіогранітоїди сурського комплексу (саксаганські) віком $3067,4 \pm 8,1$ млн рр.; граніти демуринського комплексу — 2906 ; ганнівський тип гранітів — 2620 ± 50 ; граніти кіровоградського комплексу — 1959 ± 36 млн рр.; апліт-пегматоїдні граніти — 1,8 млрд рр. [1]. На нашу думку, зруденіння генерувалось під впливом ранніх фаз порфіроподібних гранітоїдів демуринського комплексу, дайки і лінзи яких відмі-

чено в приконтатовій частині молібдено-носних metabазальтів новокриворізької світи.

Висновки. Структурна позиція молібденового зруденіння Ганнівського родовища визначена його приуроченістю до тектонізованого контакту metabазитів новокриворізької світи з гранітоїдами демуринського комплексу. Молібденіт локалізується переважно у зоні екзоконтакту, у помірно окварцованих і біотитизованих metabазальтах лавової фації, які перешаровуються з метатутами. Деяко менше молібденове зруденіння поширюється на гранітоїди ендоконтакту.

Вірогідно формування рудних концентрацій металу відбувалось на гідротермальній стадії в процесі активізації кремнієво-лужного метасоматозу (окварцовання, біотитизація). Молібденіт розвивається переважно у зальбандах жильно-прожилкових утворень кварцового, біотит(хлорит)-епідот-кварцового, епідотового, інколи польовошпат-кварцового складу. Обсяг жильного матеріалу у розрізах складає від 0,5 до 3—5 %. Відповідно, геолого-морфологічний тип зруденіння визначений як лінійний штокверк. Попри доволі значну присутність сульфідів у мінералізованих зонах (0,5—3 %) і безпосередньо у вмісних метатутах (до 10 %), їхній зв'язок із молібденовою мінералізацією доволі невиразний. Окрім ранніх акцесорних оксидів (магнетит, ільменіт, гематит) в асоціації з молібденітом частіше спостерігаються сульфіді (пірит, піротин, халькопірит). Водночас у метаосадових товщах молібденіт практично не зафіксований. Також наявна потенційно золотоносна арсенідно-сульфоарсе-

нідно-сульфідна асоціація (льолінгіт — арсенопірит).

Виділяються три морфологічні типи молібденіту: *а* — середньолускуваті видовжені таблиці і пластинки розміром від 0,2 до 1,5—2 мм, найчастіше — 0,2—0,3 мм, орієнтовані субзгідно з прожилками і сланцюватістю порід; *б* — дрібнолускуваті (від 10—20 мкм до 0,2 мм) однаково або безладно орієнтовані видовжені форми, які часто супроводжують середні за розміром виділення; *в* — кристали табличасто-гексагонального габітусу завбільшки 0,1—0,7 мм. Однією з головних онтогенічних особливостей молібденіту Ганнівського родовища є наявність його зростків із шаруватими мінералами: хлоритом, біотитом, мусковітом. Подібні закономірно орієнтовані зростання мінералів — це одне із малодосліджених, проте поширених явищ, що відіграло суттєву роль у формуванні родовища молібдену, власне під час кристалізації молібденіту. Наявність епітаксійних зростків за участю молібденіту, безперечно, потребуватиме спеціальних досліджень під час розроблення ефективної технологічної схеми збагачення молібденових руд.

У регіонально-металогенічному плані мінералізацію молібденіту Ганнівського родовища слід розглядати як окремий генетичний тип, сформований у результаті гідротермально-метасоматичного перетворення вулканогенного базальтового субстрату в умовах ультраметаморфізму під впливом укорінення плутонічних масивів і гіпабісальних тіл гранітоїдів ймовірно демуринського комплексу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Артеменко Г.В. Генезис гранитоидов Криворожско-Кременчугской структуры. *Развитие науки в XXI веке: Сб. ст. по материалам XIX Междунар. заочной науч.-практ. конф.* Ч. 1. г. Харьков. Харьков: Науч.-информ. центр "Знание", 2016. С. 5—14.
2. Бабков Ю.Б., Киселев А.С., Решетняк В.В., Борзенко Ю.З. Некоторые особенности размещения медно-молибденовых рудопроявлений в восточной части Криворожско-Кременчугской зоны. *Геол. журн.* 1972. № 4. С. 112—114.
3. Бутирін В.К., Юшин О.О. Роль тектоно-метасоматичних зон Криворізької структури в формуванні не-традиційних типів зруденіння. *Геол.-мінерал. вісн. Криворізьк. нац. ун-ту.* 2012. № 2 (28). С. 5—14.
4. Бутирін В.К., Юшин А.А., Козарь Н.А. Новый тип золотого оруденения в раннем докембрии Украинского щита Желтоводское месторождение Криворожья. *Условия формирования, закономерности размещения и прогнозирования месторождений полезных ископаемых. Материалы конф.* Ташкент: Изд. ТашГТУ, 2006. С. 147—149.
5. Великанов Ю.Ф., Семенов Н.П. Условия формирования молибденовой минерализации в породах Восточно-Анновской полосы. *Геол. журн.* 1992. № 3. С. 89—92.

6. Великанов Ю.Ф., Великанова О.Ю. Минерализация молибдена в породах Кривбасса. *Геохімія та рудоутворення*. 2014. Вип. 34. С. 50—59. <https://doi.org/10.15407/gof.2014.34.050>
7. Иванов В.М., Дубовицька А.В., Вовкотруб Н.В. Особливості зруденіння Ганнівського молибденового рудопрояву в Криворізько-Кременчуцькій зоні Українського щита. *Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. Геол. Географ.* 2011. Вип. 19, № 3—2. С. 3—10.
8. Иванов В.Н., Дышук Ю.И., Козарь Н.А., Яковенко В.Ф., Бутырин В.К., Вовкотруб Н.В. Некоторые генетические особенности Анновского вольфрам-медно-молибденового рудопрооявления (Криворожско-Кременчугская зона, Украина). *Мінерал. ресурси України*. 2011. № 3. С. 24—29.
9. Покалов В.Т. Поиски, разведка и оценка месторождений молибдена. Москва: Недра, 1984. 196 с.
10. Решетняк В.В., Кисельов А.С. Олександрівський рудопрояв молибдену в Кривбасі та розшифровка його із застосуванням кернометрії. *Геол. журн.* 1967. 27, вып. 6. С. 107—108.
11. Семененко Н.П., Ярошук Э.А., Великанов Ю.Ф. и др. Связь мезозойского платформенного вулканизма с зонами активизации в докембрии Северного Криворожья. *Геохимия и рудообразование*. 1985. № 13. С. 3—13.
12. Сукач В.В., Фалькович О.Л., Бондаренко С.М., Баряцька Н.В., Грінченко О.В., Литвиненко Ю.О., Канунікова Л.І. Молибденіт та його зростки з силікатними мінералами (ділянка Червона, Криворізька структура). *Геологічна наука в незалежній Україні: Зб. тез наук. конф. (Київ, 8—9 верес. 2021 р.)*. НАН України, ІГМР Київ, 2021. С. 391—393.
13. Сукач В.В., Фалькович О.Л., Бондаренко С.М., Баряцька Н.В., Вишневецька Є.О., Канунікова Л.І. Кордієрит-антофілітовий горизонт в розрізі Криворізької структури. *Геологічна будова та корисні копалини України: Зб. тез Всеукр. наук. конф. (Київ, 12—13 жовт. 2022 р.)*. НАН України, ІГМР Київ, 2022. С. 273—276.
14. Сьомка В.О., Квасниця І.В., Бондаренко С.М., Сьомка Г.В. Морфологічні, структурні та хімічні особливості молибденітів Українського щита. *Мінерал. журн.* 2013. 35, № 4. С. 19—31.
15. Тытки В.М., Фролов П.В. Молибденовое месторождение Лобаш крупный перспективный объект в республике Карелия. *Тр. Карельск. науч. центра РАН*. 2014. № 1. С. 56—62.
16. Юшин А.А., Бутырин В.К., Гальчанский Л.В., Стаднишина Н.В. Геохимическая зональность Восточно-Анновского месторождения молибдена в раннедокембрийских комплексах Криворожья как отражение его генетической позиции. *Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии*. Москва: Изд. ИГЕМ РАН, 2008. С. 235—237.
17. Юшин О.О. Перспективи розвитку альтернативної мінерально-сировинної бази Криворіжжя. *Екологія і природокористування*. 2013. Вип. 16. С. 135—145.

Надійшла 11.07.2023

REFERENCES

1. Artemenko, G.V. (2016), *Proc. of the XIX Int. Sci. conf. Kharkiv*, Pt 1, Kharkiv, sci.-inform. center "Znanie", UA, pp. 5-14 [in Russian].
2. Babkov, Yu.B., Kiselev, A.S., Reshetnyak, V.V. and Borzenko, Yu.Z. (1972), *Geol. Journ.*, No. 4, Kyiv, pp. 112-114 [in Russian].
3. Butyrin, V.K. and Yushyn, O.O. (2012), *Geol.-mineral. visnyk Kryvyi Rih Nat. Univ.*, Vol. 28, No. 2, Kryvyi Rih, UA, pp. 5-14 [in Ukrainian].
4. Butyrin, V.K., Yushyn, A.A. and Kozar, N.A. (2006), *Formation conditions, patterns of accommodation and forecasting of mineral deposits. Conf. proc.*, TashGTU, Tashkent, UZB, pp. 147-149 [in Russian].
5. Velikanov, Yu.F. and Semenenko, N.P. (1992), *Geol. Journ.*, No. 3, Kyiv, pp. 89-92 [in Russian].
6. Velikanov, Yu.F. and Velikanova, O.Yu. (2014), *Geochemistry and ore formation*, Iss. 34, pp. 50-59 [in Russian]. <https://doi.org/10.15407/gof.2014.34.050>
7. Ivanov, V.M., Dubovytska, A.V. and Vovkotrub, N.V. (2011), *Dnipropetr. Univ. bull., Geology, geography*, Vol. 19, No. 3-2, Dnipro, UA, pp. 3-10 [in Ukrainian].
8. Ivanov, V.N., Dyschuk, Yu.I., Kozar, N.A., Yakovenko, V.F., Butyrin, V.K. and Vovkotrub, N.V. (2011), *Mineral. resources of Ukraine*, No. 3, Kyiv, pp. 24-29 [in Russian].
9. Pokalov, V.T. (1984), *Prospecting, exploration and evaluation of molybdenum deposits*, Nedra, Moscow, 196 p. [in Russian].
10. Reshetnyak, V.V. and Kiselyov, A.S. (1967), *Geol. Journ.*, Vol. 27, Iss. 6, Kyiv, UA, pp. 107-108 [in Ukrainian].
11. Semenenko, N.P., Yaroshchuk, E.A. and Velikanov, Yu.F. et al. (1985), *Geochemistry and ore formation*, Iss. 13, Kyiv, pp. 3-13 [in Russian].
12. Sukach, V.V., Falkovich, O.L., Bondarenko, S.M., Bariatska, N.V., Hrinchenko, O.V., Lytvynenko, Yu.O. and Kanunikova, L.I. (2021), *Abstr. of Sci. Conf. "Geological Science in Independent Ukraine"*, Kyiv, Septem. 8-9, 2021), NAS of Ukraine, IGMOF, pp. 391-393 [in Ukrainian].
13. Sukach, V.V., Falkovich, O.L., Bondarenko, S.M., Bariatska, N.V., Vyshnevskaya, Ye.O. and Kanunikova, L.I. (2022), *Abstr. of Ukr. Sci. Conf. "Geological structure and mineral deposits of Ukraine"* (Kyiv, Octob. 12-13, 2022), NAS of Ukraine, IGMOF, pp. 273-276 [in Ukrainian].

14. Syomka, V.O., Kvasnytsya, I.V., Bondarenko, S.M. and Syomka, G.V. (2013), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 35, No. 4, Kyiv, pp. 19-31 [in Ukrainian].
15. Tytyk, V.M. and Frolov, P.V. (2014), *Trudy Karelskogo nauch. centra RAN*, No. 1, RU, pp. 56-62 [in Russian].
16. Yushyn, O.O., Butyrin, V.K., Galchansky, L.V. and Stadnishina, N.V. (2008), in *Problems of geology of ore deposits, mineralogy, petrology and geochemistry*, Publ. IIGEM RAN, Moscow, pp. 235-237 [in Russian].
17. Yushyn, O.O. (2013), *Ecology and nature management*, Vol. 16, Kyiv, pp. 135-145 [in Ukrainian].

Received 11.07.2023

V.V. Sukach¹, DrSc (Geology), Head of Department

E-mail: svital@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-4710-7230>

N.V. Baryatska², DrSc (Geology), Chief Geologist

E-mail: bariatskan@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-8068-2464>

S.M. Bondarenko¹, PhD (Geology), Senior Research Fellow

E-mail: sbond.igmr@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-7948-3583>

V.O. Syomka¹, DrSc (Geology), Chief Research Fellow

E-mail: syomka1949@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-5202-4045>

Yu.E. Khomych¹, Postgraduate

E-mail: yuriykhomich@gmail.com; <http://orcid.org/0009-0004-8924-6812>

M.M. Reshetnyk¹, PhD (Geology), Leading Engineer

E-mail: reshetnykmariya@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5067-7728>

M.S. Kotenko¹, Postgraduate

E-mail: kmsoae@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5004-2968>

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine

34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

² Geological Service Company LLC

22A, Borychiv Tik Str., Kyiv, Ukraine, 04070

MOLYBDENUM MINERALIZATION

OF THE HANNIVKA DEPOSIT, KRYVYI RIH STRUCTURE

The Hannivka molybdenum deposit is located in the northeastern side of the Kryvyi Rih structure, within the East Hannivka monocline. Molybdenum mineralization is confined to the contact zone of granitoids of the Demuryne complex with metabasites of the Novokryvorizka suite. The main volume of molybdenum mineralization is concentrated in the exocontact, in metabasites, and only 10-15% in endocontact granitoids. The molybdenum-bearing zone is represented by schistose, moderately quartzized and biotitized fine-grained metabasalts, which contain quartz, epidote-quartz, epidote, sometimes feldspar-quartz veins and veinlets and moderate (0.5-3%) sulfide mineralization. The volume of vein material ranges from 0.5 to 3-5%. The geological-morphological type of mineralization is defined as linear stockwork. Leading processes responsible for the development of molybdenite are quartzization and biotitization, namely silicic-alkaline metasomatism. Using JSM-6700F i JXCA-733 electron microscopes, the following ore minerals have been diagnosed and studied: magnetite, ilmenite, molybdenite, loellingite, arsenopyrite, pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite. Based on their structural positions and relationships, several successive ore stages have been identified: early oxide (ilmenite-magnetite), main sulfide with molybdenite, potentially gold-bearing arsenide-sulfoarsenide-sulfide and late sulfide. Molybdenite is localized in zalbands of thin (1-3 mm, occasionally up to 2 cm) quartz veinlets, sometimes in the form of boudinaged structures, lenses and pockets reaching sizes up to 4 cm, as well as in host metabasalts and plagiogranites. Conditionally, three morphological types of molybdenite can be distinguished: a) medium-sized elongated tabular, platy, and foliated crystals ranging in size from 0.1 mm to 1.5-2 mm, which are oriented subparallel to the vein structures and rock foliation; b) fine-grained (from 10-20 μ m to 0.1 mm) elongated flakes uniformly or randomly oriented; c) isometric crystals of hexagonal-tabular habitus with sizes ranging from 0.1 to 0.7 mm. Outlined are several areas that require further investigation: epitaxial growths of molybdenite and silicates and the conditions of their formation, the time of formation of molybdenite and ore-generating granitoids.

Keywords: Hannivka deposit, Mesoarchean, Novokryvorizka suite, metabasalts, Demuryne granitoid complex, molybdenite, pyrrhotite, pyrite.