

© Л.Н. Ширін¹, І.О. Мірошников¹, І.В. Інюткін¹

¹ Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОСВОЄННЯ МОЛІБДЕНОВИХ РОДОВИЩ УКРАЇНСЬКОГО КРИСТАЛІЧНОГО ЩИТА

© L. Shyrin¹, I. Miroshnykov¹, I. Iniutkin¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

PROBLEMS AND PROSPECTS OF FORMING AN ENVIRONMENTALLY CLEAN TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT OF MOLYBDENUM DEPOSITS OF THE UKRAINIAN SHIELD

Мета. Обґрунтування екологічно безпечних напрямів освоєння молібденового рудопрояву з малодослідженим геомеханічним станом породного масиву.

Методика дослідження. Використано загальнонаукові методи оцінки ціннісних показників руд, узагальнення даних про сучасні технології розробки родовищ жильного типу та аналізу їх впливу на довколишнє середовище.

Результати дослідження. Проведені дослідження дозволили визначити цінність руд молібденового рудопрояву та показники вмісту і концентрації різноманітних супутніх компонентів, що особливо важливо для обґрунтування технології комплексного освоєння рудного родовища. Доведено також, що висока мінливість вмісту корисних компонентів та різноманітність мінералогічного складу суттєво впливають на їх збагачувальні властивості та умови роздільної або спільної переробки. Отримані данні про геологічну будову і характер зруденіння молібденового рудопрояву дозволили встановити морфологічні типи рудних тіл (переважно прожилково-вкраплене, рідше лінійно-штокверкоподібні) та визначити альтернативні напрями комплексного освоєння родовища з урахуванням ступеня їх впливу на екологічний стан довколишнього середовища. По результатам експертної оцінки можливих технологічних схем видобутку молібденових руд перевагу віддано підземному способу розробки з закладкою виробленого простору. При формуванні факторів, що комплексно впливають на довколишнє середовище, враховувались експлуатаційні показники використання поширених систем розробки подібних покладів в суміжних галузях гірничого виробництва та ступінь впливу їх негативних чинників на зміну ландшафту, забруднення води і повітря, стан земної поверхні.

Наукова новизна. Вперше сформовано науковий підхід щодо розвитку методичних основ проєктування ресурсозберігаючої та екологічно чистої технології розробки молібденових рудопоявів в складних гірничо-геологічних умовах Українського кристалічного щита.

Практичне значення. Впровадження технологічних схем підземної розробки крутоспадних рудних жил з закладкою виробленого простору породами рудопідготовки та рекомендацій по використанню технологічних і конструктивних рішень для зниження втрат і розубожіння руди дозволить реалізувати маловідходну, екологічно чисту технологію освоєння молібденового рудопрояву Українського кристалічного щита.

Ключові слова: навколишнє середовище, екологічна безпека, експертна оцінка, жили, молібденіт, розубожування руди, супутні матеріали, технології розробки, штокверк.

Вступ. В умовах сьогодення молібденові родовища переважно розглядаються як поліметалеві зі значною, але навіть не головною часткою молібдену в загальному видобутку руд. Обумовлено це інтенсивним розвитком гірничо-збагачувальної технології і попитом на молібден різних промислових галузей.

До найбільш характерних властивостей молібдену слід віднести високі точки плавлення (близько температури в 2620°C) і термічну стабільність сировини, міцність і жорсткість металевих сплавів та стійкість їх до корозії і окислення, що дозволяє використовувати його для виготовлення високотемпературних конструкцій та експлуатації в агресивних середовищах.

Означені властивості молібдену і попит на його використання визначили необхідність освоєння нових родовищ і побудови гірничорудних підприємств в густонаселених регіонах українського кристалічного щита (Сурське, Вербинське та ін.), що ставить завдання щодо зниження негативного впливу гірничих робіт на екологічний стан середовища уже на етапах розкриття та підготовки рудопроявів до очисного виймання.

Доцільність проведення подібних заходів обумовлена тим, що до супутніх промислових матеріалів цих рудопроявів відносяться легкорозчинні цінні мінерали, які містять токсичні метали високої концентрації (мідь, цинк, свинець, кадмій, марганець та ін.), що потребує впровадження спеціальної технології їх переробки та заходів по захисту природного середовища.

Відповідно [1] якісні характеристики деяких з супутніх елементів Вербинського рудопрояву встановлені, але підрахунок промислових запасів проводився без розрахунку супутніх матеріалів, тобто тільки на молібденіт. Такі обставини вказують на занижену цінність руд, відсутність ресурсозбереження, перспективу підвищеного забруднення екології невикористаними важкими металами, ризику втрачання конкурентних переваг при реалізації кінцевої продукції та ін.

Таким чином при встановленні цінності молібденових руд Вербинського рудопрояву необхідно визначати їх акцесорний ресурс, а при формуванні раціональної технології розробки родовища показники гірничого та переробного виробництв при раціональному використанні запасів надр та максимальному збереженні природного середовища. Тобто, потрібні додаткові комплексні дослідження по встановленню цінності його руд.

Основна частина. По результатам оцінки мінералогічного складу Вербинського рудопрояву встановлено, що в кристалічних породах покладу молібден представлений молібденітом, а переважаючі супутні компоненти відповідно: мідь – халькопіритом; свинець – галенітом; цинк – сфалеритом та ін. [1, 2].

Молібденіт за узагальненими уявленнями має хімічну формулу MoS_2 , тобто молекула молібденіту складається з одного атому молібдену та двох атомів сірки. Аналізуючи шлях переробки молібденіту від руди до кінцевих промислових товарних продуктів можна відмітити, що після проведення рудопідготовки на збагачувальній фабриці з молібденітової руди вилучають концентрат молібденіту. Отриманий концентрат спрямовується на обпал з додаванням повітря в процесі якого молібден і сірка возгоняються у вигляді оксидів. В подальшому оксид молібдену уловлюється на механічних фільтрах, а оксид сірки спрямовується на

взаємодію з водою, що призводить до появи сірчаної кислоти. Утворюється два роздільних промислових продукти: оксид молібдену та сірчана кислота. Молібденіт крім молібдену та сірки має інші корисні хімічні елементи (акцесорні), що не враховані узагальненою формулою MoS_2 .

За даними [3, 4], існуюча практика видобування з надр лише однієї корисної копалини без видобутку супутніх компонентів призводить до того, що близько 80 % гірничої маси є відходами виробництва, які нагромаджуються у відвалах і хвостосховищах. Більшість хвостосховищ, що неправильно законсервовані становлять довгострокову екологічну проблему

У зв'язку з цим освоєння молібденового родовища розглядається комплексно з урахуванням експлуатаційних параметрів маловідходної технології виїмки рудних тіл, цінності основної корисної копалини та акцесорних елементів, а також витрат на обов'язкове виконання заходів щодо збереження довколишнього середовища. Доцільність дотримання останнього обумовлена необхідністю збереження ландшафту прилеглих територій в межах яких розташований державний заповідник (рис. 1).

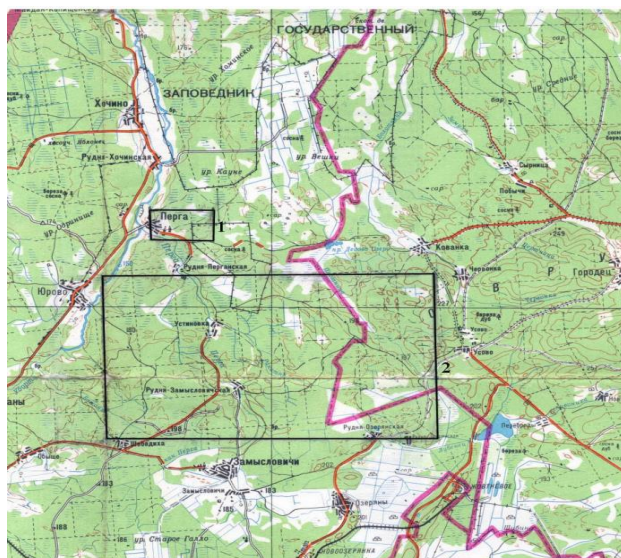


Рис. 1. Територія пошукових робіт молібденового родовища

Пошуково-оціночні роботи на рудопрояві були виконані ДРГП «Північгеологія». По результатам буріння вертикальних свердловин були попередньо оцінені запаси та ресурси молібденової руди категорій $C_2 + P_1$, середній вміст металу в промислових запасах і товарній руді, потужність рудних тіл, середня їх довжина та кут падіння, а також внутрішній та зовнішній геологічний контроль хімічних аналізів молібдену [1]. Отримані фактичні данні про геологічну будову і характер молібденового зруденіння рудопрояву дозволили встановити морфологічні типи рудних тіл (переважно прожилково-вкраплене, рідше лінійно-штокверкоподібні). Зруденіння простежується по простягання в меридіональному напрямку на 1200 м і глибину до 450 м при ширині в плані від 60 м на півночі до 200–240 м на півдні з мінімальною потужністю рудного тіла – 1,0 м, бортовим вмістом молібдену – 0,04% та мінімально-промисловим вмістом молібдену в руді – 0,285%.

На рис.2 наведено геологічний розріз ділянки молібденового рудопрояву з елементами залягання рудних тіл.

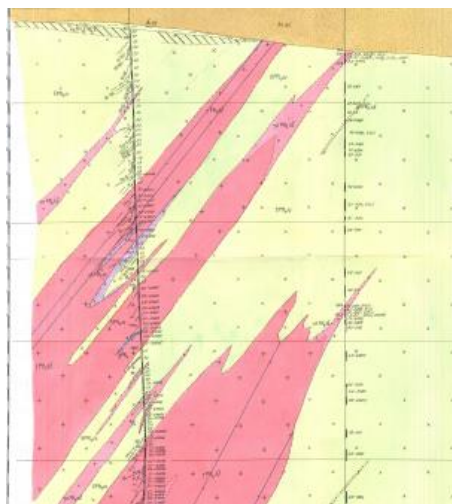


Рис. 2. Геологічний розріз ділянки молібденового рудопрояву

Слід відзначити також, що в процесі пошукових робіт на окремих ділянках молібденового рудопрояву було виявлено наявність супутніх корисних копалин які, за оцінкою експертів, можуть досить відчутно підсилити економічні показники об'єкту при майбутньому його освоєнні.

Для встановлення потенціалу (показників цінності гостродефіцитних руд) рудопрояву були проаналізовані данні [1] результатів кернового буріння (5966 одиниць по 45 свердловинам). По результатам комплексної оцінки мінералогічних і бурових характеристик кернових зразків були встановлені умови залягання та форма рудних тіл (штокверк, жили), а також морфологічні особливості рудного родовища такі як:

- початковий та кінцевий інтервали досліджуваних зразків відносно гирла свердловин;
- типи порід з відповідною щільністю;
- характер контактів їх з вміщуючими породами;
- вміст і концентрація різноманітних супутніх компонентів.

Середній вміст молібденіту та основних акцесорних елементів рудопрояву, а також їх якісні і кількісні показники наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Середній склад молібденіту Вербинського рудопрояву

Складова	Mo, %	S, %	Fe, %	Cu, %	W, %	Re, %
Середнє	60,03	39,59	0,05	0,02	0,01	0,01

Показники вмісту і концентрації різноманітних супутніх компонентів особливо важливі для подальшого обґрунтування технології комплексного освоєння рудного родовища. Обумовлено це тим, що висока мінливість вмісту корисних

компонентів та різноманітність мінералогічного складу суттєво впливають на їх збагачувальні властивості та умови роздільної або спільної переробки. За цих умов потрібно картування родовища за типами руд та їх збагачуваності, а також постійно контролювати зміни кількісного складу основної корисної копалини на етапах розкриття, підготовки та розробки родовища.

Залежно від гірничо-геологічних умов залягання рудних тіл та потужності покладів розробка родовищ рідкісних руд здійснюється відкритим, підземним або комбінованим відкрито-підземним способами та з використанням методів підземного вибуховування [5, 6]. Означені способи розробки родовищ рідкісних руд характеризуються притаманними їм позитивними ознаками, але в умовах інтенсивного видобутку корисних копалин спричиняють проблеми щодо забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища.

В зарубіжній практиці [7] багатокомпонентні рудні родовища традиційно відпрацьовуються відкритим способом на економічно обґрунтовану глибину (150, 300 та 450 метрів). Основні процеси відкритих гірничих робіт: зняття ґрунту, розтин рудного тіла, відділення руди від масиву, транспортування, первинна підготовка, складування порід та некондиційної сировини [7] виконуються у безпосередньому контакті з навколишнім середовищем, що значно впливає на його екологічний стан. До переваг відкритого способу видобутку відносяться висока продуктивність праці та менші витрати на видобуток корисних копалин, а також менші питомі капітальні витрати на будівництво. Недоліки: значні витрати на виїмку розкривних порід, що значно перевищують обсяг руди; необхідність вилучення з користування значних площ землі; зміна ландшафту та гідрологічної ситуації у районі видобувних робіт, а також забруднення атмосфери.

При виконанні технологічних операцій з видобутку руди підземним способом на рудниках утворюються відходи виробництва, які теж негативно впливають на екологічний стан регіону. Це перш за все: видана на поверхню пуста порода від прохідницьких робіт, що складається у відвалах; забруднення ґрунтових вод; викиди в атмосферу шкідливих газів і пилу, а також утворення на поверхні землі прогинів і западин (мульди зрушення) [8, 9]. Практикою доведено, що обсяги пустих порід, що видаються на поверхню при підземному способі розробки руд, порівняно з відкритим способом незначні і вимагають менших площ для їх розміщення, але в умовах інтенсивного ведення гірничих робіт в надрах землі утворюються значні об'єми пустот, які обумовлюють розвиток процесів зрушення порід, що їх оточують.

У світовій і вітчизняній практиці розробки рудних родовищ для запобігання прогинів земної поверхні та збереження природного ландшафту все частіше впроваджуються технології закладання виробленого простору пустими породами [10], а при обґрунтуванні нових проектних рішень наряду з питанням технологічної можливості основна увага приділяється екологічній безпеці.

При формуванні екологічно безпечної технології освоєння Вербинського молібденового рудопрояву означені проблеми гірничодобувної галузі рекомендовано вирішувати по результатам оцінки екологічних ризиків на всіх етапах життєвого циклу гірничого підприємства [11]. Програма комплексного освоєння

родовища передбачає шляхом оптимізації технологічних процесів розкриття родовища, будівництва мережі підземних виробок для підготовки запасів до очисного виймання та певним порядком їх експлуатації забезпечити з найменшими витратами вплив негативних чинників на зміну ландшафту, забруднення води і повітря, стан земної поверхні і людства в цілому.

Для об'єктивної оцінки можливих напрямів освоєння молібденового родовища екологічність технологічних процесів розглядалась по результатам експертної оцінки альтернативних систем гірничого виробництва з використанням методу рангової кореляції.

При формуванні факторів, що комплексно впливають на довколишнє середовище, враховувались експлуатаційні показники використання поширених систем розробки подібних покладів в суміжних галузях гірничого виробництва та ступінь впливу їх негативних чинників на зміну ландшафту, забруднення води і повітря, стан земної поверхні.

Згідно з методикою [12] для оцінки сформульованої проблеми кожному експерту j ($j = 1, \dots, m$) пред'являлись відповідні фактори i ($i = 1, \dots, n$) та надавалось право оцінити значення та частку їх, визначивши певний ранг. Найвищий ранг (*перший*) присвоювався фактору, що найбільше впливає на вирішення поставленого завдання, а *другий, третій* та ін. решті - відповідно до їх важкості.

При виборі способу розробки молібденового родовища кожному з параметрів оцінки присвоювався певний символ: i_1 – рівень механізації очисних робіт; i_2 – продуктивність праці; i_3 – питомі капітальні витрати на будівництво; i_4 – об'єм розкривних порід; i_5 – вилучення з користування значних площ землі; i_6 – зміна ландшафту; i_7 – зміна гідрологічної ситуації в районі видобувних робіт; i_8 – забезпечення безпеки земної поверхні; i_9 – витрати вибухових речовин; i_{10} – суміщення етапів розтину, підготовки та очисної виїмки; i_{11} – розміщення порід у виробленому просторі; i_{12} – розміщення порід у відвалах; i_{13} – ступінь впливу гірничих робіт на довкілля; i_{14} – витрати на природоохоронні заходи; i_{15} – дроблення та сортування корисних копалин; i_{16} – сейсмічна дія на навколишню інфраструктуру; i_{17} – скидання у водоймища технічної води; i_{18} – ерозія та забруднення ґрунту.

Результати експертної оцінки альтернативних варіантів розробки молібденового родовища з урахуванням впливу їх експлуатаційних показників на довколишнє середовище наведені в табл. 2.

По результатам експертної оцінки експлуатаційних показників альтернативних систем розробки молібденового родовища і ступеня їх впливу на довколишнє середовище перевагу було віддано підземним способам розробки. В специфічних умовах освоєння запасів молібденового покладу для зниження впливу підземних гірничих робіт на природне середовище державного заповідника вилучення корисної копалини з надр вирішується шляхом обґрунтування експлуатаційних параметрів обраної системи розробки та оптимізацією у часі та просторі процесів будівництва розкривних і підготовчих виробок з найменшими витратами на охорону довколишнього середовища.

Таблиця 2

Результати експертної оцінки альтернативних варіантів розробки
Вергінського молібденового родовища (ШЛН)

Показники оцінки	Способи розробки родовища				
	Відкриті гірничі роботи	Комбінований (відкрито-підземний)	Методами підземного вилюговування	Підземні з дробарно-сортувальним комплексом	Підземні з закладкою виробленого простору
	Ранг, привласнений фактору експертом				
i_1	4	5	1	3	2
i_2	5	3	4	1	2
i_3	1	2	3	5	4
i_4	5	4	1	3	2
i_5	4	5	1	3	2
i_6	5	4	3	1	2
i_7	4	3	5	1	2
i_8	4	3	5	1	2
i_9	5	4	1	1	2
i_{10}	5	4	3	2	1
i_{11}	5	4	1	3	2
i_{12}	5	4	1	2	3
i_{13}	5	3	4	1	2
i_{14}	4	3	5	2	1
i_{15}	5	4	1	3	2
i_{16}	5	4	1	3	2
i_{17}	4	3	5	2	1
i_{18}	4	3	5	2	1
$\sum_i r_{ij}^* = h_i$	79	65	50	39	35

Зарубіжний досвід розробки багатокomпонентних рудних родовищ [13] показує, що комплексний вплив гірничого виробництва на довколишнє середовище починається на етапах розкриття і підготовки родовища до очисного виймання і досягає максимуму в процесі виконання буро-підривних робіт, доставки рудної маси в підземних виробках, транспортування її на поверхні та в період рудопідготовки (дроблення та подрібнення).

Дроблення, подрібнення, а також флотація молібденової руди та її випал є невід'ємними процесами виробництва молібдену.

Традиційно процес дроблення відбитої руди починаються при випуску її з блоків, скреперуванні до рудоспусків, при грохотінні і самопливній доставці по рудоспусках, завантаженні в засоби магістрального транспорту і додатково проходить 3–4 стадії дроблення та 1–2 стадії подрібнення на поверхневому комплексі рудника із застосуванням дробильних установок, млинів, грохотів та спеціальних допоміжних пристроїв. Таким чином технологічні процеси видобутку,

доставки і транспортування руди та якість її дроблення є вирішальними факторами, від яких залежить повнота вилучення корисного компонента з руд та економічна ефективність технологічних заходів щодо підтримки екологічного стану довколишнього середовища.

У комплексі означених заходів останнє залежить від науково-обґрунтованих принципів дії, параметрів і конструкції технологічної схеми видобутку молібденової руди.

В умовах відсутності практичного досвіду розробки подібного типу родовищ при обґрунтуванні маловідходної та екологічно чистої технології видобутку молібденових руд підземним способом необхідно:

- об'єктивно оцінити сучасні досягнення науки і техніки в суміжних галузях гірничого виробництва;
- орієнтуватись на інноваційні науково-технічні і екологічні рішення сьогодення;
- враховувати тенденції майбутнього розвитку гірничо-рудної промисловості;
- прогнозувати перспективні напрямки подальшого вдосконалення техніки та технології підземного видобутку руд.

Для порівняльної оцінки сучасних науково-технічних досягнень в галузі розробки рудних родовищ жильного типу були проаналізовані техніко-економічні показники роботи Новокостянтинівського уранового рудника [14] та технологічні рішення щодо розробки тонкожилевих золоторудних родовищ України [15], рудопроями яких розташовані також в межах Українського щита.

Дослідженнями [14] доведено, що в специфічних умовах залягання родовищ жильного типу ефективність технологічних схем розробки крутоспадних рудних тіл визначається трудомісткістю гірничопідготовчих і нарізних робіт та процесів буріння, випуску і доставки руди і залежить від продуктивності технологічного та гірничотранспортного обладнання. У табл. 3 в процентному відношенні наведені показники відносної трудомісткості (%) за видами робіт і процесів при системах розробки з поверховим і підповерховим обваленням з застосуванням вантажно-доставних машин типу ВДМ–5, ВДМ–8.

Таблиця 3

Значення відносної трудомісткості (%) за видами робіт і процесів при системах розробки з поверховим і підповерховим обваленням

№	Види робіт і процеси	Відносна трудомісткість, %
1	Гірничопідготовчі роботи	18–20
2	Нарізні роботи	22–25
3	Буріння	21–24
4	Відбій	5–6
5	Випуск руди і доставка	24–30

Експериментально також встановлено, що показники продуктивності зарубіжних ВДМ високого технічного рівня, що інтенсивно впроваджуються на рудниках галузі, практично ідентичні з показниками роботи вітчизняного

гірничотранспортного обладнання. Причиною такого парадоксального становища є, перш за все, невідповідність діючих на шахті параметрів вантажно-доставних виробок конструктивним і експлуатаційним характеристикам зарубіжних ВДМ нового покоління.

Слід відзначити, що поширена в суміжних галузях камерна система розробки підповерховими виробками передбачає на основних технологічних процесах видобутку корисних копалин буропідливні роботи з подальшим вивезенням відбитої гірничої маси самохідним обладнанням. Тому в технологічному ланцюгу видобутку корисних копалин ефективність процесів екскавації, навантаження, транспортування та перевантаження на магістральний транспорт визначається ефективністю та адаптаційною здатністю самохідного обладнання. В сучасних умовах гірничого виробництва транспортно-технологічні процеси і операції при підземній розробці рудних покладів на підприємствах галузі досягають 60%.

У зв'язку з цим при обґрунтуванні раціональних параметрів ресурсозберігаючих технологічних схем розробки молібденового родовища з використанням самохідного обладнання високого технічного рівня необхідно враховувати чинники, що комплексно впливають на їх адаптаційну здатність та експлуатаційні показники обраної технології видобутку руди. До таких чинників перш за все слід віднести складну конфігурацію рудних тіл, мінливість їх потужності та кутів падіння, а також нерівномірний розподіл корисного компонента по площі жил. Показники означених чинників визначаються по результатам експериментальних досліджень умов залягання рудних тіл та оцінки геологічних проб на етапі дослідно-промислової експлуатації родовища.

При традиційних способах відбійки корисних копалин свердловинними зарядами оцінити просторові зміни умов залягання рудних тіл малої потужності практично не можливо, тому на етапі дослідно-промислової експлуатації родовища необхідно орієнтуватися на суцільні системи розробки з дрібношпуровою відбійкою руди висхідними шарами із закладкою виробленого простору подрібненими гірськими породами із зміцненням поверхневого шару. Відповідно до рекомендацій [15] для зниження ступеня розубожіння руди очисні роботи необхідно вести строго по жилі з обов'язковим супроводом експлуатаційної розвідки для оперативної оцінки умов залягання жил та вмісту металу в руді.

Необхідність дотримання останнього обумовлена тим, що морфологічна характеристика і форма залягання жил суттєво впливають на техніко-економічні показники обраної технології розробки крутоспадних рудних тіл. За цих умов комплексний підхід щодо вибору ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологічних схем розробки молібденових крутоспадних рудних тіл дозволить знизити:

- розубожіння руди за рахунок зменшення обсягів бічних порід, що присікаються при виконанні БВР;
- обвалення пустих порід, що супроводжуються при відбиванні руди віялами свердловин;
- сейсмічні навантаження на поверхню і споруди, що супроводжуються при вибухах свердловинних зарядів;

– порушеність масиву, викликану проявами гірського тиску.

Експериментальними дослідженнями [16] встановлено, що при відбійці малопотужних крутоспадних рудних тіл свердловинними зарядами розубожування руди досягає 50% і більше. Обумовлено це мінливою геометрією залягання рудного тіла по падінню і простяганню.

За наявності мінералізованих бічних порід у процесі ведення очисних робіт у блоках необхідно керуватися оптимальною шириною очисного простору, яка повинна дорівнювати мінімально допустимій за умов використання технологічного та гірничотранспортного обладнання.

На рис. 3 наведена схема визначення мінімально допустимої ширины очисного простору при дрібношпуровій відбійці рудних тіл з мінливою гіпсометрією.

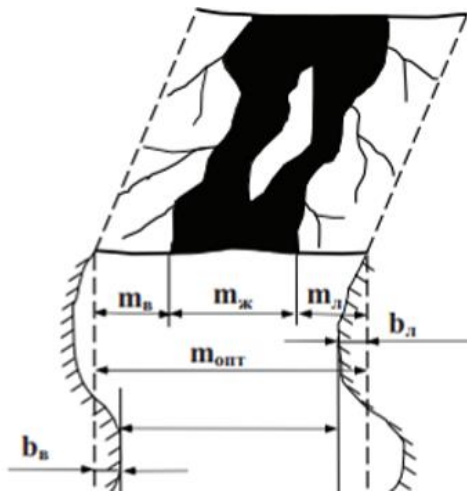


Рис. 3. Схема визначення мінімальної ширины очисного простору:

$m_{ж}$ – потужність рудного тіла; $m_{л}$, $m_{в}$ – потужність прирізаних порід висячого і лежачого боків жили; $m_{опт}$ – оптимальна ширина очисного простору; $b_{л}$, $b_{в}$ – амплітуди горизонталей, проведених на рівні виступів і впадин бічних поверхонь очисної виробки; $m_{мін}$ – мінімальна ширина очисного простору

Мінімальною шириною очисного простору $m_{мін}$ слід вважати оптимальну ширину $m_{опт}$ з урахуванням коефіцієнта зміни потужності k_m , що виймається.

$$m_{мін} = m_{опт} k_m,$$

Оптимальна ширина очисного простору складається з потужності жили і бічних порід, що прирізаються. З урахуванням ступеня мінералізації потужність бічних порід, що прирізаються, розглядається як сумарна потужність прирізаних порід висячого і лежачого боків жили. За цих умов:

$$m_{опт} = m_{ж} + m_{в} + m_{л},$$

Відповідно до рис. 3 коефіцієнт зміни потужності k_m визначається як:

$$k_m = \frac{m_n}{\left(m_n + \frac{b_{л} + b_{в}}{2}\right) k_e},$$

де: m_{π} – сумарна потужність бічних порід, що прирізаються; b_{π} , b_v – відповідно висота виступів лежачого та висячого боків жили; k_r – коефіцієнт гіпсометрії боків очисного простору після вибухової відбійки руди.

При встановленні коефіцієнта гіпсометрії, як орієнтир прийнято різновид геометричного (детермінованого) показника В.А. Букринського

$$k_r = \int dl / L$$

де: $\int dl$ – інтеграл по кривій контакту; L – ширина блока.

По результатам експериментальних досліджень [17] встановлено також, що крім зміни кута залягання жил та присічки бічних порід до основних факторів, що впливають на розубожування руди, слід віднести внутрішнє засмічення рудних тіл (наявність у жилі пустих порід) та обсяг вивалів, які залежать від порушеності масиву, викликаной веденням БВР та проявами гірського тиску [18, 19]. Складні гірничо-геологічні умови залягання рудних тіл по падінню і простяганню та невідповідність їм технологічних схем БВР провокують додаткове розубожіння руди, що потребує допоміжних витрат на вторинне її дробіння, подрібнення та сортування.

Спираючись на зарубіжний та вітчизняний досвід освоєння родовищ корисних копалин жильного типу можна констатувати, що саме складні гірничо-геологічні умови залягання рудних тіл жильного типу та їх властивості будуть визначати специфіку гірничих робіт на кожній стадії освоєння молібденового родовища. Тому на етапах підготовчих, нарізних і очисних робіт необхідно обов'язково проводити їх геологічний супровід.

Означені проблемні питання щодо формування ресурсозберігаючої та екологічно чистої технології освоєння молібденових родовищ потребують виконання комплексу спеціальних досліджень по кожному об'єкту гірничого виробництва з метою урахування ступеня його впливу на відповідну зону екологічних змін.

Висновки. По результатам проведених досліджень встановлено, що розглянуте молібденове родовище після завершення детальної розвідки не перестає бути об'єктом геологічного вивчення і потребує науково-технологічного та технічного супроводу для переведення його в стадію об'єкта промислового використання. Для побудови технологічної схеми родовища та визначення його експлуатаційних параметрів необхідно сформулювати програму його освоєння з вирішенням основних технологічних проблем щодо видобутку та переробки руд, питань розташування і будівництва рудника, гірничозбагачувального комплексу, суміжних виробництв та об'єктів інфраструктури.

На вибір способу відпрацювання рудопрояву впливає ряд факторів, що відображають галузеві, технічні, організаційні, а також природні умови. Необхідність урахування останнього обумовлена тим, що реальні завдання не можна вирішувати, ігноруючи реальні умови довколишнього середовища. Тому для раціонального використання надр в специфічних умовах Вербинського рудопрояву необхідно комплексно вирішувати проблемні питання щодо вибору схем розкриття родовища, способів його підготовки та обґрунтування ресурсозберігаючих технологічних схем очисної виїмки рудних тіл з мінімальним впливом гірничих робіт на довкілля.

Перелік посилань

1. *Zvit pro poshuky rodovyskh molibdenu v mezhakh Ustynivskoho rudnogo polia (dilianky Ustynivska, Vysoke, Richytsia) i poshukovo-otsinochni roboty na Verbynskomy rudoproiavi.* (2002). Kyiv: PDRHP "Pivnichheolohiia".
2. Іванов, В.Н. (2010). Вольфрам-молібденовий рудний потенціал України. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Геологія і географія»*, 12, 6–12.
3. Дудар, Т.В. Маслова, Ю.В., Савицька, М.А., & Бугера, С.П. (2011). Аналіз розвитку урановидобувної галузі та пов'язаних з нею проблем екологічної безпеки. *Наукоємні технології*, 3–4(11–12), 87–92.
4. *Mineral commodity summaries 2024.* (2024). Reston: U.S. Geological Survey.
5. Собко, Б. Ю. (2017). Оцінка технологічних і організаційних рішень з ревіталізації техногенних ландшафтів. *Розробка родовищ корисних копалин*, 3, 111–116.
6. Чепіжко, О.В., Кадурін, В.М., Кадурін, С.В., & Чепіжко, О.В. (Ред.) (2019). *Техногенно-геологічні системи і управління надрокористування : підручник*. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова.
7. Matthews, T. (2015). Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations. *SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference-Mining: Navigating the Global Waters*. Denver, United States, 529–532.
8. Lyashenko, V., Khomenko, O., Topol'nyy, F., & Golik, V. (2020). Razrabotka tekhnologiy podzemnoy dobychi prirodnikh rud v energoraspredelennykh massivakh. *Tekhnologicheskiiy audit i rezervy dobychi*, 1(3(51)), 17–24. <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.195946>
9. Петльований, М.В. & Сай, К.С. (2021). Вплив видобутку залізних руд на екологічний стан денної поверхні в умовах Кривбасу: шляхи вирішення. *Екологія та сталий розвиток*.
10. Kuzmenko, A.M., Petlyovaniy, M.V., & Usatii, V.Yu. (2010). Vliyanie tonkoizmelchen-nikh fraktsii shlaka na prochnostnie svoistva tverdeyushchei zakladki. В *Матеріалах Міжнародної науково-практичної конференції “Школа підземної розробки”* (с. 383–386). Дніпропетровськ : Національний гірничий університет
11. Півняк, Г.Г., Табаченко, М.М., Дичковський, Р.О., & Фальштинський, В.С. (2015). *Керування ризиками в гірничодобувній діяльності: монографія*. М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т.
12. Грабовецький, Б.Є. (2010). *Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія*. Вінниця : ВНТУ.
13. Zhang, Z. Z., Wang, X. W., Zhang, J. F., Jiang, G. Y., & Fan, Q. D. (2017). The prediction of molybdenum mineral demand and supply in China. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(1), 69–76. <http://doi.org/10.3975/cagsb.2017.01.11>
14. Інюткін, І.В. (2021). *Підвищення ефективності транспортно-технологічної системи рудника шляхом адаптації самохідного обладнання до змін умов експлуатації: автореф. дис. канд. техн. наук*.
15. Коровяка, Є.А. (2008). *Обґрунтування напрямів удосконалення технології розробки тонкожилених золоторудних родовищ України: Монографія*. Нац. Гірнич. Ун-т.
16. Ширін, Л.М. (1993). *Фізико-технічні основи малоопераційної технології розробки тонкожилених крутопадаючих родовищ пневмогідравлічними очисними комплексами: Дис. д-ра техн. наук: 05.15.02, 05.15.11*.
17. Ширін Л.Н. (1998). *Обґрунтування параметрів ефективної ресурсозберігаючої технології видобутку золота на базі досліджень процесів виїмкових робіт у гірничогеологічних умовах золоторудних родовищ Українського кристалічного щита: Звіт про НДР*. Національна гірнича академія України.
18. Matthews, T. (2015). Prognozi razubozhivaniya i poteri rudi: strategii i soobrazheniya. *Yezhegodnaya konfe-rentsiya i vistavka SME i CMA 117-ya Natsionalnaya zapadnaya gornodobivayushchaya konfe-rentsiya - Gornoe delo: navigatsiya po globalnim vodam*. Denver, SShA, 529–532.

19. Lyashenko, V., Khomenko, O., Golik, V., Topolnij, F., & Helevera, O. (2020). Substantiation of environmental and resource-saving technologies for void filling under underground ore mining. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(3(52)), 9–16. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.200022>

ABSTRACT

Purpose. Justification of ecologically safe directions for the development of molybdenum ore deposits with an understudied geomechanical state of the rock massif.

Research methodology. General scientific methods were used to assess the value indicators of ores, to summarize data on modern technologies for the development of vein-type deposits, and to analyze their impact on the environment.

Research results. The conducted studies allowed to determine the value of molybdenum ores and the content and concentration indicators of various associated components, which is especially important for substantiating the technology of complex development of the ore deposit. It was also proven that the high variability of the content of useful components and the diversity of the mineralogical composition significantly affect their enrichment properties and conditions of separate or joint processing. The obtained data on the geological structure and nature of mineralization of the molybdenum ore occurrence allowed to establish morphological types of ore bodies (mainly vein-impregnated, less often linear-stockwork-like) and to determine alternative directions of complex development of the deposit taking into account the degree of their impact on the ecological state of the environment. According to the results of expert assessment of possible technological schemes for the extraction of molybdenum ores, preference was given to the underground method of development with the filling of the mined space. When forming factors that have a comprehensive impact on the environment, the operational indicators of the use of common systems for developing similar deposits in related industries of mining production and the degree of influence of their negative factors on landscape changes, water and air pollution, and the state of the earth's surface were taken into account.

The originality. For the first time, a scientific approach has been formed regarding the development of methodological bases for designing a resource-saving and environmentally friendly technology for the development of molybdenum ore occurrences in the complex mining and geological conditions of the Ukrainian Shield.

Practical value. The implementation of technological schemes for underground mining of steeply dipping ore veins with backfilling of the mined space with ore preparation rocks and recommendations for the use of technological and design solutions to reduce losses and depletion of ore will allow the implementation of a low-waste, environmentally friendly technology for the development of the molybdenum ore occurrence of the Ukrainian Shield.

Keywords: *environment, environmental safety, expert assessment, veins, molybdenite, depletion of ore, associated materials, development technologies, stockwork.*