

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.023:622.831

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/13>**Петльований М.В.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Сай К.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

КОМПЛЕКСНИЙ ВПЛИВ ГЕОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ МАСИВУ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД

У дослідженні розкриваються особливості неоднорідності геологічної будови та властивостей рудного покладу і вміщуючих порід за простяганням, що істотно впливає на стійкість та вірогідність руйнування масиву гірських порід у процесі видобутку запасів руд з очисних камер. Проведено комплексний аналіз геологічної структури Південно-Білозерського родовища за його простяганням в інтервалі процесу активного видобутку запасів залізних руд. Встановлено ділянки рудного покладу за простяганням, де фіксувалися випадки обвалення масиву гірських порід висячого боку і засмічення видобутої руди. Виявлена мінливість геологічного середовища за простяганням рудного покладу та характерна зональність зі схожими гірничо-геологічними умовами – північна, центральна й південна частини. Зазначені ділянки покладу відрізняються за морфологічним складом руд і вміщуючих порід, складом заліза в руді, міцністю, тріщинуватістю, потужністю покладу й кутом його падіння. Встановлено, що висока інтенсивність обвалень порід висячого боку спостерігається в обширній зоні, яка охоплює практично всю центральну та половину південної частин рудного покладу довжиною 600 м, де інтенсивно змінюється комплекс геологічних факторів: морфологічний склад порід, властивості порід і руди, їх форма та елементи залягання. Встановлена нерівномірність кута падіння рудного покладу за падінням порід висячого боку, що суттєво впливає на явище обвалення порід, оскільки відмінність у кутах падіння порід і руди сягає до 7–10°. Для підвищення стійкості масиву дослідження необхідно розвивати в напрямі оптимізації геометричних форм очисних камер, їх просторового розташування, вдосконалення порядку відпрацювання запасів за площею рудного покладу, раціонального порядку відбійки запасів руди в камерах.

Ключові слова: геологічна будова, міцність, стійкість, обвалення порід, сланці, засмічення руди, висячий бік.

Постановка проблеми. Щорічно в Україні вилучається близько 160 млн т залізної руди, причому підземним способом видобувається близько 15 млн т 9 шахтами [1–3]. Під час розробки залізних руд підземним способом основного поширення набула камерна система розробки і підповерхового обвалення (Криворізький залізорудний басейн), але також є досвід ведення гірничих робіт камерною системою розробки із твердіючим закладенням на ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат» (ПрАТ «ЗЗРК»), що забезпечує стабільність і поступове нарощування видобутку протягом тривалого часу. ПрАТ «ЗЗРК», який розробляє багаті залізні руди Білозерського залізорудного району, займає істотну частину (25%) у підзем-

ному видобутку руди в Україні. Впровадження системи розробки з твердіючим закладенням на ПрАТ «ЗЗРК» дозволило досягти більш якісних показників вилучення, ніж при розробці залізних руд Криворіжжя без закладення. Показники втрат і збіднення руди менші в 2–2,3 раза [3; 4].

Однак, незважаючи на ефективність застосовуваної системи розробки, в інтервалі глибин 640–940 м виникли проблеми стійкості вміщуючих порід висячого боку, викликані гірським тиском і посиленням сейсмічним впливом вибухових робіт, що призвело до істотного погіршення якості видобутої руди та зниження техніко-економічних показників розробки загалом [5; 6]. Негативний вплив обвалень порід із наступним збідненням

руд, що вилучаються, не відзначається в низці наукових праць [7–10]. Складність полягає в тому, що не завжди раніше спроектована і нині застосовувана технологія видобутку корисних копалин здатна показувати високу ефективність у неоптимальних гірничо-геологічних умовах.

Для виявлення причин зниженої стійкості масиву необхідно вивчити комплекс факторів: мінералогічний склад, геологічну будову та умови залягання як рудного покладу, так і вміщуючих порід висячого та лежачого боків. Ступінь впливу геологічних факторів масиву гірських порід можна охарактеризувати за допомогою зіставлення зон вивалоутворень при відпрацюванні очисних камер з геологічними характеристиками.

У представленому дослідженні розкриваються особливості неоднорідності геологічної будови та властивостей рудного покладу і вміщуючих порід за простяганням, що істотно впливає на стійкість та вірогідність руйнування масиву гірських порід у процесі видобутку запасів руд з очисних камер.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для покращення технології видобутку залізних руд на залізорудних родовищах України вченими виконано значну кількість наукових досліджень. Проблемам відпрацювання запасів камер Південно-Білозерського родовища на контакті з висячим боком присвячені наукові праці [11; 12], в яких досліджувалися деформації нестійких порід висячого боку покладу. Але зазначені дослідження виконані лише для південної частини рудного покладу. Дослідженням напруженого стану масиву руди навколо очисної камери залежно від її розмірів і глибини гірничих робіт присвячені роботи [13; 14], в яких вдосконалено параметри систем розробки та порядок відпрацювання запасів. У дослідженні [15] при розробці залізних руд Криворізького басейну в умовах нестійких порід запропоновано залишати рудний захисний шар для попередження обвалень порід. Для покращення стійкості очисної камери при нестійких рудах на шахтах Криворізького басейну запропоновано зміну її форми з прямокутної на квазіпараболічну [16]. Авторами встановлено, що кут падіння покладу впливає на величину тиску порід висячого боку, з його збільшенням тиск знижується [17], а потужність покладу збільшує довжину камери і, відповідно, горизонтальний проліт її відслонення [18].

У світовій практиці розробки крутопадаючих рудних родовищ при виникненні проблем стійкості порід висячого боку рішення знаходять за допомогою застосування технології зміцнення

порід висячого боку тросовими анкерами за допомогою спеціальних бурових установок для криплення гірничих виробок [19].

Проте саме питанням впливу комплексу гірничо-геологічних характеристик різних зон рудного покладу на інтенсивність вивалоутворень при видобутку запасів руд з очисних камер та їх вірогідного прогнозування в літературних та інформаційних джерелах приділено недостатньо уваги.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження геологічних особливостей та властивостей рудного покладу і вміщуючих порід Південно-Білозерського родовища, а також оцінка їх впливу на стійкість і вірогідність руйнування масиву гірських порід у процесі видобутку запасів багатих залізних руд з очисних камер. Для досягнення мети проведено комплексний аналіз геологічної структури Південно-Білозерського родовища. Уздовж простягання рудного покладу за даними геологічних звітів і паспортів виймальних камер аналізувалися морфологічний склад порід висячого боку, міцність порід та руди, ступінь тріщинуватості, кут падіння рудного покладу і порід висячого боку, потужність рудного покладу.

Вплив геологічного середовища на інтенсивність обвалень порід і руди досліджувався лише при відпрацюванні камер на контакті з налягаючими породами висячого боку. Тому аналізу підлягали очисні камери, де вилучались запаси руди на контакті з висячим боком, а також місця обвалення порід в камери за простяганням рудного покладу, де рівень засмічення видобутих руд становив 2–8%. Для дослідження впливу геологічних факторів на порушення стійкості масиву висячого боку й засмічення руди прийняті поверхні 640–740 та 740–840 м. Запаси першого поверху відпрацьовані майже на 100%, другого – наближаються до завершальної стадії відпрацювання. Ширина досліджуваних камер, що контактували з породами висячого боку, становила 30 м, тобто площа похилого відслонення порід висячого боку була досить близька між собою, а їх висота – 100 м.

Викладення основного матеріалу. Південно-Білозерське родовище, з якого вилучається 90% запасів Білозерського залізорудного району гематито-мартитових руд, за гірничо-геологічними умовами залягання характеризується як складне, що пов'язане із обводненістю рудно-кристалічного масиву, частковою нестійкістю порід висячого боку, тріщинуватістю масиву [20–22]. Розмір головного покладу за простяганням на горизонті 740 м становить близько 1500 м, а за падінням

запаси руди розвідані до 1500 м. Падіння залізистих кварцитів, сланців і руд круте: північно-східне і східне в південній частині родовища та південно-східне – у північній. Кут падіння збільшується з півдня на північ – з 60–65 до 75–80°. Для ефективного планування розвитку гірничих робіт рудний поклад Південно-Білозерського родовища від центру до флангів умовно розділений через кожні 30 м на маркшейдерські осі з позначеннями «с» – північ, «0» – центр, «ю» – південь, відповідно, очисні камери мають також нумерацію в порядку номері, згідно з маркшейдерською віссю та черговістю розробки (наприклад, 1/7ю, 2/7ю).

Протягом терміну відпрацювання запасів руди в поверсі 640–740 м та 740–840 м неодноразово спостерігалися порушення контуру очисних камер на контакт з породами висячого боку з наступним їх обваленням в очисний простір. Ілюстрація порушення контуру очисних камер зі сторони висячого боку за даними плану гірничих робіт наведена на рис. 1, де зафіксовано перебільшення обсягів закладених камер (зелений колір) над контурами рудного покладу (синій колір). Зони вивалоутворення порід висячого боку спостерігалися при відпрацюванні очисних камер у

маркшейдерських осях (м.в.) 8с, 5с, 3с, 2с, 0, 1ю, 3ю, 5ю, 7ю, 8ю, 9ю, 13ю, 15ю.

Гірничо-геологічні умови залягання рудного покладу «Головний» характеризуються значною мінливістю за його простяганням [23; 24]. Північна, центральна й південна частини відрізняються за морфологічним складом руд і вміщуючих порід, складом заліза в руді, міцністю, тріщинуватістю, потужністю покладу та кутом його падіння. Далі розглядаються характерні геологічні ознаки для кожної частини родовища. Загальний вигляд продольного розрізу рудного покладу з нанесенням різних зон зі схожими гірничо-геологічними умовами наведено на рис. 2.

Північна частина покладу за морфологією рудних тіл і складом вміщуючих порід помітно відрізняється від південної й центральної частин покладу і простягається на 650 м від маркшейдерських осей 30с до 8с. Потужність рудного покладу змінюється з коливаннями від 20 до 60 м. Середня міцність руди становить $f = 9,5$. Рудний поклад північної частини розщеплюється на кілька жил, їх розділяють кварцити, переважно гематит-мартитового складу потужністю 7 – 20 м зі зниженим вмістом заліза. Вміщуючими породами лежачого

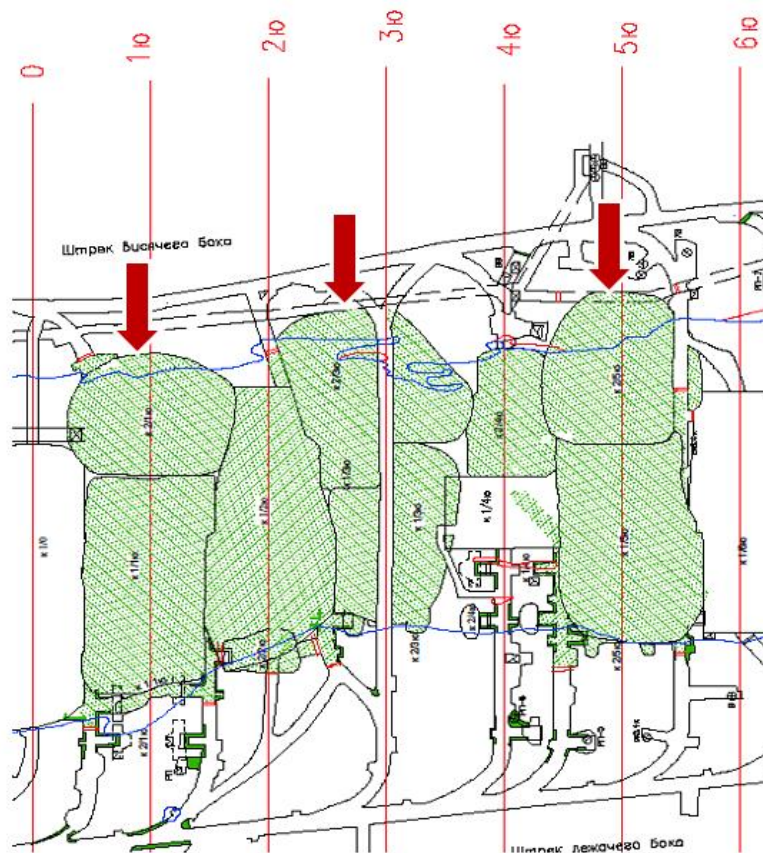


Рис. 1. Порушення контуру деяких очисних камер у формі обвалень порід висячого боку (дільниця покладу від 0 до 6ю)

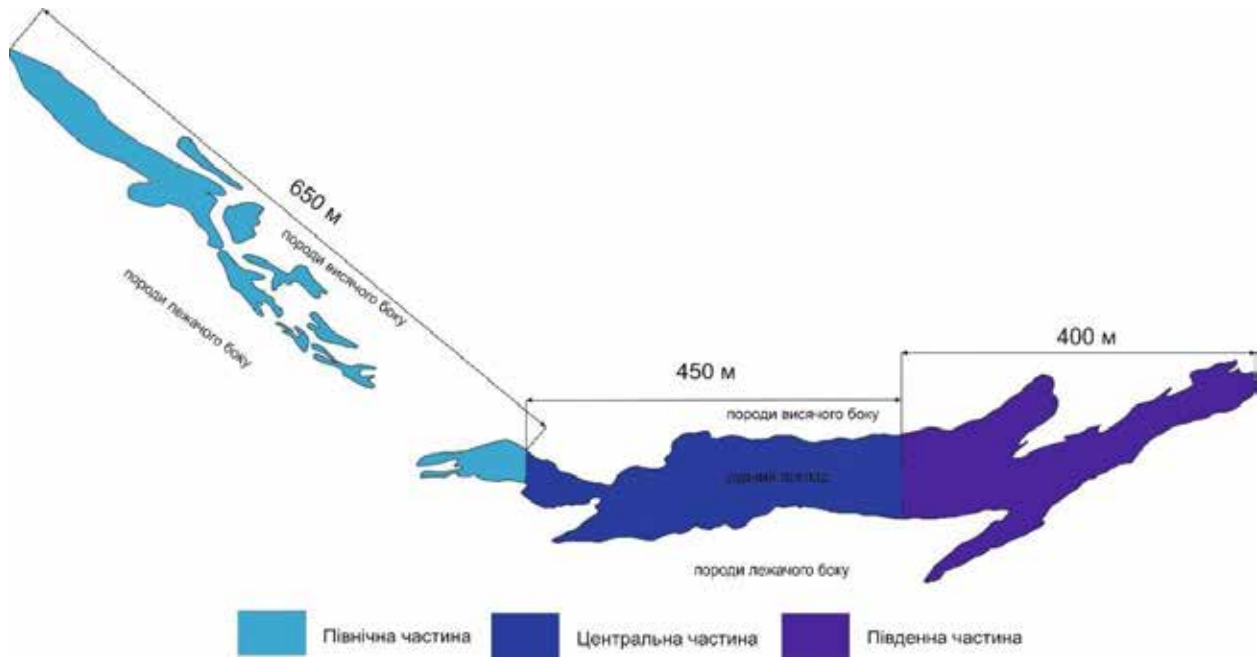


Рис. 2. Характерна зональність рудного покладу за схожими гірничо-геологічними умовами у поперсі 640–740 м (розріз по гор. 740 м)

боку є переважно кварцити гематит-мартитового складу міцністю $f = 14-15$. З висячого боку вміщуючими породами є також кварцити, переважно гематит-мартитового складу міцністю $f = 14-15$, середньої стійкості та тріщинуватості.

Центральна частина покладу простягається на 400 м і розташована між осями 8с і 5ю. Потужність рудного тіла в цій частині досить витримана й коливається в межах 100–120 м, середня міцність руди знижується і досягає $f = 7,0$. У висячому й лежачому боках залягають кварцити $f = 14-15$, які змінюються в міру наближення до південної частини сланцями кварц-серицит-хлоритового, кварц-хлорит-серицитового та кварц-гематит-хлоритового складу міцністю від $f = 7-9$ до $f = 8-10$ середньої стійкості й тріщинуватості. Також зустрічаються отальковані сланці міцністю $f = 3-4$.

Південна частина покладу простягається на 450 м і розташовується між осями 5ю і 20ю. Рудне тіло займає практично весь залізорудний горизонт, тут потужність покладу збільшується місцями від центра до півдня з 60 м і досягає 150 м, а міцність руди становить $f = 6,5$. Вміщуючими породами для нього як у висячому, так і у лежачому боках є сланці кварц-хлорит-серицитового, кварц-серицит-хлоритового та кварц-гематит-хлоритового складу, міцністю від $f = 7-9$ до $f = 8-10$ середньої стійкості та високої і середньої тріщинуватості. З глибиною залягання рудного тіла відзначається збільшення зони поширення слабостійких кварц-хлорит-серицитових сланців низь-

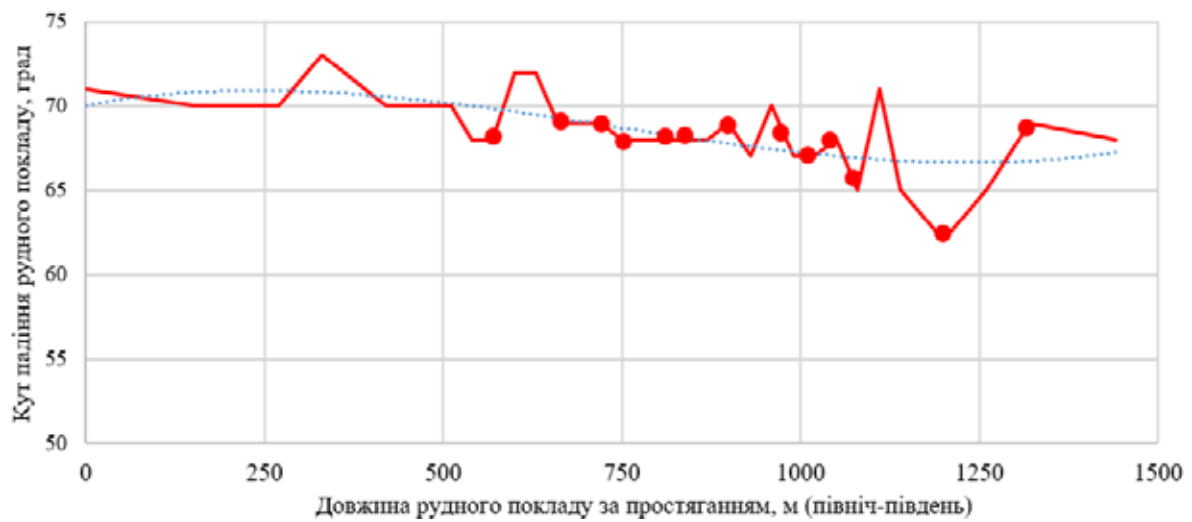
кої міцності $f = 6-9$ у породах висячого боку південної частини покладу, що становить на глибині 400 м – 60 м; 640 м – 150 м, 740 м – 330 м, 840 м – 600 м. Слід зазначити аномально високу й розвинену тріщинуватість, що зустрічається локально в ступені та південній частині родовища і формує ділянками низьку стійкість масиву, розбиваючи його на блоки. Контакт рудного покладу з вміщуючими породами місцями має складчасту форму, що також сприяє засміченню руди.

Відзначені суттєві зміни геологічної будови рудного покладу обумовлюють і зміни в технології ведення гірничих робіт. Так, наприклад, у північній частині родовища через незначну потужність покладу (30–50 м) вхрест простягання покладу за його потужністю розташовують одну очисну камеру, а в центральній і південній частинах, де потужність досягає більше 100 м, вхрест простягання розташовуються 2–3 камери. При відпрацьовуванні камер останньої черги це призводить до збільшення кількості контактів зі штучним масивом, що при засміченні завдає більшої шкоди якості видобутої руди.

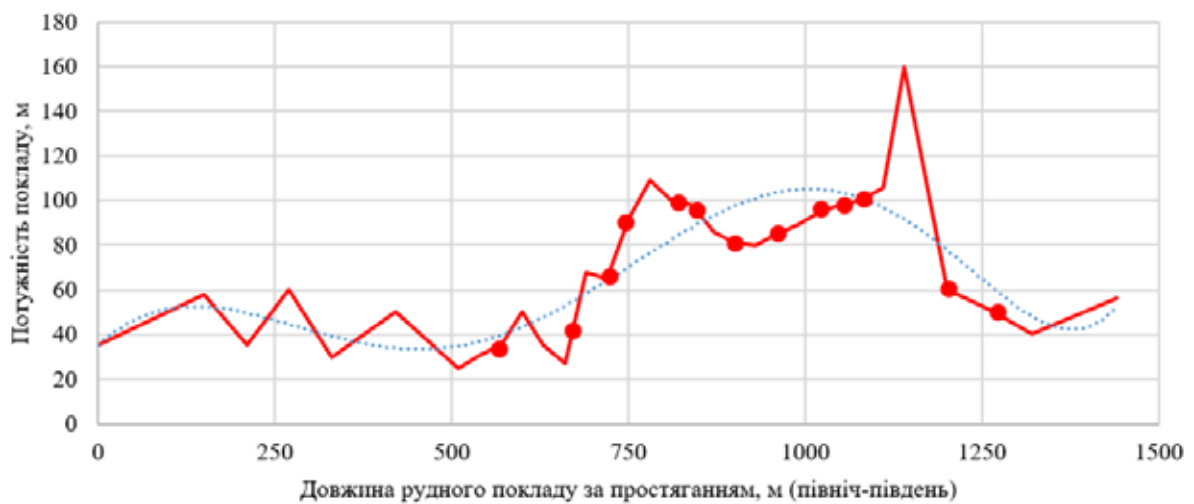
У зв'язку з наявною інтенсивністю обвалень порід та руди проведено детальний аналіз зміни їх міцності, кута падіння, потужності рудного покладу по кожній маркшейдерській осі (через 30 м) за простяганням на довжину 1500 м. У результаті побудовано графіки зміни показників геологічних факторів (рис. 3, а–в) з відзначенням зон обвалень (червоні кола).



(а)



(б)



(в)

Рис. 3. Характер зміни геологічних характеристик за простяганням рудного покладу: міцності порід висячого боку (а), кута падіння (б) і потужності рудного покладу (в)

Можна відзначити, що за простяганням покладу виділяється характерний загальний тренд зменшення міцності порід висячого боку й кута падіння рудного покладу та збільшення потужності покладу з півночі на південь.

Аналіз графіку рис. 3 дозволяє встановити тенденції впливу геологічних факторів родовища на інтенсивність вивалоутворення в різних за геологічною будовою ділянках рудного покладу. Встановлено, що висока інтенсивність обвалень порід висячого боку в поверххах 640–840 м спостерігається в обширній зоні, яка охоплює практично всю центральну і половину південної частин рудного покладу довжиною 600 м, де інтенсивно змінюється морфологічний склад і властивості руди та форма залягання руди і порід. У цій зоні у висячому боці залягає 80% сланців, в основному кварц-хлорит-серицитового складу, середнього і грубого ступеня розсланцьованості, іноді з прошарками сірого кварцу і часто сформовані в складки. Цей вид порід має шарувату структуру і не витримує значних відслонень в часі.

Слід зазначити, що помітно підвищується інтенсивність у камерах зі збільшенням горизонтальної потужності покладу. Так, у північній частині вона змінюється від 20 до 60 м, становлячи в середньому 35–40 м. У таких випадках за потужністю покладу вхрест простягання розміщують одну очисну камеру. У південній частині потужність змінюється від 80 до 150 м, становлячи в середньому 100–120 м. У цьому разі за потужністю покладу розташовують 2, іноді 3 камери. В таких умовах доводиться збільшувати середню довжину камери, що спричиняє збільшення горизонтального прольоту камери, і це підвищує ймовірність обвалення і відшаровування порід висячого боку. Для північної частини характерні довжини очисних камер 25–40 м, для центральної і південної частин – 40–60 м.

Майже повна відсутність вивалів порід спостерігається у північній частині покладу (0 – 650 м) за наявності у висячому боці кварцитів переважно гематит-мартитового складу з рівномірною їхньою міцністю $f = 14$, при кутах падіння рудного покладу 68–70° і в 65% випадків наявності порівняно невеликої для родовища горизонтальної потужності покладу до 60 м. У центральній частині покладу знаходиться 60% зон вивалоутворення, де відбувається заміщення кварцитів гематит-мартитового складу при міцності $f = 12$ на кварц-хлорит-серицитові сланці зниженої міцності $f = 8–10$ і стійкості, зниженні кута падіння покладу до з 70–72 до 65–68° і при збільшенні

горизонтальної потужності рудного покладу з 50 до 80–100 м. У південній частині покладу знаходиться 40% зон вивалоутворення при заміщенні кварцитів гематит-мартитового складу міцністю $f = 14$ на кварц-хлорит-серицитові сланці зниженої міцності $f = 5–8$ і стійкості, зниженні кута падіння з 70 до 62° і зміні горизонтальної потужності рудного покладу до з 80 до 100–150 м.

Необхідно звернути увагу на важливу геологічну особливість, яка суттєво може впливати на стійкість порід висячого боку – нерівномірність кутів падіння рудного покладу та вміщуючих порід. Сланець як шарувата порода складається з окремих пластів з невеликим опором або без опору поділу по межах між її пластами. При відслоненні очисною камерою у висячому боці покладу може відбуватися його розшарування, викликане релаксацією [25]. Шаруватість, орієнтована паралельно похилому відслоненню камери, викликає менше проблем, ніж шаруватість, розташована під пологим ($< 20^\circ$) кутом до камери. Коли шаруватість порід «прорізає» похиле відслонення камери (рис. 4), в такому разі породи схильні до розповзання й обвалення в камеру [26].

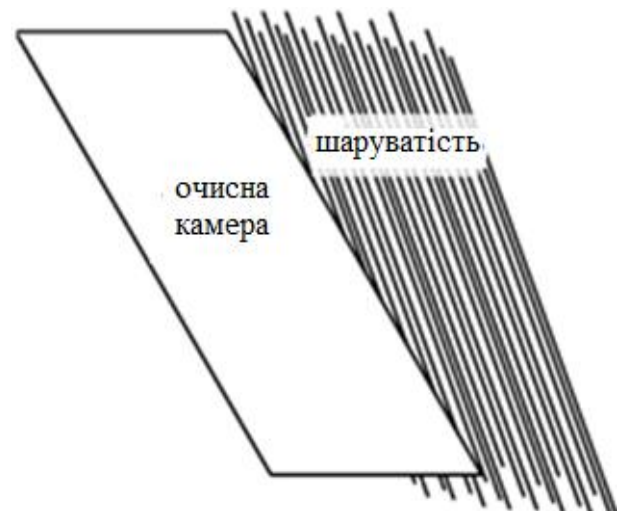


Рис. 4. Розбіжність кутів падіння рудного покладу та шаруватих порід висячого боку [26]

Характер зміни кутів падіння рудного покладу та порід висячого боку наведено на рис. 5. Нерівномірність кута падіння рудного покладу з падінням порід висячого боку, мабуть, набуває найбільш істотного впливу на явище обвалення сланців, оскільки відмінність в кутах падіння порід і руди значне і сягає значення до 7–10°. Часта складчаста форма сланців і нерівномірність кута падіння можуть слугувати концентратором підвищених напружень у висячому боці. У зонах



Рис. 5. Характер зміни кутів падіння рудного покладу та порід висячого боку за простяганням

рудного покладу, де відмічається розбіжність кута падіння рудного покладу (похилого відслонення камери) та сланців у висячому боці, фіксуються вивали порід в очисні камери.

Таким чином, виявлено тенденції і причини зниження стійкості очисних камер на контакті з вміщуючими породами в неоднорідному за геологічною будовою рудному покладі, які пов'язані із одночасним впливом комплексу геологічних факторів. Рекомендується пошук наукових рішень із підвищення стійкості масиву вести у напрямі зміни геометричних форм очисних камер, їх просторового розташування, вдосконалення порядку відпрацювання запасів за площею покладу, раціонального порядку відбійки запасів руди в камерах при змінних гірничо-геологічних умовах розробки родовищ.

Висновки. У результаті дослідження отримані такі результати:

- визначено зони вивалоутворення порід висячого боку (за маркшейдерськими осями) за простяганням рудного покладу під час відпрацювання очисних камер в поверхах 640–840 м;
- детально вивчена мінливість геологічного середовища за простяганням рудного покладу.

Північна, центральна й південна частини родовища відрізняються за морфологічним складом руд і вміщуючих порід, складом заліза в руді, міцністю, тріщинуватістю, потужністю і кутом падіння покладу;

– встановлено, що висока інтенсивність обвалень порід висячого боку спостерігається в обширній зоні, яка охоплює практично всю центральну і половину південної частин рудного покладу довжиною 600 м, де інтенсивно змінюється низка геологічних факторів: морфологічний склад порід, властивості порід і руди та їх форма залягання, і які комплексно впливають на стійкість масиву;

– встановлена нерівномірність кута падіння рудного покладу за падінням порід висячого боку, що чинить найбільш істотний вплив на явище обвалення порід, оскільки відмінність в кутах падіння порід і руди сягає до 7–10°.

– пошук наукових рішень із підвищення стійкості масиву слід вести у напрямі зміни геометричних форм очисних камер, їх просторового розташування, вдосконалення порядку відпрацювання запасів за площею рудного покладу, раціонального порядку відбійки запасів руди в камерах.

Список літератури:

1. Bazaluk O., Petlovanyi M., Lozynskyi V., Zubko S., Sai K., Saik P. Sustainable underground iron ore mining in ukraine with backfilling worked-out area. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Is. 2. P. 834. <https://doi.org/10.3390/su13020834>
2. Khomenko O., Kononenko M., Myronova I. Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining. *Mining of Mineral Deposits*. 2017. Vol. 11, Is. 2. P. 59-67. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.059>
3. Azaryan A.A., Batareyev O.S., Karamanits F.I., Kolosov V.O., Morkun V.S. Ways to reduce ore losses and dilution in iron ore underground mining in Kryvbass. *Science and Innovation*. 2018. Vol. 14, Is. 4. P. 17–24. <https://doi.org/10.15407/scine14.03.017>

4. Kurilo M. Geological and economic evaluation of iron ore deposits of pravoberezhny area (Ukraine). *14th SGEM GeoConference on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining*. 2014. <https://doi.org/10.5593/sgem2014/b11/s1.018>
5. Kuz'menko A., Furman A., Usaty V. Improvement of mining methods with consolidating stowing of iron-ore deposits on big depths. *New Techniques and Technologies in Mining*. 2010. P. 131–136. <https://doi.org/10.1201/b11329-22>
6. Petlovanyi M., Ruskykh V., Zubko S., Medianykh V. Dependence of the mined ores quality on the geological structure and properties of the hanging wall rocks. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 201. P. 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101027>
7. Barba T.F.V., Nordlund E. Numerical analyses of the hangingwall failure due to sublevel caving: study case. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2013. Vol. 4, Is. 3. P. 201. <https://doi.org/10.1504/ijmme.2013.053168>
8. Forster K., Milne D., Pop A. Mining and rock mass factors influencing hangingwall dilution. *Rock Mechanics: Meeting Society's Challenges and Demands*. 2007. P. 1361–1366. <https://doi.org/10.1201/noe0415444019-c169>
9. Гріньов В.Г., Хорольський А.О. Дослідження основ технології оптимального проектування раціонального користування родовищами цінних копалин. *Мінеральні ресурси України*. 2020. Вип. 2. С. 19–24. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.19-24>
10. Hefni M.A., Abdellah W.R.E., Ahmed H.M. Factors influencing stope hanging wall stability and ore dilution in narrow-vein deposits: Part II. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2020. Vol. 8, Is. 4. P. 3795–3813. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01259-9>
11. Chistyakov E., Ruskikh V., Zubko S. Investigation of the geomechanical processes while mining thick ore deposits by room systems with backfill of worked-out area. *Geomechanical Processes During Underground Mining*. 2012. P. 127–132. <https://doi.org/10.1201/b13157-23>
12. Хоменко О.Є., Кононенко М.М. Натурні дослідження поведінки масиву гірських порід навколо первинних очистних камер. *Науковий вісник НГУ*. 2010. № 8. С. 15–17.
13. Кузьменко А.М., Усатый В.Ю. Распределение напряжений в горном массиве вокруг высоких очистных камер при разработке рудных месторождений с твердеющей закладкой. *Сборник научных трудов НАН Украины*. 2010. Вып. 94, Том 1. С. 105–133.
14. Kononenko M., Petlovanyi M., Zubko S. Formation the stress fields in backfill massif around the chamber with mining depth increase. *Mining of Mineral Deposits*. 2015. Vol. 9, Is. 2. P. 207–215. <https://doi.org/10.15407/mining09.02.207>
15. Колосов В.О., Маланчук З.Р., Письменний С.В. Відпрацювання складноструктурних крутоспадних покладів залізних руд з нестійкими породами висячого боку. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2018. Вип. 4. С. 73–86.
16. Письменный С.В. Исследование формы очистного блока в неустойчивых рудах Криворожского железорудного бассейна. *Вісник Криворізького національного університету*. 2018. Вип. 47. С. 160–164.
17. Russkikh V., Yavors'kyu A., Chistyakov Y., Zubko S. Study of rock geomechanical processes while mining two-level interchamber pillars. *Mining of Mineral Deposits*. 2013. P. 149–153.
18. Цариковский В.В., Сиротюк С.В. Технология очистной выемки с самообрушением рудного массива. *Форум гірників*. 2012. Т. 1. С. 104–112.
19. Zhan F.L., Ye P. Construction techniques and mechanism of pre-anchoring fissured stope hangingwall by fully-grouted cable bolts. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 580–583. P. 283–286. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.580-583.283>
20. Kurylo M. Commercial significance of high-grade iron ore deposits on example of Belozersky area (Ukraine). *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2015, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining*. 2011. <https://doi.org/10.5593/sgem2015/b11/s1.011>
21. Petlovanyi M.V., Ruskykh V.V. Peculiarities of the underground mining of high-grade iron ores in anomalous geological conditions. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. Vol. 28, Is. 4. P. 706–716. <https://doi.org/10.15421/111966>
22. Кузьменко А.М., Петлёванный М.В. Влияние структуры горного массива и порядка отработки камерных запасов на разубоживание руды. *Геотехнічна механіка*. 2014. Вип. 118. С. 37–45.
23. Кузьменко А.М., Петлёванный М.В. Взаимосвязь структурных изменений окружающего массива с устойчивостью контура очистных камер при разработке крутых залежей железной руды. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. Т. 2, Вип. 41. С. 56–62.
24. Кузьменко А.М., Петлёванный М.В. Влияние природных и технологических факторов на устойчивость пород и закладочного массива при их обнажении в очистных камерах. *Геотехнічна механіка*. 2017. Вип. 132. С. 62–73.

25. Kaiser P.K., Yazici S., Maloney S. Mining-induced stress change and consequences of stress path on excavation stability – a case study. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2001. Vol. 38, Is. 2. P. 167–180.

26. Henning J.G. *Evaluation of long-hole mine design influences on unplanned ore dilution*. PhD. McGill University Montreal, Canada: Department of Mining, Metals and Materials Engineering, 2007.

Petlovanyi M.V., Sai K.S. COMPLEX INFLUENCE OF GEOLOGICAL FACTORS ON THE MASSIF STABILITY DURING UNDERGROUND MINING OF IRON ORES

The study establishes the heterogeneity of the geological structure, properties of the ore deposit and rocks along the strike, which significantly affects the stability and probability of failure of the rock mass in the process of extracting ore reserves from the stopes. A comprehensive analysis of the geological structure of the Pivdenno-Bilozirske deposit along its strike in the interval of the process of active extraction of iron ore reserves has been carried out. Areas of the ore deposit along the strike have been identified, where cases of rock collapse of the hanging side and clogging of the mined ore were recorded. The variability of the geological environment along the strike of the ore deposit and the characteristic zoning with similar mining and geological conditions – the northern, central and southern parts were found. These areas of the deposit differ in the morphological composition of ores and host rocks, strength, fracturing, thickness of the deposit and the angle of its dip. It has been established that a high intensity of rock failure of the hanging wall is observed in a vast zone covering almost the entire central and half of the southern parts of the ore deposit 600 m long. In this zone, the morphological composition of rocks, the properties of rocks and ore, their shape and occurrence elements are changing rapidly. The unevenness of the angle of incidence of the ore deposit with the fall of the rocks of the hanging side, which significantly affects the phenomenon of the failure of rocks, since the difference in the angles of incidence of rocks and ore reaches 7–10°. To increase the stability of the massif, research should be developed in the direction of optimizing the geometric shapes of the stopes, their spatial location, improving the order of mining reserves over the area of the ore deposit, the rational order of mining ore reserves in the stopes.

Key words: geological structure, strength, stability, rock failure, shale, ore clogging, hanging wall.