

УДК 553.3(477.63)  
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.11>

Володимир ПОКАЛЮК<sup>1</sup>, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.  
ORCID ID: 0000-0002-9282-0246  
e-mail: pvskan@ukr.net

Валентин ВЕРХОВЦЕВ<sup>1</sup>, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.  
ORCID ID: 0000-0002-1015-6725  
e-mail: verkhovtsev@ukr.net

Вікторія ГУБІНА<sup>1</sup>, канд. геол.-мінералог. наук  
ORCID ID: 0000-0001-7486-5451  
e-mail: gvg131619@gmail.com

Віктор ЯЦЕНКО<sup>1</sup>, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.  
ORCID ID: 0000-0002-8113-5702  
e-mail: vgyatsenko@gmail.com

Лариса ЗАБОРОВСЬКА<sup>1</sup>, канд. геол. наук  
ORCID ID: 0000-0001-7848-5528  
e-mail: zaborovskayalp63@gmail.com

Олена ЛАВРИНЕНКО<sup>1</sup>, д-р хім. наук  
ORCID ID: 0000-0002-9256-1221  
e-mail: alena.lavrynenko@gmail.com

Євген МАЙБОРОДА<sup>2</sup>, асп.  
ORCID ID: 0009-0002-0304-5362  
e-mail: mayboroda1986@gmail.com

<sup>1</sup>Державна Установа "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України", Київ, Україна  
<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

## БРЕКЧІЇ ОБРУШЕННЯ – "НОВИЙ" ТИП ТЕХНОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ УТВОРЕНЬ/ТІЛ/РОДОВИЩ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.В. Митрохином)

На підставі геолого-картувальних, структурних, мінералого-петрографічних, геохімічних, петрофізичних досліджень у залізрудних кар'єрах "Південний" та "Північний" Саксаганського району Криворізького залізрудного басейну (Кривбасу) визначено "новий" морфологічний й генетичний тип техногенних утворень – брекчій обрушення, сформованих унаслідок зрушення гірських мас над зонами підземного видобутку. Зазначені брекчії складають величезні об'єми в межах кар'єрів, утворюючи фактично нові масштабні техногенні геологічні тіла зі своєю морфологією, речовинним складом і фізичними властивостями, що відрізняються від вихідних материнських порід. Вони займають майже 100 % приосереджених ділянок кар'єрів, а також значні об'єми їх західних ("висячих") бортів. Разом з рештками ціликів залізистих кварцитів і багатой руди, залишених після підземного видобутку, вони є об'єктом сучасного промислового видобутку. Брекчії обрушення – це нові техногенні гірські породи. Генетично та морфологічно вони повністю відповідають сутності техногенних утворень, і до них цілком правомірно застосовувати, у разі їх економічно доцільного видобутку, понятійну та правову базу техногенних родовищ, так само як це загально визнано для насипних відвалів і шламосховищ. Все це ставить питання про актуальність внесення цих утворень до сучасних класифікацій техногенних родовищ Кривбасу як окремого типу.

**Ключові слова:** Криворізький залізрудний басейн, окиснені залізні руди, техногенні утворення, брекчії обрушення, зони зрушення.

**Постановка проблеми.** Одним із перспективних напрямів у пошуку додаткових джерел мінеральної сировини є залучення до розробки техногенних родовищ. Для ефективного і комплексного використання цих родовищ необхідно їх класифікувати за комплексом ознак. Нині термінологія і класифікація техногенної сировини доповнюються у міру поглиблення досліджень і практичних робіт у сфері розробки родовищ конкретного типу.

Унікальними техногенними утвореннями Криворізького залізрудного басейну (Кривбасу) є зони зрушення, які утворюються внаслідок підземного видобутку залізної руди з обрушенням у вироблений простір вмісних та налегких порід. На поверхні внаслідок зрушення гірських мас формується характерний рельєф просідання та провалення. В об'ємі масиву корінних порід утворюються нові техногенні геологічні тіла, складені брекчіями обрушення. Сучасний видобуток корисних копалин у зазначених зонах зрушення вимагає додаткового вивчення цих зон та аргументації техногенної природи їх складових елементів.

**Аналіз публікацій за темою досліджень.** Зонам зрушення гірських мас над підземними виробками присвячено багато досліджень у публікаціях з комплексної розробки корисних копалин (Шашурин, 1962; Куликов, 1972; Казикаев, 2008; Черный, 1980; Черных и др., 2010). Для Кривбасу ця тема висвітлювалась в роботах (Ривкин, 1959; Черный, 1959; Черный, 1980; Казаков, 1999; Малахов, 2003; Денисик, Задорожня, 2013). Дослідники наводять різні варіанти внутрішньої будови та зональності цих зон залежно від конкретної геологічної ситуації. Зазвичай область зрушення гірських порід поділяють на три основні зони: зону обрушення; зону тріщин і розломів; зону прогину без розриву суцільності порід (рис. 1).

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Основна частина публікацій щодо зон зрушення над підземними виробками торкається головним чином технологічних, економічних та екологічних питань. Водночас речовинні та деякі геолого-структурні аспекти будови зазначених зон зрушення у Кривбасі, на жаль, вивчені вкрай недостатньо. Слід зазначити, що в сучасних

класифікаціях техногенних утворень/родовищ України і Кривбасу (Евтехов, 2003; Черненко, 1998; Олійник та ін., 2012; Черных и др., 2005, 2010) цей тип досі не зафіксований. Термінологія та характеристичні ознаки нових техногенних геологічних тіл/порід, що утворюються внаслідок зрушення гірських мас, не врегульовані.

**Об'єкт, методи та мета досліджень.** Проведені нами геолого-картувальні, структурні, мінералого-петрографічні, геохімічні, петрофізичні роботи в межах

кар'єрів "Південний" та "Північний" Саксаганського району Кривбасу (рис. 2) (колишні гірничі відводи рудників ім. Кірова та ім. Дзержинського) дали змогу охарактеризувати за комплексом ознак цей "новий" морфологічний і генетичний тип техногенних утворень/родовищ у Кривбасі – зон зрушення внаслідок підземного видобутку, а також поставити питання про актуальність внесення його до сучасних класифікацій техногенних родовищ Кривбасу як окремого типу.

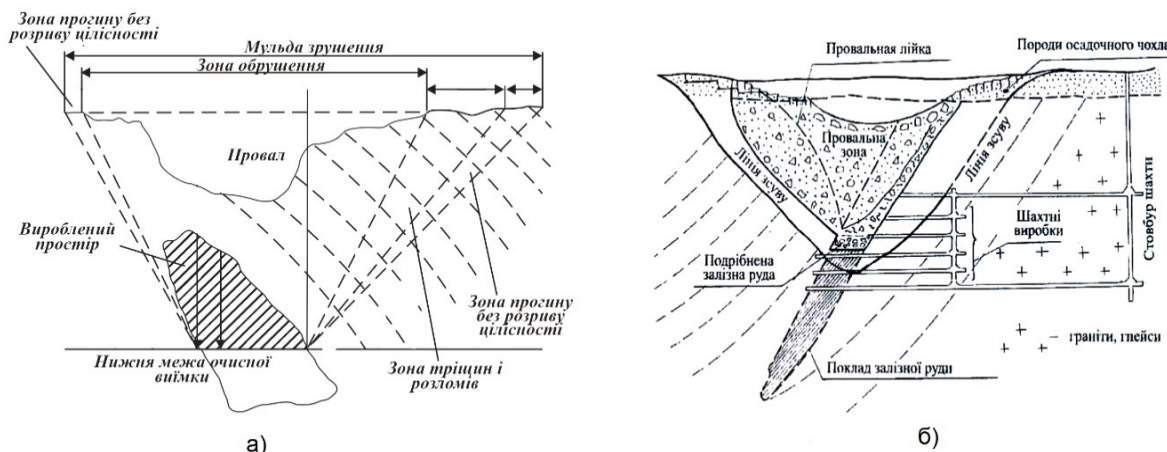


Рис. 1. Будова зон зрушення над підземними виробками:  
а) за С.Л. Шашуріним (Шашурин, 1962); б) за І.М. Малаховим (Малахов, 2003)

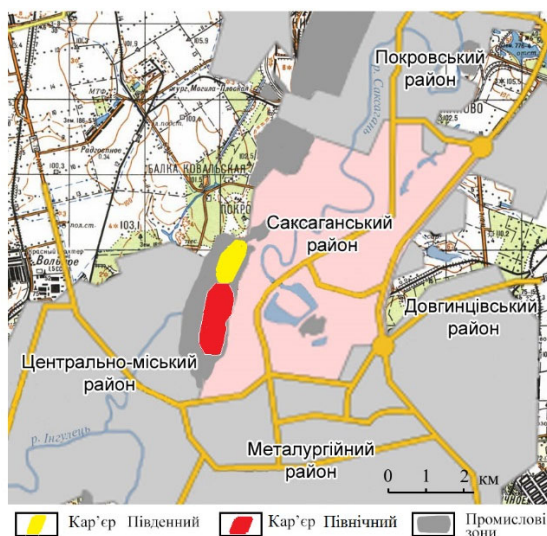


Рис. 2. Географічне розташування кар'єрів "Північний" та "Південний" з видобутку окиснених залізних руд Саксаганського району Кривбасу (м. Кривий Ріг) (кар'єр "Південний" розташований на північ від кар'єру "Північний"; такі найменування зумовлені колишніми межами різних рудників)

Головним структурним, морфологічним і речовинним елементом вищезазначених зон зрушення є так звані техногенні **брекчії обрушення** – брекчії, утворені внаслідок гравітаційних зрушень та обрушення у вироблений підземний простір вмісних та налеглих гірських мас. Вони послугували основним об'єктом наших досліджень. Головною ознакою належності їх до техногенного типу є повне руйнування внаслідок техногенних чинників стратиграфічного упорядкування породних верств з порушенням первинних умов залягання та структурної будови вихідних порід через їх дроблення і перемішування з переміщенням у новий простір, не притаманний їхньому природному залягання, та формуванням нових техногенних геологічних тіл.

Вони складають у межах кар'єрів величезні об'єми, фактично утворюючи нові масштабні техногенні геологічні тіла зі своєю морфологією, речовинним складом і фізичними властивостями, що відрізняються від вихідних материнських порід. Від подібних брекчій насипних відвалів та осипного й обвального колювію вони відрізняються відсутністю елементів похилого нашарування, більш зцементованою структурою та включенням залишків порушених блоків материнських залізистих кварцитів і руд. Від подібних брекчій тектонічного походження вони відрізняються відсутністю тектонітової зональності, більш однорідною будовою з переважанням глинисто-гірсько-щебенистого матриксу, великими об'ємами та часто різкими контактами із вмісними породами. На

сьогодні термін "брекчії обрушення" для цих утворень перебуває у стадії апробації. Як синоніми можливо використовувати також "брекчії обвалювання/обвалення (обвальні)" або провалювання/провалення (провальні)". Саме для розрізнення їх від колювільних брекчій обвалення ми вважаємо за більш доцільне використовувати найменування "брекчії обрушення".

Для лабораторних досліджень відібрано шість зразків брекчій обрушення з різних ділянок кар'єрів "Північний" і "Південний"; досліджено хімічний склад та фізичні властивості зразків, структурно-текстурні особливості та мінеральний склад порід у аншлифах, растровому електронному мікроскопі JSM-6700F. Результати досліджень та географічні координати зразків наведено в табл. 1, 2. Для порівняння у таблицях наведено також дані з окремих зразків вмісних порід – окиснених залізистих кварцитів, роговиків і мартитових руд.

#### Результати. Структурна будова зон зрушення.

Кар'єри "Південний" і "Північний" Саксаганського району Кривбасу нині розробляють залишені після підземного видобутку окиснені залізні руди четвертого, п'ятого і шостого залізистих горизонтів саксаганської світи криворізької серії палеопротерозою. Наслідком багаторічної експлуатації надр відкритим і підземним способом на території сучасних кар'єрів "Південний" і "Північний" є значне порушення природного геологічного середовища з утворенням нових техногенних геологічних тіл, складених брекчіями обрушення. Фактично вся осьова частина кар'єрів завширшки 60–200 м і заввишки кілька ярусів складена цими брекчіями (рис. 3).

За ступенем процесу обрушення внаслідок підземного видобутку, за нашими дослідженнями у кар'єрах "Південний" і "Північний", можна виділити кілька зон (рис. 4, 5), які в загальному плані можна зіставити з виділеними різними авторами (Шашурин, 1962; Черний, 1959; Малахов, 2003) зонами зрушення гірських порід над підземними виробками в межах мульди зрушення:

(I) зона відносно непорушених процесами обрушення від підземного видобутку корінних порід, які зберігають первинну стратифікацію; (II) зона інтенсивно тріщинуватих і подрібнених ціликів, які зберігають належність до певних стратиграфічних горизонтів (відповідає зоні тріщин і розломів); (III) зона чергування ділянок інтенсивно подрібнених ціликів, які в цілому зберігають належність до певних стратиграфічних горизонтів з ділянками брекчій обрушення без стратифікації (відповідає зоні тріщин і розломів, поєднаною із зоною провалів); (IV) зона повного домінування суцільних брекчій обрушення з повним порушенням первинного залягання порід і без яких-небудь ознак належності до певних стратиграфічних горизонтів (відповідає зоні провалів).

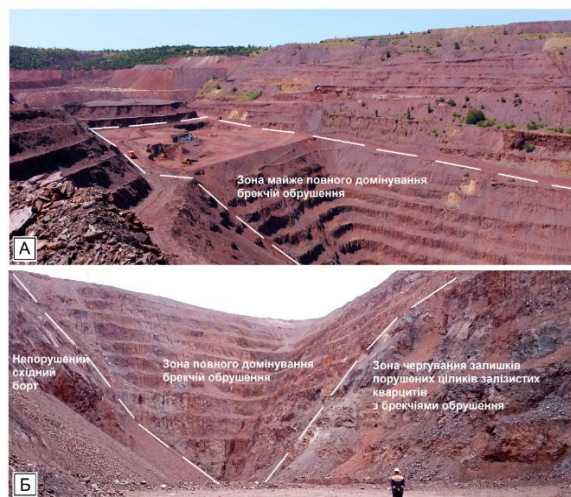


Рис. 3. Вид на південно-західну частину північної чаші кар'єру "Північний":

А – вид з верхнього ярусу східного борту кар'єру, Б – вид з осьової частини нижнього ярусу кар'єру

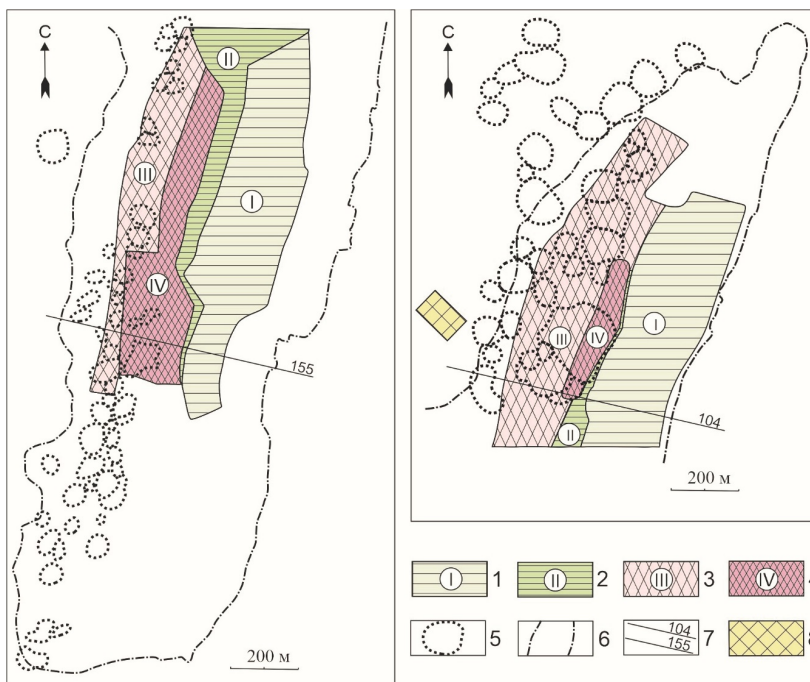


Рис. 4. Схематичні плани розташування зон різної інтенсивності прояву процесів обрушення внаслідок підземного видобутку в межах досліджуваної території кар'єрів "Північний" (ліворуч) і "Південний" (праворуч):

1–4 – зони прояву процесів обрушення (опис у тексті); 5 – лійки, провали та просадки від підземного видобутку за даними аерофотозйомок минулих років; 6 – контури кар'єрів за відміткою 65 м; 7 – лінії розрізів за маркшейдерськими осями; 8 – рудозбагачувальна фабрика ТОВ "Рудомайн"



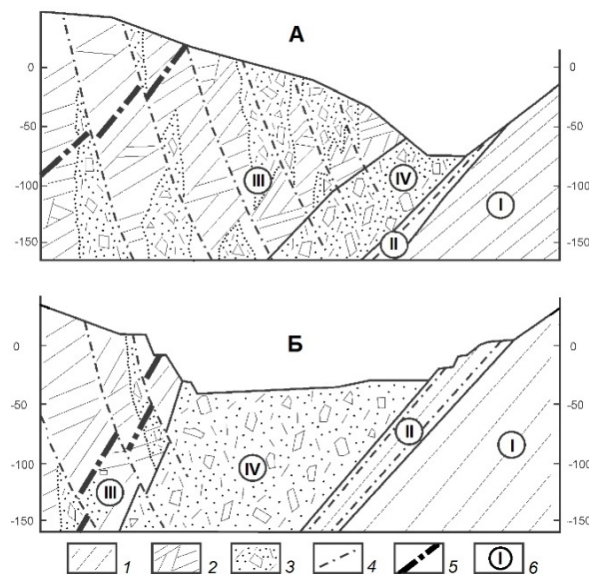


Рис. 5. Схематичні поперечні розрізи кар'єрів "Південний" (А) і "Північний" (Б) з розташуванням зон різної інтенсивності прояву процесів обрушення внаслідок підземного видобутку. Вертикальний масштаб дорівнює горизонтальному.

Лінії розрізів див. на рис. 4: розріз А – вісь 104, розріз Б – вісь 155

Умовні позначення: 1 – непорушені цілики залізистих кварцитів саксаганської світи, 2 – порушені цілики залізистих кварцитів саксаганської світи з ділянками брекчії обрушення; 3 – брекчії обрушення;

4 – розломи гравітаційних зрушень від підземного видобутку; 5 – зона Саксаганського насуву, ускладнена гравітаційними кльвішно-блоковими зрушеннями; 6 – номери зон різної інтенсивності прояву процесів обрушення внаслідок підземного видобутку (див. пояснення в тексті)

У розташуванні і морфології цих зон для обох кар'єрів спостерігаються певні однакові характерні особливості. Щодо різних бортів кар'єрів зони обрушення мають асиметричну форму, пов'язану із загальним моноклінальним заляганням породних верств (разом із продуктивними залізородними горизонтами) і відповідним розташуванням колишніх камер виробленого підземного простору. Східні ("лежачі") борти кар'єрів майже не порушені процесами зсуву та обрушення (зона I), тоді як західні ("висячі") борти разом з осьовими частинами порушені дуже інтенсивно (зони III, IV) (рис. 4, 5). Перехідна зона-II (між зонами I і III) має незначну потужність або інколи може бути взагалі відсутня. Максимальний розвиток брекчії обрушення (майже 100 %) спостерігається в нижніх приосьових частинах кар'єрів, де іде сучасний видобуток корисних копалин. Просторово – це умовна зона п'ятого залізистого (5f) горизонту у кар'єрі "Південний", і умовна зона 4f–5f горизонтів у кар'єрі "Північний". У межах цих зон, на ділянках суцільного домінування брекчії, первинна стратифікація порід повністю порушена, встановити стратиграфічну належність їх неможливо. Брекчії обрушення складають також значні маси в межах західних ("висячих") бортів кар'єрів, але їх об'єми тут менші, ніж у приосьових ділянках і за першими оцінками сягають близько 30 % загального об'єму бортів. Залишки ціликів залізистих кварцитів у західних бортах кар'єрів загалом зберігають ознаки належності до первинних стратиграфічних горизонтів, але вони тут інтенсивно подрібнені на блоки менших розмірів, розтрощені внаслідок гравітаційних зрушень від підземного видобутку і мають порушені елементи залягання.

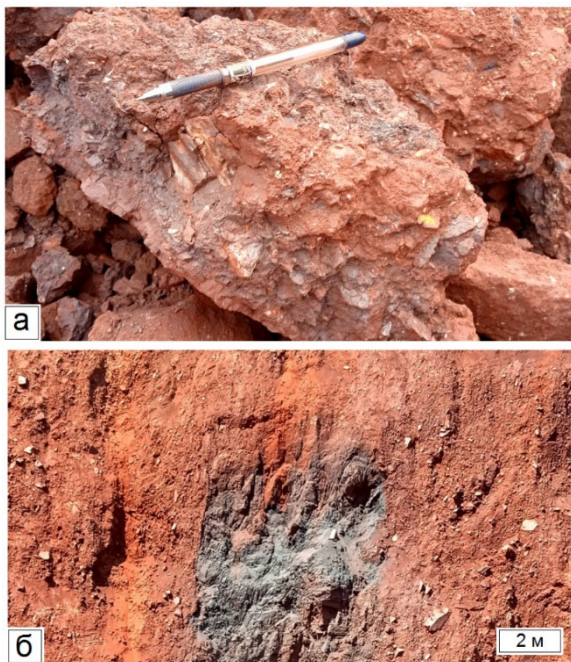
Локалізація ділянок брекчії обрушення в межах згідної з моноклінальним заляганням порід лінійної зони глибинного окиснення завширшки близько 260 м, яка охоплює відклади 4f–7s горизонтів (між 4s горизонтом на сході і Саксаганським насувом на заході), свідчить про

те, що важливою передумовою виникнення брекчії, окрім підземного видобутку, слугували процеси глибинного окиснення, які перетворили весь цей простір на ослаблену зону.

**Мінералого-петрографічна характеристика брекчії обрушення.** Брекчії обрушення за зовнішнім виглядом являють собою суцільні несортвані глинисто-піщано-щебенисті маси червоно-бурого, вохристого кольору. Основна маса брекчії слабо зцементована, однак серед них зустрічаються як більш щільно зцементовані, так і пухкі, сипкі ділянки. Брекчії мають хаотичну несортвану уламкову брекчійову структуру. Біля половини об'єму брекчії становить базальний вохристий заповнювач/матрикс переважно алевро-псамітової розмірності уламків, в якому розосереджені уламки дрісваного, дрібнощебенистого і більшого розмірів (до десятків сантиметрів) (рис. 6а). Внаслідок відсутності будь-якого сортування за розміром уламків межа між алевро-псамітовим заповнювачем і більшими уламками досить умовна. У великих масах брекчії постійно спостерігаються включення брил і "плям" окиснених залізистих кварцитів і багатой мартизової руди "синьки" від порушених залишків ціликів вмісних порід. Зрідка у зовнішньому вигляді брекчії можна спостерігати неясно виражені елементи субвертикальної лінеаризації уламків, які можна бачити лише з певної відстані на великих крутих поверхнях ярусів кар'єрів (рис. 6б).

Уламки псефітового розміру представлені майже на 100 % вмісними породами саксаганської світи – окисненими залізистими кварцитами і рудами. В уламках зустрічаються всі мінерально-петрографічні типи порід і руд, які характерні для стратиграфічного розрізу від 4s до 7s горизонтів саксаганської світи. Переважно це: окиснені залізисті (мартитові, гематит-мартитові, гетит-гідроgetитові) кварцити, роговики, джеспіліти, мартитові і гематит-мартитові руди, зрідка залізисті сланці. Уламки здебільшого вивітрені, нерідко мікропористі за рахунок

маршалізації кварцу. Форма уламків кутасти, нерідко зі слабо заглаженими (заокругленими) ребрами.



**Рис. 6. Брекчії обрушення, зовнішній вигляд:**

а – типовий вигляд слабо зцементованих брекчій обрушення хаотичної брекчіївської структури; б – вигляд вертикальної стінки кар'єру "Південний", складеної брекчіями обрушення з ділянкою порушеного цілику мартитових багатих руд "синьки". Видно елементи субвертикального розлінування (дроблення) залишкового цілику мартитових руд та лінеаризації уламків брекчій

Уламковий матеріал алевро-псамітового розміру становить близько половини об'єму брекчій, виступає як базальний заповнювач. Уламковий матеріал представлений породами саксаганської світи, дезінтегрованими до стану мономінеральних зерен переважно кварцу і мартиту або їх зростків. Загалом серед мінералів уламків кількісно переважає кварц; на другому місці – мартит; у підпорядкованій кількості – гетит-гідроgetит, гематит, лепідокрокит; зрідка – карбонат (сидерит), у поодиноких дуже дрібних зернах – рутил, калієвий польовий шпат, тальк (мінерали ідентифіковано в аншліфах та за їхнім хімічним складом методом рентгеноспектрального мікроаналізу на сканувальному електронному мікроскопі). Форма уламків переважно неправильна, кутасти, напівобкатана (рис. 7). Уламки рудних мінералів частіше мають кутасту, неправильну форму. Зрідка окремі зерна мартиту зберігають форму, близьку до ідіоморфної (рис. 7в). Для уламків кварцу більш характерна напівобкатана форма, зрідка – майже добре обкатана (рис. 7г). Обкатаність уламків кварцу пов'язана з вивітрілістю (маршалізацією) і тонкозернистою внутрішньою будовою кварцових прошарків у вихідних породах, внаслідок чого в процесі зрушення гірських мас з перетиранням їх матриксу уламки дуже легко набувають обкатаної форми. Для зерен мартиту характерне часте заміщення гетитом по тріщинках і з утворенням облямівок, що свідчить про процеси окиснення у вихідних породах. Гетит нерідко розвинутий у вигляді порового цементу між уламками кварцу.

Цемент заповнювача за розміром частинок – алевро-пелітовий, належить переважно до базального

(становить до 40 % заповнювача), рідше порового типу. У мінеральному складі цементу переважає тонкоалевритовий кварц, дисперсні гідроксида заліза, які забарвлюють його у червоно-бурий колір; у менших кількостях містяться карбонат (переважно сидерит), каолінит, хлорит, зрідка тальк. Досить часто цемент має суборієнтовану в одному напрямку лінозоподібну текстуру, яка підкреслюється орієнтуванням пор, мікротріщин та дефектів наплення зразка (рис. 7е).

Серед мінеральних фаз, які фіксуються рентгенівським аналізом, у складі брекчій постійно переважають кварц і гематит. Як домішки трапляється кальцит, клинохлор і зрідка тальк. Для піків клинохлору можливий більш широкий спектр близьких мінералів із груп смектитів і хлоритів. Серед важко діагностованих домішок імовірна присутність каолініту, мусковіту, хлориту (рис. 8).

**Хімічний склад брекчій обрушення.** За хімічним складом (табл. 1) брекчії обрушення являють, так би мовити, усереднену суміш усіх порід, які були обрушені внаслідок підземного видобутку (переважно суміш залізисто-кременистих порід саксаганської світи криворізької серії: окиснених залізистих кварцитів, залізистих роговиків, залишків багатих окиснених руд, а також невелику частку інших порід протерозою та кайнозою). Вміст загального заліза в брекчіях обрушення сягає у середньому 33,4 %, що відповідає бідним залізним рудам (менше, ніж у багатих мартитових кварцитах і рудах, але більше, ніж у залізистих роговиках). Інтервал коливань загального заліза у брекчіях – 8,4–48,0 %, вміст кремнезему також є проміжним, сягає у середньому 51,4 %, коливаючись у межах 38,7–60,1 %. Щодо залізисто-кременистих порід і залізних руд у брекчіях обрушення збільшений вміст глинозему (3,14–13,5, у середньому 6,66 %), MgO (0,9–2,8 %), CaO (0,9–4,8 %), що може свідчити про додаткову домішку глинистого матеріалу та ймовірно вторинні процеси карбонатизації.

#### **Петрофізичні властивості брекчій обрушення.**

За петрофізичними властивостями брекчії обрушення значно відрізняються від головної маси вихідних материнських порід, що зазнали обрушення, дроблення і перемішування в бік зменшення питомої та об'ємної ваги, щільності, міцності, намагніченості, та зростання пористості і вологоємності (табл. 2). Такий важливий показник для підрахунку запасів, як об'ємна вага, у брекчій обрушення має середнє значення 1,95 г/см<sup>3</sup>, коливаючись від 1,8 до 2,1 г/см<sup>3</sup>. Це приблизно у півтора рази менший показник, ніж у вмісних окиснених залізистих кварцитах і рудах (табл. 2). За даними (Тохтуев и др., 1962), об'ємна вага мартитових роговиків на руднику ім. Кірова сягає в середньому 3,32 г/см<sup>3</sup>, мартитових руд – 3,7 г/см<sup>3</sup>. За даними (Куликов, 1972), середня об'ємна вага мартитових і гідрогематит-мартитових руд на руднику ім. Дзержинського сягає 3,55 т/м<sup>3</sup>. Порівняно із цими значеннями об'ємна вага брекчій обрушення менша відповідно у 1,8–1,9 рази щодо мартитових руд і у 1,7 рази щодо мартитових роговиків. Пористість і вологоємність у брекчіях зростають приблизно у 2–2,5 рази щодо вмісних окиснених залізистих кварцитів і роговиків; дещо нижче – щодо багатих мартитових руд (табл. 2). Питома намагніченість насичення приблизно у 3 рази менша, ніж у вмісних кварцитах і роговиках, але близька до мартитових руд. Таке зменшення питомої намагніченості насичення свідчить про процес доокиснення в ході утворення брекчій. Показник міцності на одновісне стиснення для брекчій становить найнижчі значення порівняно із вмісними породами і відповідає рівню для слабоущільнених глинистих порід.



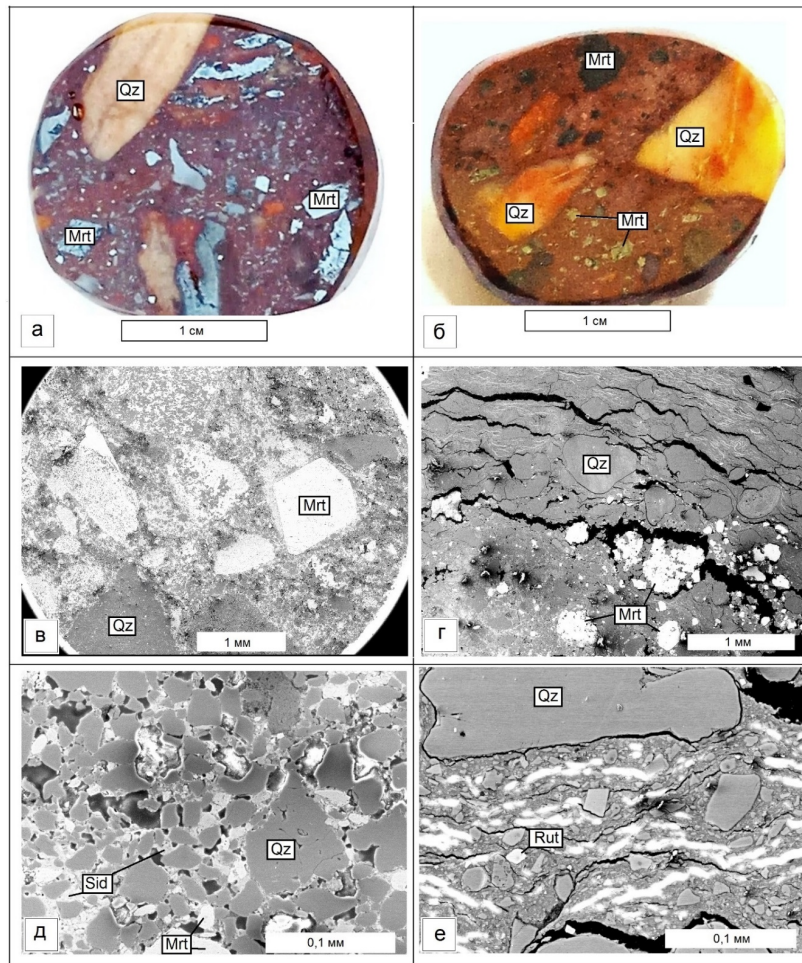


Рис. 7. Структури та текстури брекчій обрушення в аншлифах:

а, б – фото аншлифів; в, г, д, е – електронні зображення (Qz – кварц, Mrt – мартит, Sid – сидерит, Rut – рутил). Білі лінзоподібні смужки на зображенні (е) – електронно-оптичні ефекти від нерівномірного наплення зразка, які підкреслюють орієнтовану текстуру цементу

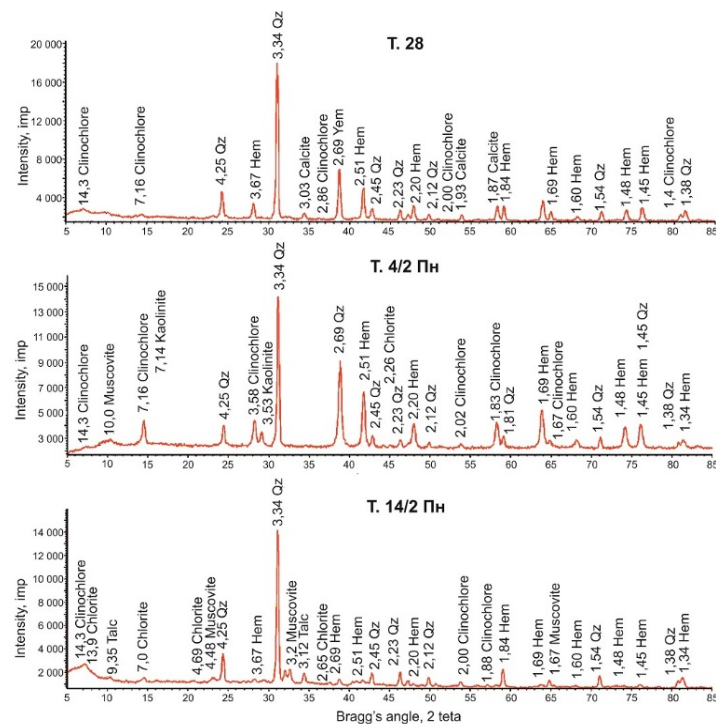


Рис. 8. Типові дифрактограми зразків брекчій обрушення

Таблиця 1

Хімічний склад брекчій обрушення (ваг. %: метод РФСА, рентгенівський багатоканальний спектрометр СРМ-25)

| №  | Зразок     | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | MnO         | MgO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | S           | LOI         | Сумма         | H <sub>2</sub> O- |
|----|------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-------------|---------------|-------------------|
| 1  | Т. 28      | 54,95            | 0,395            | 7,80                           | 25,38                            | 0,055       | 2,006       | 3,533       | 0,499             | 0,788            | 0,084                         | 0,086       | 4,41        | 100,00        | 2,42              |
| 2  | Т. 29/2    | 57,98            | 0,115            | 3,16                           | 34,08                            | 0,021       | 0,908       | 0,912       | 0,361             | 0,229            | 0,072                         | 0,107       | 1,98        | 100,00        | 0,73              |
| 3  | Т. 4/2 Пн  | 38,70            | 0,229            | 7,94                           | 46,77                            | 0,038       | 1,058       | 0,967       | 0,507             | 0,412            | 0,104                         | 0,036       | 3,21        | 100,00        | 1,39              |
| 4  | Т. 5 Пн    | 50,45            | 0,174            | 4,41                           | 37,90                            | 0,044       | 1,260       | 1,832       | 0,420             | 0,454            | 0,112                         | 0,042       | 2,89        | 100,00        | 1,16              |
| 5  | Т. 13 Пн   | 46,04            | 0,089            | 3,14                           | 47,98                            | 0,015       | 0,533       | 0,065       | 0,498             | 0,024            | 0,066                         | 0,034       | 1,42        | 100,00        | 0,74              |
| 6  | Т. 14/2 Пн | 60,15            | 0,735            | 13,52                          | 8,38                             | 0,085       | 2,815       | 4,812       | 0,526             | 1,800            | 0,100                         | 0,083       | 6,99        | 100,00        | 5,32              |
| 7  | Середнє    | <b>51,38</b>     | <b>0,29</b>      | <b>6,66</b>                    | <b>33,42</b>                     | <b>0,04</b> | <b>1,43</b> | <b>2,02</b> | <b>0,47</b>       | <b>0,62</b>      | <b>0,09</b>                   | <b>0,06</b> | <b>3,48</b> | <b>100,00</b> | <b>1,96</b>       |
| 8  | Т. 11/2    | 77,51            | 0,013            | 0,73                           | 19,58                            | 0,009       | 0,909       | 0,042       | 0,145             | 0,048            | 0,049                         | 0,060       | 0,89        | 100,00        | 0,17              |
| 9  | Т. 21      | 47,75            | 0,010            | 0,47                           | 50,74                            | 0,011       | 0,319       | 0,026       | 0,187             | 0,035            | 0,047                         | 0,034       | 0,37        | 100,00        | 0,04              |
| 10 | Т. 29/3    | 0,46             | 0,016            | 0,11                           | 97,56                            | 0,007       | 0,562       | 0,010       | 0,678             | 0,012            | 0,021                         | 0,026       | 0,53        | 100,00        | 0,05              |

Примітка: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* – сума оксидів FeO і Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, перерахована на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. №: 1–6 – брекчії обрушення слабо зцементовані; 7 – середній хімічний склад брекчій обрушення; 8 – середньо-крупносмугастий окиснений залізистий кварцит (роговик) 6s горизонту; 9 – мартитовий кварцит тонко-середньосмугастий темно-сірий маршалізований 5f горизонту; 10 – багата мартитова руда "синька" темно-синьо-сірого кольору, крихка, слабо зцементована, зерниста, з реліктовою тонкою смугастістю. Координати точок відбору зразків: Т. 28 – 47,934543; 33,378823; -85 м. Т. 29/2 – 47,933987; 33,378433; -94 м. Т. 4/2 Пн – 47,92348; 33,37530; -39 м. Т. 5 Пн – 47,92346; 33,37360; -40 м. Т. 13 Пн – 47,92949; 33,37623; -154 м. Т. 14/2 Пн – 47,92745; 33,37610; -162 м. Т. 11/2 – 47,93230; 33,37824; -51 м. Т. 21 – 47,93840; 33,38298; -60 м. Т. 29/3 – 47,933987; 33,378433; -94 м.

Таблиця 2

Результати вимірювань фізичних властивостей порід і руд кар'єру "Південний" і "Північний" (ТОВ "УКРХІМАНЛІЗ")

| Зразок         | Питома вага, г/см <sup>3</sup> | Об'ємна вага, г/см <sup>3</sup> | Пористість, % об. | Вологоємність, % | Питома намагніченість насичення, А·м <sup>2</sup> /кг | Міцність на одновісне стиснення, кг/см <sup>2</sup> | Примітка                          |
|----------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Т. 28          | 3,1                            | 1,9                             | 22,6              | 9,8              | 1,1                                                   | 94                                                  | Брекчії обрушення                 |
| Т. 29/2        | 3,1                            | 2,1                             | 18,5              | 7,4              | 0,9                                                   | 121                                                 |                                   |
| Т. 13 Пн       | 3,3                            | 2,0                             | 24,6              | 10,8             | 1,3                                                   | 92                                                  |                                   |
| Т. 14/2 Пн     | 3,2                            | 1,8                             | 21,5              | 11,3             | 1,4                                                   | 95                                                  |                                   |
| <b>Середнє</b> | <b>3,18</b>                    | <b>1,95</b>                     | <b>21,80</b>      | <b>9,83</b>      | <b>1,18</b>                                           | <b>100,50</b>                                       | <b>Брекчії обрушення, середнє</b> |
| Т. 11/2        | 4,0                            | 2,9                             | 7,2               | 3,2              | 3,2                                                   | 318                                                 | Fe-роговик                        |
| Т. 21          | 3,5                            | 2,0                             | 10,9              | 3,4              | 3,5                                                   | 172                                                 | Fe-кварцит                        |
| Т. 29/3        | 3,1                            | 2,4                             | 12,3              | 8,6              | 0,7                                                   | 134                                                 | Мартитова руда                    |

Примітка: опис зразків та координати їх точок відбору див. у табл. 1.

Отже, внаслідок перемішування у складі брекчій обрушення всіх порід, які залягають вище над зонами підземного видобутку (різних залізистих і сланцевих горизонтів і залишків залізних руд саксаганської світи; метакісліковиків, філітів, метакальцитів скелюватської світи; глинистих порід кайнозою та ін.), відбулося розпорощення залишків багатих руд, розубожнення (збіднення) первинних концентрацій заліза в результаті перемішування з малозалізистими (безрудними) породами, розуцільнення порід зі зменшенням об'ємної ваги і міцності та збільшенням пористості, вологоємності.

Передумовою виникнення зон брекчій обрушення в умовах родовищ окиснених залізистих кварцитів саксаганського типу є два головні чинники. У першу чергу – це об'єми та розташування виробленого підземного простору. Другим важливим чинником є процеси так званого глибинного окиснення, які перетворили вихідні родовмісні маси на породи зниженої міцності, підвищеної пористості і вологоємності. Внаслідок процесів глибинного окиснення фактично вся товща між 4s горизонтом на сході і Саксаганським насувом на заході завширшки в 300–400 м, на значну глибину (понад 1000 м) і завдовжки за простяганням близько 2500 м перетворилась на ослаблену зону, яка схильна до провального процесу. Можна висловити припущення, що у разі меншого розвитку глибинних зон окиснення і переважання неокиснених (магнетитових) різновидів залізистих кварцитів серед родовмісних порід масштаби виникнення брекчій обрушення будуть значно меншими.

### Висновки

Досліджено, що брекчії обрушення значно поширені в межах кар'єрів "Південний" і "Північний" Саксаганського

району Криворізького залізничного басейну; вони займають величезні об'єми гірської маси – майже 100 % приосельних ділянок кар'єрів, а також значні об'єми їх західних бортів. Разом з рештками ціликів залізистих кварцитів і рештками багаті руди, залишеної після підземного видобутку, вони є об'єктом сучасного промислового видобутку. Брекчії обрушення – це нові техногенні гірські породи, які суттєво відрізняються як від вмисних корінних порід, так і від подібних до них тектонічних брекчій та брекчій насипних відвалів й обвального колюю. Генетично та морфологічно вони цілком відповідають сутності техногенних утворень і до них правомірно застосовувати, у разі їх економічно доцільного видобутку, понятійну та правову базу техногенних родовищ, так само як це загально визнано для насипних відвалів і шламосховищ.

Автори пропонують внесення до сучасної класифікації техногенних утворень/родовищ Кривбасу "нового" морфологічного й генетичного типу техногенних утворень (у разі доцільного видобутку – родовищ) – зон зрушення внаслідок підземного видобутку, головним структурним, морфологічним і речовинним елементом яких є так звані брекчії обрушення.

Подальші дослідження цих техногенних утворень мають бути спрямовані на їх детальне картування, кількісні підрахунки об'ємів та більш повне вивчення речовинного складу з метою комплексного використання у промисловості.

### Список використаних джерел

- Денисюк, Г.І., Задорожня, Г.М. (2013). *Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу*. ПП Едельвейс і К.  
Евтехов, В.Д. (2003). Техногенные месторождения: от использования имеющихся – к созданию более совершенных. *Геолого-мінералогічний вісник*, 1 (9), 19–26.

Казаков, В.Л. (1999). Геоморфология провальных зон Кривбасу. Охрана доклина: экологические, образовательные, медицинские аспекты. Матер. IV Всеукр. конф., III часть, Кривый Ріг, с. 29–31.

Казаков, В.Л. (2008). Комбинированная разработка рудных месторождений. Горная книга.

Куликов, В.В. (1972). Совместная и повторная разработка рудных месторождений. Недра.

Малахов, И.М. (2003). Техногенез у геологічному середовищі. ОКАН-ПРИНТ.

Олійник, Т.А., Кушнірук, Н.В., Сайгарев, Л.Н., & Нагнибіда, І.О. (2012). Техногенні родовища та їх класифікація. Збагачення корисних копалин, 50 (91), 213–217.

Ривкин, И.Д. (1959). Особенности обрушения пород всякого бока рудных залежей Криворожского бассейна. Горный журнал, 4, 10–15.

Тохтуев, Г.В., Борисенко, В.Г., & Титлянов, А.А. (1962). Физико-механические свойства горных пород Кривбасса. ГосИздТехЛит УССР.

Черненко, В.А. (1998). Прогнозирование разработки техногенных месторождений в Кривбассе. Відомості Академії гірничих наук України, 1, 26–29.

Черный, Г.И. (1959). Зрушення порід лежачого боку в Криворізькому басейні. АН УРСР, Інститут гірничої справи.

Черный, Г.И. (1980). Устойчивость подрабатываемых бортов карьеров. Недра.

Черных, А.Д., Андреев, Б.Н., & Ошмянский, И.Б. (2010). Открыто-подземная разработка рудных месторождений. Техніка.

Черных, А.Д., Колосов, В.А., Брюховецкий, О.С. и др. (2005). Комплексная разработка рудных месторождений. Техніка.

Шашурин, С.Л. (1962). Повторная разработка месторождений руд цветных и редких металлов. Госгортехиздат.

## References

Chernenko, V.A. (1998). Prediction of the development of technogenic deposits in Kryvbas. Vidomosti Akademiyi hirnychkh nauk Ukrainy, 1, 26–29 [in Russian].

Chernyi, G.I. (1959). Displacement of the bedrock in the Kryvyi Rih basin. UkSSR Academy of Sciences, Institute of Mining [in Ukrainian].

Chernyi, G.I. (1980). Stability of quarry sides. Nedra [in Russian].

Chernykh, A.D., Andreev, B.N., & Oshmyanskiy, I.B. (2010). Open-pit mining of ore deposits. Technika. VD-book [in Russian].

Chernykh, A.D., Kolosov, V.A., Bryukhovetskiy, O.S. et al. (2005). Integrated development of ore deposits. Technika. [in Russian].

Denysyk, G.I., Zadorozhna, G.M. (2013). Derivative processes and phenomena in landscapes of technogenesis zones. Edelweiss and K. [in Ukrainian].

Evtekhov, V.D. (2003). Technogenic deposits: from the use of existing ones to the creation of more advanced ones. Heoloho-mineralohichnyy visnyk, 1 (9), 19–26 [in Russian].

Kazakov, V.L. (1999). Geomorphology of the Kryvbas sinkholes. Environmental protection: ecological, educational, and medical aspects. Mater. IV All-Ukrainian conference, part III, Kryvyi Rih, 29–31 [in Ukrainian].

Kazikayev, D.M. (2008). Combined development of ore deposits. Gornaya kniga [in Russian].

Kulikov, V.V. (1972). Joint and repeated development of ore deposits. Ed. 2nd, revised and supplemented. Nedra [in Russian].

Malakhov, I.M. (2003). Technogenesis in the geological environment. OCTAN-PRINT [in Ukrainian].

Oliynyk, T.A., Kushniruk, N.V., Saitgareev, L.N., & Nagnibida, I.O. (2012). Technogenic deposits and their classification. Zbahachennya korysnykh kopalyn, 50 (91), 213–217 [in Ukrainian].

Rivkin, I.D. (1959). Features of the collapse of rocks of the hanging side of ore deposits in the Kryvyi Rih basin. Gornyi zhurnal, 4, 10–15 [in Russian].

Tokhtuev, G.V., Borisenko, V.G., & Titlyanov, A.A. (1962). Physical and mechanical properties of rocks of the Kryvbas. Gosizdatkhlit UkSSR [in Russian].

Shashurin, S.L. (1962). Re-development of non-ferrous and rare metal ore deposits. Gosgortekhzdat [in Russian].

Отримано редакцією журналу / Received: 19.08.23  
Прорецензовано / Revised: 17.10.23  
Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Volodymyr POKALYUK<sup>1</sup>, DSc (Geol.), Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0002-9282-0246  
e-mail: pvskan@ukr.net

Valentyn VERKHOVTSYEV<sup>1</sup>, DSc (Geol.)  
ORCID ID: 0000-0002-1015-6725  
e-mail: verkhovtsev@ukr.net

Victoria HUBINA<sup>1</sup>, PhD (Geol.-Min.), Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0001-7486-5451  
e-mail: gvg131619@gmail.com

Viktor YATSENKO<sup>1</sup>, PhD (Geol.-Min.), Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0002-8113-5702  
e-mail: vgyatsenko@gmail.com

Larisa ZABOROVSKA<sup>1</sup>, PhD (Geol.), Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0001-7848-5528  
e-mail: zaborovskayalp63@gmail.com

Olena LAVRYNENKO<sup>1</sup>, DSc (Chem.), Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0002-9256-1221  
e-mail: alena.lavrynenko@gmail.com

Evgen MAIBORODA<sup>2</sup>, PhD Student  
ORCID ID: 0009-0002-0304-5362  
e-mail: mayboroda1986@gmail.com

<sup>1</sup>State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine  
<sup>2</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

## COLLAPSE BRECCIAS – A "NEW" TYPE OF ANTHROPOGENIC GEOLOGICAL FORMATIONS/BODIES/DEPOSITS IN THE KRYVYI RIH IRON ORE BASIN

On the basis of geological mapping, structural, mineralogical, petrographic, geochemical, petrophysical studies in the Pivdennyi and Pivnichnyi iron ore quarries of the Saksahansk district of the Kryvyi Rih iron ore basin (Kryvbas), a "new" morphological and genetic type of anthropogenic formations – collapse breccias formed as a result of rock masses displacement over underground mining zones – has been identified. These breccias make up huge volumes within the quarries, forming virtually new large-scale anthropogenic geological bodies with morphology, material composition and physical properties that differ from the original parent rocks. They occupy almost 100 % of the axial areas of the quarries, as well as significant volumes of their western ("hanging") sides. Together with the remnants of ferruginous quartzite and rich ore leftover from underground mining, they are the subject of modern industrial mining. Breccia collapses are new anthropogenic geological rocks. Genetically and morphologically, they fully correspond to the essence of anthropogenic formations and it is quite legitimate to apply the conceptual and legal framework of anthropogenic deposits to them in case of their economically feasible extraction, just as it is generally recognised for bulk dumps and sludge dumps. All this raises the question of the relevance of including these formations in the modern classifications of anthropogenic deposits of Kryvbas as a separate type.

**Keywords:** Kryvyi Rih iron ore basin, oxidised iron ores, anthropogenic formations, collapse breccias, shear zones.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.