

ОСОБЛИВОСТІ РЕЧОВИННОГО СКЛАДУ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ КРИВБАСУ

Губіна В.Г., Заборовський В.С.

*ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”
пр. Палладіна, 34-а, м. Київ-142, 03680, Україна*

Наведено дані щодо кількості та якості відходів збагачення, що утворюються та утилізуються на гірничозбагачувальних комбінатах Кривбасу щорічно. Проаналізовано речовинний склад поточних і лежалих відходів збагачення гірничозбагачувальних комбінатів. Встановлено, що на 67–97 % відходи представлені фракцією < 0,071 мм, в якій 70 % Fe знаходиться у розкритому стані. Показано, що на всіх комбінатах масова частка Fe збільшується зі зменшенням класу крупності. Так, у класах крупності < 0,071 мм та < 0,03 мм масова частка Fe складає 5,7–14,5 ваг. % та 7,2–13,85 ваг. % відповідно. Найбільша масова частка Fe відмічена у відходах збагачення Центрального та Північного ГЗК – 14,0 та 14,5 ваг. %, відповідно, у найдрібнішій фракції < 0,071 мм. Вперше наведено мікроелементний склад поточних відходів збагачення за їх фракціями при електромагнітному розподілі. Рідкісноземельні елементи (Ce, La, Y, Yb) мають підвищене значення у відходах збагачення Північного (437 г/т у електромагнітній фракції-1) та Центрального ГЗК (421 г/т у неелектромагнітній фракції).

Ключові слова: гірничозбагачувальні комбінати, хвостосховища, поточні та лежалі відходи збагачення, гранулометричний склад, мікроелементи.

Вступ. Внаслідок майже 50-річної роботи гірничозбагачувальних комбінатів з видобутку та збагачення залізистих кварцитів на території Кривбасу утворились техногенні споруди – хвостосховища, в яких накопичено понад 5 млрд т відходів збагачення. Щорічне їх утворення становить понад 140 млн т. Вважається, що з відходами збагачення щорічно втрачається біля 25 % заліза та інших компонентів, які можна було би використати в інших галузях промисловості.

Криворізькі гірничозбагачувальні комбінати (ГЗК) складають відходи збагачення у хвостосховища (загалом шість об'єктів): балка Петрикова (Північний ГЗК), Войкове (Південний ГЗК), Об'єднане (Південний ГЗК та ГЗК “АрселорМіттал Кривий Ріг”), Міролюбівське (ГЗК АрселорМіттал Кривий Ріг), балка Лозоватка (Центральний ГЗК), хвостосховища Інгулецького ГЗК. Хвостосховища займають площу до 10 тис. га, ви-

сота огорожувальних дамб наближається до 100 м і термін їх експлуатації закінчується.

Актуальність роботи полягає у дослідженні речовинного складу відходів збагачення з метою визначення перерозподілу компонентів у процесі збагачення сировини.

Метою роботи є аналіз статистичних даних щодо кількості щорічного утворення відходів збагачення на кожному комбінаті, визначення особливостей речовинного складу відходів збагачення залізистих кварцитів і розподілу заліза та інших мікроелементів у різних фракціях.

Об'єкт дослідження – відходи збагачення залізородних гірничозбагачувальних комбінатів.

Предмет дослідження речовинний склад відходів збагачення і особливості розподілу елементів у різних фракціях.

Методи дослідження. Досліджено лежалі та поточні відходи п'яти гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу. Для дослідження речовинного складу відібрано проби поточних відходів

збагачення протягом одного-двох місяців роботи кожного з п'яти комбінатів. Проби відбрано з отвору хвостозливноїка за схемами контролю якості сировини на підприємствах. Проби після відстоювання і зливу рідини висушували у печах. Усереднені та відквартовані проби складали усереднену пробу по кожному із комбінатів вагою 1,5–2,5 кг, крім поточних відходів, для дослідження речовинного складу, відібрано лежалі відходи збагачення Північного ГЗК вагою 8 кг. Відбір здійснювали у верхній частині хвостосховища біля його огорожувальної дамби.

Методом сухого розсіву на ситах визначено гранулометричний склад відходів збагачення [7]. Сухим методом на універсальному електромагніті УЕМ-1Т проводилася сепарація часток на фракції за електромагнітними властивостями. Вміст мікроелементів у відходах збагачення, отриманих після розподілу мінералів на фракції, визначали за допомогою методу емісійної спектроскопії (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України). За допомогою атомно-адсорбційного спектрального аналізу визначено масову частку заліза в чотирьох гранулометричних фракціях і в немагнітній тонкозернистій фракції розміром <0,03 мм, отриманої шляхом відмулення, методом емісійної спектроскопії – вміст мікроелементів у фракціях відходів збагачення, розсіяних на ситах та розподілених у

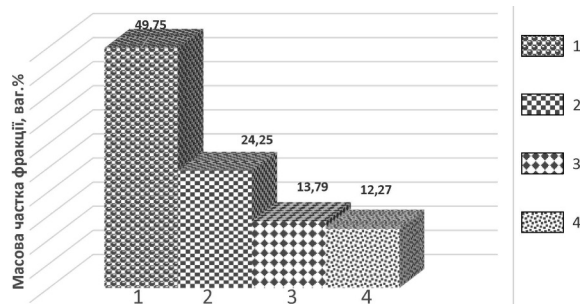


Рис. 1. Гранулометричний склад лежалих відходів збагачення Північного ГЗК. Фракції, мм: 1 – >0,25; 2 – 0,25–0,125; 3 – 0,125–0,071 мм; 4 – <0,071

важких рідинах, а також після розподілу фракції з питомою щільністю >2,9 г/см³ за електромагнітними властивостями на чотири класи; мінеральний склад – методом рентгеноструктурного аналізу (ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”).

Результати та обговорення. На рис. 1 представлено результати гранулометричного аналізу лежалих відходів збагачення Північного ГЗК. Встановлено, що лежалі відходи збагачення комбінату представлені на 49,75 ваг. % фракцією розміром >0,25 мм, на 24,25 ваг. % – фракцією 0,25–0,125 мм, на 13,79 ваг. % – 0,125–0,071 мм, і лише 12,3 ваг. % – розміром <0,071 мм. Поточні відходи збагачення мають дещо інший характер розподілу за фракціями (рис. 2). На діаграмі наведено грану-

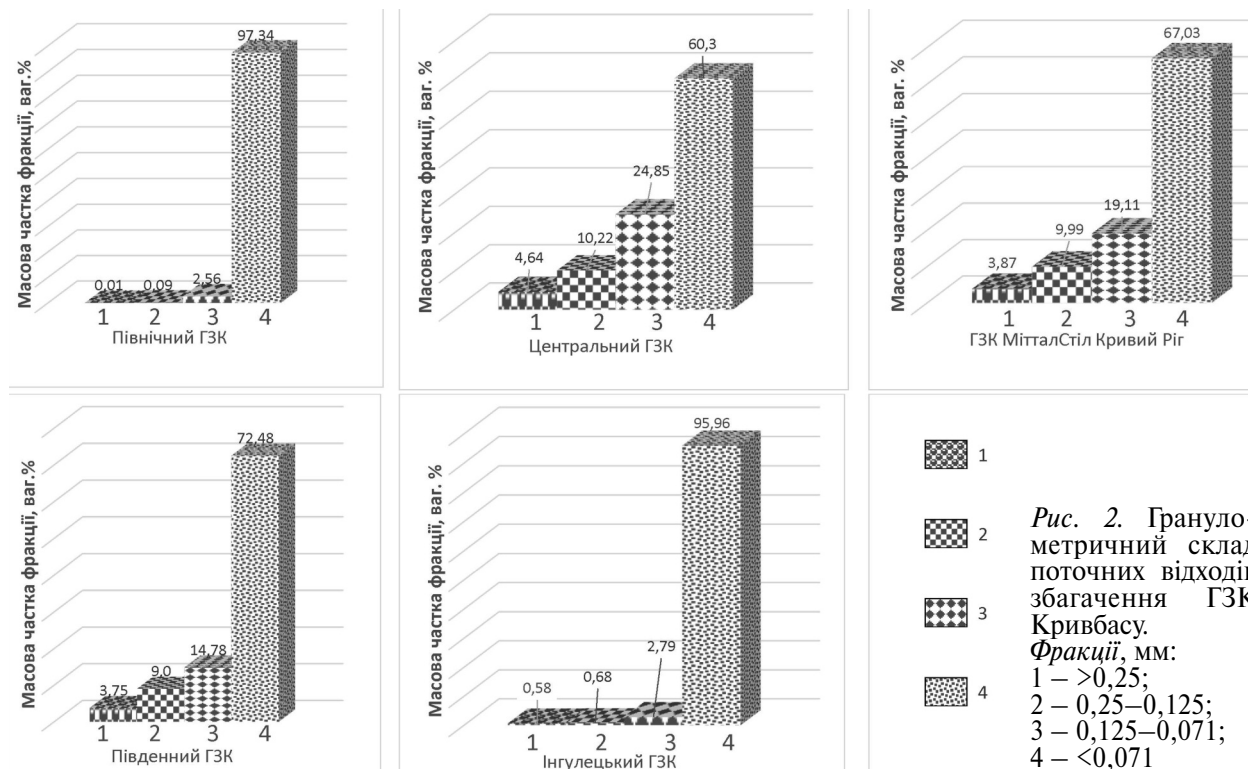
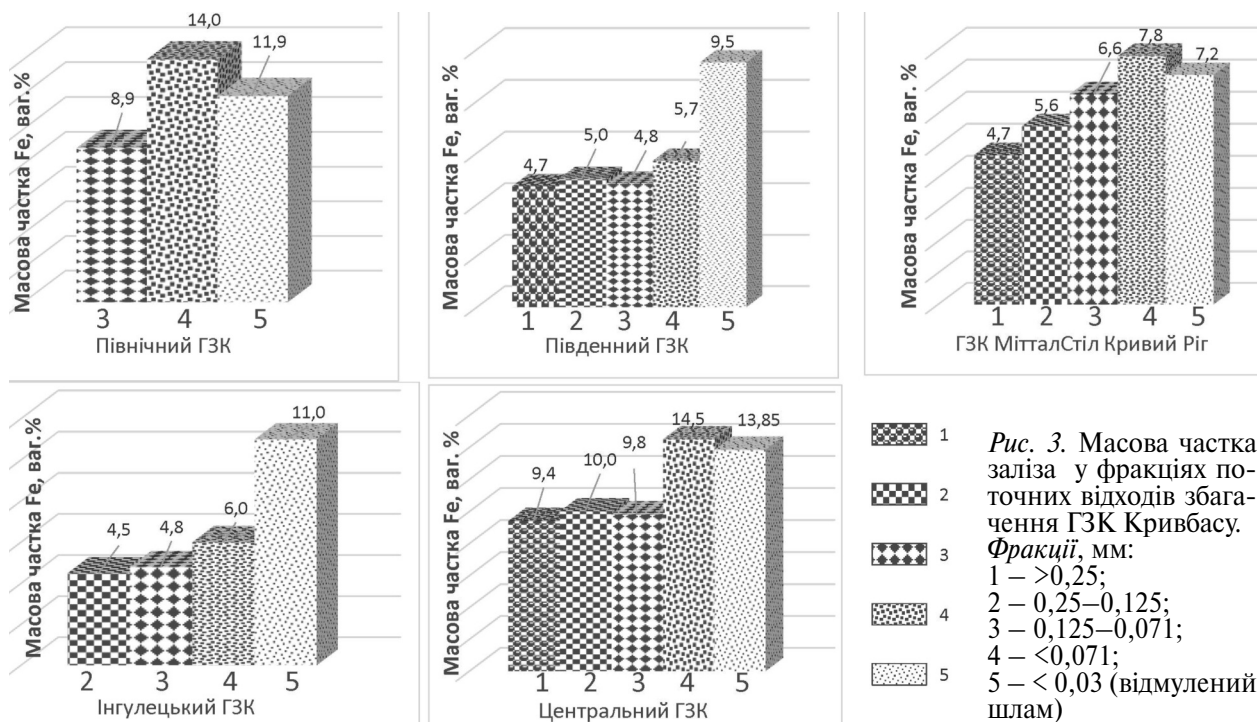


Рис. 2. Гранулометричний склад поточних відходів збагачення ГЗК Кривбасу. Фракції, мм: 1 – >0,25; 2 – 0,25–0,125; 3 – 0,125–0,071; 4 – <0,071



лометричний склад поточних відходів збагачення всіх криворізьких ГЗК. Так, поточні відходи на 60,3–97,3 ваг. %. представлені частками розміром <0,071 мм, а крупних часток розміром >0,25 мм лише 0,01–4,64 ваг. %. Причому найдрібніші вони на Північному і Інгулецькому ГЗК, крупніші – на ГЗК “МітталСтіл Кривий Ріг” (колишній Новокириворізький) та Південному ГЗК. Характер розподілу матеріалу за фракціями визначений мінеральним складом, розміром зерен та характером зростків магнетиту з іншими нерудними мінералами у вихідних залістистих кварцитах, а також ступенем подрібнення мінеральної сировини на збагачувальних фабриках.

На рис. 3 представлено розподіл Fe у поточних відходах збагачення ГЗК Кривбасу в різних гранулометричних фракціях.

Найбільша кількість Fe відмічена у відходах збагачення Центрального та Північного ГЗК – 14,0 та 14,5 ваг. %, відповідно, у найдрібнішій фракції <0,071 мм, а також у відмуленій немагнітній тонкозернистій фракції розміром <0,03 мм, в якій масова частка заліза складає 7,2–13,85 ваг. %.

Відходи збагачення всіх ГЗК були розділені на магнітну, немагнітну тонкозернисту фракцію розміром <0,03 мм, отриману шляхом відмулення з вихідних поточних відходів збагачення, немагнітну крупнозернисту фракцію розміром >0,03 мм, з якої отримано фракції з питомою щільністю <2,9 г/см³ та >2,9 г/см³.

За допомогою зміни напруженості електромагнітного поля вдалося відтягнути слабомігнітні частки і розділити фракцію щільністю >2,9 г/см³ на чотири класи. У відходах збагачення Північного та Центрального ГЗК встановлено класи в яких концентруються рідкісноземельні метали – Ce, La, Y, Yb (РЗМ), що надходять на збагачувальну фабрику в складі руди та в процесі збагачення потрапляють у відходи.

Середньозважений вміст суми РЗМ складає 339 та 271 г/т, Mn – 412 та 329 г/т, міді – 25 та 15 г/т, фосфору 398 і 650 г/т відповідно на Північному та Центральному ГЗК. У складі відходів знаходяться у незначній кількості важкі метали Pb і Zn, а небезпечного вмісту Cd і Mo не виявлено (табл. 1, 2).

Немагнітна тонкозерниста фракція <0,03 мм відходів збагачення Північного ГЗК має, у порівнянні з іншими фракціями, підвищений вміст Mn – 700 г/т, P – 1200 і РЗМ у сумі 254 г/т.

На Південному, МітталСтіл Кривий Ріг, Інгулецькому комбінатах, за даними емісійної спектроскопії, РЗМ виявлені в дуже низькій концентрації. На питання: “чи втрачається германій з відходами збагачення?”, можна відповісти, що ні. За результатами наших досліджень підвищеної концентрації германію не встановлено. Це підтверджує тезу А.І. Каталенця про перерозподіл германію в залістистий концентрат у ході збагачення залістистих кварцитів [6].

Особливості речовинного складу відходів збагачення залістистих кварцитів Кривбасу

Таблиця 1. Мікроелементний склад поточних відходів збагачення Північного ГЗК, г/т

Елемент	Магнітна фракція	Немагнітна фракція (<0,03 мм)	Немагнітна фракція (>0,03 мм)				
			Фракція >2,9 г/см ³				
			е/магн.-1	е/магн.-2	е/магн.-3	не/е магн.	середньозважене
Mn	175	700	450	350	350	80	412
Co	н/в	1	6	7	6	9	7
Mo	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	2	1
Cu	20	17	20	30	13	25	25
Pb	4	4	3	2	3	2	3
Zn	200	80	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в
Cd	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди
P	300	1200	400	400	350	1000	398
Sc	1	8	2	2	н/в	2	2
V	5	6	5	5	н/в	5	5
Ag	1	1	1	1	сліди	сліди	1
Ge	4	7	3	3	2	0	3
Ce	сліди	170	200	125	125	225	155
La	55	67	200	115	80	65	157
Y	15	16	35	20	15	35	25
Yb	1	1	2	2	2	2	2
ΣTR	71	254	437	262	222	327	339

Примітка. Фракції електромагнітного розподілу при різній напрузі магнітного поля: е/магн.-1, 2, 3. Тут і в табл. 2 – перша, друга та третя електромагнітні відповідно, не/е-магн. – неелектромагнітна.

Таблиця 2. Мікроелементний склад поточних відходів збагачення Центрального ГЗК, г/т

Елемент	Магнітна фракція	Немагнітна фракція (<0,03 мм)	Немагнітна фракція (>0,03 мм)				
			Фракція >2,9 г/см ³				
			е/магн.-1	е/магн.-2	е/магн.-3	не/е магн.	середньозважене
Mn	346	810	1013	1003	686	147	833
Co	7	1	4	4	3	8	4
Mo	сліди	сліди	1	1	1	3	1
Cu	16	17	21	20	36	24	30
Pb	23	12	12	15	22	13	18
Zn	55	90	50	34	65	43	53
Cd	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	1	сліди
Sc	2	2	2	3	3	2	3
V	20	7	20	20	20	7	20
P	800	1000	650	600	1250	2700	950
Ag	1	1	2	1	2	2	1
Ge	6	4	4	8	9	1	7
Ce	сліди	100	150	150	150	200	153
La	100	100	100	100	100	100	100
Y	15	20	10	10	10	110	16
Yb	2	4	1	2	2	11	2
ΣTR	117	224	261	262	262	421	271

За даними рентгеноструктурного аналізу, магнітна фракція поточних відходів збагачення на всіх комбінатах представлена переважно кварцом та магнетитом. Поточні відходи ГЗК “Арселор-Міттал Кривий Ріг” Північного вміщують ще гематит. Амфіболи в складі цієї фракції трапляють-

ся у відходах Центрального ГЗК та ГЗК “Арселор-Міттал Кривий Ріг”.

Немагнітна крупнозерниста фракція >0,03 мм у відходах усіх комбінатів представлена кварцом і гематитом. На Південному та Інгuleцькому ГЗК у складі цієї фракції спостерігається доломіт

та амфіболи (крокідоліт, кумінгтоніт). Немагнітна тонкозерниста фракція <0,03 мм характеризується незначною кількістю магнетиту, який потрапляє туди в складі зростків з кварцом. В основному фракція представлена нерудними мінералами: кварцом, серицитом, кумінгтонітом, хлоритами, стильпномеланом, доломітом. Із інших залізозвмісних мінералів присутній гематит.

За даними повного хімічного силікатного аналізу, ця фракція поточних відходів збагачення Північного ГЗК вміщує 12,27 % Fe_2O_3 та 5,72 % FeO. За даними авторів [5, 8], поведінка іонів заліза залежить від його кількості та фізико-хімічних умов середовища. Відомо, що наявність у ґрунті заліза (II) може призвести до накопичення його в рослинах до токсичних концентрацій. Однак, якщо ґрунт містить достатню кількість марганцю та фосфору, то залізо (II) переходить у залізо (III), яке накопичується у вигляді органофосфорного заліза і рослина не зазнає негативного впливу закисного заліза. З іншого боку, брак РЗМ негативно впливає на розвиток рослин. Професор А.А. Дробков показав, що окремі РЗМ у певній концентрації позитивно впливають на врожайність бобових культур [4].

Тому вважаємо, що немагнітна тонкозерниста фракція <0,03 мм відходів збагачення залізистих кварцитів Північного ГЗК, яка містить Fe, Mn, P і рідкісноземельні елементи, може бути корисним компонентом комплексних мікродобрив. Нами отримано відповідний Патент України: “Спосіб отримання мінеральної суміші збагаченої мікроелементами-біофілами та рідкісними землями з відходів збагачення залізних кварцитів” (реп. № 2007021292. Корисна модель № 29073. Дата публікації 10.01.2008 р. Бюл. № 1).

Результати дослідження розподілу матеріалу у хвостосховищах Кривбасу показали, що мінеральні частки піддаються гравітаційній диференціації, а саме: на придамбових ділянках хвостосховищ, безпосередньо біля хвостозливних труб, накопичується крупнозернистий матеріал, складений, головним чином, кварцом, зростками магнетиту та гематиту з нерудними мінералами та дрібними мономінеральними частками магнетиту та гематиту. У більших за розміром хвостосховищах, і якщо подавання пульпи здійснюється з меншої кількості пульпопроводів, утворюються збагачені залізом ділянки.

Аналіз розподілу заліза в ємності хвостосховища Центрального ГЗК показав, що вздовж розташування центральної дамби пульпопроводу

масова частка заліза зменшується по мірі віддалення точки опробування від першочергового положення пульпопроводу, а навхрест розташування дамби зменшення масової частки заліза по мірі віддалення від дамби не простежується. Навпаки, в деяких точках опробування вміст заліза підвищується, що можна пояснити виносом заліза, зосередженого в дрібних фракціях, а також технологічними режимами роботи комбінатів [2].

Вторинне використання відходів збагачення залізистих кварцитів потребує менших витрат енергії на здрібнення. Досвід отримання залізистого концентрату з відходів збагачення Центрального ГЗК показав, що його собівартість на 40 % нижча, ніж отриманого з вихідних залізистих кварцитів, хоча кількість вилученого заліза дещо нижча. Утилізація відходів збагачення шляхом отримання залізистого концентрату і будівельного піску дозволить звільнити 0,4 млн м³ ємності хвостосховищ.

Після вилучення втраченого в процесі збагачення заліза, перспективним є використання відходів збагачення залізистих кварцитів як основного сировинного матеріалу для виробів будівельної індустрії та активних кремнеземистих компонентів змішаних безклінкерних і малоклінкерних в'язких матеріалів автоклавного синтезу. У роботах [1, 3, 9] наведено, що вони можуть бути використані у промисловості для виробництва силікатних виробів, дорожніх та облицювальних плит.

Висновки. 1. Поточні відходи збагачення криворізьких ГЗК на 60,30–97,34 ваг. % представлені частками розміром <0,071 мм. Найдрібніші вони на Північному і Інгулецькому ГЗК, більші – на ГЗК “МітталСтіл Кривий Ріг” та Південному ГЗК.

2. Найбільша кількість Fe відмічена у відходах збагачення Центрального та Північного ГЗК – 14,0 та 14,5 ваг. %, відповідно, у найдрібнішій фракції <0,071 мм, а також у відмуленій немагнітній тонкозернистій фракції розміром <0,03 мм, в якій масова частка заліза складає 7,2–13,85 ваг. %.

3. За даними рентгеноструктурного аналізу, магнітна фракція поточних відходів збагачення на всіх комбінатах представлена, в основному, кварцом та магнетитом, з гематитом та амфіболом у якості основних другорядних компонентів (на деяких ГЗК). Крупнозерниста немагнітна фракція >0,03 мм у відходах всіх комбінатів представлена кварцом і гематитом, доломітом і амфіболом у якості основних другорядних компонентів (на деяких ГЗК). Немагнітна тонкозерниста фракція <0,03 мм характеризується незначною кількістю магнетиту, який потрапляє туди в складі зростків

із кварцом. В основному фракція представлена: кварцом, гематитом, гідроксидом, амфіболом, доломітом.

4. У відходах збагачення Північного та Центрального ГЗК встановлено фракції, що концентрують рідкісноземельні метали – Се, La, Y, Yb, та містять такі компоненти як Fe, Mn, P, у зв'язку з чим ця частина відходів збагачення може бути корисним компонентом комплексних мікродобрих.

5. Аналіз розподілу заліза в ємності хвостосховища Центрального гірничозбагачувального комбінату показав, що вздовж розташування центральної дамби пульпопроводу масова частка заліза зменшується по мірі віддалення точки опробування від першочергового положення пульпопроводу, а навхрест розташування дамби зменшення масової частки заліза по мірі віддалення від дамби не простежується.

Література

1. Бондаренко Г.Н. Обычные и высокопрочные бетоны на заполнителях из отходов ГОК // Бетон и железобетон. – 1975. – № 3. – С. 2–5.
2. Губина В.Г. Распределение железа в техногенном месторождении Центрального ГОКа по данным математического моделирования // Сб. научн. труд. Механобрчермет “Новое в технологии, технике и экономике переработки минерального сырья”. – Часть 2. – Кривой Рог, 1998. – С. 87–97.
3. Долгарев А.В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов. Справочное пособие. – М. : Стройиздат, 1990. – 455 с.
4. Дробков А.А. Микроэлементы в сельском хозяйстве // Труды II Межведомственной конференции. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1970. – С. 221.
5. Ивлев А.М. Биогеохимия. – М. : Высшая школа, 1986. – С. 36–37.
6. Каталенец А.И. К проблеме комплексного использования железорудного сырья // Разработка рудных месторождений. – 2002. – Вып. 80. – Кривой Рог : Криворожский технический университет. – С. 43–44.
7. Методы лабораторного определения гранулометрического и микроагрегатного состава. ГОСТ 12536-79. – М. : Изд-во стандартов, 1988.
8. Сагунов В.Г. Микроэлементы промышленных отходов и перспективы использования их в Казахстане // Микроэлементы и естественная радиоактивность почв / Под ред. Акимцева В.В. – М., 1962. – С. 19–21.
9. Стороженко Л.И., Шевченко Б.И., Шевченко В.М. Железобетонные конструкции на отходах горнорудной и металлургической промышленности. – К. : Будівельник, 1982.

Gubina V., Zaborovskiy V.

Material composition of the tailings ferruginous quartzite of Ukraine.

50 years of work of ferruginous quartzite ore mining and processing enterprises (OMPE) caused formation of technogenic objects – tailings dumps accumulating over 5 billion of tons of waste products in Kryvbas area. Annual amount of it exceeds 140 mln tons. Our work is aimed at investigation of the material composition of the tailings for their further recycling. The tailings are the mixture of technical fluids and solids with the ratio of 1 : 10. The solid phase consists of <0,007 mm particles. The objective of the investigation is to analyze the statistic data on the annual amount of the tailings at each enterprise, and to estimate the material composition of the tailings of ferruginous quartzite ore enrichment and distribution of iron and other microcomponents in different fractions. The grain size of the tailings was determined by the dry sieving method. The mass fraction of iron in the tailings was estimated by atomic adsorption chemical analysis. The microelement composition was analyzed by emission spectrometer, the mineral composition – by X-ray analysis. To determine the distribution of elements in different fractions we used magnetic, electromagnetic and gravitational analyzes. *Conclusions:* 1. The 60.30–97.34 wt % of the tailings are presented by <0.071 mm grains. The smallest grains size is at Northern and Ingulets OMPEs, larger – at “MittalStil Kryvyi Rig” and Southern OMPEs which use different schemes of ore grinding. 2. The highest content of iron (14.0–14.5 wt %) is in the smallest <0,071 mm fraction of the tailings at Central and Northern OMPEs. 3. Magnetic fraction of current tailings at all ferruginous quartzite ore mining and processing enterprises (OMPE) represented quartz with hematite and magnetite, and amphibole in a subordinate amount. Coarse non-magnetic fraction > 0.03 mm in the tailings of plants presented hematite and quartz, dolomite and amphibole as the third major component (some OMPE). Fine-grained non-magnetic fraction <0.03 mm is characterized by a small number of magnetite, which gets there concretions composed of quartz. Basically faction presented: quartz, hematite, illite, amphibole, dolomite. 4. The tailings of North and Central (OMPE) installed faction which concentrate rare earth elements (Ce, La, Y, Yb) – 437 grams per ton in electromagnetic fraction and 421 grams per ton in nonelectromagnetic fraction respectively. Also these tailings containing components such as iron, manganese, phosphorus, and therefore the component can be integrated beneficial micronutrients. 5. Analysis of the distribution of iron in the capacity of the Central (OMPE) showed that the central location along the dam slurry mass fraction of iron decreases as the distance from the point of testing primary pipeline position and location of cross dams reduce the mass fraction of iron as the distance from the dam can not be traced.

Key words: mining and processing enterprises (ompe), tailings dumps, waste products, grain size of the tailings, microelements.

Губина В.Г., Заборовский В.С.

Особенности вещественного состава отходов обогащения железистых кварцитов Кривбасса.

Приведены данные о количестве и качестве отходов обогащения, образующихся и утилизируемых на горнообогатительных комбинатах Кривбасса ежегодно. Проанализированы вещественный состав текущих и лежалых отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов. Установлено, что на 67–97 % отходы представлены фракцией <0,071 мм, в которой 70 % Fe находится в раскрытом состоянии. Показано, что на всех комбинатах массовая доля Fe увеличивается с уменьшением класса крупности. Так в классах крупности <0,071 мм та <0,03 мм массовая доля Fe составляет 5,7–14,5 вес. % и 7,2–13,85 вес. % соответственно. Наибольшая массовая доля Fe отмечается в отходах обогащения Центрального и Северного ГОКов – 14,0 вес. % и 14,5 вес. %, соответственно, в классе крупности <0,071 мм. Впервые приведены микроэлементный состав текущих отходов обогащения горнообогатительных комбинатов по фракциям, полученным при электромагнитном разделении. Сумма редкоземельных элементов (Ce, La, Y, Yb) имеет повышенное значение в отходах обогащения Северного ГОКа (437 г/т в электромагнитной фракции-1) и Центрального ГОКа (421 г/т в неэлектромагнитной фракции).

Ключевые слова: горнообогатительный комбинат, хвостохранилище, текущие и лежалые отходы обогащения, гранулометрический состав, микроэлементы.

Надійшла 11.05.2015.