

О.М. Пономаренко, О.Б. Брик, Н.О. Дудченко

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,
просп. Академіка Палладіна, 34, Київ, 03680, тел. +38 (044) 424-01-05, факс +38 (044) 424-12-70

СТВОРЕННЯ КОНЦЕНТРАТІВ З ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ОКИСЛЕНИХ ЗАЛІЗНИХ РУД З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЇХ МАГНІТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПОДАЛЬШОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ



Визначено технологічні показники концентратів, що були отримані за розробленими підходами збагачення, а також за традиційними методами. Показано, що характеристики концентратів, отриманих за допомогою розроблених підходів, більш високі, ніж отриманих за допомогою традиційних методів. При цьому концентрація заліза в концентраті складала 70,6 та 65,42 % відповідно, а втрати заліза у хвостах 2,9 та 22,02 % відповідно.

Ключові слова: магнетит, гематит, перетворення структури, магнітна сепарація.

Аналіз ситуацій на різних гірничо-збагачувальних комбінатах Криворіжжя показує, що більшість традиційних способів збагачення окиснених залізістих кварцитів малоекономічні та неефективні. Це перешкоджає широкому використанню окиснених залізних кварцитів як мінеральної сировини для виробництва концентратів. Недостатня ефективність технологій переробки важкозбагачуваної залізорудної сировини призводить до формування великої кількості відвалів і хвостосховищ (мільярди тон), забруднення значних територій високодисперсними гідроксидами та оксидами заліза, а також до зниження якості та конкурентоспроможності виготовлених концентратів.

У зарубіжній практиці при підготовці до збагачення бідних окиснених і змішаних залізних руд (нано-, мікро- та макророзмірних), а також багатих руд застосовують переважно метод подрібнення (мокре і сухе), причому млини пра-

цюють в замкнутому циклі з вібраційними грохотами. У результаті збагачення початкових бідних окиснених і змішаних руд отримують гематитові концентрати з масовою долею заліза 65–66 % і 5–6 % кремнезему. У ряді випадків досягається досить високе вилучення заліза в концентрати (76–86 %) [1].

У роботі [2] відзначено, що Україна володіє значними ресурсами окиснених залізних руд, які тільки в Кривбасі оцінюються в 5 млрд. т. Руди мають високий вміст заліза і низький — сірки. Проблемою створення технологій збагачення окиснених руд тривалий час займалися багато провідних наукових організацій та учених. Їх розробки були використані в ТЕО будівництва Криворізького гірничо-збагачувального комбінату окиснених руд (КГЗКОР). Проектною схемою переробки окиснених залізних руд на КГЗКОР передбачено отримання магнітного концентрату з масовою долею заліза 61 % [3]. Але така якість залізорудного концентрату не задовольняє вимогам сучасного металургійного виробництва. Усе це зумов-

лює доцільність розробки нових, ефективних технологій та техніки переробки окислених залізних руд. Проведені дослідження збагачення окислених залізних руд за допомогою роторних сепараторів, що були виконані в КГЗКОР, підтвердили, що режими роботи роторних сепараторів забезпечують вилучення мінералів заліза в концентрат до 80–82 %, що на 8–10 % вище проектного для КГЗКОР. Подальше доведення флотації чорнового концентрату дозволяє підвищити масову долю заліза в концентраті за необхідності до 66 %, що значно вище за проектне завдання [4].

У результаті вивчення і аналізу сучасного досвіду збагачення окислених залізних руд на базі раніше проведених досліджень і на підставі проведених на КГЗКОР досліджень і випробувань були розроблені пропозиції для коригування проекту за технологією магнітно-флотаційного збагачення окислених залістистих кварцитів із застосуванням зворотної катіонної флотації [5]. Це передбачає перехід з магнітної схеми збагачення на 3-стадійну схему магнітно-флотаційного збагачення з додатковим подрібненням магнітного продукту другої стадії збагачення і подальшого доведення його методом зворотної катіонної флотації. Пропонованою магнітно-флотаційною схемою збагачення передбачається магнітне збагачення початкової руди, що дозволяє отримати вміст заліза в концентраті магнітного збагачення 60 % і флотаційної доводки концентрату магнітного збагачення, що забезпечує вміст заліза у флотаційному концентраті

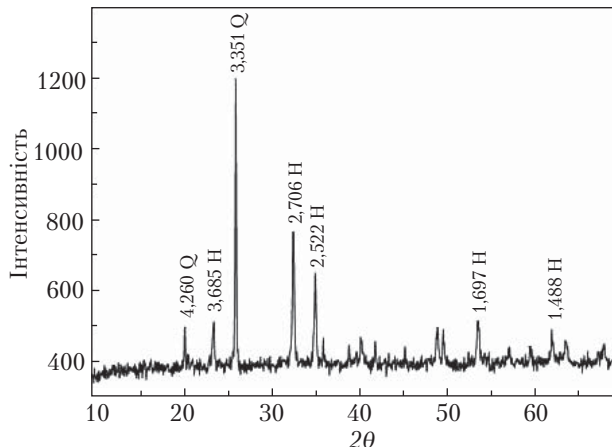


Рис. 1. Дифрактограма зразка Т1 (Q – кварц, Н – гематит)

66,5 %. На основі вищесказаного можна зробити висновок, що застосування селективної флокуляції з дешламацією є альтернативним і перспективним напрямом в розвитку збагачення шламів залізних руд, що дозволяє понизити втрати нанорозмірних мінералів заліза в хвостах і підвищити його вилучення в концентрат. Проте до цього процесу пред'являються жорсткі вимоги, що обумовлено великою чутливістю операції селективної флокуляції.

Застосування передзбагачення [6] забезпечило стабілізацію якості початкової сировини, яка поступає на глибоке збагачення за схемами магнітного і магнітно-флотаційного збагачення. Підвищення масової доли заліза в початковому матеріалі склало 3,7 % за рахунок скидання 12,9 % відвальних хвостів з масовою долею заліза 13,8 %. За вдосконаленою схемою

Таблиця 1

Назва фракцій, що було досліджено та їх розміри

№ пор.	Назва фракції	Розмір частинок, мм
1	T1	Вихідний зразок з розмірами частинок в широкому діапазоні
2	T1–01	< 0,05
3	T1–03	0,063 < d < 0,071
4	T1–06	0,1 < d < 0,25

Таблиця 2

Вміст заліза та кремнію у зразках та намагніченість насичення M_s зразків після перетворення структури

№ пор.	Назва зразка	Fe, мас. %	Si, мас. %	M_s , А·м ² /кг
1	T1	42,7	11,9	52
2	T1–01	40,5	13,9	59
3	T1–03	52,7	7,56	62
4	T1–06	25,9	20,99	24

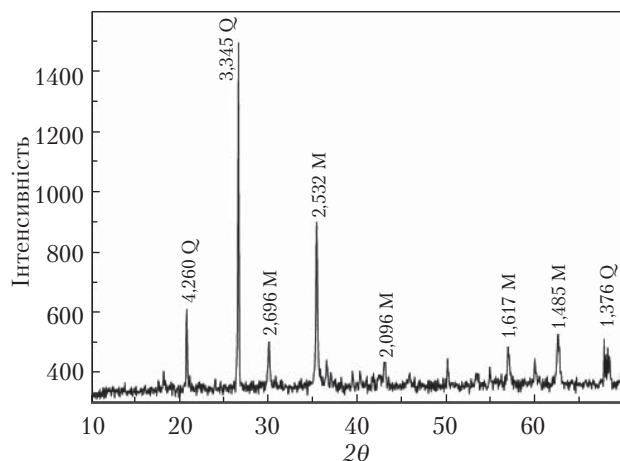


Рис. 2. Дифрактограма зразка після перетворення структури (Q – кварц, М – магнетит)

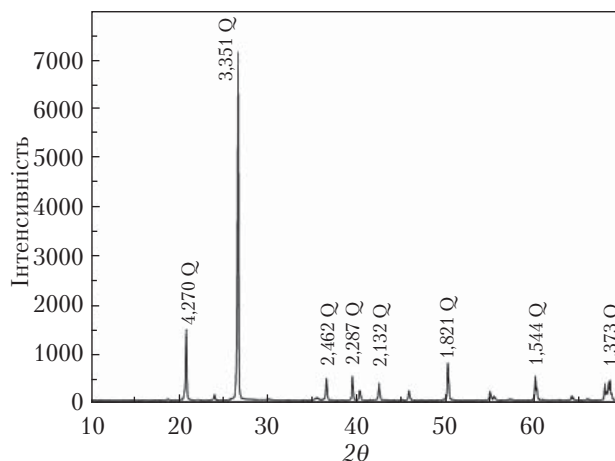


Рис. 4. Дифрактограма слабомагнітного хвоста, отриманого із зразка Т1 (Q – кварц)

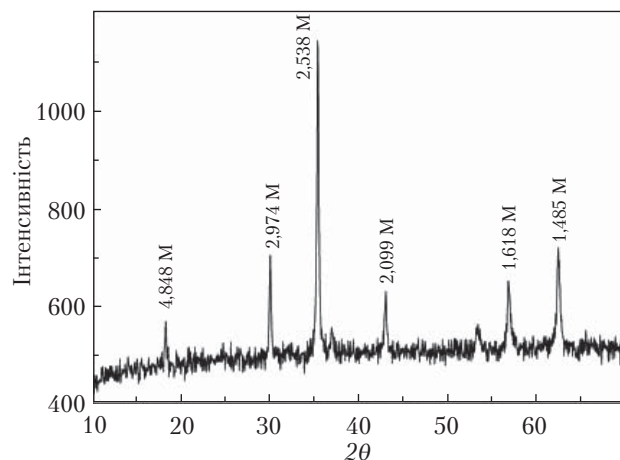


Рис. 3. Дифрактограма сильномагнітного концентрату, отриманого із зразка Т1 (М – магнетит)

магнітно-флотаційного збагачення масова доля заліза загального в флотаційному концентраті склала 66,0 % із застосуванням передзбагачення і 65,3 % у початковій суміші. Вилучення заліза загального в флотаційний концентрат склало 81,0 і 67,3 % відповідно [7, 8].

У роботі [9] запропоновані технічні рішення високоефективного збагачення окиснених залізистих кварцитів Кривбасу, на основі яких обґрунтована принципова схема переробки залізородної сировини з попередньою опера-

цією знешламлювання дисперсних часток. Знешламлювання подрібненої руди перед збагаченням, як показали технологічні дослідження, значно (до 5–8 %) підвищує якість магнітного продукту і знижує втрати загального заліза в немагнітному продукті. Наслідком процесу знешламлювання подрібненої руди стало підвищення магнітної сприйнятливості для рудних зерен і зниження її для нерудних зерен. Застосування рекомендованого способу дозволяє зменшити засміченість продуктів збагачення і підвищити ефективність усього комплексу збагачувального переділу з 44,8 до 47,9%.

Оскільки традиційні підходи до вирішення проблем, пов'язаних з виробництвом залізородних концентратів з важкозбагачуваної залізородної сировини, значною мірою вичерпали свої можливості, то для підвищення ефективності роботи гірничо-збагачувальних комбінатів та збільшення конкурентоздатності кінцевої продукції необхідно розробляти нові технології виробництва залізородних концентратів, виходячи з нових ідей та принципів.

Підходи, використані нами для розробки нових технологій та пристроїв для створення залізородних концентратів, засновані на пере-

творенні слабомагнітних мінералів, таких, як гематит Fe_2O_3 і гетит $FeO(OH)$, в сильномагнітний магнетит Fe_3O_4 за допомогою різних способів, а також на наступній сепарації рудних та нерудних мінералів.

Метою роботи було дослідження зміни магнітних характеристик та фазового складу проб з відходів збагачення окислених залізних руд хвостосховища шахти «Північна» ім. В.А. Валявка в газовому середовищі та подальше створення залізородних концентратів з отриманих зразків за допомогою магнітної сепарації.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основні експерименти проводилися на зразку з хвостосховища шахти «Північна» ім. В.А. Валявка. Мінеральний склад зразка: магнетит — 1,5 %; гематит маргіт, залізна слюдка — 52,5 %; гідроксида заліза — 9,4 %; силікати — 1,3 %; карбонати — 0,5 %; апатит — 0,1 %; кварц — 33,8 %; інші — 0,9 %.

Вихідний зразок було розділено за розмірами на фракції та обрано для досліджень вибрані фракції (табл.1).

Для дослідження перетворень структури та магнітних характеристик зазначені зразки випалювали в атмосфері відновлювальних газів

(переважно CO) при температурі 600 °C протягом 60 хв, швидкість потоку газів-відновників — 2,8 см³/с.

Намагніченість насичення зразків до та після перетворення визначали за допомогою пристрою для експресного вимірювання намагніченості руд та магнітних матеріалів [10]. Фазовий мінеральний склад та структурні перетворення зразків досліджували методом дифракції рентгенівських променів (ДРОН-ЗМ). Елементний склад зразків було досліджено методом рентген-флуоресцентного аналізу (рентген-флуоресцентний спектрометр з хвильовою дисперсією ARL Optim'X WD).

Таблиця 3

Вміст заліза та кремнію у зразках після магнітної сепарації

Назва зразка	Тип зразка	Fe, мас. %	Si, мас. %
Т1	Концентрат	70,0	—
	Хвіст	11,3	38,3
Т1—01	Концентрат	70,6	—
	Хвіст	2,9	44,4
Т1—03	Концентрат	71,1	—
	Хвіст	13,9	36,9
Т1—06	Концентрат	69,0	—
	Хвіст	11,3	37,7

Таблиця 4

Технологічні показники, отримані для різних методів збагачення

Метод збагачення	Технологічні показники				
	α, мас. %	концентрат		хвости	
		β, мас. %	γ _к , %	θ, мас. %	γ _х , %
Високоінтенсивний магнітний сепаратор	46,5	57,93	63,4	26,7	36,6
Концентраційний стіл	46,5	65,42	56,4	22,02	43,6
Перетворення фазового складу в газовому середовищі та магнітна сепарація	40,5	70,6	55,5	2,9	44,5

Примітка: α — концентрація заліза в руді, β — концентрація заліза в залізородному концентраті, γ_к — вихід залізородного концентрату, θ — концентрація заліза в хвості, γ_х — вихід хвоста.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Методом дифракції рентгенівських променів було визначено фазовий склад вихідних фракцій та показано, що вони складаються переважно з кварцу та гематиту (типова дифрактограма одного з цих зразків наведена на рис. 1). Намагніченість насичення зразків до перетворення складала $\sim 1 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$. Вміст заліза та кремнію у зразках наведений в табл. 2. Після перетворення структури намагніченість зразків суттєво зросла.

Максимальну намагніченість насичення було отримано для зразка Т1–03, в якому були максимальний вміст заліза та мінімальний вміст кремнію.

Згідно з даними методу дифракції рентгенівських променів в зразках після перетворення в газовому середовищі зникали рефлекси, характерні для гематиту, та з'являлися рефлекси, характерні для магнетиту (рис. 2).

Після перетворення зразків було здійснено магнітну сепарацію. В результаті з кожного зразка отримали два зразки: *сильномагнітний концентрат* та *слабомагнітний хвіст*. Фазовий склад концентратів та хвостів було досліджено методом рентгенівської дифракції. Установлено, що концентрат в основному складається з магнетиту (рис. 3), а хвіст в основному містить кварц (рис. 4).

Елементний склад досліджених зразків після перетворення структури та магнітної сепарації наведений в табл. 3.

З даних дифракції рентгенівських променів видно, що після магнітної сепарації в концентраті залишається в основному рудний мінерал — магнетит, а кварц залишається в хвості. Намагніченість насичення всіх концентратів, отриманих з досліджених зразків, складала $\sim 90 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$.

Отримавши попередні дані, порівнювали технологічні показники, отримані нами, з традиційними методами збагачення залізних руд (збагачення з використанням високоінтенсивного магнітного сепаратора, збагачення з ви-

користанням концентраційного стола) [11]. Технологічні показники наведені в табл. 4.

Показано, що концентрація заліза в концентраті, отриманому за допомогою перетворення фазового складу та подальшої магнітної сепарації, вища за такий показник для традиційних методів збагачення (70,6 та 65,42 % відповідно), а втрати заліза у хвостах складають лише 2,9 %, що набагато менше такого показника для традиційних методів (22,02 %).

ВИСНОВКИ

1. Розроблено метод отримання залізорудних концентратів за допомогою перетворення магнітних характеристик відходів збагачення окиснених залізних руд та подальшої магнітної сепарації.

2. Методом дифракції рентгенівських променів показано, що гематит перетворюється на магнетит. Намагніченість насичення всіх перетворених зразків збільшується суттєво (в ~ 50 разів) в порівнянні з вихідними зразками, що робить їх перспективними для подальшої магнітної сепарації з метою отримання залізорудних концентратів.

3. Проведено магнітну сепарацію перетворених зразків та показано, що вміст заліза в концентраті складає ~ 70 %, при цьому намагніченість насичення концентрату складає $\sim 90 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$, що є близьким до намагніченості насичення чистого магнетиту ($92 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$).

4. Розраховано технологічні показники концентратів та хвостів, що були отримані після фазових перетворень з подальшою магнітною сепарацією та за традиційними методами збагачення залізних руд, та показано, що концентрація заліза в концентраті за створеним методом вища за такий показник для традиційних методів.

Робота виконана в рамках науково-технічного проекту НАН України №5 в 2015 р.

ЛІТЕРАТУРА

1. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. — М: Недра, 1977. — 274 с.

2. Бызов В.Ф. Разработка технологии комбинированного обогащения окисленных руд // Горная промышленность. — 2007. — № 4. — С. 30–34.
3. Малый В.М. Разработка технологии обогащения окисленных железных руд / Малый В.М., Ганзенко Т.Б., Титлянов Е.А. Обогащение слабомагнитных руд черных металлов. — М: Недра, 1984. — С. 12–16.
4. Улубабов Р.С. Современные возможности эффективного использования окисленных железистых кварцитов Кривбасса // Сб. науч. тр. КТУ «Качество минерального сырья». — Кривой Рог, 2011. — С. 47–56.
5. Пилипенко В.Д., Авраменко А.А., Яременко В.И., Николаенко К.В., Дзюба И.В., Данилюк Г.В., Петров А.В. Технологические решения по организации эффективного производства высококачественного железорудного сырья на Криворожском горно-обогатительном комбинате окисленных руд. — Кривой Рог: НИЦ Трансэнергорудмет, 2008. — 48 с.
6. Лозин А.А. Перспектива применения предобогащения в технологических схемах обогащения окисленных железистых кварцитов Кривбасса / А.А. Лозин, И.А. Герасименко, В.В. Нитяговский // Научно-техн. сб. «Разработка рудных месторождений» — Кривой Рог: КТУ, 2011. — Вып. 94. — С. 262–265.
7. Патент Украины № 33057. Способ обогащения гематитовых руд / Лозин А.А., Артюшов Р.Т., Нитяговский В.В., Колесник Н.Д., Пильщиков В.И., Верховский С.С., Лукаш В.И., Герасименко И.А., Евтехов В.Д.; опубл. 10.08.2008, Бюл. № 18.
8. Колесник Н.Д., Пильщиков В.И., Герасименко И.А., Лозин А.А., Артюшов Р.Т., Нитяговский В.В., Евтехов В.Д., Евтехов Е.В. Перспективы использования сепараторов НПФ «Продэкология» для подготовки бедных гематитовых руд КГОКОРа к обогащению // Metal Russia. — 2008. — № 3. — С. 20–26.
9. Булах А.В., Корниенко О.А. Технические решения высокоэффективного обогащения окисленных железистых кварцитов Кривбасса // Наук.-техн. зб. КНУ «Гірничий вісник». — 2012. — вип. 95 — С. 293–297.
10. Патент України на корисну модель № 94163, 2014 / Янишпольський В.В., Алексейцев Ю.О., Дудченко Н.О., Пономаренко О.М., Брик О.Б. Пристрій для експресного вимірювання намагніченості руд та магнітних матеріалів; заявл. 28.07.2014; опубл. 27.10.2014; Бюл. № 20.
11. Беспояско Т.В. Технологічна мінералогія відходів збагачення гематитових руд Криворізького басейну (на прикладі хвостосховища шахти «Північна» ім. В.А. Валявка); автореф. Дис. на здобуття наукового ступеню кандидата геологічних наук. — Кривий Ріг, 2012. — 210 с.

REFERENCES

1. Ostapenko P.E. *Beneficiation of iron ores*. Moskva: Nedra, 1977 [in Russian].
2. Bysov V.F. Development of technologies of combined beneficiation of oxidized ores. *Gornaya promyshlennost (Mining)*. 2007. 4: 30–34 [in Russian].
3. Malyy V.M. *Development of technology of beneficiation of oxidized iron ores*. Malyy V.M., Ganzenko T.B., Titlyanov E.A. (Eds.) *Beneficiation of weakly magnetic ferrous metal ores*. Moskva: Nedra, 1984 [in Russian].
4. Ulubabov R.S. *Modern possibilities for effective usage of oxidized ferruginous quartzites of Kryvbass*. In: *Kachestvo mineralnogo syr'a (Quality of mineral raw materials)*. Kryvyi Rih, 2011: 47–56 [in Russian].
5. Pylypenko V.D., Avramenko A.A., Yaremenko V.I., Nikolaenko K.V., Dzyuba I.V., Daniluk G.V., Petrov A.V. *Technological solutions for organization of effective production of high-quality iron ore at Kryvyi Rih mining and processing plant of oxidized ores*. Kryvyi Rih: Trans-energorudmet, 2008 [in Russian].
6. Lozyn A.A. *The prospect of preliminary beneficiation usage in technological schemes of beneficiation of oxidized ferruginous quartzites of Kryvbass*. Lozyn A.A., Gerasymenko I.A., Nityagovskyy V.V. In: *Razrabotka rudnyh mestorozhdeniy (Development of ore deposits)*. Kryvyi Rih: KTU, 2011. 94: 262–265 [in Russian].
7. *Patent of Ukraine N 33057*, 2008. Lozyn A.A., Artushov R.T., Nityagovskyy V.V., Kolesnyk N.D., Pilshykov V.I., Verkhovskyy S.S., Lukash V.I., Gerasymenko I.A., Evtekhov V.D. Method of beneficiation of hematite ores [in Russian].
8. Kolesnyk N.D., Pilshykov V.I., Gerasymenko I.A., Lozyn A.A., Artushov R.T., Nityagovskyy V.V., Evtekhov V.D., Evtekhov E.V. The prospect of NPF «Prodekolgia» separators usage for preparation of poor iron ores of KGOKOR for beneficiation. *Metal Russia*. 2008. 3: 20–26 [in Russian].
9. Bulakh A.V., Kornienko O.A. *Technical solutions of highly effective beneficiation of oxidized ferruginous quartzites of Kryvbass*. In: *Girnychyy vistyky (Mining bulletin)*. Kryvyi Rih: KNU, 2012. 95: 293–297 [in Russian].
10. *Patent of Ukraine N 94163*, 2014. Yanishpolskii V.V., Alekseytcev Yu.O., Dudchenko N.O., Ponomarenko O.M., Brik A.B. A device for express measurement of magnetization of ores and magnetic materials [in Ukrainian].
11. Bespoyasko T.V. *Technological mineralogy of Kryvyi Rih hematite ore tailings (mine tailings «Pivnichna» named by V.A. Valyavko)*. PhD (Geol.) Kryvyi Rih, 2012 [in Ukrainian].

O.M. Ponomarenko, A.B. Brik, N.O. Dudchenko

M.P. Semenenko Institute
of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation,
the NAS of Ukraine,
34, Palladina Av., 03680, Kyiv, Ukraine,
tel: +38 (044) 424-01-05, fax: +38 (044) 424-12-70

CREATION OF CONCENTRATES
USING OXIDISED IRON ORE TAILINGS
BY TRANSFORMATION OF THEIR MAGNETIC
CHARACTERISTICS AND SUBSEQUENT
MAGNETIC SEPARATION

Technological parameters of concentrates obtained using developed approaches and conventional methods of beneficiation were determined. It was shown, that parameters of concentrates obtained by developed approaches, are higher than those obtained by conventional methods, wherein, iron concentration in concentrate was 70.6 and 65.42%, respectively, and iron losses in tailings were 2.9 and 22.02%, respectively.

Keywords: magnetite, hematite, structure transformation, magnetic separation.

A.H. Пономаренко, А.Б. Брик, Н.А. Дудченко

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеновко НАН Украины,
просп. Академика Палладина, 34, Киев, 03680,
тел. +38 (044) 424-01-05, факс +38 (044) 424-12-70

СОЗДАНИЕ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ ОТХОДОВ
ОБОГАЩЕНИЯ ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕВРАЩЕНИЯ
ИХ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ

Определены технологические показатели концентратов, полученных с помощью разработанных методов обогащения, а также по традиционным методам. Показано, что характеристики концентратов, полученных с помощью разработанных подходов, выше, чем полученных с помощью традиционных подходов, при этом концентрация железа в концентрате составляла 70,6 и 65,42 % соответственно, а потери железа в хвостах 2,9 и 22,02 % соответственно.

Ключевые слова: магнетит, гематит, преобразование структуры, магнитная сепарация.

Стаття надійшла до редакції 07.06.16