

тивная ультрабазит-базит-карбонатно-железисто-кремнистая формация характерная для Центральноприазовской, Корсакской, Орехово-Павлоградской складчатых зон (сачкинская свита). В антиформных поднятиях распространена гнейсово-кристаллосланцевая или верхнетокмакская толща с менее диафорированным гранулитовым комплексом пород. В зонах глубинных тектонических нарушений породный комплекс претерпел глубокие метасоматические изменения вплоть до зеленокаменных, характеризуется, кроме железа, локальным развитием сочетаний элементов: Rb, Cs; Ta, Nb, Li; Fe, Au; Ag, Pb; Y, Ce, La; Rb, Ta; Rb, Nb; Au, Ag, Cu; W, Sn, Al, U, Th. Степень и характер метасоматических изменений соответствует Гуляйпольской, Сачкинской, Юровскому участку Мариупольской, западному участку Терсянской структур. Отмеченное, в целом, не позволяет выделять самостоятельную осипенковскую свиту.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.
Надійшла до редакції 15.04.2014*

УДК 549 : 622.7 : 553.31 (477.63)

© Т.В. Беспояско, Е.О. Беспояско, В.Д. Євтехов

ПРИКЛАДНА МІНЕРАЛОГІЯ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ БАГАТИХ ГЕМАТИТОВИХ РУД КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

Розглянуті мінералогічні властивості дрібнозернистих відходів збагачення багатих гематитових руд Валявкинського родовища Криворізького басейну. Наведені результати мінералого-технологічних експериментів з використанням магнітної й гравітаційної технологій їх повторного збагачення.

Рассмотрены минералогические свойства мелкозернистых отходов обогащения богатых гематитовых руд Валявкинского месторождения Криворожского бассейна. Приведены результаты минералого-технологических экспериментов с использованием магнитной и гравитационной технологий их повторного обогащения.

Mineralogical properties of fine-grained waste of enrichment of high grade hematite ores of the Valyavkinsky deposit of the Kryvyi Rig basin are considered. Results of mineralogo-technological experiments with use of magnetic and gravitational technologies of their repeated enrichment are given.

Вступ. Багаті залізні руди Криворізького басейну розробляються, починаючи з 1881 р. Протягом понад 130 років спостерігається поступове зменшення загального вмісту заліза ($Fe_{\text{заг}}$) в складі руд у покладах з 60–65 до 55–60 мас.%, в той же час вимоги металургійних підприємств до вмісту заліза в товарній сировини зростають. Для підвищення якості агломераційних руд на декількох шахтах Кривбасу на початку 60-х років ХХ ст. були збудовані збагачувальні фабрики, до яких у якості вихідної сировини направлялись найбільш низькоякісні (вміст $Fe_{\text{заг}}$ 46–53 мас.%) багаті гематитові руди. Їх мінеральний склад практично бімінеральний кварц-гематитовий [1, 2]. Найбільш поширеними методами збагачення кускових

руд були промивка, відсадка у водному середовищі, суха магнітна сепарація та ручна рудорозбірка. Збагачення дозволяло підвищувати вміст заліза в кінцевому корисному продукті до 54–56 мас.%. При цьому з вихідного матеріалу видалялась значна частина кварцу і другорядних мінералів (каолініту, карбонатів та ін.). Крупнозернисті відходи збагачення (розмір частинок понад 10–20 мм) із вмістом $Fe_{\text{заг}}$ 33–38 мас.% складавались у відвалах; тонкозернисті (розмір частинок до 1 мм) із середнім вмістом заліза близько 30 мас.% у вигляді водної суспензії (текучі хвости) скидались до хвостосховищ. В результаті на території шахт Кривбасу були накопичені значні за ресурсами техногенні поклади залізорудної сировини, яка за якісними показниками відповідає руді, що видобувається п'ятьма гірничозбагачувальними комбінатами басейну.

Мета роботи – дослідження мінералогічних чинників, які обумовлюють можливість виробництва високоякісного залізорудного концентрату з відходів збагачення багатих гематитових руд та складання мінералогічних рекомендацій до вибору оптимальної технології їх повторного збагачення.

Об'єкт досліджень. В якості об'єкту мінералогічних досліджень і технологічних експериментів автори використали тонкозернисті відходи збагачення багатих гематитових руд Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ) шахти «Північна» ім. В.А.Валявка. Шахта, яка була закрита наприкінці 80-х років ХХ ст., видобувала руди приконтатної частини саксаганської та гданцівської свит криворізької серії (руди так званого «валявкинського типу») [2].

Методика досліджень. Мінералого-технологічні експерименти виконувались за стандартними методиками, з використанням серійних мікроскопів і лабораторних збагачувальних приладів у лабораторіях кафедр геології і прикладної мінералогії та збагачення корисних копалин Криворізького національного університету і в лабораторіях Науково-дослідного і проектного інституту «Механобрчормет» (м. Кривий Ріг). В якості вихідного при виконанні мінералого-технологічних експериментів використовувався матеріал 42 рядових мінералогічних проб лежалих хвостів ЦЗФ. За подібністю їх мінерального, хімічного, гранулометричного складу вони були скомпоновані в 7 об'єднаних мінералого-технологічних проб (МТП).

Результати мінералогічних досліджень матеріалу об'єднаних проб показали, що він складається, переважно, з розкритих (мономінеральних) частинок кварцу й гематиту (мартиту, меншою мірою залізної слюдки). В складі частинок мартиту іноді присутні реліктові включення магнетиту. Вміст розкритих частинок рудних мінералів у складі матеріалу різних об'єднаних проб коливається від 22,7 до 60,2 мас.%, розкритих нерудних частинок – від 31,2 до 72,4 мас.%. Кількість рудно-нерудних зростків із вмістом рудних мінералів від 5 до 95 мас.% не перевищує 9 мас.%. Другорядні мінерали представлені каолінітом, гідрослюдами, карбонатами. Загальний вміст їх незначний, в середньому не перевищує 5 мас.%. Рудоутворювальні мінерали хвостів помітно відрізняються за густиною (кварц 2650 кг/м^3 ; гематит і магнетит 5200 кг/м^3) і за питомою магнітною сприйнятливістю (магнетит сильномагнітний феромагнетик, гематит слабкомагнітний феримагнетик, кварц, силікати й карбонати практично немагнітні пара- й діамагнетики) [3–5]. За мінералогічними даними, було рекомендовано мінералого-технологічні експерименти проводити гравітаційним і магнітним методами.

На стадії рудопідготовки матеріал кожної з семи об'єднаних мінералого-технологічних проб був гранулометрично класифікований з метою підвищення ефективності збагачення. Методом дешламації з використанням гідроциклону з матеріалу проб були видалені частинки розміром менше 0,03 мм, які практично не беруть участі в процесі збагачення і заважають ефективному розділенню більш крупних рудних і нерудних частинок. Методом грохотіння з використанням сита з розміром отворів 0,1 мм з дешламованого матеріалу об'єднаних проб були видалені частинки розміром понад 0,1 мм, представлені, переважно, зростками гематиту з кварцом та іншими нерудними мінералами. Матеріал з крупністю частинок від 0,03 до 0,1 мм був направлений на збагачення [6,7].

Оскільки головний рудний мінерал хвостів гематит характеризується відносно низькою питомою магнітною сприйнятливістю, збагачення магнітним способом виконувалось з використанням високоінтенсивного магнітного сепаратора 259-СЕ (магнітна індукція від 0,5 до 1,0 Тл). Для оптимізації режиму збагачення з вихідного матеріалу попередньо видалявся магнетит – методом мокрої магнітної сепарації в полі з магнітною індукцією 0,12 Тл.

Збагачення гравітаційним способом проводились з використанням концентраційного столу СКЛ-2 з регульованим положенням деки і змінними характеристиками рухів столу, різним співвідношенням твердої і рідкої фаз у складі пульпи, яка направляється на збагачення, різною швидкістю подачі пульпи на деку.

Результати досліджень. Результати мінералого-технологічних експериментів з використанням магнітної технології збагачення у високоінтенсивному полі засвідчили, що з матеріалу досліджених проб можливо отримати залізорудний концентрат з досить низьким загальним вмістом заліза – від 57,61 до 59,02 мас.% (табл. 1). Але в поточний час на світовому ринку залізорудної сировини існує попит на продукцію з загальним вмістом заліза не нижче 64 мас.%. Таким чином, концентрат магнітного збагачення не відповідає вимогам і є неконкурентоспроможним.

Таблиця 1

Мінералого-технологічні показники магнітного збагачення МТП

Індекси МТП	Технологічні показники				
	α	концентрат		хвости	
		β	γ_k	ϑ	γ_x
МТ-1	46,50	57,93	63,4	26,70	36,6
МТ-2	43,45	58,15	54,9	25,56	45,1
МТ-3	37,61	59,02	37,7	24,65	62,3
МТ-4	31,78	58,89	27,5	21,50	72,5
МТ-5	27,63	58,24	20,7	19,64	79,3
МТ-6	21,85	58,33	9,8	17,89	90,2
МТ-7	17,79	57,61	5,3	15,56	94,7

α , β , ϑ – загальний вміст заліза ($Fe_{заг}$) в складі вихідного матеріалу (α), концентрату (β) й відходів збагачення (ϑ), мас.%; γ_k , γ_x – вихід концентрату (γ_k) і відходів збагачення (γ_x).

Мінералогічне вивчення концентратів, одержаних з матеріалу семи мінералого-технологічних проб показало, що основна причина низької якості концентрату полягає в присутності в його складі значної кількості частинок нерудних мінералів (головним чином, кварцу, а також, агрегатів дисперсногематит-каолінітового, гідрослюдиисто-каолінітового, каолініт-кварцового, дисперсногематит-кварцового складу). В зоні дії потужного магнітного поля сепаратора нерудні частинки захоплюються до концентрату разом з частинками гематиту у вигляді флокул (рис. 1).

Максимальний вміст заліза в складі концентрату (близько 59 мас.%) був одержаний з матеріалу мінералого-технологічних проб МТ-3 і МТ-4. Останній характеризувався: середніми значеннями розміру частинок, який не перевищував 0,071 мм, практично повним розкриттям індивідів і агрегатів рудних і нерудних мінералів, відносно низьким вмістом пелітоморфних частинок (розміром до 0,01 мм). Для більш крупнозернистого матеріалу проб МТ-1 і МТ-2 (розмір частинок до 0,1 мм), незважаючи на більш високий вміст у його складі $Fe_{заг.}$, був одержаний концентрат з більш низьким вмістом заліза – близько 58 мас.%. Причина цього – в захопленні до складу концентрату відносно крупних частинок, які представляли собою зростки рудних мінералів з кварцом і силікатами. З найбільш дрібнозернистого матеріалу проб МТ-7 (розмір частинок до 0,05 мм) через посилення ефекту флокуляції рудних і нерудних частинок зі зменшенням їх розміру був одержаний найменш якісний концентрат (табл. 1). Досліди з матеріалом проб МТ-5 і МТ-6 дали проміжні результати.

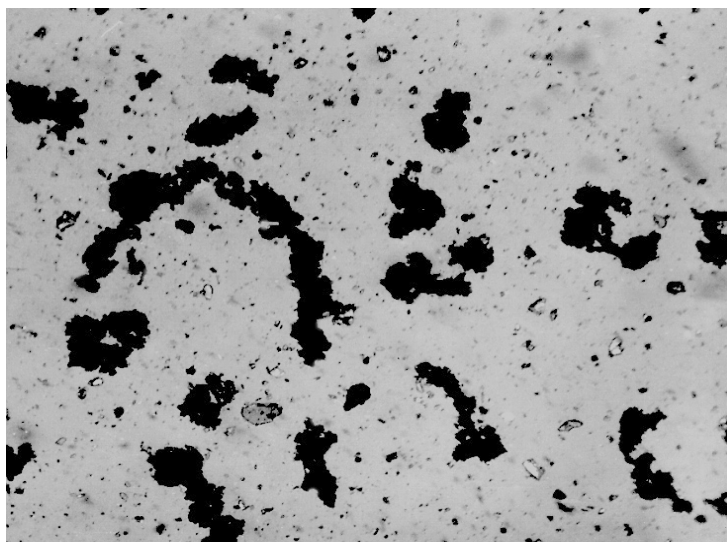


Рис. 1. Флокули кварц-гематитового складу, які утворились у сильному магнітному полі: чорне – гематит, сіре – силікати, біле – кварц. Прохідне світло, без аналізатора, збільшення $30\times$

Відходи магнітного збагачення крім частинок нерудних мінералів містили також рудно-нерудні зростки з переважанням кварцу або силікатів, а також тонкозернистий рудний матеріал, переважно, з розміром частинок до 0,03 мм. Останні схильні до утворення механічно нестійких агрегацій із частинками си-

лікатів (головним чином, глинистих мінералів). Такі частинки через низьку загальну магнітність слабо взаємодіють з магнітним полем сепаратора і втрачаються у відходах збагачення. Цим обумовлений відносно високий заліза у складі хвостів.

Результати збагачення матеріалу об'єднаних проб гравітаційним методом, які наведені в табл. 2, показали що, незважаючи на різний вміст заліза в складі вихідної сировини, з матеріалу всіх проб був одержаний концентрат високої й приблизно однакової якості – 64–66 мас.%. Відносно низькі показники збагачення найбільш дрібнозернистого матеріалу проби МТ-7 були спричинені недостатньою його здатністю до розділення на концентраційному столі. Більш крупнозернистий матеріал інших досліджених проб краще розділювався на столі на рудну (суттєво гематитову) і нерудну (суттєво кварцову) складові.

Мікроскопічні дослідження гравітаційного концентрату, одержаного з матеріалу всіх мінералого-технологічних проб, показали, що його мінеральний склад практично однаковий. На 87–89 мас.% концентрат представлений розкритими частинками рудних мінералів (мартиту, мартиту з домішкою магнетиту, залізної слюдки, гетиту). Кількість рудно-нерудних зростків становить 8–10 мас.%, розкритих частинок нерудних мінералів (головним чином, кварцу, в незначній кількості каолініту й інших силікатів) – 1–3 мас.%.

Таблиця 2

Мінералого-технологічні показники гравітаційного збагачення МТП

Індекси МТП	Технологічні показники, мас.%				
	α	концентрат		хвости	
		β	γ_k	ϑ	γ_x
МТ-1	46,50	65,42	56,4	22,02	43,6
МТ-2	43,45	65,54	49,8	21,54	50,2
МТ-3	37,61	65,81	37,6	20,60	62,4
МТ-4	31,78	65,69	25,7	20,05	74,3
МТ-5	27,63	65,47	16,1	20,37	83,9
МТ-6	21,85	64,83	2,2	20,88	97,8
МТ-7	17,79	63,96	0,3	17,65	99,7

Вміст рудних мінералів у складі відходів гравітаційного збагачення також приблизно однаковий для всіх об'єднаних проб. Загальний вміст рудних мінералів становить 24–32 мас.%. Розмір рудних частинок, зазвичай, не перевищує 0,03 мм. Як зазначалось вище, частинки такого розміру практично не беруть участі в збагаченні. Вміст рудно-нерудних зростків коливається від 4 до 8,5 мас.%. Кількість розкритих нерудних частинок змінюється від 64 до 70 мас.%.

Висновки

1. Тонкозернисті відходи (лежалі хвости) Центральної збагачувальної фабрики шахти «Північна» ім. В.А.Валявка мають практично бімінеральний гематит-кварцовий склад. Загальний вміст другорядних мінералів (каолініт, гідросюди, карбонати, гетит, реліктовий магнетит та ін.) в середньому не перевищує 5 мас.%.

2. З урахуванням високого загального вмісту заліза в складі лежалих хвостів (в середньому близько 30 мас.%), було проведено дослідження їх збагачуваності з метою одержання високоякісного залізорудного концентрату. У відповідності з фізичними властивостями рудоутворювальних мінералів, повторне збагачення лежалих хвостів було рекомендовано виконати з використанням магнітної й гравітаційної технологій.

3. За результатами мінералого-технологічних експериментів, встановлено, що більш ефективним є гравітаційне збагачення, яке дає можливість виробляти гематитовий концентрат із загальним вмістом заліза 64–66 мас.%. Магнітна технологія забезпечує одержання концентрату із вмістом заліза не вище 60 мас.%.

4. Результати мінералого-технологічного дослідження лежалих хвостів дозволяють рекомендувати їх як високоякісну вторинну залізорудну сировину, що потребує збагачення.

Список літератури

1. Беспояско Т.В. Деякі особливості розкриття мінералів лежалих хвостів шахти «Північна» ім. В.А.Валявка (Криворізький басейн) / Т.В.Беспояско // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Донецьк.– 2008.– Серія «Гірничо-геологічна» Випуск 8 (136).– С. 29–33.
2. Беспояско Т.В. Особливості нагромадження і мінеральний склад відходів збагачення гематитових руд шахти «Північна» рудника ім.В.А.Валявка (Криворізький басейн) / Т.В.Беспояско // Записки Українського мінералогічного товариства, 2011. – том 8. – Київ. – 2011. – с. 11–14
3. Богданова И.П. Технологическая оценка железных руд. Изучение вещественного состава и обогатимости железных руд / И.П.Богданова, М.И.Гехт, И.Н.Докучаева // Москва: Недра, 1976. – С. 57–97.
4. Евтехов В.Д. Минералого-технологическое обоснование повторной переработки тонкозернистых отходов обогащения гематитовых руд Криворожского бассейна / В.Д.Евтехов, С.Э.Кирносов, Т.В.Беспояско // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького технічного університету. – 2006. – №1(17). – С. 61–65.
5. Ревнивцев В.И. Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых / В.И.Ревнивцев // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1982. – №4. – С. 443–449.
6. Беспояско Т.В. Деякі риси топомінералогії і геохімії хвостосховища №2 шахти «Північна» ім. В.А.Валявка (Криворізький басейн) / Т.В.Беспояско, В.Д.Євтехов, Є.В.Євтехов // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького технічного університету. – 2007. – №1(17). – С. 30–36.
7. Беспояско Т.В. Особливості варіації розміру мінеральних індивідів і агрегатів в межах хвостосховища центральної збагачувальної фабрики ш.«Північна» ім. В.А.Валявка / Т.В.Беспояско // Новое в технологии и технике переработки минерального сырья. Сборник научных трудов. – Кривой Рог, 2008.– С. 96–106.

Рекомендовано до публікації д.геол.н Барановим П.М..

Надійшла до редакції 27.11.2014