

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

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ

## **СПОСІБ ПЕРЕТВОРЕННЯ СЛАБОМАГНІТНИХ МІНЕРАЛІВ (ГЕМАТИТ, ГЕТИТ) У СИЛЬНОМАГНІТНИЙ МІНЕРАЛ (МАГНЕТИТ) ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗБАГАЧЕННЯ ОКИСЛЕНИХ ЗАЛІЗНИХ РУД**



*Розроблено нову, відносно просту методику перетворення слабомагнітних мінералів (гетит та гематит) в сильномагнітний (магнетит). Показано, що перетворення структури та магнітних характеристик гетиту та гематиту реалізуються в присутності крохмалю за відносно низьких температур (в діапазоні 300–600 °С). Отримані результати надають нові можливості для розробки ефективних технологій збагачення окислених залізних руд.*

*Ключові слова:* магнетит, гематит, гетит, перетворення структури.

Сучасні технології збагачення залізних руд для виробництва залізорудних концентратів вкрай малоефективні при використанні їх для збагачення окислених та високодисперсних залізних руд. У складі окислених залізистих кварцитів (*гематит—гетитових, гетитових, «краскових»*) рудні компоненти представлені переважно немагнітними дисперсними фазами — гематитом та гідроксидами заліза (*гідрогематитом, гетитом, лімонітом*), які практично не піддаються збагаченню за допомогою традиційних методів. Такі типи руд складаються, і, таким чином, займають велику площу продуктивних земель, а також негативно впливають на навколишнє середовище. Тому розробка і впровадження нових енергетично ефективних методів збагачення таких типів залізних руд може істотно підвищити рентабельність використання окислених залізних руд при створенні залізорудних концентратів, а

також вирішити екологічні проблеми залізорудних регіонів.

Проблема створення нових технологічних методів збагачення окислених залізистих кварцитів стає з кожним роком нагальнішою. З метою вирішення цієї проблеми вже проводяться широкомасштабні дослідження в різних країнах світу. Одним з можливих шляхів вирішення технологічних проблем є розробка нових технологій омагнічення немагнітної складової окислених залізних руд з метою їх подальшого збагачення методом магнітної сепарації [1]. Перспективним напрямком у цьому питанні є дослідження особливостей перетворення структури оксидів та оксигідроксидів заліза.

Нашою метою було дослідження перетворення гематиту та гетиту у сильномагнітні мінерали під впливом температури в присутності крохмалю.

### **МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Основні експерименти проводили на матеріалах двох зразків: 1) багата гематитвмісна

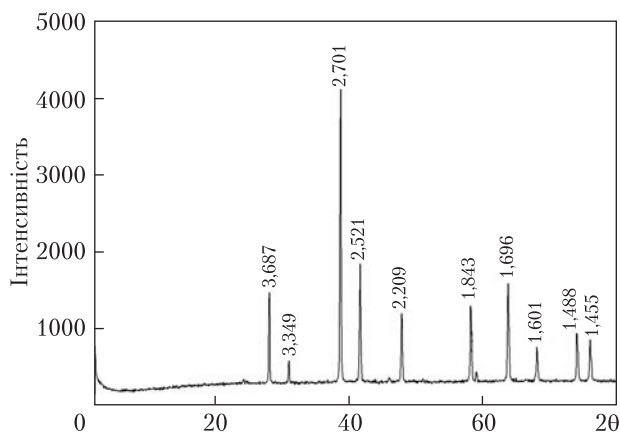


Рис. 1. Рентгенограма вихідного зразка гематитвмісної руди

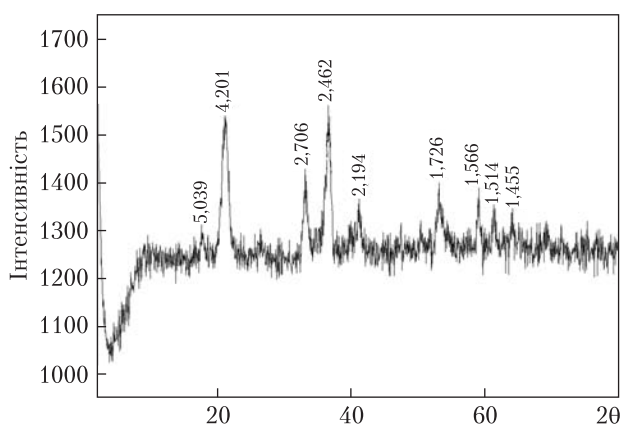


Рис. 2. Рентгенограма вихідного зразка синтетичного гетиту

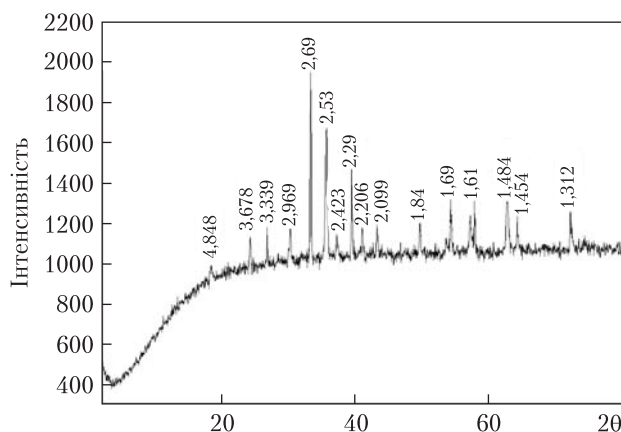


Рис. 3. Рентгенограма зразка гематитвмісної руди після омагнічення

руда, 2) гетит синтетичний, отриманий за методикою, наведеною в [2].

Для дослідження перетворень структури та магнітних характеристик вихідні зразки ретельно перемішували з 3 % крохмалю, вміщували в кварцевий міні-реактор та проводили нагрівання—охолодження зі швидкістю приблизно 60–70 °С за хвилину. Нагрівання здійснювали до температури 650 °С.

Характеристики зразків до та після омагнічення досліджували методами магнітометрії (магнітометр з датчиками Холла), дифракції рентгенівських променів (ДРОН-ЗМ) та термомагнітного аналізу (установка для термомагнітних досліджень, яка дозволяє автоматичну реєстрацію намагніченості зразка в залежності від температури).

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз рентгенівських дифрактограм дає можливість ідентифікувати фазовий склад вихідних зразків. Рефлекси на дифрактограмі першого зразка (рис. 1) вказують на наявність у зразку гематиту та слідів кварцу. Відповідні значення  $d$  та індекси відповідних площин для гематиту: 3,687 (012); 2,701 (104); 2,521 (110); 2,209 (113); 1,843 (024); 1,696 (116); 1,601 (122); 1,488 (214); 1,455 (300) та для кварцу: 3,349 (011). Рефлекси на дифрактограмі зразка 2 (рис. 2) відносяться до чистого гетиту. Відповідні для гетиту значення  $d$  та індекси відповідних площин: 5,039 (020); 4,201 (110); 2,706 (130); 2,462 (111); 2,194 (140); 1,726 (221); 1,566 (231); 1,514 (151); 1,455 (241). Розширення піків на дифрактограмі зразка 2 вказує на те, що частинки синтетичного гетиту є високодисперсними.

Намагніченість насичення обох вихідних зразків становила  $M_s < 1 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{кг}$ .

Після нагрівання вихідних зразків в присутності крохмалю до температури 650 °С і наступного охолодження спостерігалися значні зміни властивостей зразків. Колір зразків змінився з коричневого на чорний.

За даними рентгено-фазового аналізу (рис. 3) встановлено, що після перетворення зразка ге-

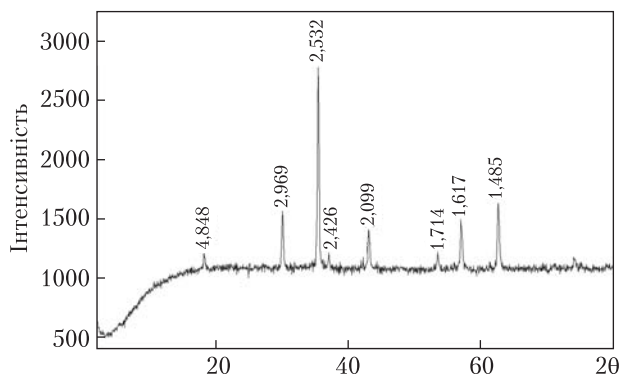


Рис. 4. Рентгенограма зразка синтетичного гетиту після омагнічення

магнітвмісної руди поряд з фазами кварцу (3,349 (011)) та гематиту (3,678 (012); 2,69 (104); 2,29 (006); 2,206 (113); 1,84 (024); 1,484 (214); 1,454 (300)) з'являється нова фаза магнетиту (4,848 (111); 2,969 (220); 2,53 (311); 2,42 (222); 2,099 (400); 1,69 (422), ); 1,61 (511)). Після обробки зразка синтетичного гетиту за наведеною вище методикою рефлекси гетиту зникають, а з'являються нові рефлекси, притаманні магнетиту (рис. 4) (4,848 (111); 2,969 (220); 2,532 (311); 2,426 (222); 2,099 (400); 1,714 (422); 1,617 (511); 1,485 (440)).

Криві намагніченості перетворених зразків наведено на рис. 5. Показано, що намагніченість насичення зразка гематитвмісної руди та синтетичного гетиту після термообробки з крохмалем складає  $51 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{кг}$  (рис. 5, а) та  $68 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{кг}$  (рис. 5, б) відповідно. Із рисунка видно, що за вказаних умов нагрівання в присутності крохмалю слабомагнітні зразки перетворюються в сильномагнітні. Ймовірно, ступінь збільшення намагніченості зразків залежить від початкового вмісту в них слабомагнітних мінералів.

### ВИСНОВКИ

1. Розроблено відносно простий та економічно ефективний спосіб перетворення слабомагнітних мінералів (*гетит, гематит*) у сильномагнітний мінерал (*магнетит*).

2. Перетворення структури та магнітних характеристик гематитової руди та високодисперсного гетиту реалізується методом термічної обробки в присутності біовідновлюваної сировини (*крохмалю*) в діапазоні температур  $300\text{--}600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Показано, що після вказаної обробки слабомагнітні фази гетиту та гематиту переходять в сильномагнітну фазу магнетиту.

3. Отримані нові дані про перетворення структури та магнітних характеристик слабомагнітних оксидів та гідроксидів заліза в сильномагнітні оксиди можуть бути корисними при вирішенні проблем переробки окислених залізних руд Криворіжжя та утилізації техногенних покладів залізних руд (відвали, хвостосховища), а також для вирішення екологічних проблем, пов'язаних з забрудненням Криворізько-

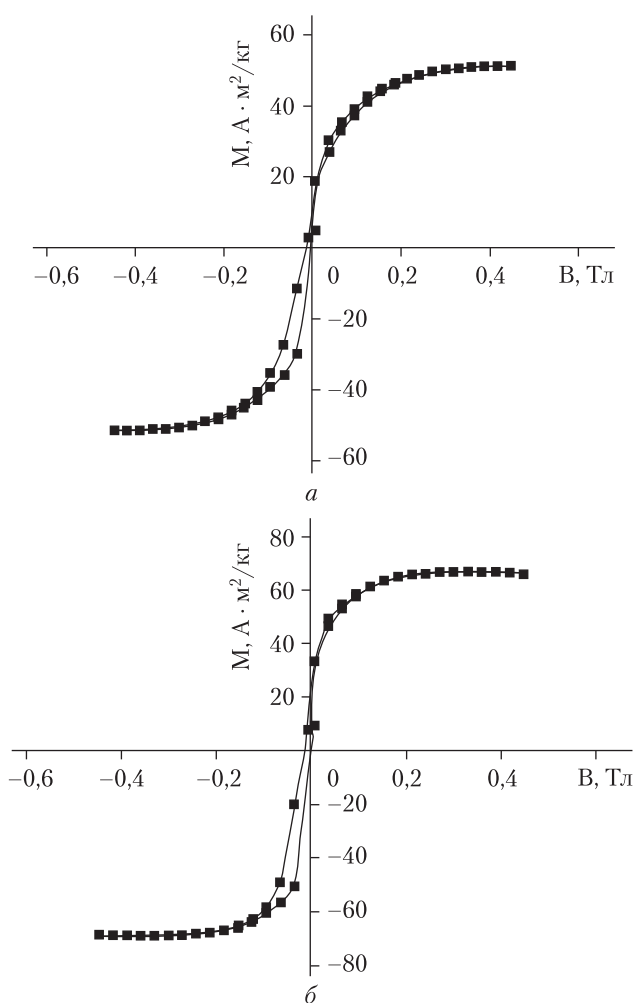


Рис. 5. Криві намагніченості омагнічених гематитової руди (а) та гетиту (б).  $M$  — намагніченість зразка,  $B$  — напруженість магнітного поля

го регіону високодисперсними оксидами та гідроксидами заліза.

*Робота виконана в рамках науково-технічного проекту НАН України №11 в 2013 р.*

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Пономаренко А.Н., Брик А.Б., Дудченко Н.А., Юшин А.А. Новые энерго- и материалосберегающие технологии создания железорудных концентратов из окисленных и дисперсных железных руд // Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції «Геомеханічні аспекти та екологічні наслідки відпрацювання рудних покладів» / Видавничий центр Криворізького нац. ун-ту, 2012. — С. 197–198.
2. *Руководство по неорганическому синтезу: в 6 т.* — М.: Мир, 1985. Т.5: Пер. с нем. / Ред. Г. Брауэр. — С. 1751.

#### REFERENCES

1. Ponomarenko A.N., Brik A.B., Dudchenko N.A., Yushyn A.A. Nove enerho- y materiyaloberehaiuschie tekhnolohyy sozdaniya zhelezorudnykh kontsentratov yz oksylennykh y dyspersnykh zheleznykh rud. *Materialy druhoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Неомеханічні аспекти та екологічні наслідки відпрацювання рудних покладів»*. Vydavnychyj tsentr Kryvoriz'koho nats. un-tu, 2012, pp. 197–198 [in Ukrainian].
2. *Rukovodstvo po neorhanycheskomu syntezu*. Moskva: Myr, 1985, T.5, p. 1751 [in Russian].

А.Н. Пономаренко, А.Б. Брик, Н.А. Дудченко, А.А. Юшин  
Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
им. М.П. Семеновка НАН Украины, Киев

СПОСОБ ПРЕВРАЩЕНИЯ СЛАБОМАГНИТНЫХ  
МИНЕРАЛОВ (ГЕМАТИТ, ГЕТИТ)  
В СИЛЬНОМАГНИТНЫЙ МИНЕРАЛ (МАГНЕТИТ)  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЙ ОБОГАЩЕНИЯ ОКИСЛЕННЫХ  
ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Разработана новая, относительно простая методика превращения слабомагнитных минералов (*гетит* и *гематит*)

в сильномагнитный минерал (*магнетит*). Показано, что превращения структуры и магнитных характеристик гетита и гематита реализуются в присутствии крахмала при относительно низких температурах (в диапазоне 300–600 °С). Полученные результаты открывают новые возможности для разработки эффективных технологий обогащения окисленных железных руд.

*Ключевые слова:* магнетит, гематит, гетит, преобразования структуры.

О. Ponomarenko,  
A. Brik, N. Dudchenko, O. Yushin

Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy  
and ore Formation, NAS of Ukraine, Kyiv

METHOD FOR TRANSFORMATION  
OF WEAKLY MAGNETIC MINERALS  
(HEMATITE, GOETHITE) INTO STRONGLY  
MAGNETIC MINERAL (MAGNETITE)  
TO IMPROVE THE EFFICIENCY  
OF TECHNOLOGIES FOR OXIDIZED IRON  
ORES BENEFICATION

A new method for relatively simple transformation of weakly magnetic minerals (goethite ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) and hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )) into strongly magnetic mineral (magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )) was developed. It was shown, that transformation of structure and magnetic characteristics of goethite and hematite are realized in the presence of starch at relatively low temperatures (in the range of 300–600 °С). Obtained results open up new possibilities for development of effective technologies for oxidized iron ore beneficiation.

*Keywords:* magnetite, hematite, goethite, structure transformation.

Стаття надійшла до редакції 25.06.14