

I. I. ВОЛОБАЄВ, ТОВ «Троїліт», Інститут біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України
 О. М. ЛАВРИНЕНКО, д-р хім.наук, Інститут біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України
 I. B. ВОЛОБАЄВ, к. т. н., ТОВ «Троїліт»
 А. ЛІОНО, First Mining Madencilik SANAYI VE TICARET LIMITED SIRKETI
 З. Р. УЛЬБЕРГ, д-р хім.наук, проф. Інститут біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України

БІОФЛОКУЛЯРНЕ ЗБАГАЧЕННЯ ДИСПЕРСНИХ БУРОЗАЛІЗНЯКОВИХ РУД

Роботу присвячено вирішенню актуальної проблеми сьогодення: створенню технологічної схеми збагачення тонкодисперсних бурозалізнякових руд. Розробку технології проведено на хвостах збагачення бурозалізнякових руд фабрики Омарська (Боснія та Герцеговина), в яких головна залізовмісна мінеральна фаза – гетит – характеризується слабomagнітними властивостями, що ускладнює збагачення матеріалу традиційними методами. На основі результатів лабораторних досліджень запропоновано технологію, яка передбачає біофлоруляцію сировини з клітинами мікробдоростей та подальшу магнітну сепарацію.

Ключові слова: бурозалізнякові руди, флоруляція, залізні руди, біологічні методи збагачення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На сьогоднішній день активна експлуатація багатих родовищ залізних руд призвела до значного скорочення їх запасів. В той же час ряд економічних, технічних та інших чинників спонукають вчених та технологів звертати увагу на менш перспективні родовища та рудовиявлення, до яких належать і дисперсні буро залізнякові руди. Бурозалізнякові руди являють собою найскладнішу для збагачення залізовмісну сировину. Важкість їх збагачення обумовлена великим вмістом зруйнованих залізистих оолітів, залізистого дрібного піщаника, охристого глинистого матеріалу, гальки, гравію, корок, плиток тощо.

Не зважаючи на те, що використання сучасних технологій не дає змоги отримати із бурозалізнякових руд концентрати, які вміщують більшим ніж 50 – 55 % заліза, для ряду країн, які не мають інших джерел залізорудної сировини, пошук ефективних технологій їх збагачення є важливою науково-практичною та економічною задачею.

Аналіз досліджень та публікацій. За своїм походженням бурозалізнякові руди традиційно поділяються на три види: осадові, інфільтраційні та залишкові кори вивітрювання. До осадових родовищ бурозалізнякових руд належать Ліпецьке, Тульське, Аятське, Лисаківське, Керченське та багато інших. Їх складають оолітові слабкозцементовані рихлі породи, головними рудними мінералами яких є гідрогетит, гетит, гематит, шамозит, сидерит. Мінералами-домішками виділено пірит, піротин, псиломелан. Нерудні мінерали представлені кварцем, каолінітом, фосфатами, польовими шпатами, кальцитом. Вміст основних компонентів складає, %: Fe - 30-50 (55); SiO₂ - 20-30; Al₂O₃ - 5-6 (до 13); вміст домішкових компонентів становить, %: Mn до 4 - 5, V – соті долі; шкідливими домішками виступають S, SO₃, P, As.

Використання традиційних методів збагачення руд такого типу не дає змоги досягнути економічно-вигідних результатів. Наприклад, при переробці за допомогою гравітаційно-магнітної схеми збагачення руд Лисаківського ГЗК, основним рудним мінералом яких є гідрогетит, подекуди гетит і сидерит, отримують концентрати із вмістом заліза загального 47 – 48 % при вилученні 83 %.

На рудах Керченського родовища до недавнього часу використовувалась технологія комплексного збагачення, яка містила гравітаційне збагачення, високотемпературне випалювання та магнітну сепарацію випаленого матеріалу, яка дозволяла отримати концентрат із вмістом заліза загального 52-54 %. Проте, із зростанням ціни на енергоносії використання високотемпературного опалення при збагаченні бурозалізнякових руд виявилось не рентабельним.

Водночас, у практиці збагачення бурозалізнякових руд є успішний досвід використання селективної магнітної флоруляції. Дослідження даного методу на рудах Камиш-Бурунської мультиди Керченського родовища показало приріст вмісту заліза на 5 % (по відношенню до діючої гравітаційно-термічно-магнітної технології) без істотних втрат виходу.

Дослідження селективної взаємодії клітин мікроорганізмів із металами та їх мінеральними фазами, яке проводилось в Інституті біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України, показало ефективність використання як флорулянтів інтактних металофільних клітин та мікробдоростей. В результаті взаємодії біофлорулянту з частинками мінеральних фаз спостерігався пе-

рехід металів у колоїдний та розчинний стан, гетерокоагуляція клітин з мінеральними частинками, їх агрегація та флокуляція.

Постановка завдання. Метою роботи стала розробка ефективної технології збагачення тонкодисперсних бурозалізнякових руд з використанням селективної флокуляції за допомогою інтактних клітин мікроводоростей з подальшою магнітною сепарацією отриманих біоагрегатів.

Вихідною сировиною для проведення досліджень вибрано хвости збагачення бурозалізнякових руд фабрики Омарська (м. Приодор, Боснія та Герцеговина). На теперішній час зазначене підприємство є єдиним виробником залізрудних концентратів на території Боснії та Герцеговини, та єдиним постачальником сировини для металургійного комбінату Зеніца. Виробнича діяльність підприємства обумовлює накопичення великих обсягів хвостів, які можна розглядати як сировину для подальшої переробки.

Викладення матеріалу. Вихідна сировина являє собою відходи збагачення слабомагнітної тонкодисперсної рихлої псаммит-пелітоморфної бурозалізнякової руди, хімічний склад якої наведено в Таблиці 1. На осадове походження вихідної руди вказує підвищений вміст оксидів марганцю (4,23 %), алюмінію (2,35 %) та кальцію (1,11 %).

Таблиця 1

Хімічний склад вихідної сировини			
Компонент	Вміст, %	Компонент	Вміст, %
SiO ₂	15,64	K ₂ O	0,2
Al ₂ O ₃	2,35	Na ₂ O	0,3
Fe ₂ O ₃	65,32	SO ₃	0,02
TiO ₂	0,07	ппп	10,04
MnO	4,23	Сумма	99,53
CaO	1,11	-H ₂ O	1,16
MgO	0,16	Fe _{общ}	45,72
P ₂ O ₅	0,085		

Результати скороченого фазового аналізу показали вміст заліза загального – 45,53 %, а заліза магнетитового 1,25 %, при незначному вмісті шкідливих домішок, таких як фосфор та сірка.

Дослідження розподілу матеріалу за класами крупності (рис. 1) вказує на те, що максимальний розмір зерен матеріалу не перевищує 0,1 мм. Основна частина заліза концентрується у класі - 0,03 мм.

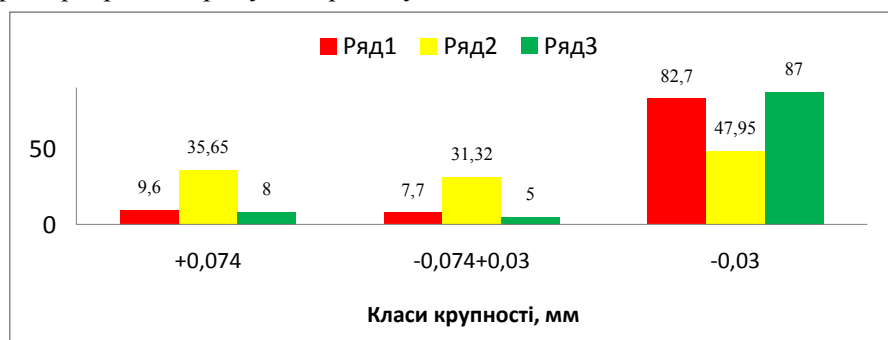


Рис. 1. Розподіл заліза за класами крупності

Головний мінерал, представлений у зразку руди - гетит (α -FeOOH). Форма частинок гетиту - оолітова, лускоподібна, плівкоподібна (рис. 2).

Інші мінерали (MnO), гематит (мартит, залізна слюдка) (α -Fe₂O₃), манганіт (Mn₂O₃), магнетит (Fe₃O₄) наявні в незначній кількості.

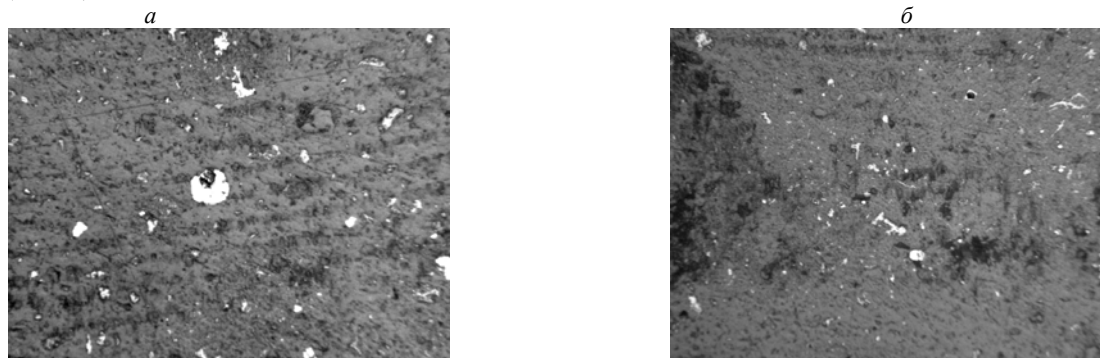


Рис. 2 Морфологія агрегатів гетиту (білі) у вихідному матеріалі

Для розробки технології біофлокулярного збагачення тонкодисперсної бурозалізнякової руди було проведено ряд лабораторних тестів.

Матеріал проби підлягав мокрому магнітному аналізу із використанням магнітного аналізатора АММ-3 та магнітної системи на основі постійного магніту з величиною магнітної індукції 1 Тл. Для підвищення якості розділення сировини забезпечували пульсацію сепараційного середовища. Як біофлокулянт використовували технологічний штам мікроводоростей *Chlorella Vulgaris*.

Перший тест було виконано на вихідній сировині, а другий – на сировині, яка підлягала 24 годинному контакту з інтактними клітинами зазначених мікроводоростей, при витраті останніх 200 г/т. В обох випадках магнітна сепарація проводилась у дві стадії з перечищення немагнітної фракції (табл. 2).

Таблиця 2

Результати тестування			
Продукт	Yield, %	Вміст Fe, %	Вилучення Fe, %
<i>Без флокуляції</i>			
Магнітна фракція 1	1,00	52,64	1,16
Магнітна фракція 2	0,00	0,00	0,00
Немагнітна фракція	99,00	45,42	98,84
Вихідна проба	100,00	45,49	100,00
<i>Флокуляція протягом 24 год</i>			
Магнітна фракція 1	7,00	52,36	8,06
Магнітна фракція 2	13,00	47,01	13,43
Всього концентрату	20,00	48,88	21,49
Не магнітна фракція	80,00	44,64	78,51
Вихідна проба	100,00	45,49	100,00

При магнітній сепарації вихідної сировини без флокуляції клітинами вихід магнітної фракції склав 1 %, при цьому друга магнітна фракція була взагалі відсутня.

Застосування біофлокуляції перед магнітною сепарацією дало змогу збільшити вихід магнітної фракції до 20 %, з яких: в режимі пульсації сепараційного середовища - 7 % (фракція 1), без пульсації сепараційного середовища - 13 % (фракція 2).

Згідно даних рентгенофазового аналізу (рис. 3) за всіх умов проведення процесу збагачення головною залізовмісною мінеральною фазою визначено гетит.

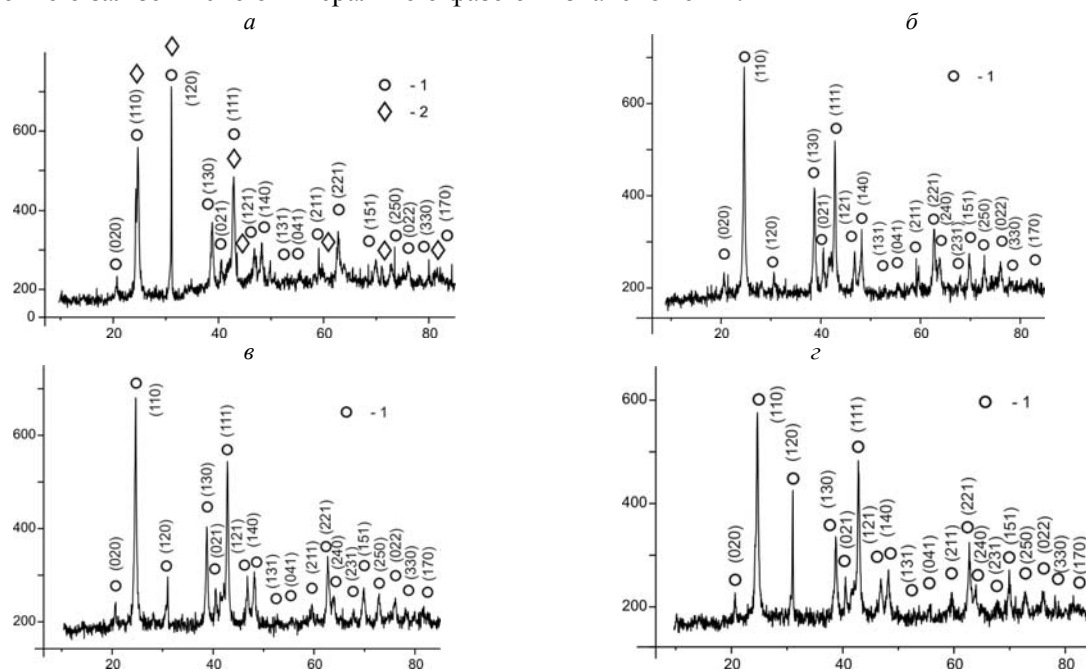


Рис. 3. Рентгенограми бурозалізнякових продуктів: а – вихідний зразок, б – магнітна фракція з вихідного зразка, в – магнітна фракція з флокульованого зразка,

г – магнітна фракція контрольної сепарації зразка. Цифрами позначено мінеральні фази: 1 – гетит, 2 – кварц

Висновки та напрямок подальших досліджень. Узагальнення результатів тестування (рис. 4) вказує на доцільність застосування при збагаченні тонкодисперсних бурозалізнякових

руд процесу флокуляції з використанням як біофлокулянту технологічних штамів культур мікрободоростей *Chlorella Vulgaris*.

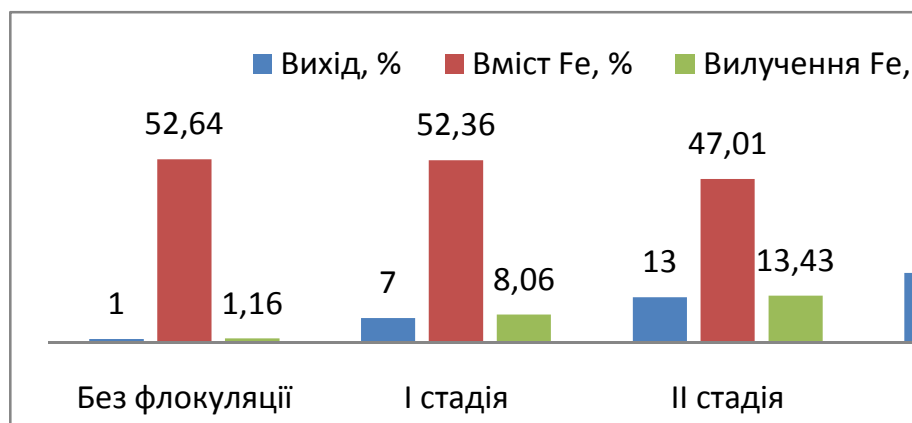


Рис. 4. Порівняння ефективності магнітної сепарації з використанням біофлокуляції та без неї

При промисловому виконанні технологічна схема магнітно-біофлокулярного збагачення має поєднувати такі технологічні процеси:

приготування у промислових біореакторах біофлокулянта (клітинної культури мікрободоростей) з використанням збалансованих мінеральних поживних середовищ;
відмивка клітин від поживного середовища фільтруванням;
забезпечення контакту біофлокулянта із вихідною сировиною;
проведення магнітної сепарації.

Перевагою запропонованої технології збагачення тонкодисперсних бурозалізнякових руд та відходів є передбачена можливість використання в процесі магнітної сепарації постійних магнітних систем, що суттєво знижує енерговитрати порівняно з витратами на проведення поліградієнтної магнітної сепарації.

Напрямок подальших досліджень буде удосконалення процесу збагачення і біофлокуляції, відпрацювання технологічних режимів збагачення, а також прискорення процесу біофлокуляції.

Список літератури

1. Бочаров В.А., Игнаткина В.А. Технология обогащения полезных ископаемых. Т. 2. – Москва: Издательский дом «Руда и Металлы», - 2007.
2. Шинкоренко С.В., Белецкий Е.П., Ширяев А.А. и др. Справочник по обогащению руд черных металлов. – Москва: Недра, - 1980 г.
3. Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем, В. 17, 1985, с. 96-103; ДАН СССР, 1987, Т. 292. В. 1, с. 194 – 203
4. Anondho Wijanarko Dianursanti, Muryanto, Josia Simanjuntak, Praswasti Pembangunan Dyah BIOMASS PRODUCTION *Chlorella vulgaris* Buitenzorg // MAKARA, TEKNOLOGI, VOLUME . - 2008 p.. - 1 : Т. 12. - сс. 27-30.
5. В.П. Небера Флокуляция минеральных суспензий . - М. : Недра, 1983. - 288 с.
6. Леонов С.Б. Белькова О.Н. Исследование полезных ископаемых на обогатимость : учеб.пособ. . - М. : Интермет Инжиниринг, 2001. - 631 с.
7. Макарова Е. И. Отурина И. П., Сидякин А. И. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ] // Экосистемы, их оптимизация и охрана. - 2009 р.. - 20. - сс. 120-133.
8. Мени Л. Тиксье Р. Микроанализ и растровая электронная микроскопия / ред. Морис Ф.. - М. : Metallurgia, 1985. - с. 270.
9. Перцов Н.В. Ульберг З.Р., Коган Б.С., Гарбара С.В. . Механизмы биогенного концентрирования металлов в шельфовых зонах дефицита наносов // Геохимия. - 1990 р.. - №1. - сс. 112-116.
10. Ульберг З.Р., Марочко Л.Г., Савкин А.Г., Перцев Н.В. Химические взаимодействия в процессах сорбции металлов клетками микроорганизмов \ 1998 р., Коллоидный журнал, Т. 60, сс. 836-842.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.15