

УДК 549 : 553.494 : 553.641 : 622.7 (477.46)

Харитонов В.М., Олійник Т.А., Мірошніченко Ю.М.

Мінералогічні рекомендації до розробки технології збагачення апатит-ільменітових руд одного з родовищ Черкаської області України

Наведені результати мінерало-технологічних досліджень комплексних апатит-ільменітових руд одного з масивів габронорит-рапаківігранітної формації центральної частини Українського щита. Виявлено, що для повного вивільнення рудних мінералів із зростків вихідну сировину необхідно подрібнювати до крупності 0,16 мм. Рекомендується одержувати ільменітовий концентрат за наступною технологічною схемою: дроблення і подрібнення руди → магнітне збагачення в слабкому і сильному полях → гравітаційна сепарація. Для одержання апатитового концентрату запропонована флотаційна технологія.

Родовище розташоване в Середньому Придніпров'ї і адміністративно відноситься до Смілянського району Черкаської області. Просторово і генетично воно пов'язане з масивом основних порід, які входять до складу Корсунь-Новомиргородського плутону – складної магматичної споруди протоплатформного етапу геологічного розвитку Українського щита. Масив основних порід розміщений у центральній частині плутону і являє собою витягнуте в широтному напрямку тіло площею 110 км². Обрамляють масив монцо-габронорити, габро-монцоніти, монцоніти, кварцові монцоніти, граніти рапаківі [1-3].

В межах масиву родовище безпосередньо пов'язане з крутопадаючою інтрузією габбро-норитів, яка розташована у північно-східній частині масиву основних порід, у вузлі перетину субширотної Тарасівської зони разломів з субмеридіональною Конєвсько-Новомиргородською зоною. Інтрузія складена калішпатизованими безолівіновими та олівіновими габбро-норитами, габро-анортозитами і анортозитами. Родовище представлене двома зближеними субпаралельними лінійно витягнутими в північно-східному напрямку покладами апатит-ільменітової руди. Форма рудних тіл пластоподібна з невитриманою потужністю – спостерігаються їх роздуви і перетиски. Вміст TiO₂ в рудах коливається від 4,00 до 33,05 мас.%, P₂O₅ – 0,06-7,28%. За вмістом ільменіту виділяють три сорти руд: бідні – 8-12%, середні – 12-20%, багаті – 20-70%. Перші були об'єктом дослідження авторів.

За вихідну пробу була взята усереднена наважка дробленого до крупності менше 3,0 мм кернавого матеріалу двох свердловин. Загальна довжина керну становила 46,6 м. Досліджені породи були представлені ільменіт-вмісними габбро-норитами, які являють собою середньо- та

грубозернисті утворення темного зелено-сірого, зелено-чорного, рідше сіро-зеленого кольору. Іноді породи містять прожилки й лінзи карбонат-кварцового складу. Для визначення мінерального складу вихідної проби досліджувались продукти дроблення й поліровані та прозорі шліфи, виготовлені з керну. Підрахунок кількості мінералів проводився за допомогою інтеграційного столика ІСА-3 за стандартною методикою. Усереднений мінеральний склад матеріалу вихідної проби наведений у табл. 1.

Таблиця 1.

Мінеральний склад габро-норитів

Мінерали	Номери свердловин і глибина відбору проб										Се-реднє
	1904/ 240,8	1904/ 241,3	1904/ 244,32	1904/ 297,5	1904/ 297,9a	1904/ 297,9б	1904/ 302,73	1604/ 66,4	1604/ 79,6	1604/ 98,95	
плагіоклаз	57,08	38,41	77,63	47,16	64,84	76,12	60,62	56,42	30,95	45,06	55,77
піроксен	9,09	15,88	5,35	15,64	14,06	0,39	15,10	13,35	26,77	29,32	14,50
рогова обманка	6,57	0,00	0,06	4,98	4,44	1,01	5,21	0,00	0,00	0,00	1,71
олівін	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17	0,00	0,00	8,94	25,89	0,00	4,63
біотит	4,23	9,23	1,15	6,64	7,03	3,47	4,10	2,90	3,30	4,89	4,69
apatит	0,85	0,86	0,57	0,95	2,34	3,67	7,23	3,78	2,89	9,08	3,22
хлорит	0,13	10,86	0,71	6,84	1,34	0,00	0,09	0,20	0,17	0,20	2,05
карбонат	2,11	4,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70
кварц	4,72	6,23	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	1,22
ільменіт	13,32	12,45	14,53	14,93	2,34	14,29	10,89	11,08	9,08	9,77	11,27
піротин	0,51	0,33	0,00	0,62	0,51	0,33	0,39	0,31	0,43	0,56	0,40
магнетит	1,39	0,71	0,00	1,01	0,93	0,63	0,57	0,72	0,52	1,12	0,76
халькопірит	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Всього	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Плагіоклаз складає основну масу породи. Представлений гіпідіоморфними кристалами розміром 3-7 мм. Утворює границі проростання з піроксеном, ільменітом, апатитом і біотитом. У деяких зернах присутні дрібні включення (~10 мкм) хлориту по периферії зерен і вздовж тріщин спайності.

Піроксен зустрічається у вигляді окремих гіпідіоморфних кристалів розміром 3-4 мм, а також гніздовидних скупчень. Для індивідів мінералу характерні тісні зростання з кристалами плагіоклазу, ільменіту, біотиту, апатиту.

Рогова обманка за поширеністю має другорядне значення. Форма зерен видовжена ксеноморфна, рідше гіпідіоморфна. Розмір – 3-4 мм. Часто відзначається хлоритизація і біотитизація периферійних частин кристалів.

Олівін зустрінутий не у всіх шліфах. Переважний розмір кристалів – 1,5-2 мм. Просторово пов'язаний з піроксеном, рідше роговою обманкою.

Кварц має обмежене поширення, представлений ксеноморфними зернами розміром 0,5-7 мм. Складає разом з карбонатом, рідше з халькопіритом окремі прожилки і лінзи в габро-нориті. Зрідка разом із хлоритом і карбонатом складає основну масу породи. Відноситься до

епігенетичних мінералів, механізм його утворення має ознаки метасоматичного.

Карбонат просторово і генетично пов'язаний з кварцом. Представлений ксеноморфними, рідше гіпідіоморфними і навіть ідіоморфними зернами розміром 0,3-1,5 мм.

Біотит облямовує зерна піроксену й ільменіту, а також утворює скупчення неправильної форми між зернами піроксену і плагіоклазу. Розмір зерен біотиту по видовженню – 0,5-2,3 мм. У скупченнях біотиту часто зустрічаються досить крупні (0,8-1,0) пластини ільменіту.

Хлорит, як і кварц, відноситься до епігенетичних мінералів. Утворюється як продукт заміщення піроксену, рогової обманки, біотиту. Іноді виповнює тонкі січні прожилки по тектонічних мікротріщинах і тріщинах спайності у кристалах мінералів, речовинно не споріднених з хлоритом (плагіоклаз, ільменіт, кварц). У зернах кварцу іноді зустрічається у вигляді сферолітів.

Апатит представлений ідіоморфними, рідше гіпідіоморфними кристалами розміром 1,5-3,0 мм за видовженням і 0,05-0,3 мм у поперечнику. Присутній у зростках з плагіоклазом, піроксеном, ільменітом.

Ільменіт має два морфологічних різновиди: 1) великого розміру (від 0,9 до 1,25 мм) пластини в біотитовій матриці та іноді в асоціації з піротином і в зростках з плагіоклазом, піроксеном і апатитом; 2) дрібні лусочки (від 0,04 до 0,2 мм) у вигляді включень у зернах плагіоклазу і піроксену.

Магнетит представлений окремими ксеноморфними, рідше гіпідіоморфними зернами розміром 0,4-1,6 мм. Характеризується незначним поширенням.

Піротин зрідка зустрічається у вигляді видовжених краплевидних включень у плагіоклазі, рідше ільменіті. Розмір зерен піротину звичайно не перевищує 10-70 мкм, максимальний – до 300 мкм.

Халькопірит був зустрінутий разом з кварцом у січному прожилку. Представлений видовженими ксеноморфними зернами розміром 0,2 x 0,06 мм.

За даними кількісного мінералогічного аналізу (табл. 1) мінерали, які характеризуються незначним поширенням, були об'єднані в дві групи: 1) рогова обманка і олівін; 2) хлорит, кварц, карбонат, магнетит, піротин. Загальний вміст мінералів кожної групи становив близько 5,0 об.%. У подальших мінералого-технологічних дослідженнях мінерали першої групи об'єднувались з близьким за хімічним складом і властивостями піроксеном. Мінерали другої групи разом вивчались як «інші».

Таким чином, підрахунок мінерального складу дробленого матеріалу вихідної проби виконувався на шість компонентів: плагіоклаз, піроксен, апатит, ільменіт, біотит та інші мінерали. Результати

визначень показані на рис. 1. Дані про розкриття ільменіту і апатиту наведені в табл. 2-5.

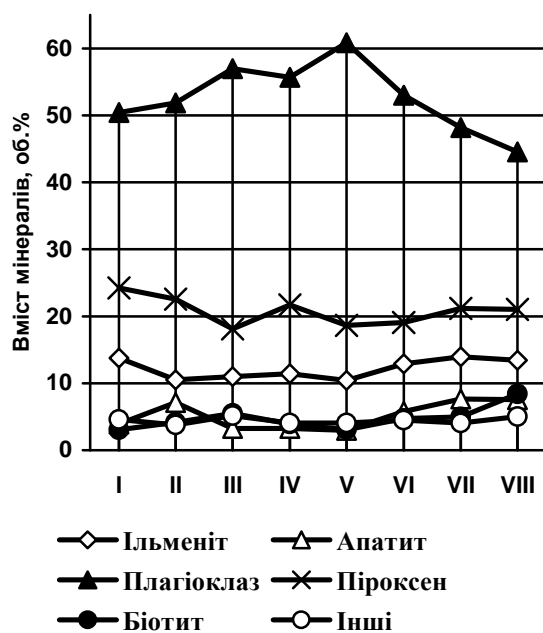


Рис. 1. Розподіл мінералів у продуктах дроблення матеріалу вихідної проби.

I-VIII – гранулометричні фракції (мм): -2,0+1,0 (I); -1,0+0,5 (II); -0,5+0,25 (III); -0,25+0,16 (IV); -0,16+0,125 (V); -0,125+0,1 (VI); -0,1+0,074 (VII); -0,074 (VIII).

Матеріал фракції - 2,0+1,0 мм повністю складений полімінеральними частками. З них 19,8% представлені бідними (вміст ільменіту менше 50%) і багатими (понад 50%) зростками з плагіоклазом, піроксеном, апатитом та іншими мінералами; 80,2% уламків

представлені зростками нерудних мінералів.

Матеріал крупності -1,0+0,5 мм складають 27,0% мономінеральних часток і 73,0% зростків. Перші представлені плагіоклазом (18,6%) і піроксеном (8,4%). Серед зростків багаті ільменітові з плагіоклазом, піроксеном, біотитом, піротином, магнетитом і кварцом складають 5,1%, бідні з плагіоклазом, піроксеном, біотитом і апатитом – 6,8%, нерудні (без ільменіту) – 56,1%.

Фракція -0,5+0,25 мм представлена мономінеральними уламками (60,5%) і зростками (39,5%). Серед перших виділяються частки плагіоклазу (43,8%), піроксену (14,6%), ільменіту (2,1%). Вміст багатих ільменітом зростків становить 6,3%, бідних – 6,2%, кількість нерудних зростків – 27,0%.

Матеріал класу крупності -0,25+0,16 мм складений мономінеральними частками на 77,9 і зростками на 22,1%. Перші представлені плагіоклазом, піроксеном, біотитом, ільменітом, апатитом та іншими мінералами (кварц, магнетит, піротин, хлорит). Кількість багатих ільменітом зростків – 9,0%, бідних – 0,6%, не містять ільменіту – 12,5% зростків.

Вміст мономінеральних уламків у матеріалі фракції -0,16+0,125 мм – 86,5 %, зростків – 13,5%. Мономінеральні частки представлені всіма породотвірними мінералами, серед яких переважають плагіоклаз і біотит. Бідні і багаті ільменітом зростки мають загальний вміст 1,8 %, нерудні – 11,7%.

Таблиця 2.

Розподіл мономінеральних часток і зростків ільменіту в продуктах дроблення і подрібнення матеріалу дослідженої проби

Гранулометричні фракції	Вихід фракцій, %	Загальний вміст ільменіту, об.%	Вміст мономінеральних часток ільменіту, об.%	Вміст ільменіту в зростках, об.%
-2,0+1,0	1,15	14,76	0,0	100,0
-1,0+0,5	33,91	14,53	0,0	100,0
-0,5+0,25	25,29	15,71	14,38	85,62
-0,25+0,16	13,79	15,21	23,81	76,19
-0,16+0,125	6,9	16,7	83,78	16,22
-0,125+0,1	6,32	14,12	67,86	32,14
-0,1+0,074	7,47	13,96	100,00	0,0
-0,074	5,17	14,1	100,00	0,0
Всього	100	14,89		

Таблиця 3.

Розподіл ільменіту в системі “мономінеральна частка – зросток” у продуктах дроблення і подрібнення матеріалу дослідженої проби

Гранулометричні фракції, мм	Загальна кількість часток, які містять ільменіт, об.%	Розподіл ільменіту, об.%							
		мономінеральні частки	загальна кількість зростків	зростки ільменіту					
				полімінеральні	бімінеральні з				
				плагіоклазом	піроксеном	апатитом	біотитом	іншими мінералами	
-2,0+1,0	1,14	0,00	1,14	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,0+0,5	33,09	0,00	33,09	18,39	9,2	4,8	0,2	0,4	0,1
-0,5+0,25	26,68	22,84	3,84	0,74	1,2	1,3	0,2	0,3	0,1
-0,25+0,16	14,09	10,74	3,35	0,25	1,4	1,1	0,1	0,5	0
-0,16+0,125	7,74	1,26	6,48	3,78	1,1	0,8	0,4	0,2	0,2
-0,125+0,1	5,99	1,93	4,06	1,96	0,9	0,7	0,2	0,2	0,1
-0,1+0,074	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,074	4,90	4,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Всього	100	48,03	51,97	63,62	20,6	11,2	1,5	1,9	0,3

Таблиця 4.

Розподіл мономінеральних часток і зростків апатиту в продуктах дроблення і подрібнення руди

Гранулометричні фракції, мм	Вихід фракцій, %	Загальний вміст апатиту, об.%	Вміст мономінеральних часток апатиту, об.%	Вміст апатиту в зростках, об.%
-2,0+1,0	1,15	1,93	0,00	100,00
-1,0+0,5	33,91	1,12	0,00	100,00
-0,5+0,25	25,29	1,5	0,00	100,00
-0,25+0,16	13,79	1,23	100,00	0,00
-0,16+0,125	6,9	1,98	25,00	75,00
-0,125+0,1	6,32	1,8	45,16	54,84
-0,1+0,074	7,47	1,66	100,00	0,00
-0,074	5,17	1,56	100,00	0,00
Всього	100	1,6		

Таблиця 5.

Розподіл апатиту в системі “мономінеральна частка – зросток” в продуктах дроблення і подрібнення матеріалу дослідженої проби

Гранулометричні фракції, мм	Загальна кількість часток, які містять апатит, об.%	Розподіл апатиту, об.%							
		мономінеральні частки	загальна кількість зростків	полімінеральні	зростки апатиту				
					бімінеральні з				
					плагіоклазом	піроксенном	ільменітом	біотитом	іншими мінералами
-2,0+1,0	1,6	0,00	1,6	1,6	0	0	0	0	0
-1,0+0,5	26,9	0,00	26,9	17,8	4,1	3,5	0,7	0,3	0,5
-0,5+0,25	26,9	0,00	26,9	13,1	9,4	3,7	0,3	0,1	0,3
-0,25+0,16	12,3	12,3	0,00	0	0	0	0	0	0
-0,16+0,125	9,7	3,23	6,47	3,27	1,7	0,9	0,5	0	0,1
-0,125+0,1	8,1	3,65	4,45	0,95	1,1	1,4	0,7	0,1	0,2
-0,1+0,074	8,8	8,8	0,00	0	0	0	0	0	0
-0,074	5,7	5,7	0,00	0	0	0	0	0	0
Всього	100,0	33,68	66,32	36,72	16,3	9,5	2,2	0,5	1,1

Матеріал крупністю -0,125+0,1 мм на 86,7% складений мономінеральними частками і на 13,3% – зростками. Перші мають мінеральний склад, близький до складу попередньої фракції. Другі відрізняються дещо більш високим вмістом бідних і багатих ільменітом зростків (відповідно, 1,5 і 3,0 об.%), кількість нерудних зростків становить 8,8%.

Матеріал крупністю -0,1+0,074 і -0,074 мм практично на 100% складений мономінеральними частками.

Взагалі, для дробленого матеріалу вихідної проби спостерігається поступове збільшення вмісту плагіоклазу від найбільш крупнозернистої фракції до фракції -0,16+0,125 мм. У матеріалі фракцій меншої крупності відзначається зменшення його кількості. Одночасно фіксується зворотна схема розподілу піроксену. Імовірно, це обумовлено більш ефективною дезінтеграцією його кристалів у процесі дроблення. Для інших мінералів, у тому числі для ільменіту, характерне незначне збагачення ними матеріалу найбільш дрібнозернистих фракцій.

Вміст другорядного рудного мінералу – апатиту – в продуктах дроблення і подрібнення матеріалу вихідної проби в середньому становить 1,6 об.%. Його часткове розкриття спостерігається у матеріалі крупності -0,16+0,125 мм, повне вивільнення часток апатиту зі зростків фіксується, починаючи з крупності матеріалу -0,1 мм. Серед зростків апатиту полімінеральні кількісно переважають бімінеральні. Співвідношення фізичних властивостей апатиту й ільменіту дозволяє припустити, що після одержання ільменітового концентрату апатит буде накопичуватись у відходах збагачення. Останні, збагачені апатитом у порівнянні з вихідною апатит-ільменітовою рудою, можна розглядати як вихідну сировину для виробництва апатитового концентрату.

Висновки

1. Досліджена проба бідної апатит-ільменітової руди була представлена щільними її різновидами всіх відтінків – від світло- до темносірого. Текстура її зливна, масивна. Структура гіпідіоморфнозерниста середньо-, грубозерниста.

2. Середній вміст головного рудного мінералу – ільменіту – 14,9 об.%. Кількість супутнього апатиту в середньому становить 1,6%. Нерудні мінерали представлені олівіном, біотитом, піроксеном і плагіоклазом. У незначній кількості присутні рогова обманка, хлорит, карбонат, кварц, піротин, магнетит, халькопірит.

3. Індивіди ільменіту найчастіше утворюють зростки з піроксеном і плагіоклазом, близько 30% зерен ільменіту знаходяться в агрегатах лускуватих кристалів біотиту.

4. Розмір індивідів ільменіту коливається від 0,05 до 1,0 мм, в середньому 0,25 мм. Розмір зерен апатиту 1,5-3,0 мм за видовженням і 0,05-0,3 мм у поперечнику, в середньому ці показники становлять, відповідно, 1,7 мм і 0,15 мм. Таким чином, для повного розкриття рудних мінералів руду варто подрібнювати до крупності часток менше 0,16 мм.

5. За технологічними властивостями руда дослідженого родовища аналогічна добре вивченим рудам Стремигородського і Федорівського родовищ, але більш високотехнологічна. Вона може збагачуватись на базі технологій, рекомендованих для цих родовищ, але з меншою кількістю перемислових операцій [4]. Це обумовлено більш легким розкриттям індивідів ільменіту, які входять до складу агрегатів біотиту. Для одержання ільменітового концентрату рекомендується технологічна схема, яка включає дроблення, подрібнення руди, магнітне збагачення в слабкому і сильному полях, гравітаційну сепарацію.

6. Апатитовий концентрат рекомендується одержувати з використанням флотаційної технології. В якості регулятора пропонується кальцинована сода, збирача – жирнокислотний колектор «таллактам», депресора – сірчаноокислий алюміній і силікат натрію [5].

7. Можлива галузь використання відходів збагачення апатит-ільменітової руди родовища – будівельна промисловість (виробництво цементу, склокераміки, мінеральної вати).

ЛІТЕРАТУРА

1. *Войновський А.С., Гурський Д.С., Калінін В.І. та ін.* Провідні рудноформаційні типи ендегенних родовищ кольорових, рідкісних та благородних металів докембрію України // Мінеральні ресурси України, 2000.– № 3.– С. 6-10.
2. *Галецький Л.С., Бочай Л.В.* Минералогия и прогнозная оценка территории Украины // Минеральные ресурсы Украины, 1995.– № 2.– С. 4-7.
3. *Кудинова Л.А., Металиди С.В.* Титаноносные массивы габбро-анортозитов // Москва: Недра, 1987.– 136 с.
4. *Пурьскин Э.Д., Бугаенко А.В.* Выделение ильменитовых концентратов из комплексных железотитановых руд / Обогащение слабомагнитных руд черных металлов // Москва: Недра, 1984.– С. 31-45.

5. Теория и технология флотации руд / *Ред. О.С.Богданова* // Москва: Недра, 1980.– 213 с.

ХАРТИОНОВ В.М., ОЛІЙНИК Т.А., МИРОШНИЧЕНКО Ю.М. Мінералогічні рекомендації до розробки технології збагачення апатит-ільменітових руд одного з родовищ Черкаської області України.

РЕЗЮМЕ. Мінералого-технологічні дослідження комплексних апатит-ільменітових руд родовища показали, що для повного розкриття рудних мінералів необхідно подрібнити руду до крупності часток 0,16 мм. Одержання ільменітового концентрату рекомендується за такою технологічною схемою: дроблення і подрібнення руди – магнітне збагачення в слабкому і сильному полях – гравітаційна сепарація. Для виробництва апатитового концентрату рекомендована флотаційна технологія.

ХАРИТОНОВ В.Н., ОЛЕЙНИК Т.А., МИРОШНИЧЕНКО Ю.Н. Минералогические рекомендации к разработке технологии обогащения апатит-ильменитовых руд одного из месторождений Черкасской области Украины.

РЕЗЮМЕ. Минералого-технологические исследования комплексных апатит-ильменитовых руд месторождения показали, что для полного раскрытия рудных минералов необходимо измельчить руду до крупности частиц 0,16 мм. Получение ильменитового концентрата рекомендуется по такой технологической схеме: дробление и измельчение руды – магнитное обогащение в слабом и сильном полях – гравитационная сепарация. Для производства апатитового концентрата рекомендована флотационная технология.

KHARYTONOV V.M., OLIYNYK T.A., MYROSHNICHENKO Yu.M. Mineralogical recommendations to the development of processing technology of apatite-ilmenite ores of one of the deposits in the Cherkasy province of Ukraine.

SUMMARY. Mineralogical and technological studies of complex apatite-ilmenite ores of the deposit have shown that it is necessary to comminute ore up to 0,16 mm size of particles in order to achieve complet recovery of ore minerals. The producing of ilmenite concentrate is recommended to be fulfilled according to the following technological scheme: ore crushing and communiton – magnetite separation in weak and strong fields – gravitational separation. Flotational technology is recommended to produce apatite concentrate.

*Надійшла до редакції 7 квітня 2004 р.
Представив до публікації проф. В.М.Троценко.*