

УДК 549 : 553.31 : 622.7 (477.63)

Карпенко С.В., Євтехова А.В., Євтехов В.Д., Філенко В.В.

ВАРІАТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАГНЕТИТОВИХ РУД ГАННІВСЬКОГО РОДОВИЩА КРИВБАСУ. II. ВПЛИВ МЕТАСОМАТИЧНОГО ФАКТОРУ

Розглянуті особливості мінералогічної зональності тіл натрієвих метасоматитів, присутніх у розрізах п'ятого та шостого залізистих горизонтів саксаганської світи, які складають продуктивну товщу Ганнівського родовища. Наведені результати вивчення варіативності зміни загального вмісту заліза ($Fe_{заг.}$) і вмісту заліза, яке входить до складу магнетиту ($Fe_{магн.}$), у розрізах метасоматичних тіл. Показані узагальнені закономірності зміни основних технологічних параметрів (вміст заліза в складі концентрату, вихід концентрату, вилучення заліза до концентрату, втрати заліза в хвостах збагачення) метасоматично змінених магнетитових руд родовища.

Ганнівське родовище розташоване в Північному залізорудному районі Криворізького басейну, розробляється з початку 70-х років ХХ ст. Ганнівським кар'єром Північного гірничозбагачувального комбінату (ПнГ ЗКу). Бідні магнетитові руди (магнетитові кварцити) видобуваються з метою їх збагачення, виробництва концентрату із загальним вмістом заліза близько 65 мас.%. Продуктивна товща родовища представлена п'ятим і шостим залізистими горизонтами саксаганської світи.

До головних чинників підвищення ефективності використання руд відноситься оптимізація їх усереднення перед подачею на збагачувальну фабрику, вдосконалення технологій їх подрібнення та збагачення, які б забезпечували зростання якості концентрату і його виходу, зниження втрат заліза у відходах збагачення. Цьому сприяє розробка і постійне поновлення геолого-мінералогічної, а на її основі – геолого-технологічної карти родовища.

Геологічною службою ПнГЗКу в співробітництві з авторами цієї статті був розроблений і в поточний час поповнюється комп'ютерний варіант геологічної карти Ганнівського родовища. Для його складання необхідним було дослідження мінерального і хімічного складу руд, а також умов локалізації та особливостей внутрішньої будови різних за походженням залізорудних покладів родовища [3-8, 13, 16, 17, 20, 22].

Формування продуктивної товщі родовища відбувалось у зв'язку з проявом низки геологічних процесів, серед яких основними були седиментація, діагенез, динамотермальний метаморфізм, тектогенез, натрієвий метасоматоз, контактово-метасоматичні та гідротермальні процеси, шоківий метаморфізм, гіпергенез. Основну роль відіграли седиментація

з наступними діагенезом і динамотермальним метаморфізмом, а також натрієвий метасоматоз. Останній відбувся з інтервалом близько 400 млн. років після завершення загального динамотермального метаморфізму залізо-кремнистої формації, вік якого оцінюється в $2,2 \pm 0,05$ млрд. р. [2, 9, 18].

Натрієвий метасоматоз, продуктом якого є егіринізовані, рибекітизовані залізисті кварцити та альбітизовані сланці, досить активно був проявлений у продуктивній товщі родовища. Тіла натрієвих метасоматитів характеризуються потужністю від 1-2 до 20-25 м, довжиною від декількох десятків до декількох сотень метрів. Метасоматоз супроводжувався суттєвими мінералогічними, структурними, текстурними змінами метаморфогенних магнетитових кварцитів і, як наслідок, значною зміною технологічних показників їх збагачення [1, 8-11, 14, 15, 18, 19, 21].

Роль седиментаційного і метаморфічного факторів впливу на технологічні властивості залізистих кварцитів, характер варіативності мінерального, хімічного складу і показників збагачення магнетитових кварцитів у розрізах п'ятого і шостого залізистих горизонтів був розглянутий у попередній статті авторів [12]. При дослідженні закономірностей внутрішньої будови рудних покладів, які зазнали впливу натрієвого метасоматозу, були використані результати досліджень попередніх авторів [1, 8-10, 14, 18, 19, 21] і дані, одержані авторами статті в зв'язку з розробкою комп'ютерних варіантів геолого-мінералогічної та геолого-технологічної карт родовища (2007-09 рр.).

Характерною рисою тіл натрієвих метасоматитів Ганнівського та інших родовищ Криворізького басейну, є мінералогічна зональність [8, 9, 18]. У випадку її повного прояву спостерігається наступна зміна мінералогічних зон у напрямку від центральної до периферійних частин метасоматичних тіл: зона егіринізації → зона рибекітизації → зона окварцування → незмінні метаморфогенні залізисті кварцити (рис. 1). В продуктивній товщі родовища численними є також метасоматичні тіла з неповним проявом мінералогічних зон (наприклад, відсутні або дуже слабо проявлені тилові зони егіринізації, передові зони окварцування).

Термодинамічні умови натрієвого метасоматозу [9, 11, 18], обумовлювали формування метасоматичних тіл, головним чином, за рахунок залізнослюдко-магнетитових і магнетитових кварцитів, які складають центральні частини п'ятого та шостого залізистих горизонтів. Меншою мірою метасоматоз проявився у верствах кумінгтоніт-магнетитових і незначною мірою – магнетит-кумінгтонітових кварцитів з периферійних частин цих горизонтів.

Автори досліджували варіативність технологічних показників натрієвих метасоматитів для варіанту їх формування за рахунок залізнослюдко-магнетитових, магнетитових і кумінгтоніт-магнетитових кварцитів. Для проведення досліджень були відібрані мінералого-

технологічні проби масою близько 25 кг з руд різних мінералогічних зон метасоматичних тіл.

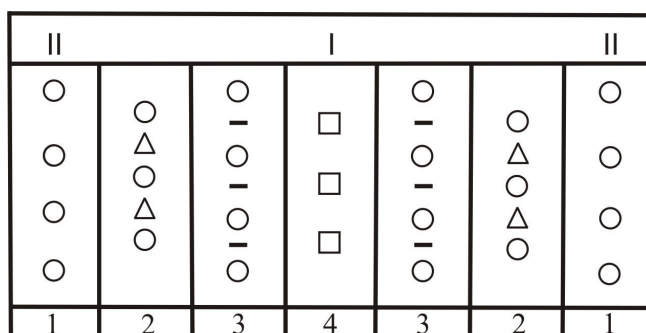


Рис. 1. Схематична будова зонального тіла натрієвих метасоматитів, які утворились за рахунок залізнослюдко-магнетитових кварцитів Ганнівського родовища.

I – незмінні залізнослюдко-магнетитові кварцити; 2-5 – метасоматичні зони: 2 – окварцування; 3 – рибекітизації; 4 – егіринізації.

I – центральна частина; *II* – периферія метасоматичного тіла.

Були опробувані близько 40 метасоматичних тіл. Для руд, які представляли кожен метасоматичну зону, була відібрана однакова кількість проб – по 25. Проби егіринових метасоматитів через стабільність їх мінерального складу відбирались з тіл натрієвих метасоматитів безвідносно до складу первинних магнетитових кварцитів. В узагальненому вигляді результати мінералого-технологічних досліджень наведені в табл. 1-3.

За результатами мінералогічних досліджень, мінеральний і хімічний склад, структура, текстура **егіринових метасоматитів** є досить стабільними, незважаючи на склад первинних залістистих кварцитів. Фіксуються тільки незначні закономірні зміни хімічного складу егірину – в напрямку від центральних до периферійних зон продуктивної товщі родовища відзначається поступове збільшення вмісту в складі егірину хімічних компонентів-домішок, головним чином, FeO, MgO, CaO. Висока інтенсивність метасоматичного процесу обумовила формування парагенетичної асоціації новоутворений егірин + магнетит з практично повним заміщенням породоутворювальних і другорядних мінералів первинних магнетитових кварцитів: кварцу, залізної слюдки, кумингтоніту та ін. Присутність у складі егіринових метасоматитів інших мінералів (рибекіт, тетраферибіотит, селадоніт, вторинні кварц і залізна слюдка та ін.) пов'язана з діяльністю постметасоматичних гідротермальних розчинів. Стабільність мінералогічних показників обумовила стабільність технологічних параметрів егіринових метасоматитів (табл. 1, 2, 3).

Зони рибекітизації формувались внаслідок впливу на первинні залістисті кварцити метасоматизуючих розчинів з більш низькими зна-

ченнями термодинамічних показників (температура, активність натрію, фугітивність кисню тощо) в порівнянні з розчинами зон егіринізації.

Таблиця 1.

Технологічні показники натрієвих метасоматитів, які утворились внаслідок заміщення первинних залізнослюдко-магнетитових кварцитів

Мінеральні різновиди руд	n	Хімічні показники		Технологічні та технічні показники					
		Fe _{заг.}	Fe _{магн.}	β	γ	ε	θ	θ _{магн.}	питома робота дроблення, од.
кварцити залізнослюдко-магнетитові незмінні	25	39,2	29,0	67,8	44,9	77,7	15,9	2,1	9,1
кварцити залізнослюдко-магнетитові окварцовані	25	34,7	25,7	65,2	40,9	76,8	13,6	2,8	12,3
кварцити залізнослюдко-рибекіт-магнетитові	25	40,5	27,8	68,2	45,1	75,9	17,7	1,6	8,8
метасоматити рибекіт-магнетит-егіринові	25	42,7	28,8	65,6	49,1	75,4	20,6	3,1	15,2

Показники: n – кількість досліджених проб; Fe_{заг.} – загальний вміст заліза в складі руди, мас.%; Fe_{магн.} – вміст у руді заліза, яке входить до складу магнетиту, мас.%; β – загальний вміст заліза в складі концентрату, мас.%; γ – вихід концентрату, %; ε – вилучення заліза до складу концентрату, %; θ – загальний вміст заліза в складі відходів збагачення (хвостів), мас.%; θ_{магн.} – вміст у хвостах заліза, яке входить до складу магнетиту, мас.%.

Це обумовило більшу залежність мінералогічних показників рибекітових метасоматитів від складу первинних залізистих кварцитів. У випадку їх утворення за рахунок залізнослюдко-магнетитових і магнетитових кварцитів зберігалась значна частина первинних метаморфогенних залізної слюдки та кварцу. Рибекіт у цьому випадку за хімічним складом близький до стехіометричного. Утворення натрієвого амфіболу при метасоматичному заміщенні кумінгтоніт-магнетитових кварцитів відбувалось, головним чином, шляхом псевдоморфізації кумінгтоніту; амфібол за складом відповідає магнезіорибекіту. В структурному, текстурному відношеннях рибекітові метасоматити зберігають основні особливості первинних залізистих кварцитів. У зв'язку з цим їх називають не метасоматитами, а відповідного мінерального складу кварцитами.

Таблиця 2.

Технологічні показники натрієвих метасоматитів, які утворились
внаслідок заміщення первинних магнетитових кварцитів

Мінеральні різновиди руд	n	Хімічні показники		Технологічні та технічні показники					
		Fe _{заг.}	Fe _{магн.}	β	γ	ε	θ	θ _{магн.}	питома робота дроблення, од.
кварцити магнетитові незмінені	25	38,6	34,6	67,6	49,9	87,4	9,7	2,3	9,5
кварцити магнетитові окварцовані	25	34,5	29,8	65,4	42,9	81,3	11,3	2,9	13,0
кварцити рибекіт- магнетитові	25	39,3	32,9	68,4	46,0	80,1	14,5	1,8	9,1
метасоматити рибекіт- магнетит- егіринові	25	42,7	28,8	65,6	49,1	75,4	20,6	3,1	15,2

Показники див. табл. 1.

Таблиця 3.

Технологічні показники натрієвих метасоматитів, які утворились
внаслідок заміщення первинних кумінгтоніт-магнетитових кварцитів

Мінеральні різновиди руд	n	Хімічні показники		Технологічні та технічні показники					
		Fe _{заг.}	Fe _{магн.}	β	γ	ε	θ	θ _{магн.}	питома робота дроблення, од.
кварцити кумінгтоніт- магнетитові незмінені	25	34,8	28,3	67,8	40,6	79,1	12,2	1,8	8,3
кварцити кумінгтоніт- магнетитові окварцовані	25	32,5	24,7	61,8	39,1	74,4	13,7	2,4	11,4
кварцити магнезюри- бекіт- магнетитові	25	35,7	26,0	68,4	38,8	74,3	15,0	1,6	7,8
метасоматити рибекіт- магнетит- егіринові	25	42,7	28,8	65,6	49,1	75,4	20,6	3,1	15,2

Показники див. табл. 1.

Формування ореольних зон окварцування було пов'язане з «відгонкою» відпрацьованими метасоматизуючими лужними розчинами кремнезему з тиллових метасоматичних зон егіринізації та рибекітизації в напрямку периферії метасоматичних тіл. Окварцування супроводжувалось частковим метасоматичним заміщенням магнетиту, залізної слюдки та кумінгтоніту кварцом, заліковуванням вторинним кварцом тріщин та інших порожнин первинних залізистих кварцитів. Для окварцованих залізистих кварцитів властива більш складна морфологія індивідів і агрегатів магнетиту.

Аналіз наведених у табл. 1-3 даних свідчить про загальні закономірності варіативності мінералого-геохімічних і мінералого-технологічних параметрів метасоматично змінених бідних магнетитових руд Ганнівського родовища.

Загальний вміст заліза внаслідок «відгонки» кремнезему з тиллових до периферійних зон метасоматичних тіл є максимальним для егіринових метасоматитів, проміжним – для рибекітових метасоматитів і мінімальним (більш низьким у порівнянні з первинними залізистими кварцитами) – для вторинних кварцитів. Аналогічна закономірність зміни вмісту фіксується також для заліза, яке входить до складу магнетиту – $Fe_{\text{магн.}}$.

Найбільш досконалі в морфологічному відношенні індивіди та агрегати магнетиту характерні для рибекітизованих магнетитових кварцитів. Це пояснюється заміщенням рибекітом найбільш дрібнозернистих ксеноморфних виділень магнетиту. Для зон окварцування та особливо для зон егіринізації характерні ксеноморфні індивіди магнетиту зі складними поверхнями їх контакту з індивідами та агрегатами кварцу й егірину.

Мінералогічні особливості метасоматично змінених бідних магнетитових руд обумовили варіативність технологічних показників їх збагачення. Вміст заліза в концентраті (β) стабільно мінімальний для метасоматитів із зон егіринізації та окварцування. Основна причина полягає в тому, що для магнетиту з цих зон властива більш складна форма індивідів і агрегатів, більш складні поверхні їх зростання з індивідами та агрегатами нерудних мінералів. Цим пояснюється також підвищений вміст магнетиту у відходах (хвостах) збагачення ($\theta_{\text{магн.}}$). Індивіди і агрегати магнетиту з рибекітових метасоматитів характеризуються більш досконалими та простими обмеженнями. В процесі дроблення і подрібнення відбувається більш повне розділення магнетиту і нерудних мінералів. Частинки магнетиту після рудопідготовки близькі до мономінеральних. Цим обумовлена висока якість концентрату (значення β на рівні 68 мас.%) і низькі втрати магнетиту у відходах збагачення ($\theta_{\text{магн.}}$, зазвичай, нижче 1,0 мас.%).

Вихід концентрату (γ) і вилучення заліза до концентрату (ϵ) контролюються, головним чином, вмістом магнетиту в складі руди й кількісним співвідношенням магнетиту та інших залізовмісних мінералів (за-

лізної слідки, кумінгтоніту, егірину, рибекіту та ін.). Максимальні значення γ стабільно фіксуються для руд із зон рибекітизації; більш низьким цей показник є для егіринових метасоматитів, ще нижчим для окварцованих магнетитових кварцитів. Присутність рибекіту й егірину в складі метасоматитів з тиллових зон обумовлює більш низькі значення вилучення заліза до концентрату (ϵ) для рибекітових і егіринових метасоматитів у порівнянні з первинними залізистими кварцитами та утвореними за їх рахунок вторинними кварцитами.

Загальні втрати заліза при збагаченні магнетитових руд (θ) залежать, переважно, від вмісту в їх складі високозалізистих немагнітних мінералів, як реліктових (залізна слюдка, кумінгтоніт, біотит, стильпномелан та ін.), так і новоутворених (рибекіт, егірін, селадоніт та ін.). Цей показник обумовлює характер варіативності значень θ по зонах метасоматичних тіл: найбільш високі загальні втрати заліза при збагаченні характерні для егірин- і залізнослюдко-вмісних залізистих кварцитів та метасоматитів.

Таким чином, метасоматичні зміни бідних магнетитових руд Ганнівського родовища спричинили підвищення ступеню варіативності їх мінерального, хімічного складу, структури і текстури. Це, в свою чергу, обумовило збільшення строкатості продуктивної товщі родовища за технологічними показниками збагачення руд.

На результатах мінералого-технологічних досліджень необхідно базуватись при оцінці якості бідних магнетитових руд, розробці заходів, спрямованих на вдосконалення технологій рудопідготовки та збагачення руд, складанні геолого-мінералогічної, геолого-технологічної карт родовища, оперативному та перспективному плануванні гірничодобувних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Александров И.В.** Натровый метасоматоз в Криворожье / *Геохимия щелочного метасоматоза* // Москва: Изд. АН СССР, 1963.– С. 71-151.
2. **Белевцев Я.Н., Кулик Д.А., Коржнев М.Н. и др.** Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Железонакопление в докембрии // Киев: Наукова думка, 1992.– 228 с.
3. **Блисковский В.З.** Обогащительная минералогия руд – самостоятельный раздел минералогической науки // *Труды НИИ горнохимического сырья.*– 1975.– Вып. 3.– С. 3-29.
4. **Богданова И.П., Гехт М.И., Докучаева И.Н. и др.** Технологическая оценка железных руд / *Изучение вещественного состава и обогатимости железных руд* // Москва: Недра, 1976.– С. 58-97.
5. **Гершойг Ю.Г.** Вещественный состав и оценка обогатимости бедных железных руд // Москва: Недра, 1968.– 200 с.
6. **Григорьев В.М., Коц Г.А., Малютин Е.М., Чернопятов С.Ф.** Геолого-технологическое картирование месторождений твердых полезных ископаемых // *Советская геология.*– 1984.– №10.– С. 43-45.
7. **Грицай Ю.Л., Николаев К.П.** Методика построения технологических карт для месторождений бедных железных руд (на примере руд Ново-Криворожского месторождения) / *Изучение вещественного состава и*

технологических свойств железных руд // Москва: Недра, 1969.– Вып.10.– С. 88-95.

8. **Евтехов В.Д.** Особенности минерало-технологического картирования месторождений в метасоматически измененных железистых кварцитах (на примере Кривбасса) / Онтогенез минералов и технологическая минералогия // Киев: Наукова думка, 1988.– С. 82-92.

9. **Евтехов В.Д., Зарайский Г.П., Балашов В.Н., Валеев О.К.** Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворожья / Очерки физико-химической петрологии // Москва: Наука, 1988.– №15.– С. 17-37.

10. **Елисеев Н.А., Никольский А.П., Кушев В.Г.** Метасоматиты Криворожского рудного пояса / Труды Лаборатории геологии докембрия АН СССР // Москва-Ленинград: Изд. АН СССР, 1961.– Вып. 13.– 204 с.

11. **Зарайский Г.П.** Зональность и условия образования метасоматических пород // Москва: Наука, 1989.– 344 с.

12. **Карпенко С.В.** Варіативність технологічних властивостей магнетитових руд Ганнівського родовища Кривбасу. I. Роль седиментаційного і метаморфічного факторів // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького технічного університету.– 2009.– №1-2 (21-22).– С. 68-73.

13. **Коц Г.А., Чепнопятов С.Ф., Шманенков И.В.** Технологическое опробование и картирование месторождений // Москва: Недра, 1980.– 289 с.

14. **Кушев В.Г.** Щелочные метасоматиты докембрия // Ленинград: Недра, 1972.– 190 с.

15. **Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И. и др.** Минералогия Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка, 1977.– 543 с.

16. **Пирогов Б.И.** Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов // Москва Недра, 1969.– 239 с.

17. **Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н.** Технологическая минералогия железных руд // Ленинград: Наука, 1988.– 304 с.

18. **Пирогов Б.И., Стебновская Ю.М., Евтехов В.Д. и др.** Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Минералогия // Киев: Наукова думка, 1989.– 168 с.

19. **Половинкина Ю.Ир.** Натровый метасоматоз как закономерность в образовании месторождений железистых кварцитов // Записки Всесоюзного минералогического общества.– 1949.– №1.– С. 52-58.

20. **Ревнищев В.И.** Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых // Записки Всесоюзного минералогического общества.– 1982.– №4.– С. 443-449.

21. **Стрыгин А.И., Казакова Л.Р., Белоус В.А.** Метасоматоз в железорудных толщах украинского докембрия // Геологический журнал.– 1988.– №6.– С. 25-33.

22. **Чернопятов С.Ф., Коц Г.А.** Геолого-технологическое картирование как новый научный метод повышения достоверности оценки технологических свойств руд / Совершенствование процессов рудоподготовки // Ленинград: Недра, 1980.– С. 8-16.

КАРПЕНКО С.В., ЄВТЕХОВА А.В., ЄВТЕХОВ В.Д., ФІЛЕНКО В.В. Варіативність технологічних властивостей магнетитових руд Ганнівського родовища Кривбасу. II. Роль метасоматичного фактору.

РЕЗЮМЕ. В продуктивній товщі Ганнівського родовища бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів), яка представлена п'ятим і шостим залізистими горизонтами саксаганської світи, поширені тіла натрієвих метасоматитів. Характерною для них є чітко проявлена мінералогічна зональність (в напрямку від центральних до периферійних зон): зона егіринізації → зона рибекітизації → зона окварцування → незмінні залізисті кварцити. В розрізах метасоматичних тіл у відповідності з їх зональністю фіксуються суттєві зміни мінерального і хімічного складу, структури, текстури руд. Варіативністю мінералогічних показників обумовлені закономірні зміни параметрів збагачення руд: вмісту заліза в складі концентрату та хвостів, виходу концентрату та вилучення заліза до концентрату.

Ключові слова: залізисто-кремниста формація; Криворізький басейн; бідні магнетитові руди; натрієвий метасоматоз; технологічна мінералогія.

КАРПЕНКО С.В., ЄВТЕХОВА А.В., ЄВТЕХОВ В.Д., ФІЛЕНКО В.В. Вариативность технологических свойств магнетитовых руд Анновского месторождения Кривбасса. II. Роль метасоматического фактора.

РЕЗЮМЕ. В продуктивной толще Анновского месторождения бедных магнетитовых руд (магнетитовых кварцитов), которая представлена пятым и шестым железистыми горизонтами саксаганской свиты, распространены тела натриевых метасоматитов. Характерной для них является четко проявленная минералогическая зональность (в направлении от центральных к периферийным зонам): зона эгиринизации → зона рибекитизации → зона окварцевания → неизменные железистые кварциты. В разрезах метасоматических тел в соответствии с их зональностью фиксируются существенные изменения минерального и химического состава, структуры, текстуры руд. Вариативностью минералогических показателей обусловлены закономерные изменения параметров обогащения руд: содержания железа в составе концентрата и хвостов, выхода концентрата и извлечения железа в концентрат.

Ключевые слова: железисто-кремнистая формація; Криворожский бассейн; бедные магнетитовые руды; натриевый метасоматоз; технологическая минералогія.

KARPENKO S.V. EVTEKHOVA A.V., EVTEKHOV V.D., FILENKO V.V. Variability of magnetite ores technological properties of the Hannivske deposit of Krivbass. II. The role of the metasomatic factor.

SUMMARY. Bodies of sodium metasomatites are common for the productive strata of the Hannivske deposit of low grade magnetite ores, which is presented by the fifth and sixth ferriferous horizons of the Saksagan suite. Distinct mineralogical zoning is characteristic for them (in the direction from central to peripheral zones): zone of aegirinization → zone of riebeckitization → zone of silicification → unchanged ferruginous quartzites. Considerable alterations of mineral and chemical composition, structure, texture of ores are noticed in the sections of metasomatic bodies in correspondence with their zonality. Variability of mineralogical indices grounds regular alterations in parameters of ore beneficiation: iron content in concentrate and tailings, concentrate yield and iron recovery into concentrate.

Key words: banded iron formation; the Kryvyi Rih basin; low grade magnetite ores; sodium metasomatosis; technological mineralogy.

*Надійшла до редакції 23 вересня 2009 р.
Представив до публікації проф. В.М.Трощенко.*