

Шепелюк М.О., Євтехов В.Д., Смірнов О.Я.,  
Стрельцов В.О., Тіхлівець С.В., Смірнова Г.Я.

## ВАРІАТИВНІСТЬ СКЛАДУ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ІНГУЛЕЦЬКОГО РОДОВИЩА (КРИВОРІЗЬКИЙ БАСЕЙН)

*Наведені результати дослідження загального вмісту заліза ( $Fe_{заг.}$ ) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$ ) для руд семи мінералого-технологічних різновидів продуктивної товщі Інгулецького родовища. Проаналізовані прояви варіативності мінерального й хімічного складу руд п'яти залізистих і чотирьох сланцевих горизонтів, які її складають. За даними дослідження руд протягом останніх семи років, виявлена стійка тенденція до зростання вмісту заліза в їх складі, яка супроводжує розширення фронту гірничодобувних робіт і поглиблення кар'єру Інгулецького гірничозбагачувального комбінату.*

**Загальні відомості.** Інгулецьке родовище бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів) розташоване в південній частині Інгулецького (Лихманівського) залізрудного району Криворізького басейну. Приурочене до шарнірної частини Лихманівської синклінали – головної геологічної структури родовища [1-3, 9]. Починаючи з перших років експлуатації (1961 р.), до складу продуктивної товщі родовища поступово були введені п'ять залізистих (від другого до шостого) та чотири (від третього до шостого) сланцевих горизонтів. За неоднорідністю складу продуктивної товщі родовище є унікальним не тільки для України, але й для інших регіонів планети.

Продуктивну товщу родовища підстеляють верстви метаультрабазитів (тальк-вмісних сланців) і метакластолітів (кварц-мусковітових сланців, мусковітових кварцитів, мусковітових метаконгломератів) скелюватської світи; перекривають – верстви метакластолітів (різного мінерального складу сланців, силікатних кварцитів) гданцівської світи.

В складі продуктивної товщі у відповідності з мінеральним, хімічним складом, структурою, текстурою, стратиграфічною приналежністю – виділені сім мінералого-технологічних різновидів (сортів) руд родовища. Двома окремими потоками руди різних сортів подаються на дві збагачувальні фабрики Інгулецького гірничозбагачувального комбінату (ІнГЗКу), на яких виробляється залізрудний (магнетитовий) концентрат з вмістом заліза 65 мас.% (фабрика №1) і 68 мас.% (фабрика №2).

Велика кількість стратиграфічних горизонтів у складі продуктивної товщі, високий рівень варіативності мінерального складу руд кожного горизонту є причиною значних коливань показників загального вмісту заліза ( $Fe_{заг.}$ ) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$ ), а також фізичних, технічних характеристик руд – тобто параметрів, які визначають ефективність експлуатаційної розвідки рудних покладів, гірничодобувних робіт, усереднення рудної маси, рудопідготовки (дроблення, подрібнення) та збагачення руд. Планування цих заходів, моніторинг їх оптимальності ґрунту-

ються на мінералогічній, технічній, технологічній класифікаціях руд, розроблених протягом 50-60-х рр. минулого століття.

**Актуальність роботи.** За майже 60 років експлуатації родовища відбулось значне заглиблення кар'єру (в поточний час до глибини понад -400 м) і розширення фронту гірничодобувних робіт. Суттєво змінились показники складу та властивостей руд. Існуючі класифікації руд не завжди забезпечують об'єктивність і обґрунтованість перспективного та оперативного планування роботи геологічної, маркшейдерської, гірничої, збагачувальної служб комбінату. В зв'язку з цим назріла необхідність актуалізації класифікацій руд родовища з урахуванням закономірностей зміни зазначених вище показників. Складання класифікацій можливе за умови врахування результатів детального дослідження хімічних, мінералогічних, технічних, технологічних особливостей руд.

**Мета роботи** – визначення головних тенденцій зміни якості руд у показниках вмісту  $Fe_{заг.}$  і  $Fe_{магн.}$  зі збільшенням глибини та розширенням фронту гірничодобувних робіт.

**Об'єкт дослідження** – магнетитові кварцити продуктивної товщі Інгулецького родовища.

**Предмет дослідження** – мінеральний і хімічний склад магнетитових кварцитів.

**Вихідний матеріал і методика роботи.** Були узагальнені й проаналізовані дані за 2011-17 рр. про вміст  $Fe_{заг.}$  і  $Fe_{магн.}$  у складі руд усіх семи мінералого-технічних різновидів, які виділяються в продуктивній товщі Інгулецького родовища.

Результати хімічних аналізів були одержані в фондах ІнГЗКу та Криворізького національного університету. В процесі створення банку вихідних даних, їх обробки й аналізу використовувались апробовані статистичні комп'ютерні програми. В табл. 1 наведені дані про вміст хімічних компонентів у складі руд усіх семи мінеральних різновидів на всіх гіпсометричних рівнях їх видобутку – від -30 до -390 м.

**Одержані результати та їх обговорення.** Результати узагальнення й аналізу даних про вміст у рудах головних хімічних компонентів

були використані авторами для складання генералізованих мінералого-петрохімічних характеристик руд семи мінералого-технологічних різновидів та встановлення закономірностей зміни цих параметрів із розвитком фронту гірничодобувних робіт протягом останніх 8 років.

**Різновид I.** Магнетитовими рудами мінералого-технологічного різновиду I складений шостий залізистий горизонт саксаганської світи. В структурі Лихманівської синклінали верства руд цього різновиду виповнює ядерну частину складки, яка зазнала максимального тектонічного (плікативного, меншою мірою диз'юнктивного) впливу.

В петрографічному й мінералогічному відношеннях руди цього різновиду характеризуються неоднорідністю. В розрізі шостого залізистого горизонту переважають залізнослюдоко-магнетитові кварцити, підпорядковане значення мають магнетит-залізнослюдкові та магнетитові (червоношаруваті й сірошаруваті) кварцити. Колір нерудних прошарків магнетитових кварцитів залежить від присутності в їх складі – в якості другорядного мінералу – залізної слюдки або силікатів. Присутність невеликої кількості (до 5 мас.%) тонколускуватої залізної слюдки надає нерудним прошаркам червоного кольору, а такої ж кількості силікатів (кумінгтоніту, хлориту, біотиту та ін.) – сірого, зеленувато-сірого забарвлення.

В зонах контакту шостого залізистого горизонту з товщею гданцівської світи (висячий бік горизонту) та шостого сланцевого горизонту (лежачий бік) зрідка фіксуються малопотужні (до 10 м) лінзовидні тіла низькозалізистих кумінгтоніт-магнетитових, магнетит-кумінгтонітових кварцитів.

Локально руди різновиду I зазнали дії натрієвого метасоматозу, яка проявилась рибекітизацією, меншою мірою егіринізацією залізистих кварцитів усіх мінеральних відмін, які входять до складу цього різновиду руд. Тіла натрієвих метасоматитів у зв'язку з «відгонкою» кремнезему із зон егіринізації та рибекітизації часто обрамлені малопотужними (до 10 м) зонами окварцування вмісних залізистих кварцитів [4, 5, 7, 10].

В зонах розривних порушень залізисті кварцити мінералого-технологічного різновиду I роздроблені, брекчійовані, іноді катаклазовані, мілонітизовані.

Руди різновиду I відносяться до найбільш високозалізистих: вміст  $Fe_{заг.}$  у їх складі коливається від 35 до 46 мас.% (головним чином, від 36 до 40 мас.%), середній показник – 38,00 мас.%; вміст  $Fe_{магн.}$  – від 25 до 37 мас.% (переважають значення від 28 до 35 мас.%), середній показник 32,68 мас.% (табл. 1).

Таблиця 1.

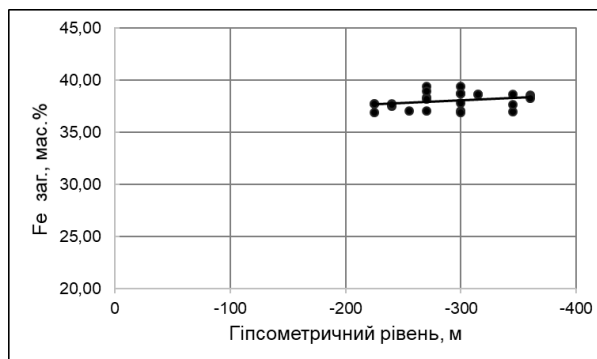
Середні показники вмісту  $Fe_{заг.}$  і  $Fe_{магн.}$  у складі руд семи мінералого-технологічних різновидів руд Інгулецького родовища

Гіпсометричні горизонти, м	Кількість визначень	Вміст, мас. %	
		$Fe_{заг.}$	$Fe_{магн.}$
<b>Різновид I</b>			
-225	4	37,34	30,35
-240	3	37,60	34,67
-270	5	38,37	32,64
-300	6	38,08	32,56
-315	2	38,60	31,60
-345	3	37,75	33,40
-360	3	38,40	33,97
<b>Середнє</b>	<b>26</b>	<b>38,00</b>	<b>32,68</b>
<b>Різновид II</b>			
-135	2	37,50	33,30
-225	4	37,80	34,50
-240	3	36,15	31,10
-255	3	35,00	35,00
-270	1	36,90	31,80
-285	2	39,05	34,20
-300	1	39,20	35,70
-330	1	41,80	39,00
-345	2	37,65	33,80
-360	10	38,18	34,37
-375	8	38,14	35,44
<b>Середнє</b>	<b>37</b>	<b>38,11</b>	<b>34,55</b>
<b>Різновид III</b>			
-150	1	32,60	23,00
-225	3	32,32	25,10
-240	3	35,38	20,08
-255	4	33,86	25,95
-270	2	32,65	26,30
-285	3	35,03	30,13
-345	4	34,41	29,45
-360	2	33,43	28,60
-375	8	34,22	26,60
<b>Середнє</b>	<b>29</b>	<b>34,04</b>	<b>26,44</b>
<b>Різновид IV</b>			
-150	3	33,85	24,57
-165	3	34,63	28,77
-195	5	34,48	26,98

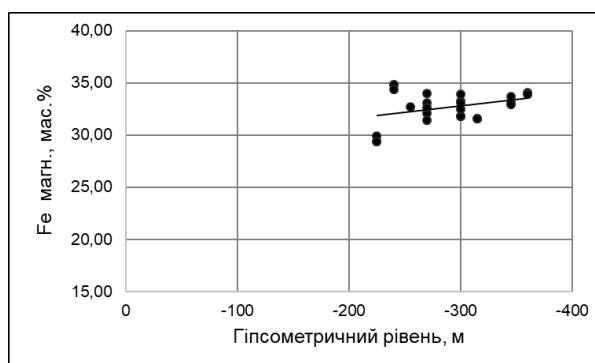
-255	11	37,32	32,72
-285	1	36,25	33,50
-315	1	36,70	32,60
-345	4	36,26	31,75
-390	3	35,13	27,13
<b>Середнє для різновиду</b>	<b>31</b>	<b>35,89</b>	<b>30,19</b>
<b>Різновид V</b>			
-30	3	31,70	19,17
-75	1	32,20	19,00
-90	3	31,32	18,90
-105	1	29,50	17,70
-150	5	32,23	21,96
-165	5	31,73	21,70
-195	5	32,60	23,92
-210	3	33,45	23,80
-225	2	33,25	25,30
-240	2	32,05	24,00
-255	4	28,55	18,50
-270	2	29,00	18,40
-285	1	32,60	22,50
-300	2	32,60	24,45
-345	2	35,20	29,98
-360	1	32,30	26,00
-375	2	33,45	25,05
<b>Середнє</b>	<b>43</b>	<b>31,81</b>	<b>22,05</b>
<b>Різновид VI</b>			
-75	1	33,10	22,80
-90	1	31,25	17,90
-105	1	32,70	23,70
-150	2	33,18	23,85
-225	1	31,10	24,30
-255	4	34,63	27,28
-270	10	29,55	20,37
-300	6	33,17	26,28
-330	1	32,50	25,80
-315	4	35,50	29,08
-345	2	34,43	28,95
-360	4	35,33	29,03
-375	3	34,08	25,53
-380	2	34,75	28,70
<b>Середнє</b>	<b>42</b>	<b>33,00</b>	<b>25,19</b>
<b>Різновид VII</b>			
-105	3	30,53	18,07
-135	1	28,80	16,00
-150	2	30,50	20,25
-165	3	32,33	21,80
-180	1	31,00	23,10
-210	8	30,04	18,49
-255	4	31,04	20,43
-270	1	28,20	16,10
-300	4	32,65	19,55
<b>Середнє</b>	<b>27</b>	<b>30,91</b>	<b>19,38</b>

Узагальнення результатів фазового аналізу руд за досліджений авторами період показав,

що з розвитком фронту, поглибленням гірничодобувних робіт спостерігається чітка тенденція до зростання значень хімічних показників якості руд (рис. 1).



а



б

**Рис. 1.** Характер зміни загального вмісту заліза ( $Fe_{заг.}$  – а) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$  – б) в рудах різновиду I з глибиною та розширенням фронту відпрацювання родовища.

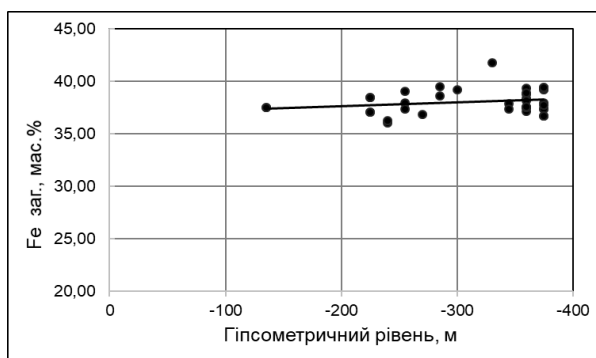
**Різновид II.** Магнетитові руди мінералогічного різновиду II, як і руди різновиду I, відрізняються чіткою стратиграфічною прив'язкою: вони складають п'ятий залізистий горизонт саксаганської світи. В структурі Лихманівської синклінали верствоподібне тіло руд цього різновиду спільно з покладом руд різновиду I виповнює ядерну частину складки, характеризується високим рівнем прояву як плікативів (різної форми складки), так і диз'юнктивів (брекчії, катаклазити, іноді мілоніти).

Руди мінералогічного різновиду II також характеризуються мінералогічною неоднорідністю. В їх складі переважають червоношаруваті (залізностлюдко-вмісні) магнетитові кварцити, підпорядковане значення мають сірошаруваті магнетитові кварцити та синьошаруваті залізностлюдко-магнетитові кварцити. В зоні контакту з п'ятим сланцевим горизонтом відзначаються малопотужні верствоподібні та лінзовидні тіла силікат-магнетитових і магнетит-силікатних кварцитів. Серед силікатів переважає кумінгтоніт, другорядними є хлорит, біотит, стильномелан.

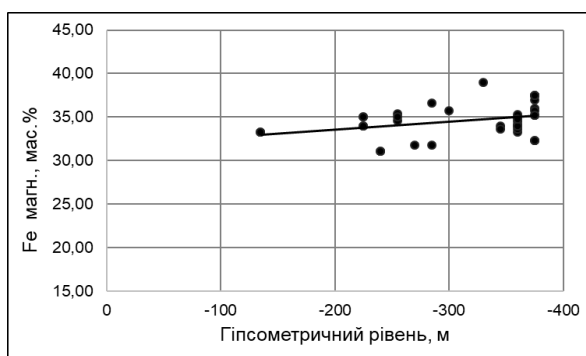
П'ятий залізистий горизонт від залягаючого вище за розрізом шостого залізистого горизонту відділений малопотужним шостим сланцевим горизонтом. Він надійно виділяється між верствами руд I та II мінералогічних різновидів на верхніх гіпсометричних горизонтах кар'єру і не завжди фіксується на рівні найбільш глибоких горизонтів кар'єру – нижче -250 м. Вірогідно, це пов'язане з витисканням пластичних гірських порід шостого сланцевого горизонту (хлорит-кварц-кумінгтонітові сланці з прошарками, проверстками безрудних, малорудних залізистих кварцитів) до більш високих гіпсометричних горизонтів родовища внаслідок потужних тектонічних навантажень, які супроводжували формування Лихманівської синклінали [2, 3, 6]. Через незначну потужність шостого сланцевого горизонту його гірські породи в процесі видобутку руд потрапляють до рудної маси різновидів I або II.

Руди різновиду II, як і різновиду I, локально зазнали дії натрієвого метасоматозу, внаслідок чого в їх складі присутні егіринізовані, рибекітизовані та окварцовані магнетитові кварцити [4, 5, 7, 10].

Хімічний склад руд різновиду II близький до складу руд різновиду I: загальний міст заліза коливається від 33 до 45 мас.% (головним чином, від 35 до 40 мас.%), середній показник – 38,11 мас.%; вміст заліза в складі магнетиту від 30 до 40 мас.%, середній показник – 34,55 мас.% (табл. 1). Для руд різновиду II характерна тенденція до зростання вмісту заліза з глибиною та розширенням фронту проведення гірничодобувних робіт (рис. 2).



а



б

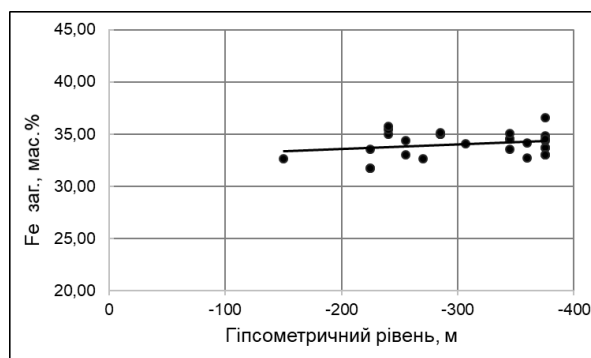
**Рис. 2.** Характер зміни загального вмісту заліза ( $Fe_{заг.}$  – а) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$  – б) в рудах різновиду II з глибиною та розширенням фронту відпрацювання родовища.

**Різновид III.** Магнетитові руди цього різновиду складають п'ятий сланцевий горизонт. В структурі Лихманівської синклінали їх верствоподібне тіло безпосередньо прилягає до ядерної частини складки, представлені п'ятим і шостим залізистими горизонтами. Для покладу руд цього різновиду також характерні помітні тектонічні (переважно, плікативні) зміни.

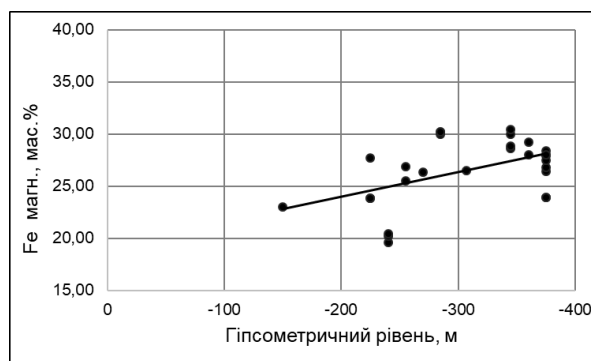
Руди неоднорідні в петрографічному та мінералогічному відношенні. В складі покладу переважають магнетит-силікатні кварцити, підпорядковане значення мають силікат-магнетитові, магнетит-вмісні силікатні кварцити, зрідка спостерігаються малопотужні лінзоподібні тіла сірошаруватих магнетитових

кварцитів (периферійні частини п'ятого сланцевого горизонту) і магнетит-вмісних кварц-силікатних сланців (центральної зони горизонту).

Зони дроблення, виповнені брекчіями, іноді катаклазитами, мілонітами залізистих кварцитів і сланців п'ятого сланцевого горизонту, та прилеглі зони його тектонічно не порушених руд локально зазнали вторинного окварцювання. Причиною, вірогідно, була міграція по тектонічно ослаблених зонах гіпогенних і гіпергенних кремнезем-вмісних розчинів.



а



б

**Рис. 3.** Характер зміни загального вмісту заліза ( $Fe_{заг.}$  – а) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$  – б) в рудах різновиду III з глибиною та розширенням фронту відпрацювання родовища.

За хімічним складом руди різновиду III відносяться до найбільш бідних руд родовища: загальний міст заліза коливається від 28 до 38 мас.% (більшість значень від 32 до 37 мас.%),

середній показник – 34,04 мас.%; вміст заліза в складі магнетиту від 15 до 33 мас.% (переважно, від 20 до 30 мас.%), середній показник – 26,44 мас.% (табл. 1). Для руд цього різновиду також характерна тенденція до зростання вмісту заліза з просуванням фронту гірничодобувних робіт (рис. 3).

**Різновид IV.** Тіла руд цього різновиду відповідають четвертому залістому горизонту саксаганської світи. В процесі формування Лихманівської синкліналі їх верства зазнала інтенсивного тектонічного (переважно, плікативного) впливу, який супроводжувався суттєвими зменшенням потужності горизонту на крилах і нагнітанням рудної маси в шарнірну частину складки, а також формуванням структур макробудинажу, складок волочіння на крилах синкліналі, численних різноорієнтованих дрібних розривних порушень, зон кліважу тощо.

Руди петрографічно й мінералогічно неоднорідні. В розрізі четвертого залістого горизонту більш чітко в порівнянні з п'ятим і шостим залістими горизонтами проявлена аутигенно-метаморфогенна мінералогічна зональність [1, 2, 9, 12].

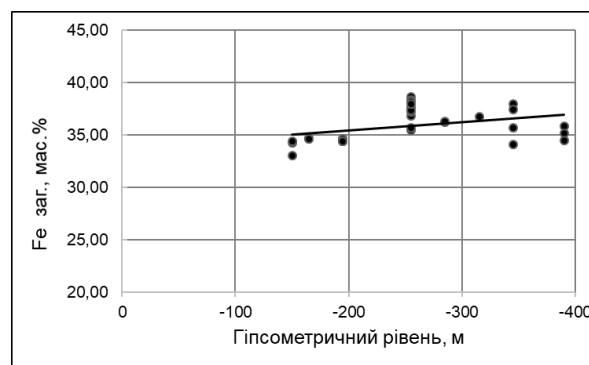
Вона фіксується закономірною зміною в розрізі горизонту верств, складених наступними мінеральними різновидами магнетитових кварцитів (у напрямку від центральної зони горизонту до обох його периферійних зон у висячому та лежачому боках): кварцити залізнослюдко-магнетитові → кварцити магнетитові червоношаруваті → кварцити магнетитові сірошаруваті → кварцити силікат-магнетитові → кварцити магнетит-силікатні. Верстви останніх поступово переходять у верстви сланців і магнетит-силікатних кварцитів четвертого (лежачий бік) і п'ятого (висячий бік) сланцевих горизонтів. У розрізі четвертого залістого горизонту присутній малопотужний (до 10 м) проверсток магнетит-гранат-кумінтоніт-кварц-біотитових і ставроліт-біотит-кварц-мусковітових сланців.

Нечисленні зони дроблення складені брекчіями, іноді катаклазитами залістих кварцитів і сланців. Локально брекчії та прилеглі зони тектонічно непорушених залістих порід

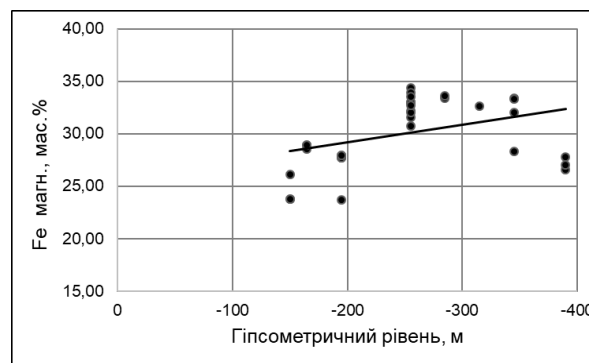
зазнавали гіпогенного й гіпергенного окварцуння.

Висока варіативність мінерального складу обумовлює значні коливання показників хімічного складу руд різновиду IV: загальний вміст заліза змінюється від 30 до 45 мас.% (переважають значення від 32 до 38 мас.%), середній показник – 35,89 мас.%; вміст заліза в складі магнетиту від 20 до 37 мас.% (більша кількість значень від 23 до 34 мас.%), середній показник – 30,19 мас.% (табл. 1).

Як і для руд вище описаних різновидів, для руд різновиду IV характерна тенденція до зростання вмісту заліза зі збільшенням глибини кар'єру та розширенням фронту відпрацювання рудних покладів (рис. 4).



а



б

**Рис. 4.** Характер зміни загального вмісту заліза ( $Fe_{заг.}$  – а) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$  – б) в рудах різновиду IV з глибиною та розширенням фронту відпрацювання родовища.

**Різновид V.** На відміну від руд інших мінералого-технологічних різновидів, руди різновиду V представляють не один, а чотири стратиграфічних горизонти саксаганської світи: четвертий і третій сланцеві горизонти, третій залістий горизонт, а також висячу пачку другого залістого горизонту, яка безпосередньо прилягає до третього сланцевого горизонту. В структурі Лихманівської синклінали верствоподібні тіла руд цього різновиду займають проміжне положення між потужними товщами четвертого та другого залістих горизонтів.

В петрографічному й мінералогічному відношеннях руди цього різновиду неоднорідні. В розрізах рудних тіл кількісно переважають верстви магнетит-силікатних кварцитів, підпорядковане значення мають силікат-магнетитові, магнетит-вмісні силікатні кварцити, нерудні силікатні кварцити, зрідка фіксуються проверстки магнетит-вмісних кварц-силікатних сланців. Силікати представлені, переважно, кумінгтонітом, меншою мірою біотитом, хлоритом, селадонітом, стильпноеланом.

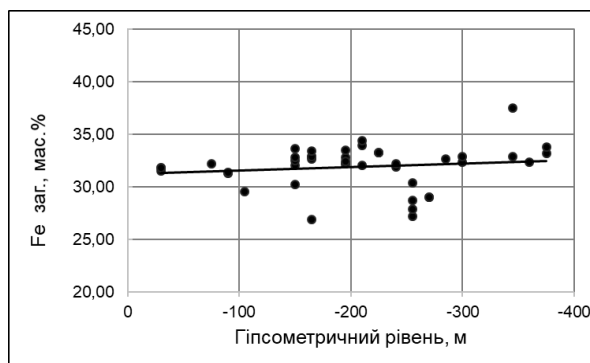
В складі верстви висячої пачки другого залістого горизонту присутні лінзовидні тіла магнетит-вмісних гранат-кумінгтоніт-кварц-біотитових сланців. В складі третього й четвертого сланцевих горизонтів переважають кварц-силікатні сланці з прошарками мономінеральних і силікатних кварцитів. Другорядне значення в розрізах сланцевих горизонтів відіграють магнетит-вмісні кварц-силікатні сланці і магнетит-силікатні кварцити.

В східному та західному крилах Лихманівської синклінали, меншою мірою в її замковій частині в розрізах рудних тіл спостерігаються зони дроблення, брекчіювання, іноді катаклазу та мілонізації магнетитових кварцитів і сланців. Локально руди цього різновиду зазнали вторинного окварцування.

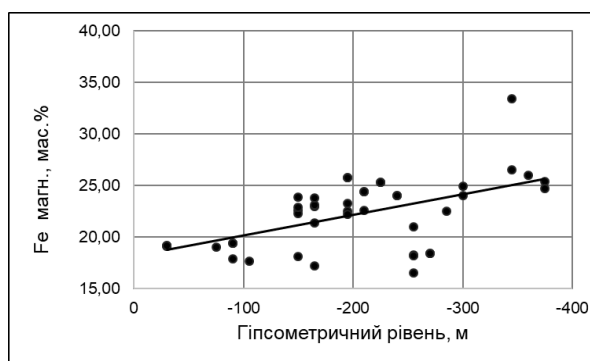
Руди різновиду V відносяться до найменш якісних за мінералогічними та хімічними показниками. Загальний вміст заліза в їх складі коливається від 23 до 38 мас.% (переважають значення від 27 до 35 мас.%), середній показник – 31,81 мас.%; вміст заліза в складі магнетиту від 15 до 33 мас.% (головним чином, від

17 до 27, середній показник 22,04 мас.% (табл. 1).

Як і для вище охарактеризованих, для руд цього різновиду виявлене закономірне зростання обох хімічних показників з глибиною та розширенням фронту відпрацювання родовища (рис. 5).



а



б

**Рис. 5.** Характер зміни загального вмісту заліза ( $Fe_{\text{заг.}}$  – а) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{\text{магн.}}$  – б) в рудах різновиду V з глибиною та розширенням фронту відпрацювання родовища.

**Різновид VI.** Руди мінералого-технологічного різновиду VI складають центральну частину другого залістого горизонту – найбільш потужного в складі продуктивної товщі родовища. Межі рудних верств цього горизонту у висячому (магнетит-силікатні кварцити різновиду V) та лежачому боках (силікат-магнетитові і магнетит-силікатні кварцити різновиду VII) проводять з

урахуванням двох показників: 1) за вмістом  $Fe_{\text{магн.}}$ , який у рудах різновидів V і VII, зазвичай, нижчий, а в рудах різновиду VI вищий від 20-22 мас.%; 2) за вмістом силікатів, які в складі руд різновидів V і VII відносяться до рудоутворювальних мінералів, а в рудах різновиду VI практично відсутні або характеризуються незначним вмістом.

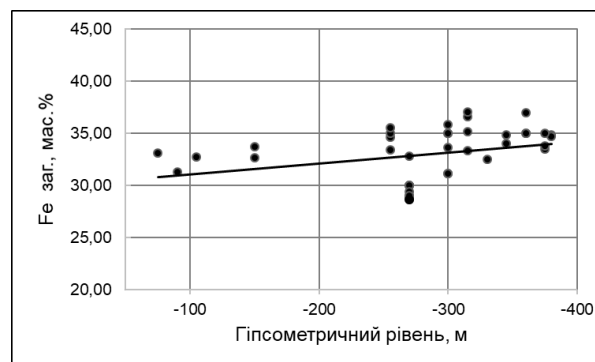
Як і руди інших різновидів, руди мінералого-технологічного різновиду VI неоднорідні за мінеральним складом. Для другого залізного, як і для вище охарактеризованих залізистих горизонтів саксаганської світи характерна аутигенно-метаморфогенна мінералогічна зональність [2, 3, 8, 9, 12]. Але, на відміну від шостого, п'ятого та четвертого залізистих горизонтів, в центральній частині розрізу другого залізного горизонту практично відсутні залізнослюдо-магнетитові кварцити.

Як зазначено вище, верстви магнетит-силікатних кварцитів висячого боку другого залізного горизонту віднесені до рудного покладу різновиду V. Верстви силікат-магнетитових і магнетит-силікатних кварцитів лежачого боку цього горизонту відносяться до рудного покладу різновиду VII, який описаний нижче. Таким чином, до складу покладу різновиду VI відносяться найбільш високозалізисті руди магнетитового (червоно- та сірошаруваті) та силікат-магнетитового складу.

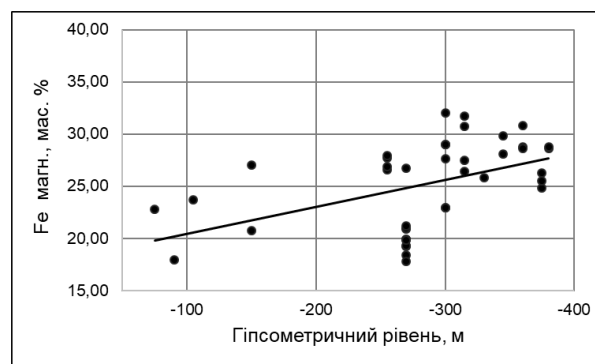
В східному й західному крилах, меншою мірою в замковій частині Лихманівської синклінали в складі рудного покладу різновиду VI фіксуються зони дроблення, брекчіювання, іноді катаклазу, мілонітизації та вторинного окварцування руд.

В хімічному відношенні руди цього різновиду більш однорідні в порівнянні з рудами інших різновидів. Загальний міст заліза в їх складі коливається від 25 до 40 мас.% (переважають значення від 27 до 37 мас.%), середній показник – близько 33 мас.%; вміст заліза в складі магнетиту від 20 до 33 мас.% (переважають значення в межах 20-30 мас.%, в окремих проверстках фіксується низький вміст  $Fe_{\text{магн.}}$  – до 15 мас.%), середній показник 25,19 мас.% (табл. 1).

Для руд цього різновиду також характерне поступове зростання вмісту заліза в процесі експлуатації родовища (рис. 6).



а



б

**Рис. 6.** Характер зміни загального вмісту заліза ( $Fe_{\text{заг.}}$  – а) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{\text{магн.}}$  – б) в рудах різновиду VI з глибиною та розширенням фронту відпрацювання родовища.

**Різновид VII.** Рудами мінералого-технологічного різновиду VII складена базальна частина другого залізного горизонту. Межа рудної верстви в її висячому боці з верствою руд різновиду VI проводиться за вмістом у складі руд  $Fe_{\text{магн.}}$  близько 20-22 мас.%.

В петрографічному та мінералогічному відношенні руди мінералого-технологічного різновиду VII досить однорідні, представлені кумінгтоніт-магнетитовими та магнетит-кумінгтонітовими кварцитами. Локально в розрізі верстви присутні малопотужні (до 10 м) лінзовидні тіла сірошаруватих магнетитових

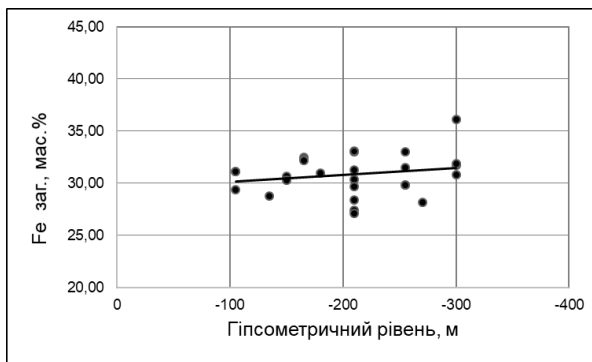


кварцитів, які характеризуються підвищеним вмістом  $Fe_{заг.}$  і  $Fe_{магн.}$ .

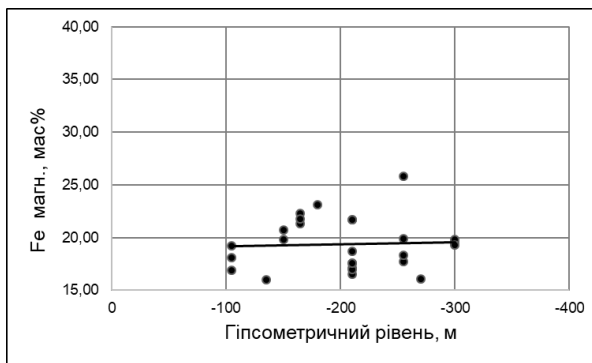
В східному та західному крилах, меншою мірою в замковій частині Лихманівської синкліналі в розрізах рудних тіл цього різновиду виділяються зони дроблення, брекчіювання, іноді катаклазу та мілонітизації залістистих кварцитів. Локально руди зазнали окварцування.

Загальний міст заліза ( $Fe_{заг.}$ ) в складі руд коливається від 25 до 40 мас.% середній показник – 32,65 мас.%; вміст заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$ ) від 15 до 28 мас.%, середній показник 19,55 мас.% (табл. 1).

Для руд різновиду VII також характерне поступове зростання середнього вмісту заліза зі збільшенням глибини та розширення фронту відпрацювання родовища (рис. 7).



а



б

**Рис.7.** Характер зміни загального вмісту заліза ( $Fe_{заг.}$  – а) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$  – б) в рудах різновиду VII з глибиною та розширенням фронту відпрацювання родовища.

Узагальнення результатів хімічних аналізів руд семи мінералого-технологічних різновидів виявили дві їх особливості:

1) значну варіативність руд кожного різновиду за показниками загального вмісту заліза та вмісту заліза в складі магнетиту;

2) спільну для всіх мінералого-технологічних різновидів руд тенденцію до зростання показників вмісту обох форм заліза протягом експлуатації кар'єру.

Перше пояснюється мінералогічною неоднорідністю руд усіх семи мінералого-технологічних різновидів, що виділяються у відповідності з їх класифікацією, яка в поточний час використовується геологічною службою ІнГЗКу.

Класифікація була розроблена наприкінці 50-х та на початку 60-х років ХХ ст. Виділення мінералого-технологічних різновидів руд відбувалось у процесі поступового залучення до розробки залістистих і сланцевих горизонтів сакасаганської світи. Це обумовило прив'язку різновидів руд до стратиграфічних горизонтів. В поточний час така класифікація руд сприймається як застаріла.

Зростання вмісту заліза в складі руд усіх різновидів зі збільшенням глибини відпрацювання рудних покладів і розширенням фронту гірничих робіт, на думку авторів, може бути пов'язане з двома геологічними процесами.

1. Синметаморфічна міграція рудоутворювальних хімічних компонентів у процесі формування Лихманівської синкліналі – головної геологічної структури родовища. Міграція спричиняла перерозподіл кремнезему та оксидів заліза між ділянками рудних покладів у крилах та замковій частині складки, на що звертали увагу попередні дослідники [11].

Більш міграційноздатний кремнезем переносився метаморфогенними розчинами з крил складки, які зазнавали стиснення, до її шарніру. Менш розчинне залізо концентрувалось у вигляді магнетиту, гематиту, силікатів у рудних покладах на крилах синкліналі. Гірничодобувні роботи в кар'єрі Інгулецького ГЗКу протягом усього періоду його роботи спрямовані від шарніру до крил Лихманівської син-

кліналі. З цим пов'язане постійне закономірне зростання вмісту заліза в складі видобутої руди.

2. Міграція хімічних компонентів у розрізі кори вивітрювання залізисто-кремнистої формації і пов'язане з цим перевідкладення заліза, розчиненого на рівні верхніх гіпсометричних горизонтів (від +60 до -100 м) у рудах більш глибоких гіпсометричних горизонтів (понад -250 м).

Можливий спільний вплив обох факторів на хімічний склад руд.

Зміни хімічного складу магнетитових кварцитів родовища не тільки вплинули на параметри їх якості, але також спричинили зміни їх щільнісних, міцнісних показників. У зв'язку з цим необхідне комплексне вивчення змін складу й властивостей руд з глибиною та актуалізація існуючих мінералого-генетичної, мінералого-технологічної, мінералого-технічної класифікацій руд, на яких ґрунтується оптимізація сучасного їх оцінювання як залізорудної сировини, виконання буро-вибухових, гірничодобувних робіт, транспортування рудної маси та збагачення руд.

#### Висновки

1. Продуктивна товща Інгулецького родовища Криворізького басейну є унікальною за кількістю стратиграфічних горизонтів, які входять до її складу, – п'ять залізистих і чотири сланцевих. Виділяються сім мінералого-технологічних різновидів (сортів) руд.

2. Недоліком мінералого-технологічної класифікації руд є стратиграфічна прив'язка їх різновидів. Через це до складу кожного з мінералого-технологічних різновидів руд входить декілька мінеральних різновидів, що спричиняє високу варіативність головних показників якості руд – загального вмісту заліза  $Fe_{\text{заг}}$  та вмісту заліза в складі магнетиту  $Fe_{\text{магн}}$ .

3. Незважаючи на варіативність хімічного складу руд кожного з семи різновидів, для всіх їх чітко проявлений тренд до зростання вмісту заліза з глибиною розробки рудних покладів і розширенням фронту відпрацювання родовища.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Ахкозов Ю.Л., Пирогов Б.И.** Онтогенетические исследования железистых кварцитов

Ингулецкого месторождения Кривого Рога в связи с оценкой их обогатимости // Доклады АН УССР. Серия Б. – 1982. – №5. – С. 3-6.

2. **Ахкозов Ю.Л., Куповец В.А., Копертехин И.А.** Некоторые геолого-минералогические факторы, определяющие свойства руд Ингулецкого месторождения // Горный журнал. – 1982. – № 2. – С. 9-10.

3. **Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В., Стрыгин А.И., Мельник Ю.П., Каляев Г.И., Фоменко В.Ю., Загоруйко Л.Г., Моляк Г.И., Половко Н.И., Довгань М.Н., Ладиева В.Д., Жуков Г.В., Епатко Ю.М., Щербаков Б.Д.** Геология Криворожских железорудных месторождений // Киев: Наукова думка, 1962. – Т. 1. – 484 с.

4. **Евтехов В.Д., Зарайский Г.П., Балашов В.Н., Валеев О.К.** Экспериментальное исследование натриевого метасоматоза в железистых кварцитах докембрия / Метасоматиты докембрия и их рудоносность // Москва: Наука, 1989. – С. 248-259.

5. **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.

6. **Каляев Г.И.** Тектоника докембрия Украинской железорудной провинции // Киев: Наукова думка, 1965. – 190 с.

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

8. **Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И., Белевцев Р.Я., Возняк Д.К., Галабурда Ю.А., Галий С.А., Квасница В.Н., Кульчицкая А.А., Мельник Ю.П., Мельников В.С., Павлишин В.И., Пирогов Б.И., Туркевич Г.И.** Минералогия Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка, 1977. – 544 с.

9. **Педан М.В.** Особенности ритмичной слоистости железистых пород южного замыкания Лихмановской синклинали / Геологическое строение и перспективы рудоносности Кривого Рога на больших глубинах // Киев: Наукова думка, 1973. – С. 81-84.

10. **Половинкина Ю.Ир.** Натровый метасоматоз как закономерность в образовании месторождений железистых кварцитов // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1949, Т. 78, №1. – С. 52-58.

11. **Тохтуйев Г.В., Чубарь Г.Г.** О перераспределении железа в железистых кварцитах при тектогенезе (на примере Южного и Новокриворожского ГОКов) / Геологическое строение и перспективы рудоносности Кривого Рога на больших глубинах // Киев: Наукова думка, 1973.– С. 63-67.

12. **Ходюш Л.Я.** Аутигенно-минералогическая зональность как один из критериев расчленения и сопоставления железорудных толщ в железисто-кремнистых формациях докембрия (на примере Белозерского железорудного района) / Проблемы изучения геологии докембрия // Ленинград: Наука, 1967.– С. 243-249.

#### REFERENCES

1. **Akhkozov Yu.L., Pirogov B.I.** (1982). Ontogenetic studies of the Ingulets deposit ferruginous quartzites, Krivoy Rog in connection with the assessment of their enrichment (in Russian) // Reports of the Ukrainian SSR Academy of sciences. Series B (Kiev).– №5.– P. 3-6.

2. **Akhkozov Yu.L., Kupovets V.A., Koper-tekhin I.A.** (1982). Some geological and mineralogical factors determining the properties of ores of the Ingulets deposit (in Russian) // Mining journal (Moscow).– №2.– P. 9-10.

3. **Belevtsev Ya.N., Tokhtuyev G.V., Strygin A.I., Melnik Yu.P., Kalyaev G.I., Fomenko V.Yu., Zagoruyko L.G., Molyavko G.I., Polovko N.I., Dovgan' M.N., Ladieva V.D., Zhukov G.V., Yepatko Yu.M., Shcherbakov B.D.** (1962). Geology of Krivoy Rog iron ore deposits (in Russian) // Kiev: Publishing house of the UkrSSR Academy of sciences.– V. 1.– 484 p.

4. **Evtexov V.D., Zarayskiy G.P., Balashov V.N., Valeyev O.K.** (1989). Experimental study of sodium metasomatism in Precambrian ferruginous quartzites (in Russian) / Precambrian metasomatites and their ore mineralisation // Moscow: Nauka.– P. 248-259.

5. **Eliseyev N.A., Nikolskiy A.P., Kushev V.G.** (1961). Metasomatites of the Krivoy Rog ore

(in Russian) / Proceedings of Laboratory of Precambrian geology of the USSR Academy of Sciences // Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of sciences.– №13.–204 p.

6. **Kalyaev G.I.** (1965). Precambrian tectonics of the Ukrainian iron ore province (in Russian) // Kyiv: Naukova dumka.– 190 p.

7. **Kushev V.G.** (1972). Alkaline metasomatites of the Precambrian (in Russian) // Leningrad: Nedra.– 190 p.

8. **Lazarenko E.K., Gershoig Yu.G., Buchinskaya N.I. Belevtsev R.Ya., Wozniak D.K., Galaburda Yu.A., Galiy S.A., Kvasnitsa V.N., Kulchitskaya A.A., Melnik Yu.P., Melnikov V.S., Pavlishin V.I., Pirogov B.I., Turkevich G.I.** (1977). Mineralogy of Kryvoy Rog basin (in Russian) // Kiev: Naukova dumka.– 544 p.

9. **Pedan M.V.** (1973). Peculiarities of rhythmic stratification of ferruginous rocks of the southern fault of the Likhmanovskaya syncline (in Russian) / Geological structure and prospects of ore mineralization in Krivoy Rog at great depths // Kiev: Naukova dumka.– P. 81-84.

10. **Polovinkina Yu.Ir.** (1949). Sodium metasomatism as a regularity in the formation of ferruginous quartzites deposits (in Russian) // Transactions of All-Union mineralogical society (Leningrad).– 78, №1.– P. 52-58.

11. **Tokhtuyev G.V., Chubar G.G.** (1973). On the redistribution of iron in ferruginous quartzites during tectogenesis (on the example of Southern and Novokrivorozhskiy mining and processing works (in Russian) / Geological structure and prospects of ore mineralization in Krivoy Rog at great depths // Kiev: Naukova dumka.– P. 63-67.

12. **Hodyush L.Ya.** (1967) Authigenic mineralogical zonation as one of the criteria for the stratification and comparison of iron-bearing strata in the banded iron formations of the Precambrian (the case of Belozerskiy iron ore region) (in Russian) / Problems of studying the geology of the Precambrian // Leningrad: Nauka.– P. 243-249.

**ШЕПЕЛЮК М.О., ЄВТЕХОВ В.Д., СМІРНОВ О.Я., СТРЕЛЬЦОВ В.О., ТИХЛІВЕЦЬ С.В., СМІРНОВА Г.Я. Варіативність складу магнетитових кварцитів Інгулецького родовища (Криворізький басейн).**

*Резюме.* Інгулецьке родовище магнетитових кварцитів розробляється Інгулецьким гірничозбагачувальним комбінатом (ІнГЗКом), починаючи з 1961 р. Продуктивна товща родовища є унікальною за кількістю стратиграфічних горизонтів, які входять до її складу – п'ять залізистих і чотири сланцевих. В складі продуктивної товщі виділяються сім мінералого-технологічних різновидів (сортів) руд.

Кожен стратиграфічний горизонт характеризується особливостями прояву аутигенно-метаморфогенної мінералогічної зональності, породного складу товщі, мінерального складу магнетитових кварцитів, загального вмісту заліза ( $Fe_{заг.}$ ) та вмісту заліза в складі магнетиту ( $Fe_{магн.}$ ). Додатковими факторами зростання варіативності показників руд були прояви в їх покладах епігенетичних процесів: тектогенезу (складкоутворення, дроблення, подрібнення), натрієвого метасоматозу (егіринізація, рибекітизація, окварцування), гіпергенезу.

Протягом майже 60 років експлуатації Інгулецького родовища відбулось значне зростання глибини (в поточний час понад 400 м) і розширення фронту гірничодобувних робіт. Їх загальне спрямування – з півдня на північ, від шарніру до крил Лихманівської синклінали.

Узагальнення результатів хімічних аналізів руд виявили дві їх особливості: 1) значну варіативність кожного мінералого-технологічного різновиду руд за показниками вмісту  $Fe_{заг.}$  і  $Fe_{магн.}$ ; 2) спільну для всіх мінералого-технологічних різновидів руд тенденцію до зростання протягом експлуатації кар'єру показників вмісту обох форм заліза. Перше пояснюється мінералогічною неоднорідністю руд семи мінералого-технологічних різновидів. Друге може бути пов'язане з двома геологічними процесами: 1) міграцією кремнезему в метаморфогенних розчинах з крил до шарнірної частини Лихманівської синклінали в процесі її формування та обумовлене цим збагачення залізом покладів у крилах, в напрямку яких відбувається розвиток кар'єру; 2) міграцією заліза в складі гіпергенних розчинів і перевідкладенням його на рівні глибоких гіпсометричних горизонтів (понад -250 м). Можливий також спільний вплив обох факторів на хімічний склад руд.

Зміни хімічного складу магнетитових кварцитів родовища вплинули на їх якісні характеристики, а також спричинили зміни їх цільнісних, міцнісних показників. У зв'язку з цим у подальшому необхідне комплексне вивчення змін складу й властивостей руд з глибиною та актуалізація існуючих мінералого-генетичної, мінералого-технологічної, мінералого-технічної класифікацій, на яких ґрунтується оптимізація сучасного оцінювання якості руд, виконання буровибухових, гірничодобувних робіт, транспортуванні рудної маси та збагачення руд.

**Ключові слова:** залізисто-кремніста формація, Криворізький басейн, магнетитові кварцити, мінеральний склад, хімічний склад.

**ШЕПЕЛЮК М.А., ЕВТЕХОВ В.Д., СМІРНОВ А.Я., СТРЕЛЬЦОВ В.О., ТИХЛІВЕЦ С.В., СМІРНОВА А.Я. Варіативность состава магнетитовых кварцитов Ингулецкого месторождения (Криворожский бассейн).**

*Резюме.* Ингулецкое месторождение магнетитовых кварцитов разрабатывается Ингулецьким горнообогатительным комбинатом (ИнГОКом), начиная с 1961 г. Продуктивная толща месторождения является уникальной по количеству стратиграфических горизонтов, которые входят в ее состав – пять железистых и четыре сланцевых. В составе продуктивной толщи выделяются семь минералого-технологических разновидностей (сортів) руд.

Каждый стратиграфический горизонт характеризуется особенностями проявления аутигенно-метаморфогенной минералогической зональности, породного состава толщи, минерального состава магнетитовых кварцитов, общего содержания железа ( $Fe_{общ.}$ ) и содержания же-

леза в составе магнетита ( $Fe_{\text{магн.}}$ ). Дополнительными факторами увеличения вариативности показателей руд были проявления в их залежах эпигенетических процессов: тектогенеза (складкообразования, дробления, измельчения), натриевого метасоматоза (эгиринизация, рибекитизация, окварцевание), гипергенеза.

На протяжении почти 60 лет эксплуатации Ингулецкого месторождения произошло значительное увеличение глубины (в настоящее время более 400 м) и расширение фронта горнодобычных работ. Их общая направленность – с юга на север, от шарнира к крыльям Лихмановской синклинали.

Обобщение результатов химических анализов руд выявили две их особенности: 1) значительную вариативность каждой минералого-технологической разновидности руд по показателям содержания  $Fe_{\text{общ.}}$  и  $Fe_{\text{магн.}}$ ; 2) общую для всех минералого-технологических разновидностей руд тенденцию к возрастанию на протяжении эксплуатации карьера показателей содержания обеих форм железа. Первое объясняется минералогической неоднородностью руд семи минералого-технологических разновидностей. Второе может быть связано с двумя геологическими процессами: 1) миграцией кремнезема в метаморфогенных растворах от крыльев к шарнирной части Лихмановской синклинали в процессе ее формирования и обусловленное этим обогащение железом залежей в крыльях, в направлении которых происходит развитие карьера; 2) миграцией железа в составе гипергенных растворов и перетолжением его на уровне глубоких гипсометрических горизонтов (более -250 м). Возможно также совместное влияние обоих факторов на химический состав руд.

Изменения химического состава магнетитовых кварцитов месторождения повлияли на их качественные характеристики, а также обусловили изменения их плотностных, прочностных показателей. В связи с этим в дальнейшем необходимо комплексное изучение изменений состава и свойств руд с глубиной и актуализация существующих минералого-генетической, минералого-технологической, минералого-технической классификаций, на которых основана оптимизация современного оценивания качества руд, выполнения буро-взрывных, горнодобычных работ, транспортирования рудной массы и обогащения руд.

**Ключевые слова:** железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, магнетитовые кварциты, минеральный состав, химический состав.

### **SHEPELYUK M.O., EVTEKHOV V.D., SMIRNOV O.Ya., STRELTSOV V.O., TIKHLIVETS S.V., SMIRNOVA H.Ya. Composition variability of magnetite quartzites of the Ingulets deposit (Kryvyi Rih basin).**

*Summary.* The Ingulets deposit of magnetite quartzites has been developed by the Ingulets Ore Mining and Concentrating Works (InGOK) since 1961. The productive stratum of the deposit is unique in terms of number of stratigraphic horizons – there are five ferruginous and four schistose ones. The productive stratum has seven mineral-technological varieties (grades) of ores.

Each stratigraphic horizon has a peculiar manifestation of authigene-metamorphogenic mineralogical zonation, rock mass composition, mineral composition of magnetite quartzites, total iron content ( $Fe_{\text{tot.}}$ ), and iron content in magnetite ( $Fe_{\text{магн.}}$ ). Manifestations of epigenetic processes in the ore deposits such as tectogenesis (folding, breaking, reduction in sizes), sodium metasomatism (aegirinization, riebeckitization, silicification), hypergenesis were additional factors for increasing the variability of the ores indexes.

60 years of operation at the Ingulets deposit have caused a significant increase in depth (currently it is more than 400 m) and an expansion of the front of mining operations. Their general orientation is from the south to the north, from the apex to the limbs of the Lykhmanivka syncline.

Generalization of the results of the ores chemical analyzes has revealed two peculiarities: 1) a significant variability of each mineralogical-technological variety of ores in terms of the content of  $Fe_{\text{tot.}}$

and  $Fe_{magn.}$ ; 2) the tendency of increasing in the indices of the content for both forms of iron for all mineralogical-technological varieties of ores during the exploitation of the open-pit. The first peculiarity can be explained by mineralogical heterogeneity of ores of seven mineralogical-technological varieties. The second one may be related to two geological processes: 1) the migration of silica in metamorphic solutions from the limbs to the apex part of the Lykhanivka syncline in the process of its formation, and the subsequent enrichment of the deposits in iron in the limbs in the direction of which the open-pit develops; 2) migration of iron contained in hypergenic solutions and redeposition of it at deep hypsometric horizons (more than -250 m). It is also possible that the both factors have influenced the chemical composition of the ores.

Changes in the chemical composition of magnetite quartzites of the deposit affected their qualitative indexes and caused changes in the density and strength indicators. In this connection, further comprehensive study of the changes in the composition and properties of ores with depth and the actualization of the existing mineralogical-genetic, mineralogical-technological, mineralogical-technical classifications that represent the base for optimizing modern estimation of ore quality, drilling, blasting, mining, transportation of ore mass and ore beneficiation.

**Key words:** banded-iron formation, Kryvyi Rih basin, magnetite quartzites, mineral composition, chemical composition.

*Надійшла до редакції 27 січня 2017 р.  
Представив до публікації професор Б.І.Пирогов.*