

АКАДЕМИЯ НАУК  
УКРАИНСКОЙ ССР

Институт геохимии  
и физики минералов

Ю. Л. ГРИЦАЙ, М. В. ПЕДАН,  
Г. В. ТОХТУЕВ, В. А. ШАПОШНИКОВ

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КРИВОГО РОГА  
ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Препринт ИГФМ-74

Киев — 1974

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА																																
ГРУППЫ	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII																	
	(H)	Li ЛИТИЙ	Be БЕРИЛИЙ	B БОР	C УГЛЕРОД	N АЗОТ	O КИСЛОРОД	F ФТОР	Ne НЕОН	Na НАТРИЙ	Mg МАГНИЙ	Al АЛЮМИНИЙ	Si КРЕМНИЙ	P ФОСФОР	S СЕРА	Cl ХЛОР	Ar АРГОН															
2		Li 3 6.94	Be 4 9.01	B 5 10.81	C 6 12.01	N 7 14.01	O 8 16.00	F 9 18.99	Ne 10 20.18	Na 11 22.99	Mg 12 24.31	Al 13 26.98	Si 14 28.09	P 15 30.97	S 16 32.06	Cl 17 35.45	Ar 18 39.95															
3		Na 19 22.99	Ca 20 40.08	Sc 21 44.96	Ti 22 47.88	V 23 50.94	Cr 24 51.99	Mn 25 54.94	Fe 26 55.85	K 19 39.10	Ca 20 40.08	Sc 21 44.96	Ti 22 47.88	V 23 50.94	Cr 24 51.99	Mn 25 54.94	Fe 26 55.85	Ni 27 58.71														
4		K 19 39.10	Ca 20 40.08	Sc 21 44.96	Ti 22 47.88	V 23 50.94	Cr 24 51.99	Mn 25 54.94	Fe 26 55.85	K 19 39.10	Ca 20 40.08	Sc 21 44.96	Ti 22 47.88	V 23 50.94	Cr 24 51.99	Mn 25 54.94	Fe 26 55.85	Ni 27 58.71														
5		Rb 37 85.47	Sr 38 87.62	Y 39 88.91	Zr 40 91.22	Nb 41 92.91	Mo 42 95.94	Tc 43 98.91	Ru 44 101.07	Rb 37 85.47	Sr 38 87.62	Y 39 88.91	Zr 40 91.22	Nb 41 92.91	Mo 42 95.94	Tc 43 98.91	Ru 44 101.07	Rh 45 102.91	Pd 46 106.42													
6		Cs 55 132.91	Ba 56 137.33	La 57 138.91	Ce 58 140.12	Pr 59 140.91	Nd 60 144.24	Pm 61 144.91	Sm 62 150.36	Cs 55 132.91	Ba 56 137.33	La 57 138.91	Ce 58 140.12	Pr 59 140.91	Nd 60 144.24	Pm 61 144.91	Sm 62 150.36	Eu 63 151.96	Gd 64 157.25	Tb 65 158.93	Dy 66 162.50	Ho 67 164.93	Er 68 167.26	Tm 69 168.93	Yb 70 173.05	Lu 71 174.97						
7		Fr 87 172.01	Ra 88 172.01	Ac 89 172.01	Th 90 174.01	Pa 91 174.01	U 92 174.01	Np 93 174.01	Pm 94 174.01	Sm 95 174.01	Eu 96 174.01	Gd 97 174.01	Tb 98 174.01	Dy 99 174.01	Ho 100 174.01	Er 101 174.01	Lu 102 174.01	Hf 72 178.49	Ta 73 180.95	W 74 183.85	Re 75 186.21	Os 76 190.23	Ir 77 192.22	Pt 78 195.08	Au 79 196.97	Hg 80 200.59	Tl 81 204.38	Pb 82 207.19	Bi 83 208.98	Po 84 209.00	At 85 210.00	Rn 86 222.00

Обозначения элементов Латинский алфавит

Li Литий  
Lr Лантан

Атомный вес

В квадратных скобках указаны массовые числа наиболее устойчивых изотопов

ПАУАНОВА

АКТИНОИДЫ

СЕРИИ

ПЕРИОДЫ

ОРДЕНА ЛЕНИНА АКАДЕМИЯ НАУК УССР  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И ФИЗИКИ МИНЕРАЛОВ  
ИНСТИТУТ МЕХАНОБРЧЕРМЕТ  
ЖЕЛЫЙ ГОРНОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ

Ю.Л.Гришай, М.В.Педан,  
Г.В.Тохтуев, В.А.Шапошников

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗИСТЫХ  
КВАРЦИТОВ КРИВОГО РОГА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ЦЕЛЕЙ

Препринт ИГФМ - 74

Киев - 1974

В препринте "Геолого-петрографическая оценка железистых кварцитов Кривого Рога для технологических целей" обобщен опыт количественного изучения вещественного состава неокисленных и окисленных железистых кварцитов на горнообогатительных комбинатах Криворожского бассейна. Материалы выполненные на общей методической основе, позволяют получить геологическую и технологическую оценку железистых кварцитов при поисково-разведочных работах, и при эксплуатации месторождений.

Работа представляет интерес для геолого-разведочной и рудничной службы железорудных районов докембрия, технологгов-обогатителей и всех специалистов, связанных с изучением вещественного состава и обогатимости железистых кварцитов.

Авторский коллектив:

О. Л. Гришай, М. В. Педан, Г. В. Тохтуев, В. А. Шапошников

Ответственный редактор

доктор геолого-минералогических наук Г. В. ТОХТУЕВ



## В В Е Д Е Н И Е

Криворожский железорудный бассейн — основная сырьевая база черной металлургии СССР. Увеличение добычи товарных железных руд в бассейне было достигнуто в последнее десятилетие за счет бедных руд (железистых кварцитов). В перспективе переработка таких руд с каждым годом будет возрастать, с вовлечением в сферу промышленного использования не только неокисленных, но и окисленных гематитовых кварцитов. В связи с этим большое значение приобретает систематическое изучение вещественного состава неокисленных и окисленных железистых кварцитов. Выполненные на общей методической основе результаты количественного изучения вещественного состава позволят дать геологическую и технологическую оценку железистых кварцитов различных месторождений как на стадии разведки, так и при эксплуатации их.

Опыт, накопленный авторами при изучении вещественного состава на стадии эксплуатации месторождений, позволяет рекомендовать определенные методические приемы изучения текстуры кварцитов, пересчетов полных химических анализов и выделения мономинеральных фракций основных рудных и породообразующих минералов.

Независимо от стадии разведки месторождения изучение вещественного состава выполняется обычно в два этапа. На первом этапе наблюдения выполняются при описании обнажений, уступов и забоев карьеров, керн и шлама скважин разведочного бурения и заканчиваются макроскопическим описанием. В настоящее время на этом этапе рекомендуется выполнять детальную (численную) оценку текстур кварцитов и производить разделение типов пород и бедных руд на разновидности, а также производить отбор проб для детального изучения. На втором этапе, лабораторном, производится количественное минералого-петро-

графическое изучение, выполняются химические, спектральные, фазовые анализы и производятся их пересчеты, выделяются мономинеральные фракции. При необходимости выполняются другие виды анализов.

Опытом работы горнодобывающих предприятий /Артемова, Пирогов, Горбатов, 1961; Пирогов, 1969/ и научно-исследовательских институтов "Механобрчермет" /Гершойг, Докучаева, 1963; Гершойг, 1969/, "Механобр" /Болдырев, Брандт, Шапиро, 1963/ и Криворожского НИГРИ /Залата, 1959/ доказана необходимость глубокого, всестороннего изучения минерального состава, текстурно-структурных особенностей и химического состава железистых кварцитов как бедных руд, требующих обогащения.

По своим технологическим свойствам и практическому значению железистые кварциты разделяются на магнетитсодержащие, неокисленные и кварциты, в которых преобладают немагнитные минералы железа. Первые обогащаются по магнитным схемам на всех пяти горнообогатительных комбинатах Кривбасса, а вторые, или "окисленные руды", обогащаются по обжигмагнитной схеме только на ЦОКе. Требования по оценке обогатимости неокисленных и окисленных руд имеют, как много общего, так и ряд специфических особенностей.

Несколько обособленно стоят кварциты, в которых основными минералами являются сидерит и сидероплезит - сидеритовые, силикат-сидеритовые, магнетит-силикат-сидеритовые, силикат-магнетит-сидеритовые кварциты. Количество таких руд в общем балансе руд Кривбасса незначительно и запасы их или не подсчитываются (первые две разновидности), или относятся к категории забалансовых (последние две разновидности). По своим минеральным особенностям они наиболее близко стоят к неокисленным кварцитам.

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕКСТУР

Наиболее общей текстурной особенностью железистых кварцитов Кривбасса является их слоистость. Для сланцевых слоёв в железистых кварцитах характерны различного рода сланцеватые текстуры. Большим разнообразием отличаются текстуры кварцитов зоны окисления.

Здесь образуются пористо-кавернозные, конкреционно-секреционные, а также землистые, глинистые и другие типы текстур.

Детальная морфологическая и генетическая классификация текстур железистых кварцитов приведена в табл. I, которая составлена с использованием исследований Г.В. Тохтуева, Н.Н. Губкиной /1959/ и последних наблюдений в карьерах ГОКов.

Слоистые текстуры кварцитов проявляются в закономерном чередовании слагающих их слоев различного состава. По минеральному составу слои в железистых кварцитах делятся на мономинеральные и полиминеральные. Название слоев определяется по преобладающему минералу, содержание которого должно быть не менее 75%. Если же слоев сложен несколькими минералами в примерно равных соотношениях, мы имеем дело со слоями смешанного состава. По этим признакам в железистых кварцитах выделяются магнетитовые, гематитовые, мартитовые, кварцевые, карбонатные, силикатные и слои смешанного состава. Среди силикатных слоев выделяются хлорит-биотитовые, гранат-куммингтонитовые, гранат-биотитовые и т.д.

При разработке железистых кварцитов как руд, требующих обогащения, одного только качественного изучения текстурных особенностей недостаточно. Необходимо детальное изучение текстур с последующим выводом количественных соотношений различных текстур внутри продуктивной толщи, выделением структурно-текстурных разновидностей железистых кварцитов. Эта задача решается путем массовых замеров текстурных единиц (слоев) железистых кварцитов. Наиболее достоверные данные о слоистости могут быть получены в случае, если железистый или сланцевый горизонты вскрыты горными выработками на всю мощность. Замеры слоистости, при этом, производятся по образцам, отбираемым в забоях, а замеры по кернам используются для оценки изменчивости слоистости с глубиной и по простиранию. Во всех случаях замеры слоистости необходимо производить по каждой выделенной внутри толщи железистого горизонта минералогической разновидности кварцитов отдельно. Количество штудов для замера слоистости заранее задано быть не может и определяется в каждом конкретном случае, исходя из средней мощности слоев, равномерности переслаивания, удельной мощности исследуемой разновидности в толще горизонта и т.д. Как показала практика, количество замеренных слоев для основных разновидностей в железистых горизонтах должно быть равно 1,5-2,5 тысячам. В последнее

## Генетическая и морфологическая классификация текстур железистых кварцитов Кривбасса

По гевезису	По морфологии																				
Осложненно-метаморфозные	I. По ширине слоев <sup>X)</sup> :																				
	<table border="0"> <tr> <td>микрослоистая</td> <td>-</td> <td>мощность слоев</td> <td>0,1 мм</td> </tr> <tr> <td>тонкослоистая</td> <td>-</td> <td>"</td> <td>0,1-3,0</td> </tr> <tr> <td>среднеслоистая</td> <td>-</td> <td>"</td> <td>3,0-10,0</td> </tr> <tr> <td>широкослоистая</td> <td>-</td> <td>"</td> <td>10,0-50,0</td> </tr> <tr> <td>грубослоистая</td> <td>-</td> <td>"</td> <td>&gt; 50,0 мм</td> </tr> </table>	микрослоистая	-	мощность слоев	0,1 мм	тонкослоистая	-	"	0,1-3,0	среднеслоистая	-	"	3,0-10,0	широкослоистая	-	"	10,0-50,0	грубослоистая	-	"	> 50,0 мм
	микрослоистая	-	мощность слоев	0,1 мм																	
	тонкослоистая	-	"	0,1-3,0																	
	среднеслоистая	-	"	3,0-10,0																	
	широкослоистая	-	"	10,0-50,0																	
	грубослоистая	-	"	> 50,0 мм																	
	2. По выдержанности слоев: <ul style="list-style-type: none"> <li>линейно-слоистая</li> <li>прерывисто-слоистая</li> <li>неяснослоистая</li> <li>линзовидная</li> </ul>																				
	3. По характеру распределения слоев в породе: <ul style="list-style-type: none"> <li>равномерно-слоистая</li> <li>неравномерно-слоистая (разнослоистая)</li> <li>сложнослоистая</li> </ul>																				
	4. По цвету слоев кварца: <ul style="list-style-type: none"> <li>белослоистая</li> <li>краснослоистая</li> <li>синеслоистая или чернослоистая</li> </ul>																				
5. По тектонической деформации: <ul style="list-style-type: none"> <li>плотчатая</li> <li>фестончатая</li> <li>брекчиевая</li> <li>раздробленная</li> <li>смещенно-слоистая</li> <li>будиная</li> <li>сложно-будиная</li> <li>линзовая</li> <li>текстура кливажа разлома</li> <li>текстура кливажа растяжения</li> <li>текстура кливажа скальвания</li> </ul>																					
6. По диагенетическим нарушениям слоистости: <ul style="list-style-type: none"> <li>послойно-брекчиевая</li> <li>линзовая</li> <li>линзовидная</li> </ul>																					



По генезису	По морфологии
Метаморфогенные	Сланцеватые (для сланцевых слоев в железистых кварцитах): собственно-сланцеватая диагонально-сланцеватая плойчато-сланцеватая линейно-сланцеватая
Текстуры выветривания	<p>1. Пористо-кавернозные:</p> <p>пористая ноздреватая ячеистая кавернозная сотовая послойно-кавернозная</p> <p>2. Конкреционные и секретонные:</p> <p>конкреционная оолито-гроздьевидная стадактитовая секретонная</p> <p>3. Порошковатые и глинистые текстуры:</p> <p>землистая охристая мучнистая (сыпучая) сажистая глинистая рыхлая</p>

х) Количество слоев указанной мощности должно быть не менее 70%.



Рис. 1 Схема отбора образцов для замеров слоистости в сложно-складчатых участках

Таблица 2

Форма записи результатов замеров слоистости

№ образцов	Мощности слоев, мм					
	магнетитовых	кварцевых	гранат-биотитовых	гранат-кумингтонитовых	кварц-биотитовых	смешанного состава
Обр.1	5					
		I2				
	3					
					I5	
	4	I8				
				I3		
Обр.2	2					
		I0				
			I4			
	5					
		I6				
	I					

время также используется метод замера слоистости по непрерывной ленте ориентированных образцов, отбираемых по всей продуктивной толще или отдельной минералогической разновидности кварцитов от лежачего бока к висячему.

Продуктивные толщи месторождений железистых кварцитов Кривбасса отличаются сложноскладчатым строением, поэтому для исключения повторного опробования одних и тех же частей разреза, отбор образцов производится, по возможности, на участках моноклинального залегания пород. Если же это невозможно, то по изучаемому участку составляется детальная зарисовка масштаба 1:500-1:100 с выделением маркирующих слоев и отбор образцов производится с исключением повторяющихся частей разреза (рис.1).

Если таких участков на месторождении много, то текстурные особенности для них выделяются отдельно. Общая характеристика текстур по месторождению составляется с учетом этих участков. Если отбор образцов из стенки откоса карьера по каким-либо причинам невозможен, замер слоистости можно также производить на отдельных крупных глыбах ("негабаритах"), расположенных вблизи откоса, принадлежность которых к изучаемой минералогической разновидности не вызывает сомнений.

Замеры слоев выполняются с помощью обычной стальной линейки с миллиметровыми делениями. Высокая производительность труда при этом достигается если замеры производят два человека, один из которых замеряет слойки, не отвлекаясь для записи результатов, а другой записывает результаты. Для того, чтобы при записи сохранилась последовательность чередования замеряемых слоев различного состава, удобно использовать специальный журнал (табл.2), в котором мощность каждого последующего слоя записывается в новой строке сверху вниз.

Более наглядной, но менее удобной и точной при последующей обработке является форма фиксации результатов, когда мощность слоев изображается в масштабе в виде вертикальных столбиков, линий, начинающихся от одной базисной линии, а состав слоев различным цветом или другими условными обозначениями (рис. 2).

Состав слоев определяется макроскопически после предварительного микроскопического и химического изучения типичных для данной минералогической разновидности слоев.



Рис. 2 Графическое изображение результатов замеров слоистости (на примере силикат-магнетитовых кварцитов Ингулецкого месторождения)

1 - магнетитовые слои, 2 - кварцевые, 3 - силикатные, 4 - слои смешанного состава.

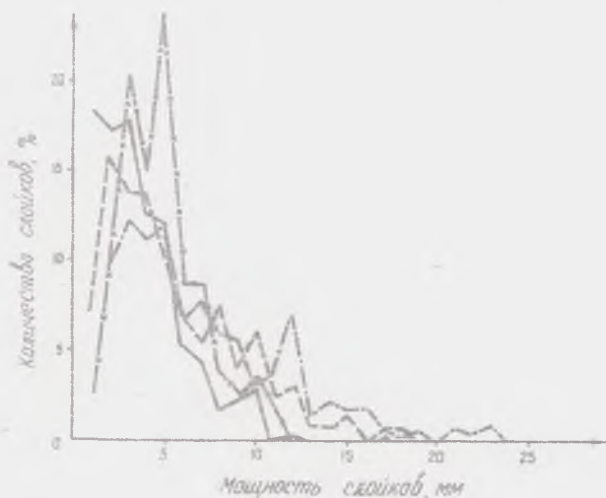


Рис. 3 Кривые распределения числа слоев в зависимости от их мощности (на примере силикат-магнетитовых кварцитов Ингулецкого месторождения). Условные обозначения приведены на рис.2.

Простейшим методом обработки полученных данных является расчет средних арифметических значений мощностей слоев. Однако железистые породы Кривбасса характеризуются отличными от нормального законами распределения количества слоев в зависимости от их мощности. В большинстве случаев эти распределения достаточно четко аппроксимируются логарифмически нормальным законом распределения. Поэтому для получения достаточно надежных результатов, обработку данных необходимо производить с учетом закона распределения. Первым этапом при этом должно быть построение кривых распределения числа слоев в зависимости от их мощности (рис. 3). По форме кривой или гистограммы распределения определяется каким наиболее вероятным законом распределения она может быть описана. Гипотезу о соответствии эмпирического распределения теоретическому нормальному или логнормальному законам распределения наиболее удобно проверять с помощью критерия  $\chi^2$  (критерия Пирсона).

Методы проверки гипотез о законе распределения, а также приемы математической обработки подробно изложены в специальной литературе и здесь не рассматриваются (Лукомский, 1961; Родионов, 1964; Рыков, Гудков, 1966; Горлицкий, 1970; Шарпов, 1971).

В дальнейшем производится статистическая обработка замеров с учетом закона распределения. Затем по средним значениям мощности слоев отстраиваются диаграммы, которые наглядно показывают соотношение слоев внутри разновидностей кварцитов (рис. 4) и изменчивость числовых параметров слоистости как вкрест простирания, так и по простиранию (рис. 5).

Данные, полученные в результате изучения текстурных особенностей железистых кварцитов, могут быть использованы для решения геологических и технологических задач.

Установленные количественные соотношения слоев различного состава и мощности являются одним из важных критериев для выделения различных типов кварцитов, для целей стратиграфического расчленения и корреляции отдельных разрезов при разведке и разработке месторождений железистых кварцитов, т.к. только при детальном изучении текстур могут быть выделены и прослежены отдельные слои и пакки, имеющие маркирующее значение. Детальное изучение текстурного рисунка может оказать значительную помощь в вопросе восстановления условий седиментации железистых пород и общих закономерностей их формирования.



Рис. 4 Круговые диаграммы, отображающие соотношения слоев в % по их качеству (а) и по суммарной мощности (б) в силикат-магнетитовых кварцитах Ингулецкого месторождения. (Условные обозначения см. на рис.2)



Рис. 5 Изменчивость соотношений слоев различного состава вкrest простиракия четвертого железистого горизонта на Ингулецком месторождении  
I-VIII - различные типы кварцитов в разрезе железистого горизонта

Кроме того, результаты замеров могут быть использованы для ориентировочного расчета минерального и химического состава пород.

При расчете минерального состава принимается, что линейные суммарные мощности соответствуют объемным содержаниям минералов в породе. Весовые содержания минералов можно определить по формуле:

$$n\% = \frac{\kappa_i M_i d_i}{\kappa_1 M_1 d_1 + \kappa_2 M_2 d_2 + \dots + \kappa_n M_n d_n}$$

где:  $n_{i, \dots, n}$  — содержание минерала в породе;  
 $M_{i, \dots, n}$  — суммарная мощность слоев одного минерального состава;  
 $\kappa_{i, \dots, n}$  — относительное содержание минерала в слое;  
 $d_{i, \dots, n}$  — удельный вес минерала.

Зная процентное содержание рудного минерала, можно определить количество железа, связанного с этим минералом:

$$C_i = n_i \kappa_i$$

где:  $C_i$  — содержание Fe, связанного с минералом в кварците;  
 $n_i$  — содержание рудного минерала;  
 $\kappa_i$  — содержание Fe в чистом минерале.

Количественные измерения слоев, дополненные данными об их мономинеральности, позволяют выделить и технологически оценить руды, для которых может быть рекомендовано обогащение после крупного дробления с целью выделения практически безрудных кварцевых и силикатных слоев. Отвальные хвосты, полученные на этой стадии обогащения, могут служить хорошим строительным материалом.

#### ОТБОР ПРОБ ДЛЯ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Отбор заданного объема представительных проб является одним из важных условий рациональной и объективной оценки геолого-технологических свойств железисто-кремнистых пород. Виды проб, их вес и характер подготовки определяются задачами исследования и способами анализа. Так, для изучения химического состава пород и руд

месторождения и выделения мономинеральных фракций требуется одинаковый способ подготовки и конечная крупность измельчения. Однако, если пробы для химических анализов должны полностью освещать все многообразие химических характеристик рудного тела, то пробы для выделения мономинеральных фракций должны содержать максимально возможное количество требуемого к выделению минерала. Последние пробы, конечно, не могут характеризовать даже отдаленно средние химические характеристики рудного тела или отдельных его участков. Отбор образцов для изучения пород и руд под микроскопом производится параллельно с описанием забоев и керна скважин при технологическом опробовании или специально целенаправленно. В первом случае обычно отбираются образцы, характерные для каждой разновидности или пачки, во втором - образцы, характеризующие отдельные минеральные ассоциации, слойки, жильные образования, редкие минеральные разновидности пород и руд. Размер отбираемых образцов редко превышает 50-70 мм, т.к. с увеличением площади шлифа или аншлифа увеличивается время на их изготовление и трудно достигается необходимое качество их (в шлифе - толщина по всей площади, в аншлифе - качество полировки). Поэтому оптимальным размером следует считать образцы от 20x20 до 30x30 мм. При наличии отрезного алмазного станка (типа КАСП или др.) такие образцы могут быть отрезаны из любой части штуфа по необходимому направлению.

При отборе следует определять заранее, будут ли покрываться шлифы покровными стеклами. Непокрытые шлифы могут быть изготовлены большей площади, чем покрытые. Непокрытые шлифы изготавливаются при необходимости определения показателей преломления минералов, оптической их ориентировки, окрашивания минералов диагностическими красителями.

В случае отбора ориентированных образцов на них наносится ориентировка по отношению к структурным элементам или элементам залегания, которая в дальнейшем должна быть перенесена на шлиф. Все надписи на отобранных образцах делаются белым, желтым или красным карандашом. Плоскость изготовления отмечается перекрещивающимися линиями или равномерной штриховкой. Каждый отобранный образец сопровождается этикеткой, на которой указывается номер, место отбора, шлиф или аншлиф, дата и подпись лица, проводящего отбор. Количество шлифов для каждого типа пород и руд определяет-



ся мощностью слоев и сложностью минерального состава. Для тонко-слоистых пород или руд достаточно бывает 3-4 шлифа и 2-5 аншлифа; для среднеслоистых количество их возрастает в два-три раза. Из грубослоистых пород отбираются различные минеральные разновидности слоев, а общее минералогическое-петрографическое описание должно составляться совместно с макроописанием. Из пробы для выделения мономинеральной фракции широко распространенного минерала бывает достаточно отобрать образцы для 2-3 шлифов.

Пробы для выделения мономинеральных фракций должны содержать максимальное количество выделяемого минерала. Это условие обычно легко реализуется для криворожских пород, отбором мономинеральных слоев в полевых условиях. При отборе проб для выделения мономинеральных фракций из окисленных руд сохраняются те же принципы отбора. Однако, при отборе проб из участков маршаллитизации, целесообразно выбирать наиболее дезинтегрированные штуфы, т.к. разделение минералов при их обработке происходит значительно легче. Пробы на выделение гидроксидов железа, характеризующие среднее содержание их по участку, возможно отбирать путем отсева мелочи по классу от 0,1 мм и мельче с последующей доводкой.

Количество выделяемого минерала зависит от объема дальнейших исследований. Если изучение будет охватывать все виды физических и химических методов анализа, навеска должна быть 100-150 г. В случаях изучения только химического состава и некоторых физических свойств, достаточно 30-40 г.

Начальный вес проб для выделения мономинеральных фракций определяется: необходимой величиной конечной навески, содержанием минерала в исходной пробе, методикой подготовки и обработки ее и может быть рассчитан по формуле:

$$P_{исх} = K \frac{P_n}{C}$$

где:  $P_{исх}$  - начальный вес пробы в граммах;  
 $K$  - коэффициент, определяющий извлечение минерала;  
 $C$  - содержание минерала в исходной пробе в долях единицы;  
 $P_n$  - конечная навеска мономинеральной фракции, г.

Содержание минерала определяется макроскопически. Коэффициент  $K$  обычно выбирается в пределах 1,5-3,0 и зависит от потерь минерала при обработке пробы. Для магнетита он может быть 1,5, для

мартита и гематита 1,5-2,0, для карбонатов и силикатов 2,5-3,0, для гидроксидов железа - 2,0-2,5. Такой высокий коэффициент связан с тем, что при выделении мономинеральной фракции лучше потерять часть минерала в виде сростков, чем усложнять дальнейшую технологию извлечения. Это не относится к редким минералам, содержание которых в породе ограничено и извлечение их должно быть максимальным.

Отбор проб для химических и спектральных анализов обычно не вызывает затруднений. Важно в этом случае добиваться представительности пробы для характеризуемых участков рудного тела или вмещающих пород. При опробовании взорванной массы должны отбираться не только крупная, но и мелкая фракция пород. Керна колонковых скважин делится строго наполовину вкrest слоистости или отбирается полностью.

На спектральный анализ требуется навеска до 0,5 г. Эту навеску можно отобрать из навески на химический анализ, предварительно тщательно перемешав пробу для ее усреднения.

Термический анализ ведется с использованием навесок 0,02-0,1 г. Такие количества минерала могут быть отобраны непосредственно в поле. Для слюд, хлоритов, амфиболов рекомендуемый способ подготовки - настриг. Конечная крупность пробы должна находиться в пределах 0,14-0,07 мм.

Навеска минерала для рентгеноструктурного анализа составляет 5-10 г. Крупность измельчения 0,14-0,07 мм. Но возможно определение и из навесок 0,5 г.

При исследованиях минералов методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) минимальное количество анализируемого минерала не превышает десятых долей грамма (в среднем для контрольных определений - 1,0-1,5 г) в аналитической крупности.

Изучение магнитной восприимчивости и других магнитных характеристик минералов выполняется на навесках 15-40 г.

Почти все физические параметры минералов зависят, в различной степени, от крупности анализируемой пробы. Поэтому для получения сопоставимых данных необходимо придерживаться одинаковой крупности для различных минералов и видов анализов.

## ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Микроскопическое изучение прозрачных полированных и комбинированных шлифов - один из главных видов анализа при детальном изучении железисто-кремнистых пород, позволяющий решать целый ряд важных для разведочной и эксплуатационной геологии задач, основными из которых являются:

- уточнение минерального состава,
- определение структуры и ее количественная оценка,
- уточнение типизации пород и руд,
- решение генетических вопросов.

Можно рекомендовать следующий минимальный объем исследований для:

1. Проб на выделение мономинеральных фракций:

- а) видимая изменчивость оптических свойств минерала;
- б) крупность минерала;
- в) характер сростаний с другими минералами.

2. Пробы на лабораторные и промышленные технологические испытания:

- а) определение основных минералов;
- б) крупность основных минералов;
- в) характер сростаний между минералами;
- г) определение количественных соотношений между минералами и изменчивость их по пробе.

3. Минералого-петрографического описания месторождений и отдельных участков:

- а) определение минералов;
- б) крупность и характер сростаний между минералами;
- в) определение количественных соотношений между минералами;
- г) определение оптических свойств и микротвердости минералов;
- д) определение ориентировки минералов;
- е) генетические взаимоотношения между минералами.

Для удобства дальнейшей обработки и систематизации, данные



химических и минералого-петрографических исследований заносятся в специальные бланки (табл. 3).

В таблицах 8, 11 приводятся основные физико-химические свойства породообразующих минералов Кривбасса, важные для их диагностики и геолого-технологической оценки железистых кварцитов.

В настоящее время еще нет универсального количественного показателя структур железистых кварцитов. Поэтому структуры оцениваются качественно по известным классификациям /Половинкина, 1966; Гершойг, 1968; Пирогов, 1969/ с добавлением массовых измерений размеров зерен основных породообразующих минералов.

Крупность зерен рудных и нерудных минералов измеряется в прозрачных и полированных шлифах. При этом следует учитывать, что при измерении в прозрачных шлифах можно измерять зерна нерудных минералов, а для рудных минералов будут измеряться только размеры агрегатов зерен.

В полированных шлифах можно измерить только зерна рудных и нерудных минералов, обладающих четкой анизотропией. В том случае если минерал изотропный и имеет сплошные ленточные и другие значительные по размерам типы сростаний, рекомендуется производить слабое травление для выявления межзерновых границ. Для тонкозернистых пород, какими являются железистые кварциты Криворожского бассейна, наиболее рационально измерение крупности зерен рудных минералов производить в полированных шлифах. В них все измерения и наблюдения ведутся только в плоскости приполировки. В прозрачных же шлифах всегда рассматривается объем и тонкие детали строения минералов соизмеримые с толщиной шлифа, как правило, не просматриваются и не могут быть измерены. Непосредственное измерение каждого зерна минерала при массовых замерах обычно занимает много времени, часто требуется перемещение шлифа в разных направлениях с вращением. Поэтому рекомендуется производить прямые статистические подсчеты под микроскопом, считая сколько зерен укладывается в определенное число делений шкалы или сетки окулярного микрометра. Увеличение, при котором производятся подсчеты, выбирается таким образом, чтобы самое меньшее из измеряемых зерен укладывалось в 2-3 деления окулярной линейки. Интервал подсчетов должен составлять 2-5 делений, т.е. размеры зерен в шлифах могут варьировать в широких пределах. Для крупных зерен, количество которых невелико, пределы интервалов подсчетов можно нелинейно увеличивать.

Кроме описанного метода существует весьма перспективный фотометрический метод. Сущность его заключается в следующем:

1. По характерным шлифам в одном, реже в двух направлениях производится серия микроснимков частично перекрывающих друг друга.
2. Полученные снимки монтируются в увеличенную панораму шлифа.
3. На панораме линейкой выполняются все необходимые измерения и подсчеты аналогично прямым наблюдениям под микроскопом. При этом учитывается точный масштаб снимка.

Недостатком этого метода является необходимость большого количества микрофотографий, производство которых занимает определенное время. Однако если по этой же панораме выполнить подсчеты содержания минералов, то время, затраченное на их изготовление, обычно компенсируется. Кроме того некоторая часть таких фотографий может служить иллюстративным материалом для отчетов.

При оценке крупности и количественных соотношений рудных и нерудных минералов окисленных плотных руд применимы все вышеуказанные методы. При оценке же крупности сильно дезинтегрированных маршаллитизированных окисленных железистых кварцитов возможен и эффективен метод рассева пробы. Это позволяет довольно точно оценить гранулометрический состав всей крупности в узких классах и по весовому выходу классов сделать пересчет на всю исходную пробу в целом.

Результаты измерений по любому методу могут быть представлены в виде частотной кривой, куммулятивной кривой и гистограммы. Для технологов-обогащителей обычно требуются данные по преобладающей крупности минералов, наиболее часто встречающаяся крупность. Эти данные легко получить на основании выполненных измерений.

Более детально, вопросы количественных измерений под микроскопом и оценку точности выполненных измерений можно найти в работах А.А. Глаголева (1941) и Чейза (1963).

Данные, полученные при детальном петрографическом изучении руд, могут быть использованы для решения геологических и технологических задач при оценке месторождений железистых кварцитов. В первую очередь это составление и детализация основных типов пород и руд месторождения по петрографо-минералогическим факторам. Выделение таких разновидностей позволяет детально проследивать отдельные характерные пачки руд, как маркирующие горизонты при структурном

картировании, интерпретировать данные эксплуатационной разведки на глубину, составлять поуступные планы типов руд на разрабатываемых месторождениях, рационально производить месячное и перспективное годовое планирование горных работ.

Детальное минералого-петрографическое описание проб для выделения мономинеральных фракций дает возможность установить изменчивость химического состава предполагаемого к выделению минерала, оценить размер его зерен и определить конечную крупность измельчения, возможность засорения мономинеральной фракции другими минералами.

Обычно, выделяемые по данным минералого-петрографических исследований типы руд достаточно четко отличаются и технологическими параметрами. Преимущества такой типизации в том, что типы руд имеют определенные характерные геологические границы, которые могут легко выделяться рядовым геологическим персоналом.

Оценка технологических показателей типов руд производится по лабораторным и технологическим пробам. Предварительное текстурное и минералого-петрографическое описание проб позволяет технологом получить исходные данные для разработки методики испытаний, оценить крупность дробления и измельчения по стадиям обогащения и подготовки руды, сделать выводы по конечным результатам испытаний.

Известно, что для получения плановых содержаний железа в концентрате по некоторым типам руд необходимо измельчение выше, чем это существует на обогатительной фабрике. Поэтому, в настоящее время все горно-обогатительные комбинаты Кривого Рога применяют в той или иной степени предварительное усреднение руд, согласно разработанным на предприятиях типизациям руд месторождений. Важное практическое значение имеет определение минералов, содержащих вредные для дальнейшего металлургического передела примеси. Присутствие пирротина в железистых кварцитах Ингулецкого месторождения не позволяет получать малосернистые концентраты, так как он практически полностью извлекается в магнитный концентрат. Уточнение распределения этого минерала по месторождению позволяет рационально планировать оптимальное содержание серы в концентрате.

Для характеристики среднего минерального состава проб отдельных пачек пород и целых горизонтов применяется пересчет полных химических анализов. Чтобы расчет наиболее близко соответствовал действительному минеральному составу, необходимы данные мине-

радого-петрографических исследований и анализы мономинеральных фракций, уточняющие состав отдельных минералов. Применительно к железистым кварцитам и сланцевым породам Кривого Рога получили широкое распространение комбинированный метод пересчета с использованием фазовых определений и ряда коэффициентов, полученных расчетом или эмпирически.

Данный метод позволяет без промежуточных вспомогательных данных непосредственно получать весовые содержания минералов.

Методическая сущность данного пересчета заключается в следующем: по данным фазового анализа рассчитывается содержание магнетита и количество связанных с ним окислов железа. Далее, последовательно вычитая из общего содержания окислов в породе содержание их в магнетите, получают возможность расчета следующих минералов по коэффициентам окислов, входящих в них. Данные по молекулярным весам окислов, встречающихся в железисто-кремнистых породах Кривого Рога, пересчетные коэффициенты для расчета содержания элементов по содержанию окислов и расчета содержания окислов по содержанию элементов приводятся ниже (табл. 4). Порядок пересчета различен для окисленных и неокисленных железисто-кремнистых пород.

#### С х е м а пересчета анализов неокисленных железистых кварцитов

Исходные данные: Полный химический и фазовый анализы, перечень основных породообразующих минералов.

1. По содержанию Fe магнетита рассчитывается весовое содержание магнетита и количество FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, связанное в нем. Содержание магнетита<sup>1</sup>

$$\text{Сод. магн.} = \frac{\text{Fe}_{\text{магн.}}}{0,724}$$

$$\text{FeO}_{\text{магн.}} = \text{сод. магн.} \cdot 0,31$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{сод. магн.} - \text{FeO}_{\text{магн.}}$$

$$\text{FeO}_{\text{магн.}} = \frac{\text{Fe}_{\text{магн.}} \cdot 129}{31}$$

2. По содержанию P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - рассчитывается и содержание CaO в апатите и весовое количество его в пробе:

$$\text{P}_2\text{O}_5 = \frac{P}{0,44} \quad \text{CaO}_{\text{апат.}} = 1,31 \text{ P}_2\text{O}_5$$

$$\text{сод. апат.} = \text{P}_2\text{O}_5 + \text{CaO}_{\text{апат.}}$$

<sup>1</sup> Здесь и далее в расчетных формулах содержания окислов и минералов приняты в весовых процентах.



## Молекулярные веса окислов

$\text{SiO}_2$ - 60,0848 $\approx$ 60,09	$\text{MnO}$ - 70,9474 $\approx$ 70,95
$\text{TiO}_2$ - 79,8988 $\approx$ 79,90	$\text{Na}_2\text{O}$ - 61,9790 $\approx$ 61,98
$\text{Al}_2\text{O}_3$ - 101,9612 $\approx$ 101,96	$\text{K}_2\text{O}$ - 94,2034 $\approx$ 94,20
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ - 159,6922 $\approx$ 159,69	$\text{CO}_2$ - 44,0099 $\approx$ 44,00
$\text{FeO}$ - 71,8464 $\approx$ 71,85	$\text{P}_2\text{O}_5$ - 141,9446 $\approx$ 141,94
$\text{CaO}$ - 56,0794 $\approx$ 56,08	$\text{SO}_3$ - 80,0622 $\approx$ 80,05
$\text{MgO}$ - 40,3044 $\approx$ 40,30	$\text{H}_2\text{O}$ - 18,01534 $\approx$ 18,02

## Пересчетные коэффициенты

$\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Si} = 0,467$	$\text{MgO} \rightarrow \text{Mg} = 0,603$
$\text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 = 2,139$	$\text{Mg} \rightarrow \text{MgO} = 1,658$
$\text{TiO}_2 \rightarrow \text{Ti} = 0,599$	$\text{MnO} \rightarrow \text{Mn} = 0,774$
$\text{Ti} \rightarrow \text{TiO}_2 = 1,699$	$\text{Mn} \rightarrow \text{MnO} = 1,291$
$\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al} = 0,265$	$\text{Na}_2\text{O} \rightarrow \text{Na} = 0,371$
$\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 = 3,779$	$\text{Na} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} = 2,696$
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe} = 0,777$	$\text{K}_2\text{O} \rightarrow \text{K} = 0,383$
$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,430$	$\text{K} \rightarrow \text{K}_2\text{O} = 2,409$
$\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} = 0,699$	$\text{CO}_2 \rightarrow \text{C} = 0,273$
$\text{Fe} \rightarrow \text{FeO} = 1,286$	$\text{C} \rightarrow \text{CO}_2 = 3,664$
$\text{CaO} \rightarrow \text{Ca} = 0,715$	$\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{P} = 0,218$
$\text{Ca} \rightarrow \text{CaO} = 1,399$	$\text{P} \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5 = 4,583$
$\text{SO}_3 \rightarrow \text{S} = 0,400$	
$\text{S} \rightarrow \text{SO}_3 = 2,497$	

3. В случае если содержание серы (сульфидной) превышает 0,1% рассчитывается количество двухвалентного железа в сульфидах (пирит или пирротин):

а) пирит, марказит

$$Fe_{пир}^{+2} = S_{од} \cdot 0,86 \quad FeO_{пир} = Fe_{пир}^{+2} \cdot 1,29$$

$$\text{сод. пир.} = S_{од} + Fe_{пир}^{+2}$$

б) пирротин

$$Fe_{пирр.}^{+2} = S \cdot 1,22 \quad FeO_{пирр.} = Fe_{пирр.}^{+2} \cdot 1,29$$

$$Fe_{пирр.}^{+3} = S \cdot 0,344 \quad Fe_2O_3_{пирр.} = Fe_{пирр.}^{+3} \cdot 1,46$$

$$\text{сод. пирротина} = S + Fe_{пирр.}^{+2} + Fe_{пирр.}^{+3}$$

4. По содержанию  $Al_2O_3$  и эмпирическим коэффициентам для других окислов ( $SiO_2, Fe_2O_3, FeO, CaO, MgO, Na_2O, K_2O, H_2O$ ) рассчитывается количество этих окислов связанных в силикатах. Сумма всех окислов дает весовое содержание силикатов. Коэффициенты обычно устанавливаются на основании анализов мономинеральных фракций силикатов или из литературных данных. Анализ силикатов по месторождениям ГОК Кривбасса приводятся в табл. 11.

5. По остатку  $Fe_2O_3$  подсчитывается содержание гематита. Сод. гематита =  $Fe_2O_3$  анал. -  $Fe_2O_3$  пирр. -  $Fe_2O_3$  сил. -  $Fe_2O_3$  матн. Если в пробе содержатся карбонаты, то необходимо, по данным оптических и термических исследований, определить ориентировочно их состав. В табл. 11 приводятся анализы карбонатов различных месторождений, отработываемых ГОКами.

В зависимости от этого расчет карбонатов может выполняться по следующим схемам:

6<sup>а</sup>. По остатку  $CaO$  рассчитывают доломит и содержание  $CO_2$  в нем:

$$CaO \text{ доломита} = Ca_{ан} - CaO_{патита}$$

$$CO_2 \text{ доломита} = CaO \text{ долом.} \cdot 1,58; \quad MgO_{долом.} = CaO \cdot 0,71$$

$$\text{Сод. дол.} = CaO_{долом.} + MgO_{долом.} + CO_2_{долом.}$$

7<sup>а</sup>. По остатку  $CO_2$  рассчитывается железистый карбонат (сидерит, сидеронезит и т.д.):

$$CO_2 \text{ сид.} = CO_2 \text{ ав.} - CO_2 \text{ дол.}$$

$$FeO \text{ сид.} = CO_2 \text{ сид.} \cdot 1,5$$

$$MgO \text{ сид.} = CO_2 \cdot 0,13$$

$$\text{Сод. сид.} = FeO_{сид.} + MgO_{сид.} + CO_2_{сид.}$$

6<sup>б</sup>. По остатку FeO рассчитывается железистый карбонат:

$$\text{FeO}_{\text{сид.}} = \text{FeO}_{\text{ан.}} - \text{FeO}_{\text{сил.}}$$

$$\text{CO}_2_{\text{сид.}} = \text{FeO}_{\text{сид.}} \cdot 0,77$$

$$\text{MgO}_{\text{сид.}} = \text{FeO}_{\text{сид.}} \cdot 0,25$$

$$\text{Сод.сид.} = \text{FeO}_{\text{сид.}} + \text{CO}_2_{\text{сид.}} + \text{MgO}_{\text{сид.}}$$

7<sup>б</sup>. По остатку CO<sub>2</sub> рассчитывается нерудный карбонат:

$$\text{CO}_2_{\text{кар.}} = \text{CO}_2_{\text{ан.}} - \text{CO}_2_{\text{сид.}}$$

$$\text{MgO}_{\text{кар.}} = \text{MgO}_{\text{ан.}} - \text{MgO}_{\text{сид.}}$$

$$\text{CaO}_{\text{кар.}} = \text{CaO}_{\text{ан.}} - \text{CaO}_{\text{апатита}}$$

$$\text{Сод.карбоната} = \text{CO}_2_{\text{карб.}} + \text{MgO}_{\text{карб.}} + \text{CaO}_{\text{карб.}}$$

8. По остатку SiO<sub>2</sub> подсчитывается весовое содержание кварца:

$$\text{Сод. кварца} = \text{SiO}_2_{\text{ан.}} - \text{SiO}_2_{\text{сил.}}$$

Возможно изменение порядка расчета, когда содержание силикатов подсчитывается после расчета карбонатов. Содержание силикатов может также рассчитываться по содержанию в них кристаллизационной воды и др. варианты.

Необходимо отметить, что данные о составе мономинеральных фракций имеются не по всем участкам Кривбасса. Исследования показали, что от месторождения к месторождению состав карбонатов и силикатов по отдельным компонентам может отличаться на 5-15%. То же отмечается и в разрезе одного стратиграфического горизонта, но размах колебаний здесь несколько уже (5-10%). Примеры пересчета некоторых анализов неокисленных кварцитов приведены в таблицах. 5, 6

#### С х е м а пересчета анализов окисленных железистых кварцитов

Исходные данные: полный химический и фазовый анализы, перечень основных породообразующих минералов. Приведенная схема приемлема для случаев, когда в окисленных кварцитах вторичная карбонатизация и хлоритизация не устанавливается.

1. По P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> рассчитывается апатит

2. По железу, связанному с магнетитом (фазовый анализ), рассчитывается магнетит:

$$\text{Магнетит (реликты)} = \text{Fe магнетита} : 0,724.$$

Для дальнейшего расчета мартита (гематита) вычисляют количе-

Таблица 5

Пересчет химического анализа магнетитовых кварцитов на минеральный состав

Месторождение Ингулецкое, ИнГОК, карьер, уступ +12 м

Оксиды	Содержание оксидов, %	Содержание минералов, %							
		магнетит	гематит	апатит	сульфид (пирит)	кварц	кальцит	железистый карбонат	железистый силикат
<i>FeO<sub>ц</sub></i>	40,57	34,38							
<i>FeO</i>	19,14	14,72			0,04Fe <sub>2</sub> S <sub>2</sub>			1,46	2,91
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	36,73	32,77	2,75		0,05FeO				1,21
<i>SiO<sub>2</sub></i>	39,02					33,38			5,64
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0,60								0,60
<i>CaO</i>	0,72			0,26		-	0,46		
<i>MgO</i>	1,31							0,13	1,18
<i>MnO</i>	0,09							0,09	
<i>CO<sub>2</sub></i>	1,33						0,36	0,97	
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0,197			0,20					
<i>S</i>	0,047				0,047				
<i>H<sub>2</sub>O</i>	0,43								0,43
<i>Fe магн</i>	34,38								
Сумма	99,61	47,49	2,75	0,46	0,087	33,38	0,82	2,65	11,97

Минеральный состав

Магнетит	- 47,5%
Гематит	- 2,7%
Кварц	- 33,4%
Железистый силикат	- 12,0%
Железистый карбонат	- 2,6%
Остальные минералы	- 1,3%

Пересчет химического анализа силикат-магнетитовых кварцитов на минеральный состав.

Месторождение Валявкинское, НКГОК. Скв. № I23I2 гл. I66, I-303,5 м

Окислы	Содержание окисла, %	Содержание минералов, %						
		апатит	карбонаты		магнетит	силикаты	гематит	кварц
			нежелезистые	железистые				
$SiO_2$	41,2					11,79		29,41
$Al_2O_3$	0,45					0,45		
$Fe_2O_3$	34,5				30,51	1,00	2,99	
$FeO$	16,39			0,70	13,70	1,99		
$MnO$	0,12			0,12				
$MgO$	2,74		0,38	0,20		1,72		
$CaO$	1,47	0,13	1,24					
$K_2O$	0,10					0,10		
$P_2O_5$	0,10	0,10						
$CO_2$	2,68		1,96	0,72				
$S$	0,02							
Гематит	32,01							
Сумма	99,77	0,23	4,08	1,74	44,21	17,05	2,99	29,41

Минеральный состав:

магнетит	- 44,2%
гематит	- 3,0%
кварц	- 29,4%
карбонаты	- 5,8%
силикаты	- 17,0%
остальные минералы	- 0,6%

ство  $Fe_2O_3$ , приходящегося на магнетит:

$Fe_2O_3$  магнетита (редиктов) =  $FeO_{\text{магн.}} \cdot 2,22$ , где

$FeO_{\text{магнетита}} = \frac{Fe_{\text{магнетит}} \cdot 1,22}{3}$

$Fe^{+2}_{\text{магнетита}} = FeO_{\text{магнетита}} \cdot 0,778$

В случае, когда определения магнетита (фазовый анализ) в пробах не производились и при полном отсутствии карбонатов и силикатов, возможно приближенное определение количеств магнетита по "Универсальным таблицам для пересчета минералогического состава горных пород на химический состав и химического состава на минералогический" (Висньевский, 1965) путем перехода от  $FeO$  на количество минерала магнетита и табличного определения содержания в нем  $Fe_2O_3$ .

3. По содержанию  $Al_2O_3$  рассчитывается содержание каолинита:

$$H_2O_{\text{каоил.}} = Al_2O_3 \cdot 0,35$$

$$SiO_2_{\text{каоил.}} = Al_2O_3 \cdot 1,15$$

Содержание каолинита =  $Al_2O_3 + SiO_2_{\text{каоил.}} + H_2O_{\text{каоил.}}$

4. Содержание кварца рассчитывается по разности между содержанием  $SiO_2$  по анализу и  $SiO_2_{\text{каоил.}}$

Содержание кварца =  $SiO_{2\text{ан.}} - SiO_2_{\text{каоил.}}$

5. Гидроокислы железа рассчитываются исходя из формулы моногидрата  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ . Первоначально определяется  $H_2O^+$  гидроокислов:

$$H_2O^+_{\text{гидр.}} = H_2O^+_{\text{ан.}} - H_2O_{\text{каоил.}}$$

Затем определяется содержание  $Fe_2O_3$  гидроокислов:

$$Fe_2O_3_{\text{гидр.}} = H_2O^+_{\text{гидр.}} \cdot 6,4$$

Содержание гидроокислов равняется сумме этих компонентов:

Сод. гидр.  $Fe = H_2O^+_{\text{гидр.}} + Fe_2O_3_{\text{гидр.}}$

В случае когда нет определений  $H_2O^+$  в рудах, а есть значения только потерь при прокаливании (п.п.п. истинные), можно произвести приближенное определение количества гидроокислов железа.

$H_2O_{\text{гидроок.}} Fe = \text{п.п.п.} - (CO_2 + S + H_2O_{\text{каолинита}})$ , где используются химические определения п.п.п.  $CO_2$ ;  $S$ , а  $H_2O$  каолинита рассчитывается по приведенной выше формуле из "Универсальных таблиц" (Висньевский, 1965).

В заключение рассчитывается количество мартита (гематита) по

Пересчет химического анализа окисленных кварцитов четвертого  
железистого горизонта на минеральный состав.  
Месторождение Скелеватское-Магнетитовое

Окислы	Содержание окислов, %	Содержание минералов, %						
		апатит	карбонаты	магнетит	каолинит	гидроок. железа	гематит+мартит	кварц
$SiO_2$	40,4					0,74		39,66
$Al_2O_3$	0,64					0,64		
$Fe_2O_3$	56,20			2,01		4,29	49,9	
$FeO$	0,90			0,90				
$MnO$	0,008		0,008					
$MgO$	0,25		0,25					
$CoO$	0,26	0,05	0,21					
$P_2O_5$	0,039	0,039						
$CO_2$	0,20		0,20					
$H_2O^+$	0,9				0,22	0,67		
$Fe_{\text{своб}}$	2,90							
Сумма	99,79	0,089	0,668	2,91	1,60	4,96	49,9	39,66

## Минеральный состав:

Магнетит	-	2,9%
Гематит (мартит)	-	49,9%
Гидроокислы железа	-	5,0%
Кварц	-	39,7%
Каолинит	-	1,6%
Карбонаты	-	0,7%

$Fe_2O_3$  общему, определенному химически и рассчитанным значением  $Fe_2O_3$  гидроокислов железа и магнетита:

Мартит (гематит) =  $Fe_2O_3$  ан. -  $Fe_2O_3$  гидроок. -  $Fe_2O_3$  магнетита (реликты), где  $Fe_2O_3$  ан. - количество его по химическому анализу (общее).

Соотношение минералов (в весовых процентах): мартита, гематита, дисперсного гематита возможно рассчитать только по минералогопетрографическим определениям под микроскопом.

Пример пересчета химического анализа окисленных железистых кварцитов Скелеватского-Магнетитового приведен в таблице 7. Погрешность расчета минерального состава по приведенным схемам до 5%.

### ИЗУЧЕНИЕ ПОРОДОБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Состав минералов определяет качество идеальных концентратов, возможные потери в хвостах, позволяет рассчитывать количественные соотношения минералов, решать комплекс генетических вопросов. Получение чистых мономинеральных фракций из железистых кварцитов значительно осложняется тонкозернистым строением, тесными взаимными прорастаниями рудных и нерудных минералов и может быть достигнуто за счет снижения полноты их извлечения.

В последнее время наблюдается тенденция выделить технологию получения мономинеральных фракций в самостоятельную область исследования. Появились обобщающие руководства (Бергер, Ефимов, 1963), промышленностью налажен выпуск малогабаритной обогатительной лаборатории (МОЛМ) (Коп, Разумная и др., 1963).

Наличие аппаратов МОЛМ позволяет рекомендовать изучение состава и свойств минералов по их мономинеральным фракциям, как метод изучения вещественного состава пород и руд месторождений железистых кварцитов.

Пробы, отобранные для выделения мономинеральных фракций, подвергаются дроблению, измельчению и обогащению.

Степень дробления и измельчения пробы определяется характером вкрапленности минерала и оценивается по наблюдению в шлифах. Практически для всех пород железорудной толщи Кривбасса можно рекомендовать измельчения до крупности 0,1-0,075 мм. Измельчение до этой крупности производится в 2-3 стадии с выделением на каждой



Основные физико-химические свойства минералов железисто-кремнистых пород

№ пп	Название минерала	Химическая формула	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Твердость (по шкале Мооса) и механические свойства, микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>	Спайность, блеск	Цвет минерала и агрегатов, черта	Форма выделений (габитус), главные спутники и распространение
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Графит (графитит)	C	2,09-2,23	Мягкий и гибкий в тонких листовых	Совершенная, металлический до жирного	Железно-черный, темно-серый, черта черная	Очень мелкие выделения в серпите, биотите, сидерите
2	Пирротин	Fe <sub>7</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup> S <sub>9</sub>	4,49-4,78	3,5-4,5 хрупкий 280-330	Металлический	Бронзово-желтый, черта серовато-черная	В виде мелкой неправильной вкрапленности, реже в жильных выделениях совместно с магнетитом, кумингтонитом, биотитом, кварцем. Во вкрапленности

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Халькопирит	$CuFeS_2$	4, I-4, 3	3, 5-4, 0 сравнительно хрупкий 203-268	Несовершенная, металлический	Латунно-желтый, черта зелено-ваточерная	Неправильные зерна размерами до 0, I-0, 2 мм. Пирит, пирротин, магнетит; жильный кварц. Встречается в гидротермальных жилах, реже совместно с другими сульфидами в кварцитах
4	Марказит	$FeS_2$	4, 3-4, 9	6 хрупкий I504-I682	Несовершенная, металлический	Латунно-желтый с сероватым, зеленоватым оттенком, черта темная, зеленоватосерая	Неправильные агрегаты, ксеноморфные зерна, также почковидные желваки. Жильный кварц, карбонат, биотит, хлорит, куммингтонит Распространен широко
5	Пирит	$FeS_2$	4, 9-5, 2	6, 0-6, 5 хрупкий I100-I504	Весьма несовершенная, металлический	Бледно-латунно-желтый с бурой побежалостью, черта буровато или зеленоваточерная	Идиоморфные кубические кристаллы, реже ксеноморфные выделения. Хлорит, биотит, куммингтонит, кварц и др. Встречается часто
6	Гематит	$Fe_2O_3$	5, 0-5, 3	5, 5-6, 0 хрупкий 945-1027	Отсутствует, есть отдельность. Блеск металлический, излом полураковистый	Железно-черный до темно-стально-серого, черта вишнево-красная, красно-бурая	Чешуйчатые, таблитчатые, хлопьевидные зерна различных размеров. Встречается совместно с магнетитом, кварцем. Основной рудный минерал гематитовых руд и кварцитов

28

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Мартит	$Fe_2O_3$	4, 8-5, 3	6-7 хрупкий 945-1071	Отсутствует, есть отдельность. Блеск подуметаллический	Железно-черный, черта красноватокоричневая	Псевдоморфные октаэдрические зерна, сростки этих зерен. Гематит, гидроокислы железа, кварц. Основной рудный минерал окисленных железистых кварцитов
8	Магнетит	$Fe_3O_4$	4, 92-5, 12	5, 5-65 хрупкий 487-675	Неясная, черный металлический	Черный, черта черная	Идиоморфные октаэдрические зерна, агрегаты этих зерен. Кварц, гематит, хлорит, биотит, карбонаты, куммингтонит. Основной рудный минерал
9	Рутил	$TiO_2$	4, 2-5, 2	6-6, 5 хрупкий	Совершенная, металлический, алмазный	Красновато-бурый, желтоватый до черного, черта бледно-коричневая	Скопления тонких темно-коричневых иголок и характерных колеччатых двойников. Встречается редко в сланцах и сланцевых слойках
10	Кварц	$SiO_2$	2, 65	7 хрупкий	Несовершенная, стеклянная до жирного	Бесцветный, белый, желтоватый, синеватый, черта бесцветная	Медкозернистые агрегаты с роговиковой структурой, редко четки, друзы. Магнетит, силикаты, карбонаты и др. Главный нерудный минерал железистых кварцитов

29

I	2	3	4	5	6	7	8
II	Халцедон	$SiO_2$	2,55-2,63	6	Шелковистый, восковой	Серый, желтоватый, красный, голубоватый, белый, черта беловатая	Натечные, иногда гроздьевидные агрегаты, сплошные жильные выделения с воднокнистым строением. Опал, кварц, селадонит и др. Встречается редко.
I2	Опал	$SiO_2 \cdot nH_2O$	1,9-2,3	3,5-6,5	Восковый, жирный	Бесцветный, серый, беловатый, голубоватый и т.д., черта белая	Аморфный скрыто кристаллический. Неправильные выделения. Халцедон, кварц, селадонит. Встречается редко
I3	Гетит	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$	4,0-4,4	4,5-5,5 хрупкий 487-1030	Весьма совершенная, алмазный, шелковый	Красно-бурый, темно-коричневый, темно-бурый, почти черный, черта кирпичевато-желтая	Сплошные массы, натечные, иногда воднокнистые, чешуйчатые образования. Гематит, гидрогематит, лепидокрокит и др. Распространен широко
I4	Лепидокрокит	$FeO(OH)$	3,84-4,10	4-5	Весьма совершенная, алмазный	Красный до красновато-черного. Черта оранжевая до кирпично-красной	Сплошные массы, воднокнистые и почковидные агрегаты. Гематит, гетит, кварц и другие. Распространен слабо

34

I	2	3	4	5	6	7	8
I5	Апатит	$Ca_3(PO_4)_2 (F, Cl)$	3,18	5 хрупкий	Несовершенная, стекляннo-жирноватый	Бесцветный, белый, зеленый, голубой, фиолетовый, бурый, черта белая	Короткие гексагональные призмочки, окатанные зерна. Рассеян в железистых кварцитах и сланцах
I6	Ставролит	$Fe_2Al_2O_7(OH)[SiO_4]$	3,65-3,80	7,0-7,5	Средняя, стеклянный	Красновато-бурый до буровато-черного	Короткие толстые призматические кристаллы. Гранат, куммингтонит, биотит, кварц. Встречается редко
I7	Альмандин	$Fe_3Al_2[SiO_6]_3$	3,51-4,20	7,0-7,5	Несовершенная, жирный, стеклянный	Розовый, красный, темно-бурый	Преимущественно идиоморфные кристаллы. Магнетит, кварц, куммингтонит, биотит. Распространен широко
I8	Куммингтонит	$(Mg, Fe)_3[Si_4O_{12}](OH)_2$	3,34	5-6	Совершенная, стеклянный	Серовато-желтый, зеленовато-желтый. Черта желтовато-белая	Лучистые пучкообразные, веерообразные агрегаты очень удлиненных зерен. Кварц, магнетит, гранат, биотит. Один из основных минералов силикатных слоев железистых кварцитов
I9	Глаукофан (родузит)	$Na_2(Mg, Fe)_3Al_2(OH)_2[Si_8O_{22}]$	3,1-3,2	6,0-6,5	Совершенная, стеклянный	Характерные различные оттенки синего цвета, черта голубовато-серая	Листовые, волокнистые часто асбестовидные агрегаты. Эгирия, рибекит. Распространен на участках проявления щелочного метасоматоза

35

1	2	3	4	5	6	7	8
20	Рибекит (крокидолит)	$Mg_2(Fe, Mg)_5Fe_2(OH)_2$ [ $Si_8O_{22}$ ]	3,38	5,5-6,0	Совершенная, стеклянный, в агрегатах матовый	Различные оттенки синего цвета	Ветвисто-волокнистые, листоватые агрегаты. Крокидолит асбесто- видный. Эгирин, родузит, маг- нетит. Распространен на участках проявлени- я щелочного метасом- атоза
21		$K(Mg, Fe)_3(OH)_2$ [ $Al_2Si_2O_{10}$ ]	3,02-3,12	2-3	Весьма совер- шенная, стеклянный	Черный, зеленовато- черный, черта темно-зеленова- тая	Листоватые и чешуйча- тые агрегаты, созда- ющие лепидобластовую ткань силикатных слоев. Кварц, магнетит, кум- мингтонит, гранаты. Распространен широко
22	Муско- вит (серицит)	$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)$	2,76-3,10	2-3	Весьма совер- шенная, стеклянный	Бесцветный, часто с желтоватым и зеленоватым от- тенком, черта белая	Чаще мелкочешуйчатый серицит, реже листо- вые агрегаты. Карбонаты, хлорит, кварц. Распространен незначительно
23	Хлори- тоид	$Fe_2Al(OH)_4[Al_2(Si_2O_7)_2]$	3,4-3,8	5,0-6,5	Совершенная, стеклянный	Желто-зеленый до черновато- зеленого	Удлиненные пластинча- тые кристаллы, снопо- видные скопления и крестообразные сростки. Кварц, хлорит, серицит, магнетит. Широко рас- пространен в сланцах и сланцевых слоях, в магнетитовых кварцитах.

8

1	2	3	4	5	6	7	8
24	Хлориты	$(Mg^{2+}, Fe^{2+})_3(OH)_6[Al_2Si_2O_{10}]$	2,6-3,3	2-3	Совершенная, матовый	Зелено-бурый, желто-зеленый, в агрегатах с шелко- вистым отливом	Агрегаты ксеноморфных зерен. В жилах пре- вильной формы. Карбонат, магнетит, биотит, куммингтонит, гранат, кварц. Широко распространен в железистых и сланце- вых породах и рудах
25	Каолинит	$Al_2(OH)_6[Si_2O_5]$	2,58-2,63	2,5-3,0	Весьма совер- шенная, перламутро- вый, в сплош- ных массах матовый	Отдельные чешуй- ки бесцветные, сплошные массы белые	Спутано-волокнистые агрегаты, прослой и прожилки сплошных масс. Мартит, гидроксиды железа. Широко распространен в зоне гипергенеза.
26	Гизин- герит	$(Mg, Fe, Mn)_3O \cdot Fe_2O_3 \cdot$ $3Si_2O_7 \cdot 2H_2O - 4H_2O$	2,5	3	Несовершен- ная, матовый, иногда полу- стеклянный	Смолисто-черный, травянисто-зеле- ный, зеленовато- желтый. Черта черновато-бурова- то-зеленая	Сплошные, аморфные и чешуйчатые массы. Кварц, магнетит, эгирин, биотит, стильп- номелан и др. Распространен незначи- тельно
27	Альбит	$Na[AlSi_3O_8]$	2,62	6,0-6,5	Совершенная, стеклянный	Белый, серовато- белый, зеленова- то-синий, черта белая	Таблитчатые призматиче- ские и неправильные зерна. Кварц, щелочные амфи- болы, карбонаты, турма- лин. Встречается редко.

I	2	3	4	5	6	7	8
28	Кальцит	$CaCO_3$	2,6-2,8	3 хрупкий	Совершенная, стеклянный, перламутровый	Бесцветный, чаще белый, серый, черта белая	Агрегаты ксеноморфных изометричных зерен, в жилах преобладают круп- ные зерна и скопления. Широко распространен в метасоматитах, прожил- ках. Реже встречается в магнетитовых рудах
29	Доломит	$CaMg(CO_3)_2$	2,87	3,5-4,0 хрупкий	Совершенная, стеклянный до перламут- рового	Серовато-белый с желтым, буро- ватым оттенком, черта белова- тая	Сплошные массы, скопле- ния и прожилки, часто хорошо ограниченные кристаллы. Карбонат, кварц, магне- тит, хлорит и др. Имеет широкое распро- странение
30	Анкерит	$Ca(Mg, Fe^{+2})(CO_3)_2$	2,9-3,2	3,5	Совершенная, стеклянный	Белый, серый с различными от- тенками, черта белая	Сплошные зернистые массы. Тальк, биотит, магнетит, мушкетовит, сульфиды. Относится к малораспро- страненным метасомати- ческим и жильным карбо- натам
3I	Желези- стые карбо- наты	$(Fe_n Mg_{1-n})CO_3$	3,5-3,9	4,0-4,5	Совершенная, стеклянный	Серовато-белый, желтоватый, бурый, черта беловатая	Сплошные зернистые массы в слоях, крупные часто хорошо ограниченные выде- ления в жилах. Кварц, магнетит, хлорит, хлоритовид, куммингтовит, сульфиды. Широко распро- странен.

стадии готового продукта и доизмельчением более крупного. После измельчения следует произвести обесшламливание, т.е. выделить зерна мельче 10-15 мкм.

Дальнейшие обогатительные операции определяются физическими свойствами минералов (табл. 8). Для выделения магнетита используется магнитная сепарация в слабом магнитном поле. Гематит можно выделить в сильном магнитном поле, предварительно счистив пробу от магнетита.

Рудные минералы железистых кварцитов хорошо разделяются гравитационными методами, включая разделение в тяжелых жидкостях. Большие затруднения вызывает разделение нерудных минералов, для которых характерны тесные сростания и близкие (неконтрастные) физические свойства. В этих случаях рекомендуется использовать различия в форме зерен и коэффициенты трения на различных поверхностях. Реже используется флотационный метод. Еще реже рекомендуется использовать методы избирательного химического растворения, т.к. в этом случае нет гарантии полного сохранения исходного состава элементов-примесей в выделяемом минерале.

Для некоторых участков (например Ивгулепкое месторождение) можно рекомендовать отбор мономинеральной фракции гранатов в нижней части коры выветривания. Здесь наблюдается избирательное разрушение вмещающей биотито-куммингтонитовой ткани породы и порфириобласты граната предварительно легко обогащаются обычным растиранием и отмывкой.

Для выделения мартита из окисленных маршаллитизированных кварцитов (ЮГОК, НКГОК, ЦГОК) можно рекомендовать отмывку на гравитационном столике в крупности 0,1-0,05 мм. Соответственно кварц и гидроксиды железа выделяются параллельно и идут совместно в "слив".

На рисунках 6,7 приводятся практические схемы выделения некоторых минералов. Следует отметить, что каждая схема может быть дополнена и изменена в зависимости от имеющегося оборудования или проведенных дополнительных исследований.

Чистота выделяемых мономинеральных фракций контролируется обычно под микроскопом, в редких случаях - рентгеноструктурным, спектральным или термическим анализом.

Мономинеральная фракция считается достаточно чистой, если содержание минералов в ней не менее 97-98%, в некоторых случаях (кварцево-магнетитовая руда) допускается содержание 95-96%.

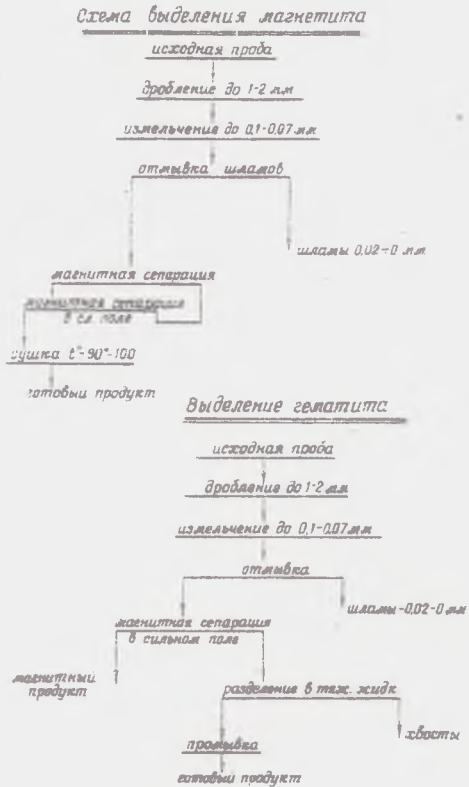


Рис. 6 Схема выделения магнетита и гематита.

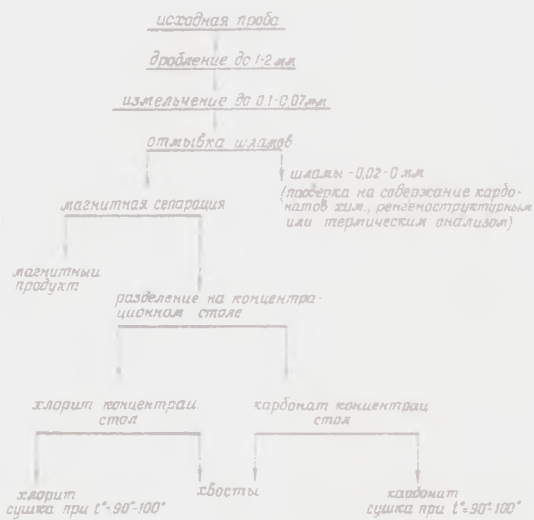


Рис. 7 Схема выделения хлорита и карбонатов.



Таблица 9

Расчет кристаллохимической формулы магнетита из магнетит-хлорит-карбонатных кварцитов четвертого железистого горизонта.

Новокриворожское месторождение

Оксиды	Совед-лоание %	Молек-коя-во x 1000	Поправ-ка на карбон	Атомное кол-во		Кол-во магнетита	Примечание
				Анионы	Катион		
SiO <sub>2</sub>	0.74						
TiO <sub>2</sub>	0.04	5		10	5	0,001	$K = \frac{17073}{2} = 4268$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	сл.						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	67.78	4244		12732	8488	1,989	
FeO	31.12	4331	13	4318	4318	1,011	$d = 5.15 \frac{2}{\text{см}^3}$
CaO	0.16	28	28	2	2	0	
MgO	0.01	2					
MnO	0.08	11		11	11	0,002	
CO <sub>2</sub>	0.18	41	41				
Сос	0.02						
Сумма	100.13			17073			

Формула  $Fe_{1.01}^{2+} Fe_{1.99}^{3+} O_4$

Таблица 10

Расчет формулы хлорита из хлорит-карбонат-магнетитовых кварцитов четвертого железистого горизонта.

Новокриворожское месторождение

Оксиды	Вес %	Молек-коя-во x 1000	Ионы		Кол-во	Основные харак-теристики хлорита
			метал	хл-слор.		
SiO <sub>2</sub>	23.9	400	400	800	2.75	$K = \frac{4000}{2}$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.2	178	356	534	2.45	$\frac{K}{SiO_2} = \frac{800}{400} = 1.56$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.1	25	50	75	0.34	
FeO	32.2	445	445	445	3.06	$\frac{K}{SiO_2} = \frac{800}{400} = 0.51$
MgO	8.1	181	181	181	1.24	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	13.3	751	1462	731		$f = \frac{400}{500} = 0.71$
Сумма	99.8					$\sigma = \frac{400}{500} = 0.12$

Формула

$(Si_{1.25} Al_{1.25})_{400} \{ (Al_{1.20} Fe_{0.54}^{2+})_{534} (Fe_{3.06}^{2+} Mg_{1.24})_{430} \}_{500} OH_{750} \cdot 100H_2O$

Выделенные фракции минералов, обычно, подвергаются практически всем типам анализов. В первую очередь химическому, спектральному, рентгеноструктурному, термическому. Если требуется, выполняются измерения физических свойств (удельный вес, магнитные свойства и др.).

По данным анализа мономинеральных фракций рассчитываются кристаллохимические формулы минералов.

Существует много методов расчета, детально описанных в соответствующих руководствах (Борнеман-Старынкевич, 1964; Булах, 1964). Не останавливаясь на разборе этих методов, укажем, что для большинства минералов Кривбасса удовлетворительные результаты получаются при расчете формул по кислороду. Качество рассчитываемой формулы прямо зависит от чистоты фракции. При наличии примесей в изучаемой пробе минерала, они должны исключаться по всем компонентам окислов.

Расчет выполняется до первых двух значащих цифр после запятой в формульных коэффициентах. Примеры расчета некоторых формул минералов приводятся в таблицах 9, 10

По данным анализа мономинеральных фракций обычно рассчитываются соотношения основных окислов в минералах, которые используются при пересчете полных химических анализов пород и руд на минералы.

В таблице 11 приводятся данные по химическому составу основных породообразующих минералов из месторождений, эксплуатируемых горнообогатительными комбинатами Кривбасса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше методики изучения железисто-кремнистых пород были практически опробованы геологическими службами в условиях действующих горнообогатительных комбинатов (НКГОК, ЮГОК, ИьГОК), разрабатывающих Новокриворожское, Скелеватское-Магнетитовое и Ингулецкое месторождения, при составлении и уточнении технологических классификаций окисленных и неокисленных руд, а также при оперативном их усреднении.

Обобщение данных детального изучения пород и руд месторождений позволили разработать детальную стратиграфическую схему четвер-

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Минерал	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	S	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O	Сум- ма	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 Гранат	37,80	0,20	20,37	2,56	26,21	0,97	1,81	3,66	0,02	-	-	-	-	0,20	-	100,38	
2 Гранат	36,44	0,34	17,84	3,78	37,57	0,38	1,99	0,92	0,04	-	-	-	-	-	-	100,14	
3 Куммингтонит	49,38	0,08	0,72	2,23	38,61	0,12	6,59	0,28	0,10	-	-	-	-	0,01	-	99,58	
4 Биотит	38,88	0,43	23,43	2,04	16,57	0,05	5,14	0,28	0,61	5,68	-	-	-	0,26	-	99,58	
5 Хлорит	26,57	-	18,38	4,22	34,80	-	7,10	-	-	-	-	-	-	8,87	-	99,94	
6 Хлорит	26,93	-	21,20	2,44	24,37	-	14,50	-	-	-	-	-	-	10,60	-	100,40	
7 Хлорит	26,04	-	20,07	4,19	24,23	-	14,78	-	-	-	-	-	-	10,09	-	100,30	
8 Хлорит	27,09	-	16,77	5,62	30,55	-	9,12	-	-	-	-	-	-	10,80	-	99,95	
9 Хлорит	27,82	-	18,72	0,92	31,52	-	12,22	-	-	-	-	-	-	8,80	-	100,00	
10 Куммингтонит	52,82	-	-	-	32,60	-	12,6	-	-	-	-	-	-	1,98	-	100,00	
11 Хлорит	24,66	0,74	19,63	25,65	12,58	0,05	2,53	0,83	0,52	0,67	-	-	-	11,35	0,82	98,90	
12 Хлорит	21,8	0,29	20,03	8,71	30,11	0,05	4,77	0,46	-	-	-	-	-	13,03	-	99,53	
13 Хлорит	19,51	0,52	17,95	15,71	26,33	0,17	10,80	-	0,10	0,34	-	-	-	8,60	-	100,03	
14 Хлорит	18,28	0,32	10,42	22,14	32,40	0,23	7,61	0,03	0,15	0,13	-	-	-	5,40	2,81	99,92	
15 Хлорит	19,05	0,49	15,59	15,50	21,75	0,06	14,35	0,24	0,12	0,14	-	-	-	13,19	0,95	100,95	
16 Хлорит	22,4	0,43	15,56	7,80	26,91	0,12	13,31	-	0,17	0,32	-	-	-	8,50	-	100,52	

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
17 Хлорит	28,01	0,45	15,13	16,91	27,85	0,10	8,90	-	0,17	0,61	-	-	-	-	2,23	-	100,38
18 Хлорит	23,9	0,91	19,36	10,31	19,50	0,05	7,17	0,47	0,24	0,76	-	-	-	11,27	-	99,94	
19 Хлорит	23,9	-	18,20	4,10	32,20	-	8,1	-	-	-	-	-	-	13,30	-	99,80	
20 Хлорит	286	0,36	16,55	5,54	29,73	0,02	10,27	-	-	-	-	-	-	9,00	-	99,97	
21 Хлорит	25,31	-	22,40	2,24	21,28	0,04	17,02	-	-	-	-	-	-	11,07	-	99,98	
22 Куммингтонит	53,60	0,08	1,00	2,70	50,00	-	6,76	0,36	-	1,94	0,03	1,76	0,06	0,06	1,88	99,77	
23 Эгирин	52,90	сл.	-	25,47	2,25	0,45	8,60	0,35	8,02	0,53	-	-	-	1,07	0,12	99,76	
24 Эгирин	50,40	0,12	-	31,48	2,26	0,07	1,23	0,88	10,60	0,53	-	-	-	1,58	0,15	99,30	
25 Родузит	53,55	-	0,46	0,07	4,55	0,05	12,47	0,27	5,96	0,46	-	-	-	2,66	-	100,00	
26 Родузит	54-76	0,08	0,39	15,99	3,57	0,07	15,24	2,57	7,53	0,52	-	-	-	2,28	-	100,00	
27 Альбит	64,93	0,01	20,08	1,42	0,71	0,02	1,24	0,40	9,30	0,47	-	-	-	0,95	-	99,83	
28 Магнезиально-железистая слюда	37,89	0,10	2,77	9,76	25,35	0,09	10,94	0,28	0,36	7,49	-	-	-	-	4,82	99,85	
29 Ме тагаллуазит	47,30	0,005	36,5	0,54	0,10	0,003	0,92	0,03	0,25	1,23	0,005	0,04	0,06	12,7	0,64	99,7	
30 Гидроокислы железа	1,88	0,299	3,30	82,5	0,69	0,025	0,31	0,07	0,12	0,06	0,204	0,74	0,047	8,72	1,12	99,3	
31 Гидроокислы железа	3,94	0,064	2,36	85,2	0,49	0,057	0,20	0,21	0,13	0,07	0,931	0,25	0,011	6,03	1,08	100,0	
32 Гидроокислы железа	2,60	0,034	0,25	84,8	0,79	0,023	0,10	0,14	0,10	0,07	0,218	0,25	0,005	10,4	0,1	99,8	
33 Гидроокислы железа	4,34	0,039	0,68	86,5	0,34	0,028	0,08	0,21	0,10	0,06	0,115	0,18	0,004	9,53	0,42	99,7	
34 Гидроокислы железа	3,02	0,038	0,59	81,9	0,50	0,096	0,09	0,23	-	-	0,690	0,89	-	10,6	0,15	98,78	

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
35	Магнезит	0,80	0,036	0,15	67,0	30,1	0,017	0,20	0,07	0,10	0,07	0,034	0,07	0,387	0	0	99,0
36	Магнезит	1,70	-	0,30	67,52	29,40	следн	0,22	0,30	0,22	0,07	0,03	-	0,030	-	-	100,6
37	Магнезит	3,80	-	0,50	66,07	29,40	0,022	0,28	0,30	0,30	0,07	0,022	-	следы	-	-	100,4
38	Магнезит	1,60	-	0,40	67,30	30,10	0,013	0,14	0,30	0,30	0,024	0,014	-	0,016	-	-	100,3
39	Магнезит	3,60	-	0,40	66,75	28,40	0,013	0,14	0,40	0,14	0,024	0,011	-	0,040	-	-	100,3
40	Магнезит	3,40	-	0,40	65,90	29,40	-	0,22	0,30	0,14	0,024	0,011	-	0,020	-	-	100,0
41	Магнезит	2,00	-	0,40	68,48	28,80	-	0,22	0,30	0,10	0,09	0,018	сл.	0,030	-	-	100,6
42	Магнезит	0,60	-	0,20	67,90	30,60	-	0,10	0,30	0,14	0,03	0,023	сл.	0,030	-	-	100,2
43	Магнезит	2,50	-	0,20	67,17	29,70	-	0,10	0,30	0,25	0,07	0,027	-	0,030	-	-	100,6
44	Магнезит	2,60	-	0,20	68,11	28,60	-	0,10	0,30	0,26	0,07	0,021	сл.	0,030	-	-	100,4
45	Магнезит	2,50	-	0,20	69,46	27,90	-	0,10	0,30	0,08	0,024	0,014	-	0,022	-	-	100,6
46	Магнезит	2,40	-	0,20	68,28	28,70	-	0,20	0,30	0,25	0,10	0,057	-	0,030	-	-	100,5
47	Магнезит	1,40	-	0,40	67,48	30,20	-	0,10	0,40	0,13	0,09	0,048	сл.	0,022	-	-	100,6
48	Магнезит	2,00	-	0,20	64,82	32,60	-	0,10	0,20	0,13	0,024	0,027	сл.	0,025	-	-	100,7
49	Магнезит	0,70	-	0,20	67,95	30,80	-	0,10	0,30	0,13	0,02	0,027	-	0,030	-	-	100,4
50	Мартит	1,40	-	0,40	97,08	0,40	0,009	0,22	0,40	0,09	0,03	0,028	-	0,030	-	-	100,5
51	Мартит	1,40	-	0,40	97,08	0,40	следн	0,15	0,30	0,27	0,07	0,022	-	0,027	-	-	100,5
52	Мартит	1,20	-	0,20	97,54	0,50	-	0,14	0,20	0,20	0,05	0,041	-	0,022	-	-	100,7
53	Мартит	1,20	-	0,20	96,98	1,00	-	0,10	0,30	0,24	0,05	0,064	-	0,030	-	-	100,6
54	Мартит	1,40	-	0,20	97,65	0,40	-	0,10	0,20	0,10	0,024	0,041	-	0,010	-	-	100,6
55	Мартит	1,20	-	0,20	97,72	0,60	-	0,10	0,20	0,10	0,05	0,053	сл.	0,010	-	-	100,7
56	Мартит	0,70	-	0,10	98,11	0,50	-	0,10	0,20	0,10	0,03	0,059	-	0,016	-	-	100,6

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
57	Мартит	0,70	-	0,20	97,86	0,60	-	0,10	0,30	0,13	0,024	0,048	-	0,030	-	-	100,6
58	Нистомезит	0,68	-	0,02	0,76	45,52	0,87	6,41	2,27	-	-	0,104	40,66	0,28	-	-	99,6
59	Сидероплезит	-	-	-	-	53,10	-	5,60	-	-	-	-	41,30	-	-	-	100,0
60	Сидероплезит	-	-	-	-	52,70	-	6,10	-	-	-	-	41,10	-	-	-	99,9
61	Сидероплезит	-	-	-	-	53,70	-	5,50	-	-	-	-	40,70	-	-	-	99,9
62	Нистомезит	-	-	-	-	41,20	-	16,00	-	-	-	-	42,70	-	-	-	99,9
63	Сидероплезит	-	-	-	-	54,70	-	5,10	-	-	-	-	40,10	-	-	-	99,9
64	Сидероплезит	-	-	-	-	54,40	-	5,20	-	-	-	-	40,30	-	-	-	99,9
65	Сидероплезит	-	-	-	-	47,67	0,26	9,95	1,38	-	-	-	40,85	-	-	-	100,11
66	Сидероплезит	-	-	-	-	44,05	0,12	12,80	1,37	-	-	-	41,70	-	-	-	99,84
67	Сидероплезит	-	-	-	-	51,05	0,23	7,51	0,73	-	-	-	40,32	-	-	-	99,84
68	Нистомезит	-	-	-	-	41,70	0,31	12,74	3,45	-	-	-	42,95	-	-	-	101,15
69	Нистомезит	-	-	-	-	46,41	0,22	11,70	0,68	-	-	-	41,00	-	-	-	100,01
70	Нистомезит	-	-	-	-	45,01	-	13,61	-	-	-	-	41,45	-	-	-	100,07
71	Мезитит	-	-	-	-	11,20	-	38,26	2,52	-	-	-	50,03	-	-	-	102,01
72	Нистомезит	-	-	-	-	41,02	-	14,34	1,40	-	-	-	42,58	-	-	-	99,69
73	Сидероплезит	-	-	-	-	38,3	0,39	11,33	1,05	-	-	-	46,40	-	-	-	97,47
74	Нистомезит	-	-	-	-	40,75	0,27	16,66	0,34	-	-	-	41,96	-	-	-	99,98
75	Сидероплезит	-	-	-	-	45,11	0,60	11,02	0,31	-	-	-	42,81	-	-	-	99,85

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
76	Сидерит	-	-	-	-	59,8I	0,28	11,22	0,54	-	-	-	38,44	-	-	-	100,29
77	Доломит железистый	-	-	-	-	24,0	-	1,36	19,39	-	-	-	43,15	-	-	-	97,90
78	Доломит железистый	-	-	-	-	24,4I	-	1,33	19,00	-	-	-	43,32	-	-	-	98,06
80	Сидероплезит	-	-	-	-	53,74	-	6,79	0,05	-	-	-	40,24	-	-	-	100,82
81	Сидероплезит	0,35	-	-	-	51,62	-	7,98	0,17	-	-	-	40,20	-	-	-	100,22
82	Сидероплезит	0,42	-	-	-	50,8I	-	8,08	0,29	-	-	-	40,16	-	-	-	99,76
83	Сидероплезит	-	-	-	-	51,90	0,03	7,25	0,44	-	-	-	40,10	-	-	-	99,72
84	Сидероплезит	-	-	-	-	0,04	0,04	6,56	0,26	-	-	-	40,15	-	-	-	100,63

1 -  $K_2^{3-4c}$  - м-е Ингулецкое (ИнГОК), А.А.Сиворонов и др., 1967; 2 -  $K_2^{4ж}$ , 3 -  $K_2^{4ж}$ , 4 -  $K_2^{3-4c}$  - м-е Ингулецкое (РУ Ингулец), М.Н. Довгань, 1962; 5 -  $K_2^{5c}$ , 6 -  $K_2^{5c-4ж}$  (среднее из 2 анализов), 7 -  $K_2^{4ж}$  (среднее из 8 анализов), 8 -  $K_2^{4ж-4c}$  (среднее из 2 анализов), 9 -  $K_2^{4c}$  (среднее из 2 анализов), 10 -  $K_2^{4ж}$  м-е Скелеватское-Магнетитовое (ЮГОК). Б.И.Пирогов, 1964; 11 -  $K_2^{4c}$  (среднее из 12 анализов), 12 -  $K_2^{4ж-1}$  (среднее из 6 анализов), 13 -  $K_2^{4ж-2}$  (среднее из 7 анализов), 14 -  $K_2^{4ж-3}$  (среднее из 10 анализов), 15 -  $K_2^{4ж-5}$  (среднее из 9 анализов), 16 -  $K_2^{4ж-6}$  (среднее из 3 анализов); 17 -  $K_2^{4ж-7}$  (среднее из 4 анализов), 18 -  $K_2^{5c}$  (среднее из 5 анализов) - м-е Скелеватское-Магнетитовое (ЮГОК). В.А.Шапошников, С.В.Дмоховская, 1973; 19 -  $K_2^{4ж-4c}$ , 20-22- $K_2^{4ж}$  - м-е Новокриворожское (НКГОК). Ю.Л.Грицай, 1970; 23-28 - Анновское (СевГОК). Н.А.Елисеев и др., 1961; 30-57 - м-е Скелеватское-Магнетитовое (ЮГОК). Материалы В.А. Шапошникова. 1972; 58 -  $K_2^{4ж}$  - м-е Ингулецкое. Материалы М.В.Педана, 1971; 59 -  $K_2^{5c}$ , 60 -  $K_2^{5c-4ж}$  (среднее из 2-х анализов), 61 -  $K_2^{4ж}$  (среднее из 4 анализов), 62 -  $K_2^{4ж}$ , 63 -  $K_2^{4ж-4c}$  (среднее из 2 анализов), 64 -  $K_2^{4c}$  - м-е Скелеватское-Магнетитовое (ЮГОК). Б.И.Пирогов, 1964; 65-67 -  $K_2^{5c}$ , 68 -  $K_2^{4ж-7}$ , 69 -  $K_2^{4ж-6}$ , 70 -  $K_2^{4ж-5}$ , 71 -  $K_2^{4ж-4}$ , 72 -  $K_2^{4ж-3}$ , 73 -  $K_2^{4ж-2}$ , 74 -  $K_2^{4ж-1}$ , 75 -  $K_2^{4c}$ ;

77 - брекчия из  $K_2^{4ж}$ ; 78 - вторичные карбонаты в  $K_2^{4ж}$  послонно-трещинного типа, 79 - отвальные кусты обогащательной фабрики № 2 ЮГОК (среднегодовая проба 1972 года) - месторождение Скелеватское-Магнетитовое (ЮГОК). Материалы В.А. Шапошникова, 1973; 80 -  $K_2^{5c}$ ; 81 -  $K_2^{4ж-5c}$ ; 82 -  $K_2^{4ж}$ ; 83 -  $K_2^{4ж-4c}$ , 84 -  $K_2^{4c}$  - месторождение Новокриворожское (НКГОК). Ю.Л.Грицай, 1970.

того железистого горизонта, проследить его литологическую изменчивость в пределах Южного района Кривбасса, увязав ее с общей схемой накопления этого горизонта в пределах всего Кривбасса (Гершюг, Грипай, Педан, Шапошников, 1972).

В настоящее время не все вопросы изучения вещественного состава разработаны с одинаковой детальностью. Необходимо в дальнейшем обратить внимание на следующие важнейшие направления изучения свойств железистых кварцитов и вмещающих кристаллических пород.

1. Разработка методов количественной оценки текстурно-структурных признаков (получение объективных цифровых данных о размерах и морфологии зерен рудных минералов).

2. Изучение ориентировки минералов в слойках, породах и рудах в целом. Установление преобладающих кристаллографических направлений, характерных для контактов рудных и нерудных минералов в различных тектонических условиях.

3. Изучение изменения электрофизических свойств рудных и нерудных минералов в зависимости от степени их дезинтеграции искусственными и естественными процессами.

Дальнейшая разработка этих направлений будет иметь важное значение для развития генетических представлений о докембрийских железорудных формациях и позволит на новой основе выполнять решение вопросов практической геологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артемова А.А., Пирогов Б.И., Горбатова В.Я. - Обогащение руд, 1961, 6.
2. Бергер Г.С., Ефимов И.А. Методы выделения мономинеральных фракций. Госгеолтехиздат, 1963.
3. Болдырев Г.П., Брандт В.Ю., Шапиро Р.Б. - Обогащение руд, 1963, 1.
4. Борнеман-Старынкевич И.Д. Руководство по расчету формул минералов. "Наука", М., 1964.
5. Булах А.Г. Расчет формул минералов. "Недра", М., 1964.
6. Висньевский Я.С. Универсальные таблицы для пересчета состава горных пород. "Наука", Ташкент, 1965.
7. Волынский И.С. Определение рудных минералов под микроскопом. "Недра", М., 1965.
8. Гершойг Ю.Г. - Геология рудных месторождений, 1968, 10, 1.
9. Гершойг Ю.Г. Вещественный состав и оценка обогатимости бедных железных руд. "Недра", М., 1969.
10. Гершойг Ю.Г., Грицай Ю.Л., Педан М.В., Шапошников В.А. - Геология рудных месторождений, 1972, 16, 5.
11. Гершойг Ю.Г., Докучаева И.Н. - Труды института "Механобрчермет", 1963, 4.
12. Глаголев А.А. Геометрические методы количественного анализа агрегатов под микроскопом. Госгеолтехиздат, 1941.

13. Горлицкий Б. А. Распространение малых элементов и проблемы металлогении осадочно-вулканогенных формаций докембрия Украинского щита. "Наукова думка", К., 1970.
14. Залата Л. Ф. - Труды Криворожского НИГРИ, 1959, 2.
15. Коц Г. А., Разумная Е. Г., Рожков В. Д., Павленко Г. Г., Степаненко Л. Г. - Тр. ВИМС, 1963, 10.
16. Лукомский Я. И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. Госстатиздат, М., 1961.
17. Пирогов Б. И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. "Недра", М., 1969.
18. Половинкина Ю. И. Атлас текстур и структур горных пород. Т. 2, "Недра", М., 1966.
19. Родионов Д. А. Функции распределения содержаний элементов и минералов в изверженных-горных породах. "Недра", М., 1964.
20. Рыков П. А., Гудков В. М. Применение математической статистики при разведке недр. "Недра", М., 1966.
21. Тохтуев Г. В., Губкина Н. Н. - Труды Криворожского НИГРИ, 1959, 2.
22. Чейз Ф. Количественно-минералогический анализ шлифов под микроскопом. ИЛ, М., 1963.
23. Шарашов И. П. Применение математической статистики в геологии. "Недра", М., 1971.



## СО Д Е Р Ж А Н И Е

В в е д е н и е . . . . .	3
И з у ч е н и е т е к с т у р . . . . .	4
О т б о р п р о б д л я г е о л о г о - т е х н о л о г и ч е с к о й о ц е н к и ж е л е з и с т ы х к в а р ц и т о в . . . . .	13
О с о б е н н о с т и м и н е р а л о г о - п е т р о г р а ф и ч е с к о г о и з у ч е н и я ж е л е - з и с т ы х к в а р ц и т о в . . . . .	17
И з у ч е н и е п о р о д о о б р а з у ю щ и х м и н е р а л о в . . . . .	30
З а к л ю ч е н и е . . . . .	43
Л и т е р а т у р а . . . . .	51

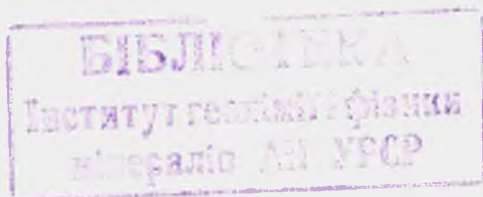
ЮРИЙ ЛЕОНИДОВИЧ ГРИЦАЙ  
МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ПЕДАН  
ГЛЕБ ВАСИЛЬЕВИЧ ТОХТУЕВ  
ВИТАЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ШАПОШНИКОВ

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗИСТЫХ  
КВАРЦИТОВ КРИВОГО РОГА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Печатается по постановлению Ученого Совета Института  
геохимии и физики минералов АН УССР

16331

БФ 00142 31 Зак. №378 Тираж 500 экз. Бумага I  
Формат бумаги 60<sub>x</sub>84,1/16. Объем 3 пл. Цена 20 коп.  
Издание ИГФМ АН УССР, Киев-68, Ново-Беличанская, 34,  
Отпечатано в Геолого-картографической партии КГЭ  
треста "Киевгеология"





Цена 20 коп.