

## ЦЕМЕНТАЦИЯ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД САКСАГАНСКОГО ТИПА ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИМИ МИНЕРАЛАМИ

Среди товарной продукции на рудниках Кривого Рога особое место всегда занимали богатые руды мартитового и железослюдко-мартитового, реже дисперсногематит- мартитового и дисперсногематитового состава, известные на Криворожье под названием руд саксаганского типа. Генетически и пространственно они связаны с широко распространенными железисто-кремнистыми формациями докембрия, к которым приурочены основные мировые запасы железа.

Благоприятное сочетание Саксаганской рудовмещающей структуры и крупных, возможно, планетарного масштаба тектонических нарушений привело не только к образованию мощнейших кор выветривания в железисто-кремнистых формациях, но и к цементации пористых гематитовых руд разнообразными эпигенетическими минералами. В этом отношении Кривой Рог представляет собой уникальное явление, которому нет равных ни на одном из аналогичных месторождений мира.

В настоящее время в рудах саксаганского типа зафиксированы следующие эпигенетические минералы: пирит, марказит, барит, гематит, гетит, кварц, сидерит, анкерит, доломит, магнезит, апатит, хлорит, каолинит, серпентин и тальк. Диагностика этих минералов подтверждена различными видами анализа (оптического, химического, рентгенометрического и др.)

Эпигенетический пирит встречается в форме идиоморфных кристаллов или друз на стенках пор и трещинок в остаточных гематитовых рудах, иногда образует в них прожилки.

Марказит иногда наблюдается в каолинит-дисперсногематитовых рудах в виде овальных микростяжений размером до 0,04 мм.

Барит был обнаружен в богатых рудах шахты «Гигант» Р.У. им Дзержинского в виде друз довольно крупных, до 1см кристаллов, имеющих толщину от долей мм до 1мм. Бесцветные и серые прозрачные кристаллы, часто зональные нарастают на натечные агрегаты гетита. Габитус кристаллов пинакоидальный, главные формы- пинакоид и призма. Поверхность граней пинакоида матовая, на которой видны следы растворения, у остальных форм - блестящая, гладкая.

Эпигенетический гематит широко распространен в рудах всех типов, где не всегда дает большие концентрации. В мартитовых и гематит-мартитовых рудах он обычно приурочен к порам и пустотам, где нарастает на поверхность мартитовых зерен и агрегатов, образуя своеобразные ежикоподобные и звездчатые формы. При этом кристаллы новообразованного гематита имеют одинаковую оптическую ориентировку с индивидами гематита, слагающими мартит, являясь как бы продолжением их за пределы контуров мартита. Зерна эпигенетического гематита, располагающиеся в порах руды, в отличие от таблитчатого первичного гематита (железной слюдки), характеризуются пластинчатой формой и имеют совершенную огранку. В плоскости сечения шлифа форма зерен веретенообразная, размер их колеблется от 0,02 до 0,25мм (рис.1-А). При большой интенсивности цементации кристаллы эпигенетического гематита образуют сетчатые структуры, полностью заполняющие поры остаточных руд (рис.1-Б).

В поляризованном свете иногда обнаруживается зональное строение кристалликов эпигенетического гематита и явления регенерации табличек железной слюдки.

В дисперсногематитовых рудах с очень тонкой пористостью эпигенетический гематит возникает преимущественно в результате собирательной перекристаллизации дисперсного гематита, что сопровождается увеличением размера пор в руде.

Гидроксиды железа соответствуют ряду гетит- гидрогетит. Основную роль играют две разновидности цементационного гетита: относительно идиоморфные короткостолбчатые кристаллики длиной 0,02-0,2 мм и натечные образования с концентрически зональным и радиально-лучистым строением. Обе разновидности нарастают на стенках пор (рис.1-В), либо полностью выполняют их, образуя цемент базального типа (рис.1-Г). Вместе с колломорфным гетитом часто встречается гидрогетит. Нередко гетит замещает реликты магнетита в мартите.

Эпигенетический кварц встречается в рудах в виде двух разновидностей, выделенных по морфологическим и, отчасти, оптическим признакам, которые названы сферолитовым и пойкилитовым кварцем (рис.2-А, Б).

Сферолитовый, халцедоновидный кварц встречается в зернах лепестковидной формы размером 0,2-0,4мм, имеющих секториальное погасание. Характерной особенностью сферолитового кварца являются мельчайшие (0,1-10мкм) двухфазные газовой-жидкие включения округлой, овальной или вытянутой формы с ответвлениями, частично вскрытые при изготовлении шлифа. Эти включения располагаются в зернах кварца беспорядочно или сориентированы веерообразно. Перемещающиеся газовые пузырьки обычно составляют 10-25% вокуолей. Электронномикроскопические исследования (угольная реплика) фиксируют в кварце газовой-жидкие включения в виде каверн разнообразной формы и размера, а также отпечатки гексагональные кристаллов каолинита.

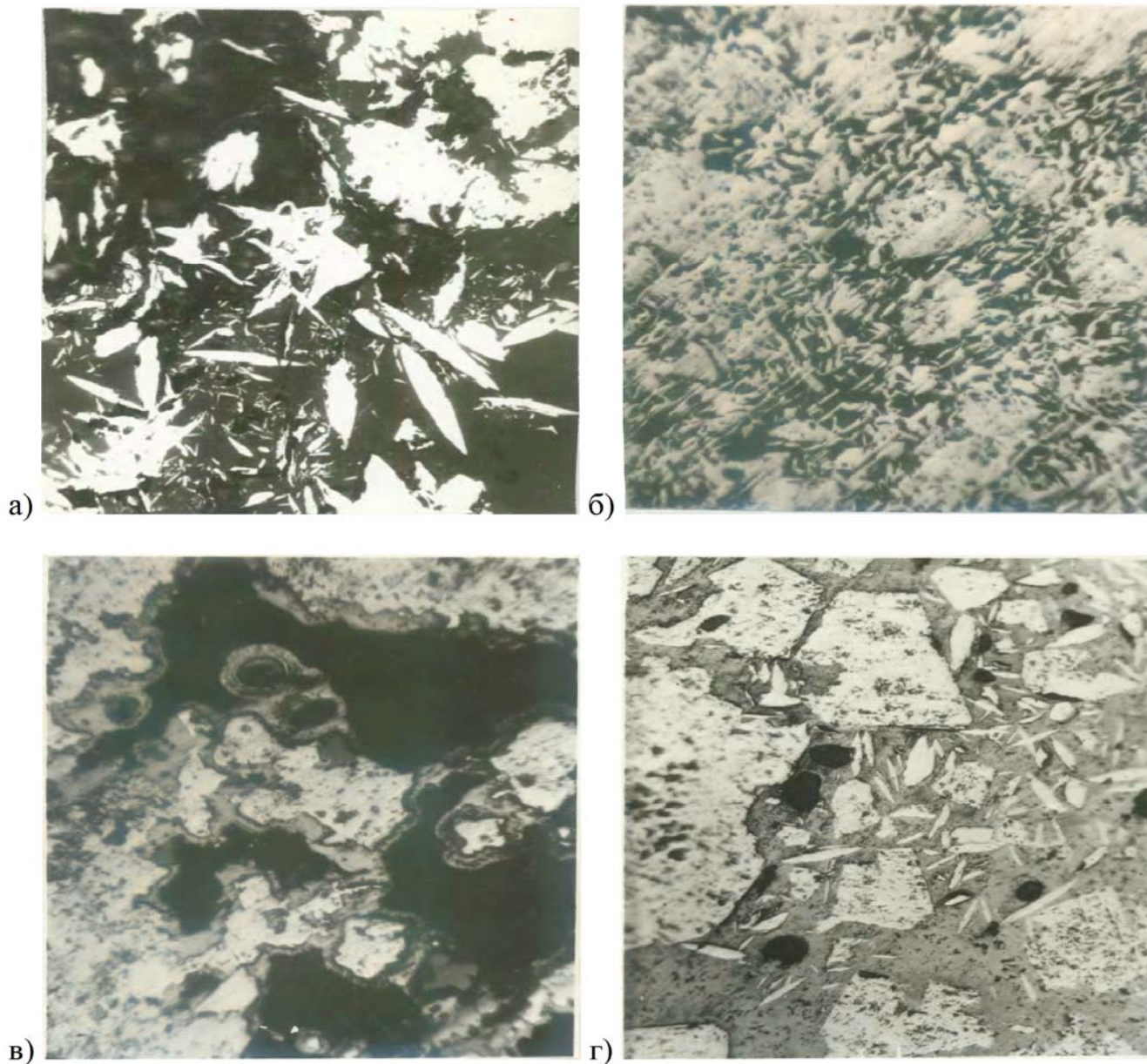


Рис. 1 - Цементация руд гематитом и гетитом. Отраженный свет. Ув.  $\times 180$ . Белое – мартит и железная слюдка; светло -серое – гетит; серое – нерудные минералы; черное – поры.

а) веретинообразные кристаллы эпигенетического гематита;

б) интенсивная цементация гематитом мартитовых руд;

в) пленки гетита на мартите;

г) гетитовый цемент базального типа в мартитовой руде.

Кроме указанных мельчайших включений в сферолитовом кварце постоянно содержатся мелкие зерна мартита, гематита, призматические зерна гетита. Отмеченные особенности сферолитового кварца позволяют предположить коллоидную природу, образующих его растворов.

Пойкилитовый кварц образует крупные (0,5-2мм) зерна четкой полигональной формы с нормальным погасением и отчетливой пойкилитовой структурой. В порах, микротрещинах и крупных полостях наблюдаются отдельные короткопризматические кристаллы размером от десятых долей мм до 2 см. Главными формами являются призма в комбинации с ромбоэдрами. Отношение ширины к длине кристаллов обычно 1:3.

Кристаллы кварца при росте частично или полностью захватывают зерна мартита и гематита (железной слюдки). В результате возникает характерная структура цемента прорастания. В шлифах нередко удается наблюдать явления регенерации, когда зерна остаточного (метаморфического) кварца образуют ядра в кристаллах пойкилитового, узнаваемые по кольцеобразным включениям гидроксидов железа.

В пойкилитовом кварце мельчайшие газопо-жидкие включения встречаются реже, чем в сферолитовом, и в гораздо меньшем количестве. Обычно они концентрируются в определенной зоне зерна (0,02-0,04мм), подчеркивая его ядро. Иногда отмечаются мельчайшие включения доломита.

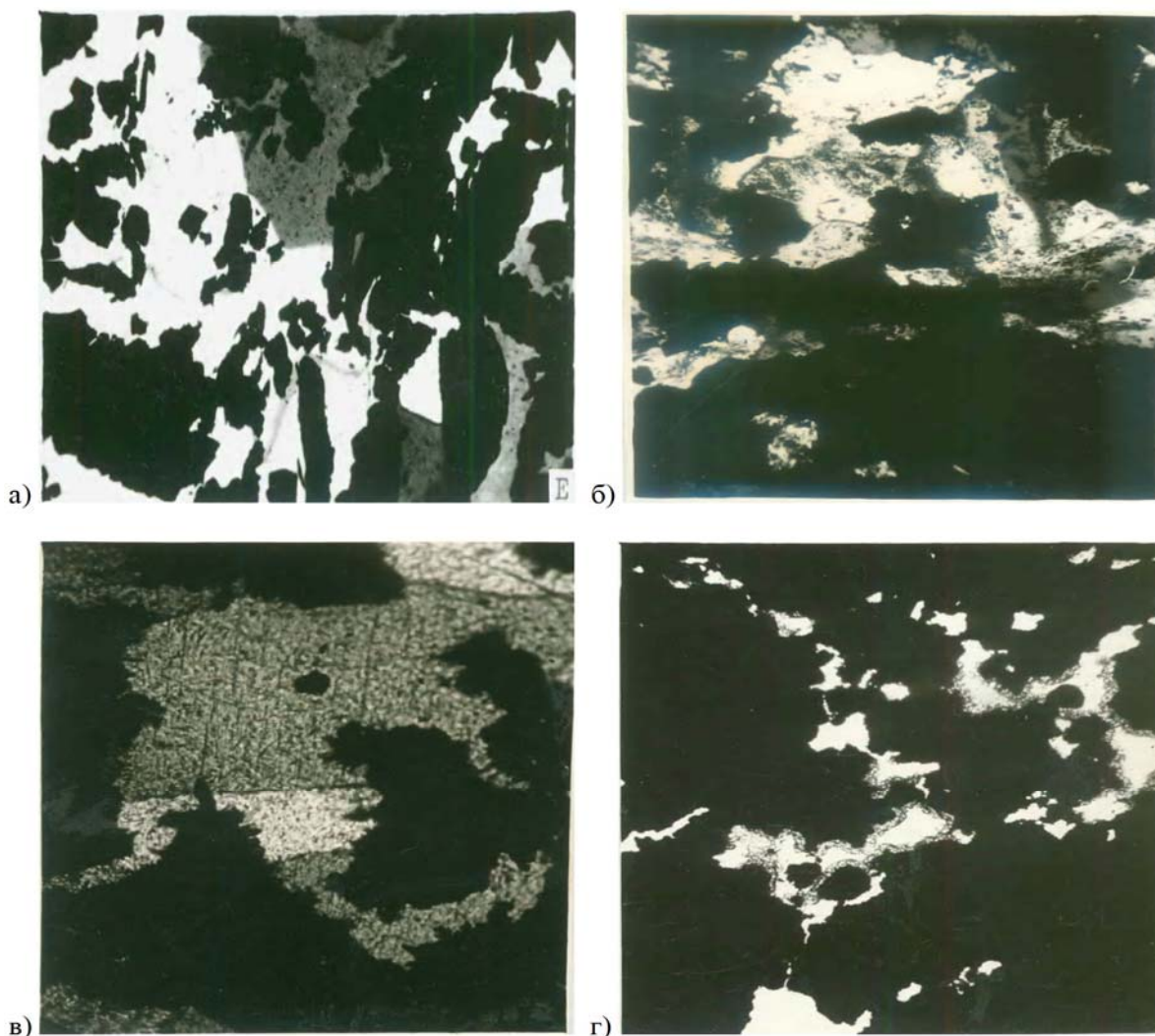


Рис.2 - Морфологические особенности эпигенетических минералов саксаганского типа. Проходящий свет. Ув.  $\times 115$ , с анализатором (а,б,в), без анализатора (г).

Черное – рудные минералы; белое и различные оттенки серого – эпигенетические минералы (а, б, в) белое – рудные минералы (г).

а) – «пойкилитовый кварц»;

б) – «сферолитовый кварц»;

в) цементация мартитовой руды сидеритом;

г) пленки каолинита на зернах мартита.

В окварцованных рудах наблюдаются переходы от сферолитового к пойкилитовому кварцу (Р.У. им Фрунзе и им. XX Партсъезда), далее на север в окварцованных рудах встречается пойкилитовый кварц.

Исследованием температур образования хорошо ограненных кристаллов пойкилитового кварца методом гомогенизации газовой-жидких включений установлено, что их формирование происходило из слабоминерализованных растворов под давлением не выше 300-400 атм. в интервале температур 95-135°C.

Эпигенетические карбонаты были встречены в рудах в количестве от 7 до 25%. Во всех случаях они фиксируются в порах, цементируя рудные зерна.

Сидерит, аналогично цементационному кварцу, установлен в виде двух разновидностей сферолитовый и пойкилитовый (рис. 2-В) с размером зерен от 0,2 до 2 мм. Диагностика сидерита подтверждена оптическими и термографическими исследованиями. Доломит, магнезит и анкерит были установлены в рудах, залегающих на глубине более 1700м: первые два на руднике им. Ленина, а анкерит на рудниках им. Коминтерна и им. Фрунзе.

Доломит и магнезит в виде крупных зерен (от 0,02 до нескольких мм) выполняет все пространство пор в слоях руды мощностью до 0,2-0,3мм, чередующихся со слоями, где рудные минералы цементируются магнезиальными силикатами- серпентином и тальком. Изучение фракций, обогащенных карбонатами, показали, что соотношения СаО:МgО изменяется от 0,7:1 до 1:5:1, при почти полном отсутствии FeО.

Анкерит слагает базальный цемент в рудах, иногда встречается в виде коротких прерывистых прожилков мощностью до 0,02мм. Размер зерен в цементе 0,01- 0,08 нередко 0,2-0,6мм. Парагенетические ассоциации с анкеритом образуют кварц, серпентин, тальк, изредка хлорит.

Апатит, как и другие эпигенетические минералы, характеризуются различными формами проявления: от отдельных кристаллов гексагонального облика в поперечном сечении, их агрегатов в виде гнезд и корочек до мелкозернистого цемента базального типа в прослоях руды мощностью до 2 см. Кристаллы апатита совершенной огранки имеют короткостолбчатую или таблитчатую форму. В шлифах нередко наблюдается зональное их строение с шириной зон до 0,02мм, подчеркнутое двухфазными газожидкими включениями размером менее первых мкм. В поперечном сечении кристаллов форма включений округлая или шестиугольная, в продольном - вытянутая, трубчатая.

Фракция, обогащенная апатитом, показала содержание в ней фтора до 1,0 и СО<sub>2</sub> до 0,39 вес.%. Рентгенограмма прослоя руды, сцементированной апатитом (рудник им. XX Партсъезда), подтвердила диагностику этого минерала и определила его как фторапатит.

Эпигенетические силикаты чаще всего распространены в рудах глубоких горизонтов: на руднике им. Дзержинского- на выклинивании залежи (около 1000м), а на рудниках, расположенных далее к северу, на глубинах от 1500 до 2300м. Среди них установлены хлорит, каолинит, тальк и серпентин (рис. 2- Г; 3-А, Б; 4- А, Б, В, Г).

Эпигенетический хлорит в форме светло-зеленых и серовато-зеленых криптокристаллических масс, выполняющих поры в рудах (рис. 4-А). Цвета интерференции серые с синеватым и лиловым оттенками. По данным рентгеноструктурного и термографического изучения эпигенетический хлорит может быть отнесен к шамозиту.

Эпигенетический каолинит широко распространен в рудных залежах, но повышенные его концентрации (до 10%) установлены лишь в отдельных участках на глубине 1000-1300 м. Изредка он наблюдается на поверхности зерен рудных минералов в виде пленок и корочек мелкочешуйчатого строения (рис. 2-Г). Под бинокляром прослеживается бугристая и почковидная поверхность корочек, характерная для натечных образований.

Постоянной формой нахождения каолинита в рудах являются крипточешуйчатые агрегаты, выполняющие поры (рис. 4-Б). Размер индивидов в агрегатах составляет 1-2 мкм, иногда крупнее. Электронная микроскопия выявляет пластинчатую форму и псевдогексагональные очертания его кристаллов. Оптические, рентгеновские и термографические исследования подтверждают диагностику каолинита.

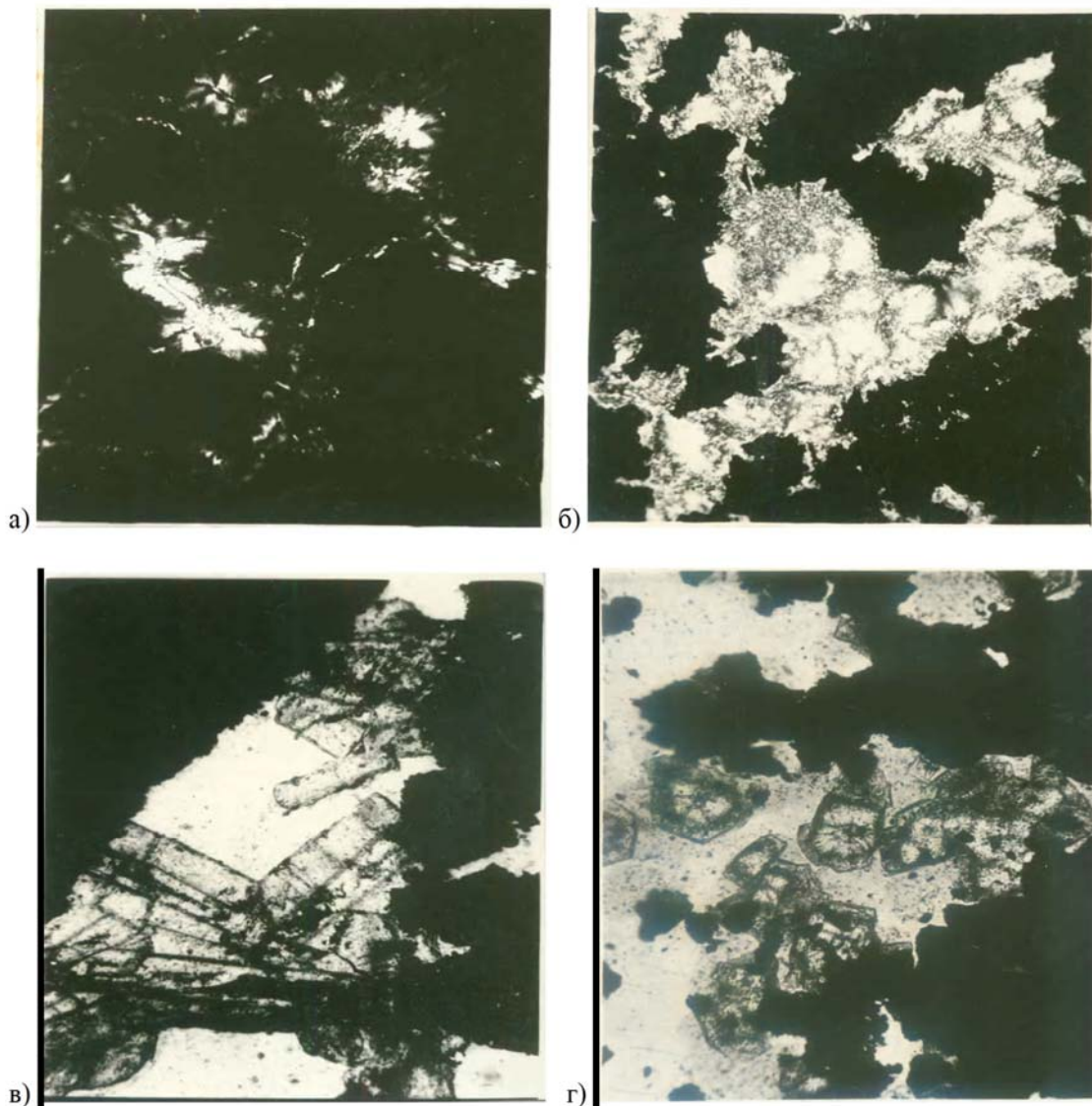


Рис. 3 - Цементация руды магниальными силикатами и апатитом. Проходящий свет. Ув.  $\times 180$ . Черное – рудные минералы и газово жидкие включения в апатите (в, г); белое и различные оттенки серого – цементационные минералы.  
 а) цементация руды серпентином;  
 б) цементация руды тальком;  
 в) цементация руды апатитом;  
 г) цементация руды апатитом и каолинитом.

Серпентин и тальк довольно широко распространены в рудах глубоких горизонтов. Встречаются они как отдельно, так и совместно, когда их количество достигает 15-20%, что подтверждается химическими анализами по наличию  $MgO$  (2-4%).

Выделения серпентина очень тонкозернистые. Он известен в чешуйчатых массах, но чаще образует волокнистые агрегаты, выполняющие поры и слагающие корочки (10-15мкм), розетки, «стопочки» (рис. 3-А). В шлифах серпентин почти бесцветен, но при известном навыке улавливается слабовыраженная зеленоватая окраска. Двупроеломление низкое, цвета интерференции серые. Нередко устанавливается волнистое погасание, указывающее на волокнистый характер агрегатов. Под электронным микроскопом установлена форма кристаллов серпентина - стержнеобразная или в виде трубчатых волокон. Оптические, термографические и рентгеновские исследования позволяют отнести серпентин из богатых руд Кривого Рога к подгруппе хризолита.

Тальк, подобно серпентину, является цементом в рудах. Его тонкокристаллические массы имеют белый цвет, под бинокляром различаются тонкие прозрачные чешуйки с перламутровым блеском. В шлифах тальк бесцветен, либо едва заметно буроватый. На фоне серпентина выделения

талька характеризуются более высоким рельефом. Двупреломление высокое: цвета интерференции яркие, пестрые (второго и третьего порядка).

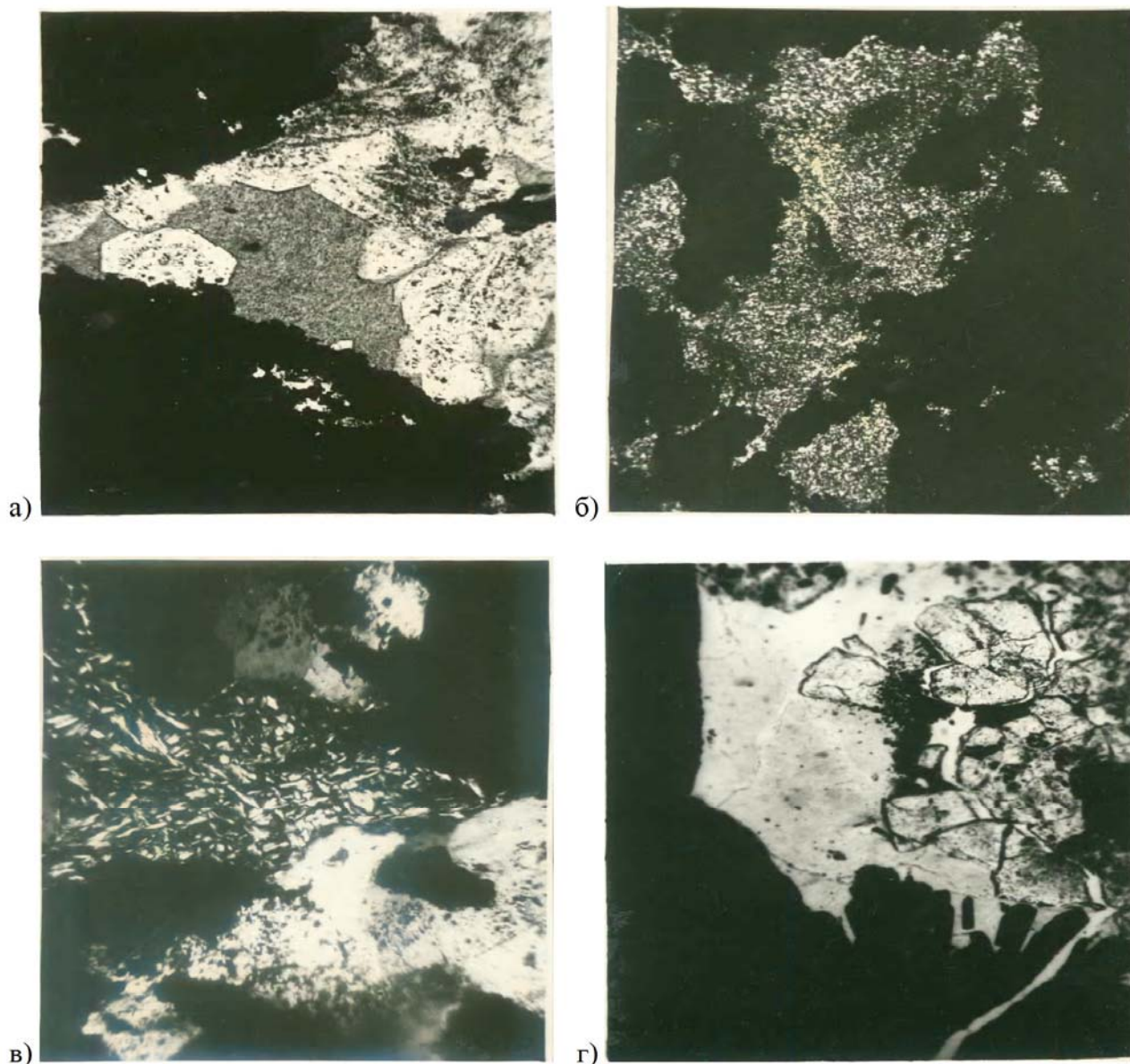


Рис. 4 - Комплексная цементация магнетитовых руд эпигенетическими минералами. Проходящий свет. Ув.  $\times 170$ . Черное – рудные минералы; белое и различные оттенки серого – эпигенетические минералы. С анализатором – а, б, в; без анализатора - г

а) цементация руды кварцем (кристаллы) и хлоритом (чешуйчатые массы);

б) цементация руды каолинитом;

в) цементация руды кварцем (крупные зерна) и серпентином (волокнистые массы);

г) цементационный апатит (кристаллы) и серпентин (белые поля) на поверхности почковидных агрегатов гематита.

Чешуйки и пластинки талька имеют размер от долей до 20-30 мкм. в порах они располагаются беспорядочно, реже собраны в розетки (рис. 3-Б). Рентгеновские и термографические анализы подтвердили диагностику талька. Химический анализ фракции, обогащенной тальком, показал содержание  $MgO-13,3$  и  $Fe-1,8$  масс.%, что позволяет предположить, что в тальке магний частично замещен железом, т. е. он представлен железистой разновидностью - миннесотаитом.

Эпигенетические минералы цементируют руды, образуя моно- или полиминеральный цемент, в котором участвует до 5-6 минеральных видов, что характерно в основном для руд глубоких горизонтов (рис.4). Количество цемента колеблется от 2-3 до 30-35% при полном заполнении пор. Эпигенетическая минерализация руд чаще наблюдается на флангах залежей, у

природных упоров (контакт с гранитами на Р.У. им. Дзержинского, диабазовая дайка на Р.У. им. XX Партсъезда и др.).

В распределении минеральных видов, участвующих в эпигенетической цементации, в залежах установлена определенная закономерность. Так, гидроксиды железа встречаются обычно до глубины 300-500, изредка и на больших глубинах - до 1700м (Р.У. им Р. Люксембург), что связано с наличием тектонических зон. Цементационный гематит наблюдается на разных глубинах, но количество его с глубиной заметно увеличивается. Железистые карбонаты обычно распространены на глубинах 800-1000м, магнийсодержащие - характерны для глубин 1700-2000м и больше на северных рудниках, а на Р.У. им. Дзержинского был установлен на глубине около 1000м - на выклинивании залежи. К глубоким горизонтам рудных залежей тяготеют и магниезиальные силикаты - хлорит, тальк и серпентин, в то время как каолинит отмечается в этаже 1200-1500м.

Эпигенетическая минерализация богатых железных руд, приуроченных к железисто-кремнистым формациям докембрия, установлена на многих месторождениях мира, но в каждом случае она имеет свою интенсивность и свой набор минеральных видов. Так, в Белозерском месторождении это в основном цементация гематитом, в Кременчугском районе - сидеритом и гидроксидами железа, на месторождениях КМА - сидеритом и пиритом. В богатых гематит-мартитовых рудах Индии (бассейн Сингбум) в качестве цементационных минералов нами наблюдались гидроксиды железа, гидроксиды алюминия и силикаты типа хлорита.

Общим для всех руд с эпигенетической минерализацией является приуроченность ее к заключительным этапам образования месторождений. Эпигенетические минералы, отлагаясь в порах, цементировали уже сформированные богатые руды. При этом изменялись не только текстурно-структурные характеристики руд, но и их состав, а также физические и физико-механические свойства (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика мартитовых руд, преобразованных при эпигенезе

Характер эпигенетических процессов	Эпигенетические минералы		Содержание характерных компонентов, %	Физические свойства			
	минерал	Содержание, %		Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %	f <sub>кр</sub>
				кажущаяся	истинная		
Окварцевание	кварц	10-22	Fe 54-63; FeO 0.3-1.2; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 77-83; SiO <sub>2</sub> 10-22	3.5-4.0	4.3-4.9	2-20	6-20
Гематитизация	гематит	10-23	Fe 63-70; FeO 0.2-1.0; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 89-98	3.9-4.8	4.9-5.2	8-25	4-17
Гетитизация	гетит, гидрогетит	10-27	Fe 60-67; FeO 0.5-1.0; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 84-95; SiO <sub>2</sub> 1-10; п.п.п. 2.3-4.5	3.9-5.0	4.5-5.1	2-18	12-24
Сидеритизация	сидерит	10-20	Fe 61-66; FeO 7.0-12.0; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 73-89; SiO <sub>2</sub> 1.1-2.0; п.п.п. 3.0-6.0	3.7-4.3	4.4-5.1	4-15	10-16
Доломитизация	доломит	10-18	Fe 58-63; FeO 0.9-2.0; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 79-89; SiO <sub>2</sub> 1.0-8.0; MgO 2.0-4.0; п.п.п. 3.0-6.0	3.5-4.0	4.2-5.0	2-10	12-18
Апатитизация	апатит	0,4-15	Fe 61-68; FeO 0.4-1.5; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 85-96; SiO <sub>2</sub> 0.5-0.8; CaO 0.2-0.9; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0.1-5.0	4.0-4.6	4.4-5.0	7-18	7-12
Хлоритизация	хлорит	10-13	Fe 59-64; FeO 0.7-1.2; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 83-90; SiO <sub>2</sub> 3.0-8.0; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.5-2.8; MgO 0.2-1.2; п.п.п. 1.5-3.0	3.8-4.8	4.3-5.0	4-10	2-7
Каолинизация	каолинит	6-23	Fe 58-65; FeO 0.2-0.9; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 82-92; SiO <sub>2</sub> 2.0-8.0; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2.0-5.; п.п.п. 1.5-3.0	3.5-4.3	4.2-4.9	4-12	2-6
Цементация тальком и серпентином	тальк, серпентин	10-20	Fe 58-63; FeO 0.9-1.6; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 81-89; SiO <sub>2</sub> 3.0-8.0; MgO 2.5-4.5	3.7-4.2	4.3-5.0	2-10	2-8

Руды становились более плотными и крепкими, повышалась их кусковатость, что способствовало увеличению выхода мартиновых разновидностей.

Цементация руд силикатами и карбонатами увеличивала содержание в них оксидов кальция и магния (в сумме до 1-3%), что оказывало благоприятное воздействие на качество доменных руд, повысив их модуль основности.

Окварцевание, снижая содержание железа в рудах, отрицательно влияет на их качество.

Для руд всех рудников Саксаганского района без исключения характерно увеличение с глубиной содержания фосфора, связанного с эпигенетической апатитовой минерализацией (табл. 2.)

Таблица 2

Распространенность апатитовой минерализации в богатых рудах  
Саксаганского железорудного района

Рудники	№№ разведочных скважин	Интервалы с апатитовой минерализацией, м		Стратиграфические горизонты	Максимальное содержание фосфора, мас. %
		по скважине	фактически		
им. Коминтерна	9999	1838-1848	1686-1695	6f	0,304
	9999	1852-1872	1699-1717	5f	0,166
им. М.Ф.Фрунзе	9990	1473-1475		5f	
	10789	1709-1715		5f	
им. XX партсъезда	11300	1950-1963	1649-1653	6f	0,254
	11300	2050-2080	1672-1678	5f	0,540
им. Р. Люксембург	9580	2114-2117	1883-1886	6f	0,270
	9580	2165-2177	1919-1927	5f	0,564
им. В.И Ленина	12530	2012-2018	1770-1775	5f	0,120

\*- интервал опробования 1м.

5f, 6f- пятый и шестой железистые горизонты саксаганской свиты.

Как видно из таблицы, содержание фосфора в составе руд в интервале глубин 1500-2000 м достигает 0,1-0,5%. В интервале глубин 2000-3000 м такие показатели могут стать массовыми и, возможно, потребуются изменение технологии производства железа из криворожских богатых руд.

Цементация рыхлых пористых пород эпигенетическими минералами в разной степени увеличивает их прочностные характеристики, способствуя улучшению кусковатости. Крепость мартитовой руды при окварцевании увеличивается с 2-4 до 20 баллов по шкале М.М. Протодяконова, в среднем составляет 10-14 баллов. Более крепкими являются окварцованные кварц-мартитовые руды, по сравнению с мартитовыми. Наиболее крепкими (до 18-24 баллов) руды становятся при цементации их гетитом.

#### ВЫВОДЫ:

1. Эпигенетическая минерализация богатых гематитовых руд широко развита в Саксаганском районе Кривого Рога.
2. В качестве минералов, цементирующих руды, в настоящее время установлены: пирит, марказит, барит, гематит, гетит, кварц, сидерит, анкерит, доломит, магнезит, апатит, хлорит, каолинит, серпентин и тальк.
3. Эпигенетические минералы по гранулометрическим, морфологическим и оптическим признакам отличаются от их аналогов другого происхождения.
4. Количество эпигенетических минералов в рудах варьирует от 1-2 до 30-35% при интенсивно развитом процессе заполнения пор в руде.
5. Интенсивность цементации руд зависит от вида цемента - контактного, порового и базального типа.
6. По составу цемент может быть моно- или полиминеральным, насчитывающим до 5-6 минеральных видов.
7. Установлены закономерности распределения эпигенетических минералов в рудных залежах Саксаганского района, в том числе и по глубине.
8. Цементация пористых богатых руд эпигенетическими минералами изменяет их химический и минеральный состав, а также физические, физико-механические и технологические свойства.
9. По своему происхождению эпигенетическая минерализация является одним из последних этапов гипергенных воздействий на железисто-кремнистые формации докембрия. В условиях Кривого Рога - это специфический глубинный гипергенез, вызванный благоприятным сочетанием рудовмещающей структуры и мощных тектонических нарушений, обеспечивающих



проникновение метеорных вод на глубины до нескольких километров, в зоны повышенной температуры (до 90-150°C) и давления. Этим, скорее всего, и объясняются масштабы цементации и разнообразие эпигенетических минералов в богатых пористых рудах Саксаганского района Кривого Рога.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г. и др. Минералогия Криворожского бассейна.- К.: Наукова думка, 1977.- 542 с.
2. Семененко Н.П., Тохтуев Г.В., Кравченко В.М. и др. Структура Криворожских месторождений богатых руд и закономерности их развития на больших глубинах.- К.: Наукова думка, 1981.-186 с.
3. Кравченко В.М., Дмитриев Э.В. Цементационное окварцевание в зонах глубинного гипергенеза Саксаганской синклинали // Кора выветривания.- 1966.- вып.8.- С. 120-130.