

КРИВОРОЖСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

НЕТО МАЛУЭЛЬ САНД

УДК 549.553.2

МИНЕРАЛОГИЯ И ОНТОГЕНЕЗИС БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД  
КРИВОГО РОГА

Специальность 04.00.20 – минералогия, кристаллография

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
геолого-минералогических наук

Кривой Рог 1996 г.

AB 34.325

Работа выполнена на кафедре минералогии, кристаллографии и месторождений полезных ископаемых Криворожского технического университета.

Научный руководитель: заслуженный работник Высшей школы Украины, доктор геолого-минералогических наук, профессор Б.И.Пирогов

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, В.В.Индутный  
(Государственный геммологический центр Украины при министерстве финансов, г.Киев)  
кандидат геолого-минералогических наук Ю.Л.Ахкозов  
(Научно-исследовательский горнорудный институт, г.Кривой Рог)

Ведущее предприятие: Криворожская ГРЭ

Защита состоится 19 апреля 1996 года в 14 часов на заседании специализированного Совета К 16.01.02 Криворожского технического университета (адрес: г. Кривой Рог, ул. 22 Партсъезда, II).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КТУ (324002, г. Кривой Рог, ул. Пушкина, 37)

Автореферат разослан "15" марта 1996 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета  
кандидат геолого-минералогических наук  
доцент

*И. Савченко*

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00740393 (Q)

Стефанік  
Україна

ДБ 57-52-3  
-3-

Актуальность работы. Несмотря на длительную историю геолого-минералогических исследований богатых железных руд Кривбасса при различных подходах к их генетической природе, проблема глубокого минералогического изучения с использованием комплекса современных методов остается весьма актуальной особенно в свете новых представлений о полигенном их происхождении. Наибольший эффект при таких исследованиях дает онтогенетический метод, который позволяет проследить этапы формирования как минеральных индивидов и агрегатов, так и рудных тел с учетом геолого-структурной позиции последних, полигенности и полихронности их образования. Это имеет важное значение для изучения минералого-технических особенностей руд, выявления их поисково-оценочных признаков, а также для комплексной оценки перспектив рудоносности бассейна.

Цель и задачи исследований. Основной целью работы является изучение минералогии рудных тел, как полигенных и полихронных образований в связи с их онтогенезом. В процессе исследований решались следующие задачи: 1) установление геолого-структурной позиции рудных залежей; 2) изучение вариаций минерального состава руд, их текстурно-структурных характеристик с последующей разработкой обобщенной топоминералогической модели рудных залежей и их ореольных зон; 3) изучение морфологии, конституции и свойств основных рудных и нерудных минералов с целью определения их типоморфных признаков и онтогенеза их индивидов и агрегатов; 4) изучение главных тенденций изменения химического, минерального состава, текстурно-структурных признаков и физических свойств руд; 5) установление минералого-геохимической направленности процессов рудообразования на основе выявления закономерностей изменчивости состава и строения рудных тел и их ореолов; 6) оценка типоморфных признаков минералов и руд, определяющих особенности их поисков, разведки и технологические характеристики.

Фактический материал и методы исследований. В процессе исследований было отобрано и изучено 532 минералогические пробы различного назначения весом 0,5-3/5 кг из основных минеральных разновидностей руд и вмещающих пород. Изучено 488 прозрачных шлифов, 303 полированных шлифа, 325 мономинеральных фракций, выполнено 211 химических и фазовых анализов, проведено 232 специальных вида исследований.

При исследованиях использовались следующие методы: минералого-петрографический, онтогенетический, определения твердости методом микродавливания; химический, фазовый; ИИ-спектроскопический;

химического и электролитического травления; декретометрический, измерения полной удельной поверхности; термолуминесцентный и др. Исследования проводились в лабораториях кафедры минералогии Криворожского технического университета, а также Южного и Северного горнообогатительных комбинатов, Криворожской геологоразведочной экспедиции и института "Механобрчермет".

Научная новизна. Впервые получены систематические сведения о закономерностях изменчивости минерального и химического состава, структуры, текстуры, физических свойств руд, позволившие выявить на онтогенетической основе характер зональности рудных тел и их ореольных зон. Анализ минералогической информации использован для обоснования представлений о полигенности и полихронности образования руд. С использованием топоминералогических и минералого-генетических данных впервые разработана онтогенетическая модель залежей богатых железных руд как минеральных комплексов.

Практическая значимость работы. Полученные результаты могут быть использованы для переоценки и прогноза месторождений железистых кварцитов и богатых железных руд, для рационализации поисково-разведочных работ, при уточнении технологических параметров, определяющих обогатимость железистых кварцитов, а также при геолого-технологическом картировании месторождений Кривбасса.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на ежегодных научно-технических конференциях Криворожского технического университета (1990-1993 г.г.), на научно-техническом межкафедральном семинаре КТУ "Прогноз" (1990 г.). По теме диссертации депонировано три статьи.

Основные защищаемые положения. I. Основные парагенетические ассоциации минералов богатых руд бассейна, минералого-геохимическая зональность железистых горизонтов, морфология и зональность рудных тел, качество руд, геохимическая специализация малых элементов с учетом геолого-структурной позиции отражает их полигенно-полихронное происхождение.

2. Онтогенез и конституция оксидов морфотропного ряда востит-магнетит-оксимангнетит-маггемит-гематит (мартит) во взаимосвязи с гидроксидами, силикатами, карбонатами и фосфатами определяют особенности минералогии богатых руд саксаганского типа, отражая эволюцию и динамику процессов рудообразования.

3. При изучении рудного тела (предыстория — собственно образование — изменение) выявлены основные вещественно-структурные закономерности рудных залежей — аномалий (минералого-

геохимические ореолы с учетом состава и симметрии среды рудообразования, взаимосвязь состава и текстурно-структурных признаков минеральных ассоциаций и с изменением физико-механических свойств руд и др.).

Структура работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и выводов, изложенных на 147 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков и 19 таблиц. Библиография — 174 наименования.

В период подготовки работы автор пользовался помощью и рекомендациями сотрудников кафедр минералогии и геологии Криворожского технического университета: докторов геолого-минералогических наук, профессоров В.Н.Трошенко, В.Д.Евтехова, В.Я.Легедзы, А.Э.Алксна; кандидатов геолого-минералогических наук, доцентов И.С.Паранько, В.Н.Тарасенко, И.В.Холошина, Х.Ф.Аркуса Видаль, А.Н.Тручина и старшего преподавателя Д.Н.Кондратьевой. При сборе фактического материала большую помощь автору оказала кандидат геолого-минералогических наук, ведущий геолог Криворожской ГРЭ С.А.Калинченко. Всем им автор выражает искреннюю и глубокую признательность. Самую глубокую признательность автор выражает своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Б.И.Пирогову за постоянную помощь, консультации, обсуждение итогов работы.

### Глава I. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Значительный вклад в развитие проблемы внесли Н.М.Акименко, Л.Ахкозов, Х.Ф.Аркус Видаль, Я.Н.Белевцев, Г.Г.Бура, Ю.Г.Гершков, Б.И.Горошников, Н.И.Дерябин, Э.В.Дмитриев; В.А.Домарев, Я.Х.Дорфман, А.А.Дроздовская, В.Д.Евтехов, Ю.М.Епатко, С.Н.Зима, Б.А.Занкевич, Д.И.Ищенко, О.А.Калиниченко, П.М.Каниболоцкий, А.П.Каршенбаум, Д.С.Коржинский, В.М.Кравченко, С.О.Конткевич, Е.К.Лазаренко, Ю.М.Лебедев, И.П.Луговая, В.М.Малых, В.М.Максимович, Л.И.Мартыненко, Т.А.Скаржинская, Ю.М.Стебновская, А.И.Стрыгин, Н.И.Половко, Б.И.Пирогов, Л.Г.Прокогин, И.И.Танатар, Г.В.Тохтуев; В.С.Федорченко, В.Ю.Фоменко, Ю.Ю.Юрк, В.М.Шелегада, Е.В.Шнюков и многие другие. В их работах глубоко изучены вопросы неоднородности состава руд, его зависимости от состава исходных пород, взаимосвязи химического и минерального состава руд, эволюции морфолого-анатомических характеристик и некоторых физических свойств минералов в связи с рудообразованием и пр. Не нашли пока должного освещения проблемы топо-минералогии рудных залежей направленности изменений морфологии, конституции и свойств минералов в ходе многоэтапного

длительного процесса становления современного минералогического облика руд.

## Глава 2. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КРИВОРОЖСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАСЕЙНА И ПОЗИЦИИ ЗАЛЕЖЕЙ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

В строении Криворожской структуры принимают участие образования верхнего архея, нижнего и верхнего протерозоя (Паранько, 1993). К верхнему архею относятся развитые в основании криворожского разреза metabазиты, являющиеся стратиграфическим аналогом конско-верховцевской серии. Нижнепротерозойские образования представлены конгломератосодержащими и железисто-кремнисто-сланцевыми формациями криворожской серии, включающей новокриворожскую, скелеватскую, ингулецкую и саксаганскую свиты. В верхнепротерозойский период проходило накопление карбонатно-углеродисто-сланцевой формации (Фрунзенская серия), а также молассоидной метаконогломератовой и метапесчаниково-сланцевой формаций (глеватская серия). Формирование серий было обусловлено проявлением в Кривбассе четырех самостоятельных тектоно-седиментационных циклов, соответствующих проторифтовому, рифтовому, протогеосинклинальному и платформенному этапам развития района (Паранько, 1993; Решетняк, 1993). Наложение разновозрастных продуктов геологической деятельности обусловило современный облик структуры, особенностью которой является блоково-чешуйчатое ее строение. В структуре выделяется семь блоков второго порядка, ограниченных разрывными нарушениями. Залежи богатых железных руд приурочены к Саксаганскому блоку, одной из особенностей которого является наличие одноименного рудоконтролирующего надвига. Богатые руды локализованы в 4, 5 и 6 железистых горизонтах поднадвиговой части разреза.

## Глава 3. КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД

Особенности вещественного состава богатых железных руд рассматриваются в сравнении и с учетом основных минералого-геохимических ореолов в зональности рудных тел. Установлено, что значительное разнообразие свойств руд при изменчивости содержания Fe и других компонентов связано с различными генерациями минералов и последовательностью их формирования при неоднократных сменах эволюционно-революционных процессов минералообразования. На фоне ранних процессов гипергенной мартизации с реликтами маггемита эволюционно развивается интенсивная гипергенная мартизация с появлением разнообразных процессов замещения, цементации и других явлений, связанных с гематитизацией, лимонитизацией и т.д. Для

сингетичных руд характерны четкие слоистые текстуры, а вторичных — резкоконтрастные текстурные элементы с различного рода нарушениями (микроскладчатость, брекчирование, цементация и др.), подчеркивающиеся характером наложенных процессов (дробление, выщелачивание и др.).

Ведущими компонентами в рудах являются Fe и  $\text{SiO}_2$ . Другие же играют второстепенную роль. Наиболее древние первичные сидеритовые (сидероплезитовые) руды характеризуются невысоким содержанием Fe (39.99%) и низким —  $\text{SiO}_2$  (1.32%). Высокое содержание MoO, FeO  $\text{CO}_2$  определяет сидероплезит, как главный рудный минерал. Среди геохимических коэффициентов наиболее значительным является коэффициент карбонатности  $\text{CO}_2$  ( $\text{Fe} \cdot 10^{-3} = 910$ ), при весьма низких коэффициентах окисленности ( $K_o = \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.003$ ) и магнитности ( $K_m = \text{Fe}_m/\text{Fe}_{\text{обш}} = 0.038$ ), что в значительной мере отражает первичную природу руд. Эпигенетические руды разнообразны по составу — это магнетитовые, маритовые, железослюдко-маритовые, дисперсногематитовые и бурожелезняковые. В залежах маритовых руд 5 и 6 горизонтов четко прослеживается минералого-геохимическая зональность, которая фиксируется зональным распределением Fe и  $\text{SiO}_2$ , содержание Fe изменяется от 46 до 70% при соответствующем изменении  $\text{SiO}_2$  от 31.7 до 0.5%. Вместе с изменением содержания других компонентов зональность минералого-геохимических ореолов подчеркивает характер проявления наложенных гипогенных и гипергенных процессов минералообразования. Химизм руд очень близок и разница отмечается по силикатной составляющей. В рудах 5 горизонта  $\text{SiO}_2$  связано преимущественно с кварцем, а в рудах 6 горизонта, примерно 1/3 — это  $\text{SiO}_2$  силикатов. В связи с этим при высоком коэффициенте окисленности для руд близкого минерального состава последний в рудах 5 горизонта составляет 0.995–0.985, в рудах 6 горизонта  $K_o = 0.973$ –0.988. В рудах этого горизонта чаще заметны реликты магнетита, соответственно коэффициент магнитности ( $K_m$ ) равен 0.040–0.160, а в рудах 5 горизонта  $K_m = 0.017$ –0.044. В рудах 6 горизонта чаще развиты процессы вторичной карбонатизации, а в рудах 5 — процессы вторичной апатитизации. Отличаются руды и по проявлению процессов лимонитизации: в рудах 6 горизонта лимонит развивается по силикатам и карбонатам, а при выщелачивании кварца гетит цементирует рудные минералы и реликтовый кварц: в рудах 5 горизонта, помимо цементации минералов, весьма характерны сложные типы сростаний маррита-гематита и гетита лепидокрокита. Дисперсногематит-маритовые, дисперсногетит-маритовые руды, связанные со сланцевыми горизонтами, содержат кроме

рудных минералов каолинит, монтмориллонит и хлорит. Они характеризуются повышенным содержанием  $Al_2O_3$ ,  $FeO$  и  $MoO$ . При изменении содержания  $Fe$  от 46% до 60% они четко диагностируются по повышенному коэффициенту глиноземистости  $K = Al_2O_3 / (Fe \cdot 10^{-3}) = 53.3-129.3$ . Нередко в них отмечается повышенное содержание  $P_2O_5$ . Весьма показательно также изменение коэффициента  $ППП / (Fe \cdot 10^{-3}) = 39.1-191$ . При отсутствии в большом количестве гетита в рудах обуславливает повышенные содержания  $H_2O(ППП)$ . Коэффициент окисленности высокий ( $K_o = 0.973-0.987$ ). Руды эпигенетического типа магнетитового состава отличаются от других по химическому составу и, соответственно, геохимическим коэффициентам. На руднике им. Фрунзе это силикат-магнетитовые руды 4 горизонта слабо окисленные с небольшим содержанием кварца. Коэффициент окисленности менее 0.700. При высоком коэффициенте магнитности (0.920) содержание железа в них составляет 63%, а коэффициенты кремнеземистости и щелочности соответственно равны  $77 \cdot 10^{-3}$  и  $47.6 \cdot 10^{-3}$ . При частичном окислении с повышением содержания железа до 65,05% все коэффициенты существенно изменяются:  $K_M = 0.887$  (понижается),  $K_o = 0.725$  (повышается),  $K_{крем.} = 36.9 \cdot 10^{-3}$ ,  $K_{щел.} = 30.7 \cdot 10^{-3}$ . Магнетитовые руды ингуленского типа отличаются повышенным содержанием карбонатов доломитового, ферри-доломитового, реже анкеритового состава и амфиболов типа куммингтонита и роговой обманки. С повышением содержания  $Fe$  от 48,95% до 58,02% наблюдаются следующие изменения коэффициентов:  $K_M$  - от 0.774 до 0.932,  $K_o$  - от 0.760 до 0.710,  $K_{крем.}$  - от  $504 \cdot 10^{-3}$  и выше,  $K_{карб.}$  - от  $63 \cdot 10^{-3}$  до  $98 \cdot 10^{-3}$ . При частичном окислении сразу увеличивается содержание  $Fe$  в рудах до 65% при  $K_M = 0.714$ , соответственно  $K_o = 0.765$ ,  $K_{крем.} = 138 \cdot 10^{-3}$ . В амфиболовых рудостях возрастает количество апатита. Магнетитовые и карбонат-гематит-магнетитовые руды первомайского типа отличаются от рассмотренных выше. Их формирование связано с различными этапами гидротермально-метасоматических процессов и прежде всего с развитием щелочных амфиболов и карбонатов доломитового, ферридоломитового, анкеритового и сидеритового состава, что выражается в контрастности геохимических коэффициентов. В них заметно ниже содержание магнетита, в то время как количество гематита при незначительном содержании кварца возрастает. Бурные железняки характеризуются следующими особенностями: содержание  $Fe$  определяется минеральным составом рудной среды (гетит, гидрогетит, их смеси), а также количеством примесей и не превышает 62.5%; коэффициент окисления при отсутствии магнетита колеблется от 0.954 до 0.998, характерно резкое конт-

растное распределение в пробах  $\text{SiO}_2$  от 1.3 до 13.30%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  от 0.229 до 0.848 и ППП от 9.45 до 11.7%. Другие геохимические коэффициенты варьируют в соответствии с поэтапным развитием рудообразующих процессов.

#### Глава 4. МИНЕРАЛОГИЯ И ОНТОГЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД САКСАГАНСКОГО ТИПА

Полигенность руд обусловила большое разнообразие их минерального состава (табл. I), а также формирование многочисленных генераций минералов. Изучение их типоморфных особенностей, генетических и пространственных взаимоотношений является основой понимания закономерностей вариации состава и свойств руд. Установление последних вызвано изменениями в гомолого-морфотропном ряду оксидов: юстит-магнетит-маггемит-гематит (мартит), широко известном в зоне окисления магнетитовых руд в природе. Именно этот ряд лежит в основе изменений оксидов богатых руд бассейна.

Таблица I.

Основные минералы железных руд саксаганского типа

Классы минералов :	Основные минералы
Оксиды и гидроксиды	Магнетит, оксимагнетит, маггемит, мушкетовит, гематит-мартит, гетит, гидрогетит, лепидокрокит, гидрелепидокрокит
Силикаты	Кварц, халцедон (луктецит), опал, хлорит, биотит, мусковит, гидрослюда, каолинит, монтмориллонит, серпентин, тальк
Карбонаты	Сидерит, анкерит, доломит, кальцит, магнезит
Фосфаты	Апатит, М - апатит
Сульфиды	Пирит (халькопирит)
Сульфаты	Ярозит, алунит, копианит

**Магнетит.** В неокисленных рудах представлен преимущественно ксеноморфными индивидуумами (преобладающий размер 0.04-0.10 мм), образующими гранобластовые агрегаты. В окисленных рудах он сохранился в виде мелких (0.001-0.005 мм) реликтов неправильной формы, заключенных в зернах мартита, которые в целом наследовали форму исходных кристаллов магнетита. Идиоморфные кристаллы магнетита редки. В разрезе от вмещающих исходных магнетитовых кварцитов к центральным частям залежей неокисленных магнетитовых руд их относительное количество уменьшается от 50-60 до 10-30%. Ксеноморфизацию кристал-

лов магнетита автор связывает с процессом рудообразования. Этот же онтогенетический цикл сопровождался снижением количества зонально-секториально-блоковых и возрастанием числа скелетно-дендрито-блоковых кристаллов с повышением степени дефектности индивидов магнетита. При этом происходили локальные изменения фазового состава отдельных блоков маггемита, дефектного оксимagnetита (кенномagnetита, по Моррису, 1986). Одновременно фиксируются закономерное повышение твердости магнетита (от 4800 до 5200 МПа для магнетитовых кварцитов, до 4700-7800 МПа для руд) и удельной поверхности кристаллов и агрегатов магнетита (соответственно от 100-200 до 110-230 м<sup>2</sup>/кг). Микронзондовый анализ показал значительную неоднородность распределения железа на анатомических срезах кристаллов магнетита - от 68.4 до 72.4 масс.%. Коэффициент окисленности минерала в магнетитовых кварцитах (0.690-0.700) существенно ниже по сравнению с магнетитом руд (0.695-0.718). Во вмещающих сланцах этот показатель магнетита составляет 0.685-0.695.

Гематит. В рудах саксаганского типа содержится в количестве от 65 до 100 объем.вес.%. Он входит в состав гематит-магнетитовых, силикат-магнетит-гематитовых, железослюдко-мартитовых, мартит-дисперсногематитовых, дисперсногематит-мартитовых (красковых) руд. Облик кристаллов таблитчатый, пластинчатый, ромбоэдрический, призматический. Агрегаты весьма разнообразны: тонкодисперсные, зернистые, чешуйчатые типа железной слюдки, радиально-лучистые и др. Минерал в гипергенно измененных железистых кварцитах представлен тремя морфологическими разновидностями: дисперсный гематит (гидрогематит), железная слюдка и мартит. Наибольшим распространением пользуется мартит, явившийся объектом исследований автора настоящей диссертации.

Мартит образует разнообразные структуры замещения магнетита гематитом: решетчатые, петельчатые, пятнистые, краевых каемок, линейные и комбинированные. Морфолого-структурный анализ кристаллов мартита железистых кварцитов и руд показал: 1) для железистых кварцитов характерны более тонкие существенно скелетные и блоково-скелетные структуры псевдоморфоз, подчеркиваемые повышенной их симметричностью по трем направлениям отдельности, свойственной магнетиту на грани октаэдра и гематиту на грани пинакоида. Независимо от глубины окисления железистых кварцитов на контакте с рудами в них больше (на 2-3 и более порядков) сохраняется магнетит в виде реликтов по сравнению с рудами. При этом существенную роль играет не только более низкое содержание железа (35-37%) в кварцитах (в рудах более 46%), но и повышенное количество нерудных минералов,

прежде всего кварца ( $\text{SiO}_2$  - 34-40% в железистых кварцитах и на 2-3 порядка ниже в рудах). Это значит что в зоне окисления  $\text{pH}$  руд выше по сравнению с железистыми кварцитами (в мартитовых разновидностях кварцитов  $\text{pH}$  - 6.8-7.2; в рудах -  $\text{pH}$  - 7-9). Изменение  $\text{pH}$  среды существенно сказывается на размерах субиндивидов вторичного гематита (в железистых кварцитах 5-7 мкм, в рудах - 10-20 мкм). Отмеченные особенности мартитизации железистых кварцитов просматриваются в ореолах залежей богатых руд с различным содержанием железа, особенно в ореоле руд с содержанием  $\text{Fe}$  46-50%; 2) для богатых руд характерно скелетно-дендрито-блоковое строение мартита, обуславливающее высокую пористость кристаллов и агрегатов псевдоморфоз. Различие в пористости минерала связано с последующими его изменениями (метаморфизм по Руденко, 1985), заключающимися в растворении и выносе разрушенных частиц псевдоморфозы, выщелачивании кварца; 3) сопоставление особенностей анатомии кристаллов и агрегатов мартита с юга на север Саксаганской полосы свидетельствует об эволюционном развитии псевдоморфоз в процессе образования и преобразования самих руд. Отмечена глубокая мартитизация магнетита богатых руд по сравнению с железистыми кварцитами (т.е. появление дендритовых образований с участками скелетных кристаллов, иногда с четкой ориентацией субиндивидов вторичного гематита, как отражение смены собственно кубической симметрии оксимагнетита на тетрагональную маггемита. Начало этого процесса следует связывать с периодом регионального метаморфизма толщ железистых кварцитов и интенсивного тектогенеза. При этом возникали первично богатые гидротермально-метаморфические руды магнетитового состава, подверженные диафорезу и щелочному метасоматозу. Щелочная среда минералообразования на фоне существенно тектонических преобразований обусловила высокую степень дефектности магнетита с появлением в нем значительного количества блоков маггемита. Это и явилось главной причиной гипогенной мартитизации, обусловившей резкую гетерогенность магнетита в минеральных ассоциациях магнетита первичных руд с гематитом и кварцем, с кварцем и силикатами. Этот этап предьстории мартита постепенно развился в этап формирования роста полной псевдоморфозы гематита по магнетиту при гидротермально-метасоматических и гипергенных процессах рудообразования верхнепротерозойского гипергенеза, когда в рудах проявились процессы окисления с образованием вторичного гематита нескольких генераций, при интенсивном выщелачивании кварца. Резкий вынос кварца способствовал повышению содержания  $\text{Fe}$  в рудах до 65-68%. Пористость последних возрастала также

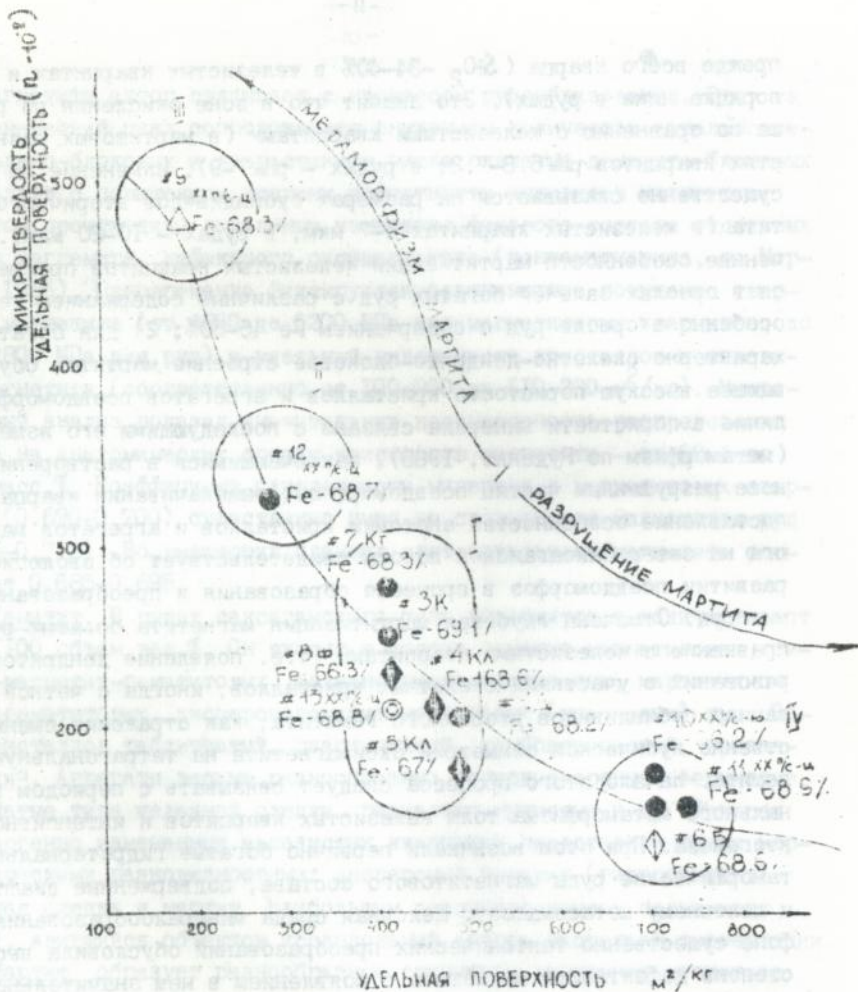


Рис. 1. Взаимосвязь микротвердости МАРТИТА БОГАТЫХ РУД С ВЕЛИЧИНОЙ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (крупность фракций 74-44 мкм)

за счет гидростатического давления. В рудах на глубинах более 500 м происходило их уплотнение. Этому способствовал и новый этап тектоники малых форм (кристаллизационная складчатость, кливаж, трещины различной ориентации, микробудинаж). Одновременно происходил метаморфизм псевдоморфоз мартита (перекристаллизация субиндивидов гематита и появление микроблоков). В первичных ассоциациях руд магнетита и первичного гематита с кварцем субиндивиды вторичного гематита ромбоэдрически-призматические, а в ассоциациях с силикатами - изометрично-гексаэдрические. Весь последующий период преобразований псевдоморфоз и руд связан с этапом палеозойского гипергенеза. Все реликты магнетита превратились в гетит, поры заполнялись гетитом и мелкозернистым кварцем (лютецитом), карбонатами и другими минералами. В рудах существенное развитие получил халцедон, который вместе с гетитом подчеркивает изменение среды минералообразования. На этом этапе руды в значительной степени уплотнились за счет гетита и кварца. Пористость мартита претерпевала новые изменения. Завершающий этап преобразования псевдоморфоз связан с претеритичным гипергенезом, характеризующимся появлением обоживания мартита с разрушением субиндивидов, а также рыхлых гематитовых и лимонитовых красок. Субиндивиды за счет частичного растворения получали глобулярный облик. Установлено, что на этапе гидротермально-метасоматического преобразования псевдоморфоз мартита субиндивиды гематита перекристаллизовывались в собственно гематит (двойникованный). В результате возникали вторичные гипергенно-метаморфические мартито-железосодержащие руды, которые отличаются высоким содержанием Fe (67-70%). В мономинеральных фракциях содержание железа изменяется от 66.5 до 70%. Эта изменчивость состава мартита объясняется гетерогенностью псевдоморфоз. С другой стороны четко прослеживается обратная связь между микротвердостью и удельной поверхностью мартитов с выделением трех групп мартитов (рис. 1): весьма пористых (IV), средней (II-III) и низкой (I) пористости, отражающих выше отмеченную эволюцию псевдоморфоз. Удельная магнитная восприимчивость мартита изменяется в пределах:  $35-233/4\pi/10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг мартита и  $14.7-139.3/4\pi/10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг гематита.

Гидроксиды железа образуют псевдоморфозы по железосодержащим карбонатам, силикатам, рудным минералам и сульфидам. Они входят в состав окисленных железистых кварцитов, сланцев, богатых мартитовых и "красковых" руд, где в ряде разновидностей являются основными нерудными минералами. Особенности морфологии индивидов и агрегатов гидроксидов железа, а также конституции и свойств зависят от характера сосуществующих минералов в ассоциации с учетом минералого-

геохимической зональности толщ; условий и механизма кристаллизации гидроксидов железа; приуроченности месторождений к определенным районам Кривбасса. Гидроксиды железа обладают разной кристалломорфологией в зависимости от условий и механизма кристаллизации. В зоне гипергенеза железистых кварцитов они представлены короткопризматическими кристаллами, основной призмой которых является  $\{110\}$ , а на их головках призма  $\{021\}$  часто в комбинации с ромбической дипирамидой  $\{131\}$ . Гидротермальный гетит представлен длиннопризматическими кристаллами с призмой  $\{180\}$ , реже  $\{210\}$ . Гидроксиды из бурожелезняковых руд представлены субагрегатами, растущими по законам геометрического отбора, реже хорошо образованными короткопризматическими индивидами. При оценке granulометрии выявлено, что наименьшие размеры гидроксидов железа образуются при замещении карбонатов и силикатов и составляют 0.004-0.015 мм. Эволюция гидроксидов железа отражена в гетерогенности их свойств, которые существенно отличаются в железистых кварцитах, гетит-мартитовых, дисперсно-гетит-мартитовых и бурожелезняковых рудах, что подтверждается общей тенденцией изменений твердости и хрупкости, удельной поверхности и других особенностей. В зависимости от крупности фракции наиболее высокая удельная поверхность отмечается в сплошных агрегатах (6903-7166 м<sup>2</sup>/кг) бурожелезняковых руд, наиболее низкая - (2505-2853 м<sup>2</sup>/кг) в радиально лучистых агрегатах. Корковые агрегаты занимают промежуточное значение (6776-7050 м<sup>2</sup>/кг). Удельная поверхность изменяется в зависимости от крупности фракции.

Кварц является самым распространенным нерудным минералом в железистых кварцитах и рудах. В нерудных слоях его содержание достигает 95%, в рудных - 5-30%. Минералогия кварца во всех железосодержащих породах тесно связана с особенностями их вещественного состава, текстурно-структурных признаков, физико-механических свойств и отражает направленность его эволюции. В рудах известны две основные генетические разновидности кварца: метаморфический (послойный микрогранобластовый, в виде жил альпийского типа) и гипергенный (сферолитовый и пойкилитовый в порах руд, а также маршалит). Для метаморфического кварца из богатых руд характерны многочисленные следы растворения с признаками локального переноса и перетолжения кремнезема. Частичное растворение и последующая регенерация кварцевых зерен устанавливается по кольцевым, в плоскости шлифа, включениям дисперсного гематита или гидроксидов железа, ромбическим и пойкилитовым выделениям кварца. Метаморфический кварц играет главную роль в плотных кварц-мартитовых, кварц-железнослю-

ко-маритовых рудах и реже в кварц-магнетитовых, где он образует зерна размером 0.02-0.05 мм. В пределах приповерхностных участков залежей широким развитием пользуется маршалит с размером зерен 0.01-0.05 мм. Гипергенный кварц (сферолитовый и пойкилитовый) отмечается в пористых остаточных рудах, где заполняет поры и пустоты. Сферолитовый кварц образует зерна лепестковидной формы размером 0.2-0.4 мм, имеющие секториальное погасание (халцедон-лютецит). Эти зерна содержат многочисленные газопо-жидкие включения, которые располагаются беспорядочно, концентрически зонально и веерообразно. Размеры включений колеблются в пределах от 0.1 до 10 мм. Помимо этого он содержит твердые включения маршита, железной слюды, гетита, иногда каолинита. Пойкилитовый кварц представлен зернами (0.3-2.00 мм) неправильной или полигональной формы с многочисленными включениями гематита и других цементационных минералов. В рудах он образует цемент прорастания, что повышает их крепость. В пустотах, трещинах этот кварц образует микродрозовые агрегаты, иногда отдельные призматические кристаллы размером в поперечнике от десятых долей миллиметра до 2 см. Главными формами кристаллов являются комбинации призмы с ромбоздром {1011} и {0111}. Помимо кварца к эпигенетическим минералам в остаточных рудах относятся все остальные силикаты (опал, хлорит, биотит, мусковит, гидрослюда, каолинит, монтмориллонит, серпентин, тальк); карбонаты (сидерит, анкерит, доломит, кальцит, магнезит); фосфаты (апатит, Мп-апатит); сульфиды (пирит, халькопирит) и сульфаты (ярозит, алунит, копианит).

## Глава 5. ОНТОГЕНЕЗИС РУДНЫХ ТЕЛ И ЭВОЛЮЦИЯ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

### 5.1. Общие положения по генезису

Анализ условий рудообразования окисленных богатых руд остаточного типа, ассоциирующихся с образованиями железисто-кремнистой формации и анализ особенностей их локализации и морфологии рудных тел, подчеркивающий дискретный характер размещения руд на фоне регионального распространения железистых кварцитов, показывает, что ключевая роль в эпигенетическом образовании руд принадлежит литолого-фациальным факторам. Каждый формационный тип богатых руд образовался путем, по меньшей мере, одноактного обогащения железистых кварцитов, которые сами по себе характеризуются сложным генезисом. При длительных этапах протекания принципиально различных минералообразующих процессов, разделенных крупными промежутками времени, в результате их взаимодействия возникают разные пространственно сопряженные руды и вполне обосновано рассматривать их в качестве полигенетических.

## 5.2. Онтогения рудных минералов

С помощью онтогенетического метода исследований установлено, что основные минералы руд саксаганского типа на различных этапах рудообразования характеризуются определенными типоморфными признаками, позволяющими говорить о полигенном и полихронном их образовании. Рудные тела в толщах железистых кварцитов и сланцев Саксаганского района представляют собой концентрические минеральные аномалии, отражающие внутреннюю зональность рудных тел. На рис. 2 показаны в изолиниях ореолы распределения Fe и диаграммы зависимости крепости и содержания Fe мартитовых разновидностей руд 5 железистого горизонта. Сложность внешнего строения рудных ореолов определяется общей региональной структурой и основными тектоническими нарушениями (изолиния Fe=46%), а их внутреннее строение связано с локальными проявлениями различных рангов структур (разрывы надвигового типа, поперечные открытые складки, флексуры, структуры будинажа, кинк-банды), заложивших основы рудообразования. Следовательно, качество руды нужно связывать с микроуровнем рудоконтролирующих структур (микрорудная складчатость, кинкбанды, микробудинаж), которые выступают как главный фактор при преобразовании минеральных ассоциаций и их свойства.

Полученные в процессе исследований данные по мартитовым цементационным рудам, а также цементационным гетитом и кварцем разновидностям дополняют составленную ранее В.М.Кравченко (1981) схему вертикальной зональности в железистых горизонтах, концентрирующих большую часть рудных тел. Пространственное размещение руд саксаганского типа по простиранию и на глубину, а также их минералогические критерии наряду с физико-механическими свойствами позволяют выделить три технологических типа руд: высокопористые (пористость 20-35%, Fe - 68-70%,  $K_K$  - 3-5 баллов); пористые (пористость 10-20%, Fe-60-65%,  $K_K$  - 5-8 баллов); плотные (пористость до 10%, Fe не менее 57.5%,  $K_K$  - 5.5-12 баллов). Вследствии приведенной классификации, физические свойства, в частности пористость, должны рассматриваться на уровне минерального агрегата за счет искаженности минеральных индивидов, которые влияют на плотность рудных залежей. Таким образом, основными причинами образования руд с цементационными минералами являются разная степень структурной подготовки и неодинаковый состав пород и руд. Неоднородность ореолов рудных тел состоит в развитии их зон с различным содержанием Fe (30-46-50%, 55-65%, 65-68%) от тыловой до фронтальной частей на различных глубинах. Если первая зона (Fe=30-40-50%) в основном характеризуется сглажен-

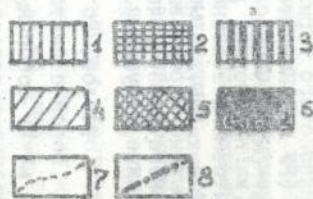
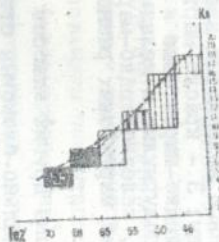
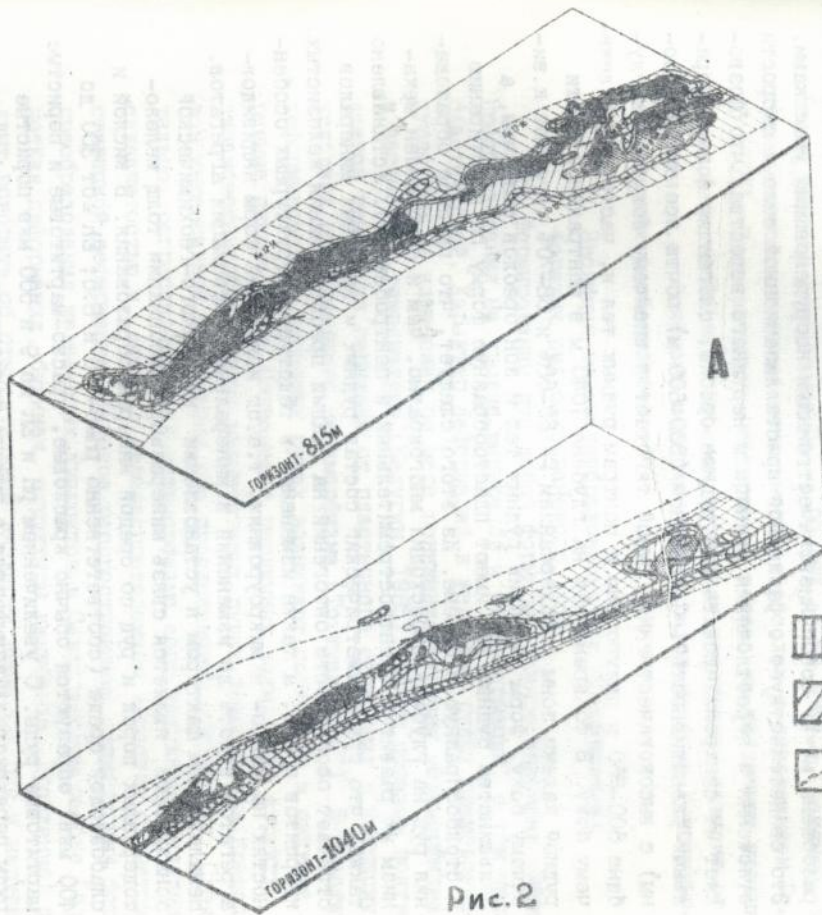
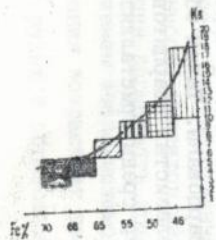


Рис. 2

ДНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Подпись к рис. 2

Зональное распределение мармитовых разновидностей руд в теле пятого железистого горизонта, связанное с изменением коэффициента крепости (РУ им. Коминтерна).

1 - окисленные и неокисленные железистые кварциты; 2 - кварц-мармитовые (магнетитовые) руды; 3 - краско-мармитовые руды; 4 - плотные мармитовые и железослюдко-мармитовые и гетит-гематит-мармитовые руды; 5 - мармитовые полурыхлые и железослюдко-мармитовые руды; 6 - рыхлые мармитовые, железослюдко-мармитовые руды; 7 - линии закономерного распределения мармитовых разновидностей руд; 8 - тектонические нарушения.

ностью всех ореолов, то зоны других классов развиты концентрически зонально, порой с секториально-блоковым строением. Последние часто разобщены между собой низкокачественными неорудневшими участками. Это свидетельствует о различной кристаллизационной силе и скорости отложения и перестроения рудного и нерудного вещества, что позволяет их синхронизировать как рудные ореолы, слагающие зоны минеральных разновидностей. С глубиной (500-600 м) почти все ореолы (зоны) с высококачественной рудой тяготеют к висячему боку, а на глубине 600-860 м приурочены к центрам рудных тел и, частично, к лежащему боку. В то время как на глубине 1040 м в центральной части рудной залежи зоны с содержанием Fe 65-66% и 68-70% тяготеют к висячему боку. Форма и облик рудных тел и зон ореолов различны, а большинство рудных тел имеют пластообразную форму по простиранию и столбообразную в объеме. Из этого следует, что процесс образования руд на глубину происходил многократно, чем и обусловлен механизм их развития (центростремительный и центробежный). Установлено также, что гранулометрический состав рудных и нерудных минералов отражает особенности онтогении на стадии преобразования железистых кварцитов и руд, а также изменения в текстурно-структурных особенностях на макро- и микроуровнях, т.е. от искажений форм индивидов-агрегатов вплоть до изменений в минеральной ассоциации агрегатов. Немаловажным фактором в установлении минералого-геохимической зональности является связь минеральной ассоциации толщ железосодержащих пород и руд со средой минералообразования. В кислой и слабокислой среде (соответственно  $pH=6-7.5$  и  $8.5$ ;  $Eh$  - от 300 до 400 мкв) образуются обычно красковые, краско-мармитовые и пористые мармитовые руды. С увеличением  $pH$  и  $Eh$  до 9 и 500 мкв пористые руды перекристаллизуются в рыхлые железослюдко-мармитовые, а в щелочной среде эти разновидности окварцованы. Таким образом, определяющим фактором для онтогении железистых кварцитов и богатых руд является физико-химический характер среды кристаллизации. Имен-

но гетерогенностью среды минералообразования в толще железистых кварцитов ( в том числе микросреды в каждом слое железных руд) и обусловлена изменчивость содержаний железа и мощности рудных тел на всех этапах рудогенеза и их минералого-геохимической зональности. То есть: эпигенетически гипергенная, обусловленная инфильтрацией минералообразующих компонентов в залежах пористых руд выщелачивания, с образованием цементационных руд (Fe =65-70%); внутривулканическая реликтовая (метаморфогенная), которая проявилась совместно с преобразующими гипергенными процессами окисления и выщелачивания (зоны классов содержания Fe от 30-46% до 50-55%) и, наконец, аутигенно-минералогическая зональность в ореолах с содержанием Fe-30-46 (50%). Следовательно, содержание железа на различных уровнях смены фазы вещества, глубинах и стадиях рудогенеза зависит от смены фазы, т.е. фонового содержания минералов на фоне текстурно-структурных особенностей.

### 5.3. Эволюция минералообразования при формировании богатых руд саксаганского типа

При формировании руд любой формации важное значение имеют преобразования на уровне минералов и их деформаций, в том числе пластической. Характер деформаций в железных рудах претерпевает существенные изменения по мере понижения степени метаморфизма, и в частности, температуры (Калугин, 1985). Таким образом подтверждается тенденция перехода от пластичного состояния к хрупкому в условиях регрессивного метаморфизма (Тохтуев, 1967). В пластически деформированных слоистых рудах возникают согласные и секущие вторичные рудные жилы. Сохранение первичных каких-либо структур в динамометаморфизованных магнетитовых рудах возможно за пределами зон интенсивной деформации при прослеживании оруденения. Следовательно, регрессивный этап метаморфизма сопровождается различной складчатостью и связан с перераспределением вещества с учетом пластической деформации. Широкое распространение структурных форм преобразования железистых кварцитов в Саксаганском районе (пластическая деформация, будинаж, структуры кинкбанда, дробление) позволяют говорить об относительной вязкости вещества руд и нерудных прослоев. Соответственно от этого и зависят текстурно-структурные особенности мармитов железистых кварцитов и богатых руд, обуславливающие пористость кристаллов и агрегатов псевдоморфозы. На прогрессивном этапе метаморфизма за счет пластической деформации и дробления возрастает дефектность магнетита в первичных магнетитовых рудах с образованием маггемита и выносом из рудных слоев

кварца. В этих слоях прослеживается укрупнение индивидов магнетита. Агрегаты характеризуются сплошным строением. Кварц в нерудных слоях крупнее и очищен от ряда примесей. Все это свидетельствует о топотаксической реакции (явление мартитизации магнетита и его очищение от кварца и магнетита), возникающей за счет гетерогенности среды минералообразования. (P-T-C) на различных этапах рудообразования. В связи с этим можно однозначно утверждать, что в образовании рассмотренных нами руд принимали участие два процесса: метаморфогенный и гипергенный. Сочетание этих процессов определило минералогические и текстурно-структурные признаки; геохимические особенности и физико-механические свойства руд Кривбасса с позиции их полигенности и полихронности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате детального изучения особенностей минералогии оксидов и гидроксидов железа, а также связанных с ними силикатов, карбонатов, фосфатов, сульфидов и сульфатов главную роль определяет физико-химический фактор кристаллизации. Гетерогенность и изменение среды минералообразования должны рассматриваться на разных уровнях: а) микросреда - на уровне нерудного, рудного и смешанных слоев с учетом анизотропии физико-химических условий кристаллизации, а также на фоне проявления разнообразных по химизму процессов растворения, замещения, твердофазового преобразования; б) макросреда - изменение характера переслаивания различных по мощности минеральных разновидностей окисленных и полуокисленных железистых пород и руд в связи с минералогическо-геохимической зональностью толщ, с учетом особенностей гипогенно-гипергенных процессов рудогенеза на фоне изменений геолого-структурной обстановки на месторождениях с различным характером микроскладчатости, сбросо-сдвиговых явлений, крупных структурных изменений с различной по интенсивности жильной минерализацией.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. К вопросу о первопричинах формирования залежей богатых железных руд Кривбасса. КГРИ, Кривой Рог, 1994. 14 с. Деп. в ГНТГ Украины. 20.01.94, № 79. УК.94. Соавторы Б.И.Пирогов.
2. Геохимическая специализация образований Саксаганской свиты как один из критериев поисков залежей богатых железных руд. КГРИ, Кривой Рог, 1994. 15 с. Деп. в ГНТБ Украины 10.01.94, № 80-УК 94. Соавторы И.С.Паранько, В.И.Пирогов.

3. Основные элементы тектонического строения Кривбасса и их роль при формировании залежей богатых железных руд. КГРИ, Кривой Рог, 1994. 18 с. Деп. в ГНТБ Украины. 10.01.94. № 81 - УК 94. Составители И.С.Паранько и Б.И.Пирогов.

#### ABSTRACT

Neto M.S. Mineralogy and ontogeny iron of wealthy iron ore from Krivoy Rog. On the rights of manuscript.

Dissertation for a candidate's degree of science (geology and mining) on the speciality 04.00.20 - mineralogy and crystallography. Krivoy Rog Technical University, Krivoy Rog, 1995.

Three scientific theses, which contain theoretical investigation basis of mineralogical genesis features of transformation ferruginous and primary magnetite ores into martite and experiment results are defending. New structural-logical scheme been designed.

Research has been conducted with the use of complex modern methods of analysis (km, IRS, X-Ray and others) on the basis of ontogeny. In the first time generally martitisation phenomenon was studied (mineralogical - crystallochemical aspect) with the consideration of ontogeny ore and the formation of mineralogical-geochemical aura on the basis of polygenical-polychronological genesis of ore.

#### АНОТАЦІЯ

Нето М.С. Мінералогія та онтогенія багатих залізних руд Кривого Рогу.

На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геолого-мінералогічних наук за спеціальністю 04.00.20 - мінералогія і кристалографія. Криворізький технічний університет, Кривий Ріг, 1995.

Захищаються три наукових положення, які обґрунтовують мінералого-генетичні особливості перетворення залізистих порід і первинних магнетитових руд в мартитові. Розроблена нова структурно-логічна схема їх вивчення. Дослідження проведеної з використанням сучасних методів аналізу (РЕМ, ІКС, рентген та інших) на онтогенічній основі. Вперше всебічно вивчено явище мартитизації (мінералого-кристалохімічний аспект) з врахуванням онтогенії рудного тіла і утворення мінералого-геохімічних ореолів на основі полігенно-поліхронного генезису руд.

Ключові слова

Полігенно-поліхронний генезис, мінералого-геохімічні ореоли,  
онтогенічний аналіз

Здобувач

*М.С.Нето*

М.С.Нето

11111092

АВ 34.325

Заказ № 8530, тираж 100 экз.  
КС 5026  
4.01.1996 г.