

ОРДЕНОВ ЛЕНИНА И ДРУЖБЫ НАРОДОВ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ, МИНЕРАЛОГИИ И РУДООБРАЗОВАНИЯ  
ОТДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОГЕНИИ

---

На правах рукописи

**ВАЙЛО Александр Владимирович**

УДК 553.311:552.4(477)

**ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫЕ ФОРМАЦИИ И ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ ФРУНЗОВСКОЙ  
ЗОНЫ ЮГО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА УКРАИНСКОГО ЩИТА.**

Специальность 04.00.11. - геология, поиск и разведка рудных  
и нерудных месторождений; металлогения

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
геолого-минералогических наук

Киев - 1994



АВ 30.6.77

Работа выполнена в Отделении металлогении Института  
геохимии, минералогии и рудообразования  
Академии наук Украины

Научный руководитель:

**доктор геолого-минералогических наук М. А. ЯРОШУК**

Официальные оппоненты:

**доктор геолого-минералогических наук А. И. СТРУГИН**  
(Отделение металлогении ИГМР АН Украины)

**доктор геолого-минералогических наук М. Н. КОРЖНЕВ**  
(ИГМР АН Украины)

Ведущая организация:

**Одесский государственный университет им. И. И. Мечникова**  
(г. Одесса)

Защита состоится "5" ОКТЯБРА 1994 г. в 14<sup>00</sup> час

на заседании специализированного Совета Д 016.17.02 при  
Отделении металлогении ИГМР АН Украины по адресу:  
252680, Киев-142, проспект Палладина, 34

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института

Автореферат разослан "11" августа 1994 г.

Ученый секретарь  
Специализированного совета  
доктор геол.-мин. наук

В. П. БУХАРЕВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы** связана с необходимостью оценки перспектив новых районов на докембрийские железные руды, пригодные для качественной металлургии Украины. К таким перспективным, но слабо исследованным, относится новый железорудный район на юго-западном склоне Украинского щита - **Фрунзовская зона**. Актуальность изучения железорудных образований Фрунзовской зоны обусловлена необходимостью установления их формационной природы и генезиса, а также определения перспектив на железные руды разных типов. Работа выполнялась в рамках Научно-технической программы по фундаментальному изучению закономерностей образования и размещения железорудных месторождений в Европейской части СССР (в частности, западной части Ущ) и прогнозной их оценке, которая осуществлялась в Отделении металлогении ИГМР АН Украины на протяжении 80-х годов, в соответствии с рядом Постановлений бывших ГКНТ СССР, АН СССР и АН УССР.

**Цель и основные задачи.** Целью исследований являлось комплексное изучение нового района развития нескольких рудовмещающих формаций и связанных с ними железных руд для решения вопросов железнакопления в докембрийской истории Ущ, и оценки перспектив рудоносности его юго-западного склона.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Изучение геологического строения участков развития железорудных образований.
2. Определение вещественного состава рудовмещающих пород, условий их накопления и метаморфизма.
3. Установление формационной природы железорудных образований Фрунзовской зоны и сопоставление их с известными типами формаций других районов Ущ.
4. Изучение геологии, состава и условий образования железных руд, приуроченных к различным железисто-кремнистым формациям.
5. Определение перспектив рудоносности Фрунзовской зоны.

**Фактический материал и методы его обработки.** Основу работы составляют материалы по Фрунзовской зоне магнитных аномалий, сбор и обработка которых проводилась автором с 1985 по 1993 г. Для со-

поставления использованы данные, полученные с участием автора при изучении рудопроявлений и месторождений железных руд в Среднем Побужье, а также фойдовые и опубликованные материалы по железисто-кремнистым формациям Криворожско-Кременчугской и Сорокинско-Гуляйпольской зон, и докембрийским конгломератовым и конгломератосодержащим формациям ряда районов КМА и УЩ.

Основным объектом изучения явился керн 13 наклонных скважин, пробуренных на глубину до 1410 м в пределах перспективных магнитных аномалий Фрунзовской зоны при проведении поисков железных руд Причерноморской ПСЭ (ГТИ Крымгеология), а также керн 36 вертикальных скважин (ГТИ Кировгеология).

Сделанные выводы базируются на полевых наблюдениях, в ходе которых задокументировано и опробовано около 3 тыс. пог. м. керна докембрийский пород; петрографическом исследовании 1030 прозрачных и 135 полированных шлифов, 20 больших прозрачных пластин и 50 больших полировок керна руд и вмещающих пород; аналитическом материале по: а) породам и рудам (30 искусственных шлифов, 673 спектральных и 126 химических анализов), б) породообразующим минералам (70 проб силикатов и 35 проб магнетита, 50 спектральных и 94 химических анализов, 40 анализов изотопного состава элементов).

В основу исследования положен комплексный анализ строения и состава рудовмещающих железисто-кремнистых формаций и связанных с ними железорудных формаций и типов руд. Анализ включает: изучение различных типов разрезов рудовмещающей формации и установление корреляции между ними; реконструкцию первичного состава осадочных и вулканогенных пород и реставрацию условий их накопления; оценку физико-химических параметров метаморфизма и рудообразования; выяснение закономерностей размещения руд и метасоматитов, определение их строения и состава. При этом использованы: анализ геофизических материалов и их геологическая интерпретация, геолого-петрографический и структурно-тектонический методы исследования метаморфических комплексов; литологический метод изучения груботерригенных толщ; микроскопический, электронномикроскопический, спектральный, химический и изотопно-геохимический методы изучения внутренней структуры и состава минералов пород; петрографические, термобарохимические и изотопные методы оценки физико-химических условий; методы математического анализа многомерной информации.

**Научная значимость и новизна работы.** Работа представляет со-

бой комплексное исследование, научная значимость которого заключается в проведении формационного анализа железорудных образований нового рудоперспективного района, позволившего выделить две железисто-кремнистых формации, и установлении генезиса железных руд, приуроченных к этим формациям.

В диссертационной работе **впервые** решены следующие вопросы:

1) детально охарактеризованы геологическое строение и вещественный состав двух рудовмещающих формаций, в том числе конгломератовой, 2) реконструирована первичная природа пород; реставрированы условия вулканогенно-осадочного седиментогенеза; определены физико-химические параметры метаморфизма, 3) изучены условия залегания и состав руд, выделены их генетические типы, 4) детально изучен состав рудовмещающих магнезиально-железистых метасоматитов, 5) проведено сопоставление рудовмещающих и железорудных формаций Фрунзовской зоны и других районов Ущ.

#### **Практическая ценность и использование результатов работы.**

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что они позволяют прогнозировать развитие в пределах Фрунзовской зоны несколько типов руд и выделить эту зону в качестве резервного железорудного района, перспективного на высококачественные руды. Данные о составе и текстурно-структурных особенностях железных руд могут быть использованы при определении рациональных схем их обогащения, а выводы о закономерностях размещения и строения железорудных формаций Фрунзовской зоны - при прогнозировании в аналогичных по геологическому строению районах Ущ.

Внедрение результатов исследования в практику осуществлялось в Причерноморской ПСЭ ГПП Крымгеология; они изложены в рекомендациях и Отчете по поискам экспедиций железных руд в Южном Побужье. Автором получено 3 акта внедрения и использования результатов НИР.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на межведомственных совещаниях по Программе геолого-генетического изучения железисто-кремнистых формаций Европейской части СССР... (ЖФД, 1985, Киев); Всесоюзном совещании "Глубинное строение и геодинамика кристаллических щитов Европейской части СССР" (Апатиты, 1989); III Всесоюзной школе по "Структурному анализу кристаллических комплексов и геологическому картированию" (Киев, 1990); XII Всесоюзном металлогеническом совещании "Металлогения докембрия и метаморфогенное рудообразование" (Киев, 1990); рабочие материалы докладывались и обсуждались

на заседаниях Ученого совета Ом ИГМР АН Украины в 1991-1992 г.г.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 научных работ; результаты исследования изложены также в Отчете Ом ИГМР за 1986-1990 г.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, **4** глав и заключения. Общий объем **225** страниц, в том числе, **195** - машинописного текста, **30** таблиц, **40** иллюстраций (рисунков) и список литературы из **120** наименований.

В первой главе, на основе анализа геолого-геофизических материалов, дополненных результатами структурного анализа, выполненного автором, дается характеристика гравимагнитных аномалий Фрунзовской зоны, ее тектонической позиции, особенностей внутреннего строения, а также - развитых в этой зоне железисто-кремнистых образований. Вторая глава посвящена геологическому строению и составу выделенных автором рудовмещающих формаций, где описываются особенности строения вскрытых метаморфических толщ, типы геологических разрезов, минералого-петрографические особенности основных типов пород, обосновываются их формационная однотипность. В третьей главе приведены петрохимические, геохимические и изотопно-геохимические особенности этих пород и обосновываются выводы об условиях накопления и метаморфизма рассматриваемых формаций; с учетом всех этих данных проводится сопоставление последних с более изученными формационными аналогами других районов Ущ. В четвертой главе охарактеризованы формации железистых кварцитов и магнезиально-железистых метасоматитов, их строение, параметры развития и минеральные разновидности приуроченных к ним типов руд; обосновываются выводы о генезисе последних и дается оценка перспектив рудоносности Фрунзовской зоны.

**Благодарности.** Диссертация выполнена в Отделе геохимии рудообразования Ом ИГМР АН Украины под руководством доктора геолого-минералогических наук М.А. Ярошук, которой автор выражает искреннюю признательность за постоянное внимание, всестороннюю помощь и поддержку на всех этапах работы над диссертацией. По отдельным вопросам автор пользовался консультациями, советами и помощью профессоров Г.И. Каляева и В.И. Пирогова, докторов геол.-мин. наук В.А. Горлицкого, Е.В. Глевасского и М.Н. Коржнева; кандидатов геол.-мин. наук М.И. Черновского, Б.А. Занкевича, Л.Т. Савченко, И.В. Холошина, Х.Ф. Аркоса, Ю.М. Стебновской, а также вед. инж. Т.И. Шибечкой и Б.А. Мариновича - всем им автор выража-

ет сердечную признательность.

В сборе материалов, их обработке и обсуждении полученных результатов автору оказывали помощь сотрудники: Причерноморской экспедиции - Г.А. Шварц, Д.И. Вогач, Е.П. Крамских и В.Л. Кузнецов; Экспедиции 46 ГГП Кировгеология - В.Д.Соколов, за что автор им также очень благодарен.

Основной объем аналитических работ был выполнен в лабораториях ИГМР АН Украины и Отделении металлогении, а также ГГП Кировгеология, Севукргеология и Крымгеология; на геологических факультетах Киевского госуниверситета и Криворожского горного института. Автор благодарит руководителей и исполнителей этих лабораторий, чей труд способствовал выполнению поставленных задач.

#### **Краткая геологическая характеристика Фрунзовской рудной зоны.**

Изученные рудовмещающие формации и связанные с ними железные руды приурочены к полосе совпадающих в плане высококонтрастных магнитных и гравитационных аномалий, объединенных под общим названием Фрунзовская зона магнитных аномалий, которая контролирует положение одноименного субмеридионального глубинного разлома на юго-западном склоне Ущ; последний прослеживается по геофизическим данным с поверхности до раздела М на расстояние ~ 150 км. Эти формации залегают, вероятно, стратиграфически выше вулканогенно-осадочной карбонатно-метабазитовой железисто-кремнистой формации бугской серии, приуроченной к гранулитовым комплексам межблоковой Белоцерковско-Одесской зоны (Ярошук, 1986; Ярошук, Вайло, 1990); их абсолютный возраст и точное стратиграфическое положение пока не определены.

Аномальный характер физических полей Фрунзовской зоны, своеобразии развитых в ней формаций, особенности внутренней структуры, дискордантность ее по отношению к общей складчатости прилегающих блоков и прямолинейность границ, обусловленная субмеридиональными разломами, позволили рассматривать Фрунзовскую зону магнитных аномалий в качестве самостоятельной структурной и металлогенической единицы. Ее структурно-тектоническое положение определяется приуроченностью к стыку Подольского и Приднестровского блоков и Голованевской шовной зоны, а особенности внутренней структуры - пересечением Фрунзовского разлома Подольским, а южнее - Григориопольским разломами, образовавшими сложный тектонический узел с характерным блочно-кулисообразным строением, обусловленным

кинематикой взбросо-сдвиговых движений. В пределах Фрунзовского поднятия выделены три крупных блока (до 20 км), включающие фрагменты сложной синклиальной структуры или приразломной моноклинали чешуйчатого строения. Эти блоки разделены между собой и внутри - на более мелкие - поперечными и кососекущими СЗ разломами и различаются по особенностям размещения магнитных аномалий, уровням эродированности, составу и строению железорудных и вмещающих толщ, степени метаморфизма. Крупные блоки (Северный, Центральный и Южный) контролируют размещение рудных полей, а мелкие - расположение участков (рудопоявлений) и отдельных рудных тел. На одном из участков (Васильевском) вскрыта метаморфизованная конгломератсодержащая толща груботерригенных пород, на четырех других (Первомайском, Петровском, Центрально-Фрунзовском и Россияновском), расположенных цепочкой длиной ~40 км с севера на юг, - несколько толщ метаморфических и железисто-кремнистых пород. Вскрытые толщи имеют разную истинную мощность (120-480 м), простирание, изменяющееся в пределах разных блоков, от СЗ 315<sup>0</sup> до С 350<sup>0</sup>, крутое падение (65-85<sup>0</sup>) и глубокое залегание (более 400-600 м).

Предыдущие исследования железорудных образований Фрунзовской зоны касались только ее северной части (М.А. Ярошук, В.И. Фонарев), где решались некоторые отдельные вопросы. Исследования, проведенные автором, основываются на новом фактическом материале, охватывающем всю зону, что позволило получить оригинальные результаты и, с учетом имеющихся, сделать выводы, которые можно выразить в следующих положениях.

#### ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ.

**1. В пределах Фрунзовской зоны развиты две рудовмещающие формации, отвечающие различным уровням железнакопления в докембрии Ущ: сланцевая железисто-кремнистая фрунзовской толщи и метаконгломерат-песчаниковая васильевской толщи.**

Изученные геологические разрезы докембрийского фундамента Фрунзовской зоны сложены преимущественно метаморфическими породами, а также ультраметаморфическими породами и метасоматитами, и, кроме того, метаморфизованными груботерригенными породами.

В толще метаморфических пород по минеральному и химическому составу, а также в соответствии с различной первичной природой выделены: силикат-магнетитовые кварциты, кварц-силикатные сланцы

различных изохимических рядов с переменным содержанием магнетита, безмагнетитовые и магнетитсодержащие кальцифированные кварциты, гнейсы и амфиболиты. Сочетание этих пород, характер их переслаивания и объем в разрезах изученных участков Фрунзовской зоны различные, что определило разделение этих разрезов на три типа: железисто-кварцито-сланцевый (Первомайский и Петровский), кальцифир-сланцевый (Центрально-Фрунзовский) и амфиболит-сланцевый (Россияновский).

Кварц-силикатные сланцы в разрезах занимают 50-75% всего объема и, в соответствии с петрохимической классификацией Н.П. Семеновко (1956), представлены железисто-кремнистыми (F-60-86, A-1-7), глиноземисто-магнезиально-железисто-кремнистыми (F-42-74, A-6-26) и алюмосиликатными (F-14-26, A-48-66) сланцами.

На Первомайском участке в железисто-кварцито-сланцевом разрезе залегают сверху мигматизированные гранат-биотит-силлиманитовые гнейсы и гранат-биотит-кварцевые сланцы, переходящие в толщу переслаивания железисто-кремнистых кварц-силикатных сланцев с силикат-магнетитовыми кварцитами, в которых силикаты представлены ортопироксеном, реже - клинопироксеном, амфиболом, оливином; и глиноземисто-магнезиально-железисто-кремнистыми сланцами, в которых наряду с пироксеном присутствует гранат и биотит. Между этими породами существуют постепенные переходы. Пироксены в них преобладают; амфиболы (куммингтонит, роговая обманка) и биотит замещают ортопироксен; присутствуют магнетит (3-12%) и сульфиды железа; в сростании с ортопироксеном встречаются фаялит; гранат (альмандин) с f-89% и низким содержанием Mn; пироксен (гиперстен) с железистостью, превышающей его железистость в железистых кварцитах; биотит высоко-железистый бурой окраски.

На Петровском участке в железисто-кварцито-сланцевом разрезе наблюдается переслаивание тех же железисто-кремнистых кварц-силикатных сланцев, силикатно-магнетитовых кварцитов и глиноземисто-магнезиально-железистых сланцев, но с преобладанием в их составе амфиболов, которые интенсивно развиты по пироксену; среди этих пород спорадически встречаются алюмосиликатные биотит-микроклин-кварцевые сланцы с повышенным содержанием  $K_2O$ , микроклиниты и существенно альбитовые породы. Соотношения силикатов между собой и кварцем в сланцах меняются вплоть до исчезновения одного из минералов, что определяет выделение крайних разностей: гранат-биотитовых, биотит-амфиболовых или амфибо-

ловых, между которыми существуют постепенные переходы; преобладают в разрезе гранат-биотит-кварцевые сланцы.

Амфиболы - железистая разновидность куммингтонита; а также актинолит, который преобладает в амфиболовых сланцах; гранат относится к пироп-альмандиновому ряду,  $f=96\%$ ; биотит высокожелезистый, буровато-зеленой окраски, образует сростания с графитом, сульфидами и магнетитом, содержание  $TiO_2$  не более 1%, а глинозема в шестерной координации - низкое.

В зонах переходов от железистых кварцитов к кварц-силикатным сланцам наряду с амфиболом развиваются также оливин, пироксены, реже гранат, которые распределяясь мозаично, часто образуют мономинеральные участки вплоть до появления оливинитов (с содержанием оливина-фаялита - до 60%); к ним приурочены повышенные содержания углерода (до 13%) и пирротина.

На Центральном-Фрунзовском участке в кальцифир-сланцевом разрезе сверху залегают безрудные мономинеральные кварциты, которые через зону переслаивания переходят в алюмосиликатные кварц-полевошпат-двуслюдяные сланцы с силлиманитом. Их подстилает мощная пачка, в которой сложно переслаиваются железисто-кремнистые кварц-силикатные сланцы с силикатами, представленными гранатом, магнетитом, амфиболом; и кальцифиры, сложенные магнезиальным кальцитом и доломитом, оливином, серпентином, шпинелью и магнетитом. Кальцифиры интенсивно метасоматически изменены; на контактах их с кварц-силикатными сланцами возрастает количество оливина, появляется клинопироксен, что обусловило образование магнезиально-железистых метасоматитов.

Кальцифир-сланцевая пачка по падению переходит в мигматиты с участками безрудных кварцитов и кварц-микроклин-двуслюдяных сланцев с силлиманитом.

На Россияновском участке в амфиболит-сланцевом разрезе в верхней части сланцевой пачки преобладают глиноземисто-магнезиально-железисто-кремнистые сланцы, сложенные амфиболом, гранатом и биотитом, и переслаивающиеся с гранат-кварц-амфиболовыми и кварц-биотит-силлиманитовыми сланцами; а в нижней - преобладают кварц-силикатные железисто-кремнистые сланцы, постепенно сменяющиеся глиноземисто-щелочноземельными ортопородами, представленными биотитизированными плагиоклаз-рогово-обманковыми амфиболитами.

В кварц-силикатных сланцах последних двух разрезов амфибол

представлен куммингтонитом, реже актинолитом с низким содержанием Al, Mn, Ti, F, с f=48-52% в магнетитсодержащих и с f=67-77% в безмагнетитовых разностях; биотит буровато-зеленого цвета, переходящий в гидробиотит; гранат - альмандин с f=91,48% и низким содержанием Mn; силлиманит - тонкоигльчатая разновидность - фибролит.

Во всех разрезах установлены акцессорные минералы одного видового состава: графит, апатит, сфен, циркон, турмалин; характерно для железисто-кремнистых пород небольшое разнообразие и невысокие содержания элементов-примесей в породах и минералах.

Путем последовательного сравнительного генетического анализа парагенезисов пород (их вещественного состава, петрохимических, геохимических и изотопно-геохимических особенностей, степени метаморфизма и первичной природы, структурной позиции и характера взаимоотношений по латерали и вертикали) установлена их формационная однотипность, которая свидетельствует о том, что разрезы Северного, Центрального и Южного блоков, разделенных разломами, являются, видимо, фрагментами единого общего разреза метаморфической толщи (фрунзовской, по местонахождению стратотипа в районе с.Фрунзовка), в объеме которой полученные данные позволяют выделить сланцевую железисто-кремнистую формацию. Отличия в строении и составе фрагментов этой формации и степени метаморфизма могут быть объяснены различной эродированностью блоков. При очевидной трудности однозначной корреляции принимается следующий общий разрез выделенной формации : нижней части соответствует амфиболит-сланцевый разрез, средней - железисто-кварцито-сланцевый и верхней - кальцифир-сланцевый.

**Груботерригенная толща** истинной мощностью 475 м вскрыта под осадочными породами венда и пятиметровой зоной дезинтеграции; ее взаимоотношения со сланцевой железисто-кремнистой формацией и подстилающими породами не разбурены. Сверху вниз по стволу скважины она сложена метаморфизованными полимиктовыми гравийно-галечными (с менее или более сгруженной крупной (до 10 см) галькой, составляющей в общем объеме > 50-60%; базальным характером заполнителя) и галечно-гравелистыми (преобладает средняя галька удлиненной формы с субпараллельной ориентировкой залегания) конгломератами, постепенно сменяющимися метагравелитами, затем метапесча-

никами и кварц-гранат-биотитовыми сланцами.

Толща характеризуется ритмично-слоистым строением; в ней выделен ряд ритмов (истинной мощн. ~ 90-180 м), а в них микроритмы (истинной мощн. 1,5-20 м), начинающиеся крупногалечным конгломератом с уменьшающимся книзу количеством крупной гальки и возрастающим содержанием гравийного материала, который постепенно через средне-мелкогалечный конгломерат переходит в метавраделиты.

Ф о р м а г а л е к - от круглой, изометричной с хорошей окатанностью до линзовидной и угловатой; состав - безрудные кварциты, диопсидитовые метасоматиты, метавулканиты, железистые микрокварциты, богатые кварц-магнетитовые руды и карбонатные породы.

З а п о л н и т е л ь в галечных метаконгломератах - крепкий полимиктовый гравелит, состав обломков в котором сходен с таковым галек, неотсортированный, но есть участки с четкой градиционной слоистостью, последовательных наслоений, с одинаковой ориентировкой галечного материала; обломочная часть в гравелите цементируется кварцем, амфиболом, биотитом, а также плагиоклазом, гранатом и гематитом. Акцессорные минералы - сфалерит, арсенопирит, пирит, циркон, рутил, анатаз, апатит, турмалин.

На основании изучения строения груботерригенной толщи, объема, степени куммулятивности и окатанности галек, их состава, минералого-петрографических особенностей, первичной природы и степени метаморфизма, а также - результатов сравнения с конгломерат-содержащими формациями VIII, сделан вывод, что метатерригенные породы Фрунзовской зоны являются субазральными образованиями базального горизонта терригенной толщи (васильевской, по местонахождению стратотипа в с. Васильевка), образовавшейся в результате размыва метаморфической железисто-кремнистой формации.

Полученные данные позволяют выделить в объеме васильевской толщи метаконгломерат-песчаниковую формацию.

В пределах северного продолжения Фрунзовского глубинного разлома установлено развитие железисто-кремнистых пород (Балтская, Лесничьевская и др. магнитные аномалии), которые отнесены к вулканогенно-осадочной карбонатно-метабазитовой железисто-кремнистой формации (Ярошук, 1983). Таким образом, на юг вдоль Фрунзовского разлома фиксируется смена этой формации сланцевой железисто-кремнистой формацией Фрунзовской зоны. Однако взаимосвязь

этих формаций пока однозначно не установлена, и может решаться лишь альтернативно, как с позиций их взаимоперехода в пространстве, так и во времени в связи со сменой палеотектонических условий и эволюции процессов седиментогенеза и вулканизма в нижнепротерозойский период.

Сланцевая железисто-кремнистая формация фрунзовской толщи, несмотря на некоторые отдельные черты сходства, все же по основным типоморфным особенностям (масштабу развития, составу железистых кварцитов и ассоциирующих сланцев, более слабой степени метаморфизма, изотопному составу элементов в разных породах) отличается от карбонатно-метабазитовой формации бугской серии.

По парагенезису железисто-кремнистых пород с карбонатными породами и метабазитами, преобразованными в эпидот-амфиболитовой фации, их основным типоморфным особенностям и масштабу развития, изученная нами формация наибольшее сходство проявляет с железисто-кремнистыми образованиями гданцевской свиты криворожской серии Кременчугского района, где выделена доломит-металесчанико-сланцевая формация (Скаржинская, 1982).

Кроме того, установлено сходство отдельных фрагментов разреза сланцевой железисто-кремнистой формации с нижнепротерозойскими породами Федоровской зоны (метасоматически измененные кальцифиры и двуслюдяные микроклин-кварцевые сланцы с силлиманитом) (Яковлев, 1985), Гуляйпольской зоны (безрудные кварциты, высокоглиноземистые микроклин-кварц-слюдистые сланцы со ставролитом и андалузитом) и Сорокинской зоны (парагенезис кварц-гранат-амфиболовых сланцев с амфиболитами) Приазовского блока. (Глевасский, 1982, Восая, 1986)

Таким образом, железорудные образования Фрунзовской зоны проявляют сходство с таковыми протерозойских рифтогенных троговых зон, заложившихся на континентальной коре, в которых накапливались пестрые вулканогенно-осадочные толщи. На время накопления Фрунзовской толщи указывает изотопный состав серы пиритов.

Изотопный состав серы из кварц-силикатных сланцев петровского разреза варьирует от - 2.5 до -10.9%. ; обогащение пирита легким изотопом серы свидетельствует о накоплении его при участии процесса биогенной сульфатредукции. Время накопления железисто-кремнистых пород фрунзовской толщи, вероятно, соответствует времени отложения железисто-кремнистых пород саксаганской и коробковской свит Криворожья и КМА, для сульфидов которых также характерен

легкий изотопный состав серы ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{Cr}} - 3.4$  и  $-2.7\%$ , соответствен-  
но). Сульфиды из архейских железисто-кремнистых пород Среднего По-  
бужья, Беловерского, Кониского, Верховцевского районов и Цент-  
рально-Приазовской зоны имеют более тяжелый изотопный состав;  
большинство значений приближаются к метеоритному стандарту.

Таким образом, накопление железисто-кремнистых осадков во  
Фрунзовской зоне знаменовало, очевидно, более поздний период же-  
лезонакопления по сравнению с бугской серией западной части УЩ и  
центрально-приазовской серией его юго-восточной части и отражает  
два уровня: криворожский (фрунзовский) и посткриворожский (василь-  
евский).

**2. Сланцевая железисто-кремнистая формация накопилась в ус-  
ловиях вулканогенно-осадочного литогенеза и метаморфизована в усло-  
виях эпидот-амфиболитовой фации; метаконгломерат-песчаниковая  
формация содержит продукты размыва сланцевой железисто-кремнистой  
формации и метаморфизована в условиях зеленосланцевой фации.**

Для определения первичного состава, особенностей седиментогенеза и литогенеза исходного вулканогенного и осадочного субстрата метаморфических пород использованы результаты петрохимических пересчетов в сочетании с результатами интерпретации данных обработки петрохимической и геохимической информации на ЭВМ по программе факторного анализа; данные по условиям залегания пород, их геохимическим особенностям, изотопному составу O, C и S, составу и свойствам аксессуарных минералов.

Реконструкция первичного состава пород производилась исходя из предполагаемого изохимического характера метаморфизма железисто-кремнистых формаций для большинства главных породообразующих компонентов (Ярошук и др., 1975), подтверждаемого выводами об инертном поведении O и H<sub>2</sub>O вплоть до гранулитовой фации (Фонарев и др., 1983, 1986).

В результате реконструкции протосостава пород сланцевой-железисто-кремнистой формации по петрохимическим данным, установлено, что он определялся совместным накоплением вулканогенных, осадочных и смешанных продуктов. Так, в соответствии с диаграммой А.Н. Неелова (1980), дометаморфическими аналогами 1) магнетитсодержащих и безрудных кварц-амфиболовых сланцев, слагающих значительную часть разрезов, были песчанистые и железистые карбонатолиты, вероятно, представлявшие собой терригенно-хемогенные кремнисто-карбонатные (сидеритовые, сидероплезитовые) образования, 2)

более глиноземистых кварц-гранат-биотит-амфиболовых сланцев - карбонатные граувакки, полимиктовые псаммитолиты или алевролиты, а также туффиты, 3) алюмосиликатных кварц-микроклин-биотит-мусковитовых сланцев с силиманитом - слабокарбонатистые и слабожелезистые пелитовые аргилиты, в меньшей степени - полимиктовые алевролиты. Протосоставы этих же пород, в соответствии с диаграммой А.А. Предовского (1970), отвечают составам туффитов с основным и ультраосновным материалом; высокоглиноземистых мелановакк, реже граувакк; и гидрослюдистых глин, соответственно.

С учетом данных реконструкции по этим методикам можно допустить, что кварц-силикатные сланцы, переслаивающиеся с железистыми кварцитами, образовались в результате перекристаллизации хомогенных высокожелезистых и магнезиально-железистых карбонатных пород с примесью песчаного, глинистого и пирокластического материала, а также продуктов выветривания основных и ультраосновных пород, слагавших тот фундамент, на котором заложились Фрунзевская зона. Постепенные переходы от железистых кварцитов через железистые сланцы к глиноземистым породам свидетельствуют о нарастании в седиментогенном профиле количества кластогенного (первичноглинистого и алевритового) материала. Это фиксируется также постепенным увеличением содержания Al, Ti и K ~ в 10 раз; V, Zr, Ni, Cr, Li, B - в 2-8 раз и, соответственно, - слюд, полевого шпата, граната; подтверждается положительными корреляционными связями Ti и Al (0.6), Al и Zr (0.5), и Ti и Zr (0.6). Такие взаимоотношения Al и Ti присущи терригенным осадкам, формировавшимся за счет продуктов размыва и переотложения кор выветривания (Страхов, 1963, Додатко, 1964).

Железистые кварциты и кварц-силикатные сланцы содержат незначительные количества элементов-примесей, что характерно для хомогенно-осадочных железисто-кремнистых пород; состав элементов примесей и корреляционные отношения подтверждают связь этих сланцев с продуктами разложения основных вулканитов.

Периоды накопления хомогенно-осадочных железисто-кремнистых продуктов, возможно, сменялись накоплением существенно кремнистых и алюмокремнистых продуктов, преобразованных впоследствии в безрудные кварциты и кварц-микроклин-слюдистые сланцы; в последних доля терригенного материала была более значительна, что отражается в увеличении содержания в них Cr, V и B.

Выводы о первичной природе кварцитов и высокоглиноземистых

сланцев неоднозначны; согласно вышеупомянутым диаграммам, они могли образоваться, с одной стороны, за счет псаммитолитов или ультрасилицитов, с другой - хемогенных силицитов, аркозов или граувакк. Хемогенная природа кремнезема кварцитов подтверждается характерными для них гранобластовой и бласто-катакластической структурами, а реликты псаммитовых и псефитовых структур, однако, не наблюдались, хотя при незначительном метаморфизме они могли сохраниться. Акцессорные минералы отражают также двойную природу кварцитов.

В безрудных кварцитах и, особенно, кварц-силлиманит-двуслюдяных алюмосиликатных сланцах повышены, по сравнению с кальцифирами и железисто-кремнистыми породами, содержания всех элементов-примесей, а также установлено присутствие Ni, Mo, Nb, Y, Li, P. Возможно, безрудные кварциты и высокоглиноземистые сланцы являются продуктами интенсивного кислотного выщелачивания, окварцевания и грейзенизации, приуроченными к глубинному разлому.

Кальцифиры, переслаивающиеся с железисто-кремнистыми породами, имеют, видимо, хемогенную природу, которая установлена по условиям залегания и изофациальности условий их метаморфизма с условиями метаморфизма ассоциирующих с ними метаморфических пород; положению на диаграмме А.А. Предовского, отвечающему составам известковых доломитов, связанных с вулканогенно-осадочными фациями; наличию элементов-примесей (Mn, Ti), свойственных осадочным породам; низким содержаниями типоморфных элементов карбонатов (Co, Cr, Cu, V); положительной корреляционной связи MgO, MnO, CaO и CO<sub>2</sub>; изотопным составам С и О карбонатов ( $\delta^{13}\text{C} = -4.8 - -6.9\%$ ,  $\delta^{18}\text{O} = +13.5 - +16.4\%$ ), которые хоть и облегчены из-за метасоматоза по сравнению с таковыми осадочных пород, но более тяжелые по сравнению с изотопным составом эндогенного кислорода вулканических источников; содержаниям Ba (1-3 г/т) и Sr (23-29 г/т) и соотношению Ba/Sr (<1); содержанию В (10-60 г/т), характерному для карбонатов морского генезиса; низким содержаниями элементов цериевой группы TR (10,21 г/т). По указанным особенностям кальцифиры Фрунзовской зоны отличаются от карбонатитов.

Процессы вулканизма оказывали, вероятно, существенное влияние на состав седиментогенных продуктов, что выразилось в накоплении эффузивных и пирокластических осадков. Об этом свидетельствуют также изотопные составы О из кварца и силикатов из кварц-силикатных сланцев; причем в Центральном блоке эти составы легче,

чем в Северном. Учитывая, что изотопный состав кислорода, кварца и силикатов изверженных пород легче, чем в осадочных (Тейлор, 1968), можно говорить об изменении соотношения осадочных пород и вулканитов в пределах Фрунзовской зоны: доля последних возрасла на юг. Вероятно, с этим связан и более легкий изотопный состав кислорода магнетита из пород Центрального блока по сравнению с породами Северного.

Бполне возможно, что амфиболиты залегающие в низах разреза и являющиеся, согласно диаграммам А.А. Предовского и А.Н. Неелова, метабазами (толеитовыми базальтами и андезито-базальтами), составляют часть осадочно-вулканогенной толщи. Ортоприрода амфиболитов также подтверждается установленными типоморфными элементами-примесями; несколько повышенными содержаниями Ti, Cr, Co, Ni и пониженными - Ba, Sr, Rb, Li, B; соотношениями Sr/Ba (1.3), Nb/Ta(12), Ni/Co(2.6); соотношением фемафильных, фельсифильных и гомефильных элементов (Шоу, 1969), характеризуемым коэффициентом фемафильности (5.17), который близок к среднему значению для основных магматических пород.

Вероятно, в пределах Фрунзовской зоны были развиты также высокощелочные магматические породы; об этом свидетельствуют гальки метавулканитов из конгломератов васильевской толщи, первичный состав которых, согласно диаграмме А.Н. Неелова, соответствует составам трахи-базальтов, базанит-базальтов и калиевых андезит-дацитов. Учитывая тенденции связи химизма вулканитов с геотектоническими процессами, установлено, что они могли образоваться в условиях активизации Фрунзовского разлома.

Комплексные исследования тектонической обстановки, структурного положения, внутреннего строения и первичной природы пород сланцевой формации показали, что накопление формации проходило в условиях сдвигового режима Фрунзовской зоны в разобщенных бассейнах при непосредственном участии пульсирующего вулканизма, влиявших, возможно, на  $P_{CO_2}$  бассейнов седиментации и атмосферы. Это нашло отражение в частой смене пород по вертикали и латерали, указывающей на неустойчивость разреза железисто-кремнистой формации.

Об условиях метаморфизма продуктов железорудного литогенеза во Фрунзовской зоне, соответствующих эпидот-амфиболитовой фации, свидетельствуют результаты исследований текстурно-структурных особенностей пород, равновесных минеральных

парагенезисов, а также состава и внутреннего строения анализированных минералов.

В кварц-силикатных сланцах равновесные парагенезисы представлены: магнетит+кварц+амфибол; биотит+гранат+кварц; кварц+амфибол+биотит. Спорадическое развитие в железистых кварц-силикатных сланцах фаялита (>91%) и ортопироксена в парагенезисе с сульфидами железа и графитом, свидетельствует о восстановительных условиях их кристаллизации и высоком общем содержании железа, что становится возможным, согласно термодинамическим расчетам (Мельник, 1973), уже в условиях эпидот-амфиболитовой фации.

В амфиболитах среднетемпературным условиям отвечает парагенезис сине-зеленой роговой обманки с основным плагиоклазом, и отсутствие в них пироксенов, свойственных основным кристаллосланцам гранулитовой фации.

На среднетемпературные условия также указывают зеленовато-бурый цвет биотита, более низкое содержание Ti и Al<sub>IV</sub> в нем по сравнению с высокотемпературным красновато-коричневым биотитом; отсутствие в магнетите из сланцев и кальцифиров структур распада с выделением шпинели, характерной для гранулитовой фации, и наличие - кварцевых и карбонатных вростков; высокая железистость амфиболов; существенно алмандиновый состав и высокая железистость граната; состав сульфидов, представленных марказитом, пиритом и халькопиритом; отсутствие проявлений процессов гранитизации.

Установленные разными методами температура и давление преобразования кварц-силикатных сланцев составляют: по распределению магния и железа между гранатом и биотитом - 550-600°C и 5 кбар; по данным термобарометрических исследований минералообразующих сред (ГЖВ) - 465-500°C и 0.8-1.8 кбар; по характеру фракционирования кислорода в паре кварц-магнетит - 420° и 560°C. Таким образом, по соотношению температур и общего давления метаморфизм относится к андалузит-силлиманитовому типу (силлиманит-мусковитовой субфации) с приблизительными предельными температурами 500-670°C (Добрецов, и др., 1972).

Полученные нами P-T-параметры хорошо соотносятся с теми, что установлены по различным геотермометрам (Фонарев и др., 1986).

Изотопные составы кислорода, воды, рассчитанного по паре магнетит-вода, и магнетита из кварц-силикатных сланцев, кальцифиров и метасоматитов, а также термобарогеохимические исследования, свидетельствуют, что метаморфизм пород сланцевой железисто-крем-

нистой формации осуществлялся в основном под влиянием метаморфогенных флюидов, включавших водно-углекислые растворы незначительной концентрации, в закрытой системе в восстановительном режиме на севере и восстановительно-окислительном - южнее, при периодическом подтоке магматических флюидов по разломам.

Исключение по TP условиям образования составляют породы Первомайского участка. Так, по равновесным прогрессивным парагенезисам (гиперстен+гранат+кварц; кварц+магнетит+гиперстен; биотит+гранат+силлиманит), составу минералов и характеру распределения железа и магния между минеральными фазами установлено, что железисто-кремнистые породы Первомайского участка метаморфизованы в условиях переходных от гранулитовой к амфиболитовой фации; в локальных зонах диафорированы. Возможно, блок, где вскрыты породы, более эродирован.

Комплексное изучение галек метаконгломератов из васильевской толщи и сопоставление их с некоторыми метаморфическими породами сланцевой железисто-кремнистой формации фрунзовской толщи показали, что обломки безрудных кварцитов, диопсидовых метасоматитов и кальцифиров идентичны таким же породам, входящим в состав последней. Полученные данные свидетельствуют о существовании длительно-го этапа размыва сланцевой железисто-кремнистой формации, переотложения продуктов выветривания и повторного их метаморфизма в условиях зеленосланцевой фации. На это указывают: процессы мартитизации в обломочном магнетите заполняющего вещества метаконгломератов (гравелита, песчаников) и магнетите галек железистых микрокварцитов, которые могли проявляться при выветривании галек железистых кварцитов в протерозое, еще до попадания их в конгломераты, а также при образовании рифейской коры выветривания уже по конгломератам; образование в заполняющем веществе конгломератов кварц-магнетит-амфиболового цемента, развитие гематита и пластинчатого гематита наряду с магнетитом в метапесчаниках и гранат-биотитового парагенезиса - в сланцах. В результате взаимодействия в метаконгломератах галечного материала с заполнителем в гальках иногда образуются различные реакционные каемки: амфибола - в диопсидовых метасоматитах, диоксида и амфибола - в карбонатных породах, укрупненного магнетита - в железистых микрокварцитах.

Тенденция к понижению на юг среднетемпературного метаморфизма до условий зеленосланцевой фации косвенно подтверждается

тавом галек магнетитсодержащих кварц-силикатных сланцев с хлоритом, стильпномеланом, сидеритом, вскрытых в базальном горизонте палеозойских конгломератов южнее с. Васильевка (Жеру и др., 1970).

**3. Рудоносность Фрунзовской зоны определяется развитием следующих железорудных формаций и связанных с ними железных руд: метаморфизованных железистых кварцитов с сингенетическими бедными рудами-силикат-магнетитовыми кварцитами; магнезиально-железистых метасоматитов с эпигенетическими богатыми карбонат-магнетитовыми и силикат-магнетитовыми рудами; метаморфизованных магнетитсодержащих конгломератов с бедными кластогенными рудами.**

В основу выделения рудных формаций положены особенности их геологического строения, параметры и масштабы развития руд, связь их с породами, характеризующими различные этапы преобразования рудовмещающей сланцевой железисто-кремнистой формации; минеральные типы руд выделены на основе изучения вещественного состава и текстурно-структурных особенностей.

**Железистые кварциты** представлены одним природным типом - магнетитовым, и по содержанию магнетита делятся на силикат-магнетитовые и магнетит-силикатные; имеют мелко- и среднезернистое строение, в основном четкую тонко- и среднеполосчатую, прерывисто-полосчатую и плейчатую текстуру, обусловленную чередованием полос, сложенных преимущественно кварцем с мелкими вкрапленниками амфибола, магнетита, и полос амфибол-магнетитового состава. Содержание магнетита составляет: в рудных слоях-50-60%, нерудных -3-20% и смешанных-25-30%; структуры силикатно-магнетитовых слоев грано-, гетеро- и нематобластовые.

По соотношению магнетита и магнезиально-железистых силикатов установлены пироксен-амфибол-магнетитовые и амфибол-магнетитовые кварциты, среди которых по содержанию  $Fe_{\text{маг}} > 16\%$ , выделены бедные руды, образующие стратифицированные согласные пластовые и пластообразные залежи крутого залегания, простого и сложного строения мощностью от 7 до 50 м среди кварц-силикатных сланцев.

**Магнетит** железистых кварцитов представлен тремя основными генерациями: агрегатно-послойной (0.06-1.5 мм) с кристаллами полиэдрической и ксеноморфной формы со сглаженно-извилистыми очертаниями; мелковкрапленной в кварце и силикатах (0.03-0.15 мм) с октаэдрическими кристаллами; и крупнозернистой - участков перекристаллизации. Магнетит содержит мало Ti, Mn, Mg, Co, Cr, Sn, Pb, что характерно для магнетита железисто-кремнистых пород; по

соотношению  $Fe_2O_3: FeO$  (2.3) близок к стехиометрическому. Изучены термомагнитные и другие физические свойства магнетита, исследован его химический состав и геохимические особенности. Примесь глинозема незначительна (до 0.6%), что свидетельствует об отсутствии вростков шпинели, характерной для высокотемпературного магнетита; не обнаружено ее и электронно-микроскопическими исследованиями, однако, установлены кварцевые и карбонатные вростки.

Изучены также кварц железистых кварцитов и силикаты, представленные главным образом призматическим амфиболом куммингтонит-грюнеритового ряда с f-80% и зависящей от содержания магнетита.

Акцессорные минералы в железистых кварцитах развиты незначительно, как в видовом, так и в количественном отношениях.

Общее содержание железа в бедных рудах превышает 27% (средневзвешенное в залежах - 29, 39-36, 48%), а коэффициент его окисленности колеблется от 0.8 до 1.0, что отражает вхождение железа не только в силикаты, но и в магнетит и, возможно, мартит, которое и обусловило образование силикат-магнетитовых кварцитов; при меньшем содержании железа и коэффициенте его окисленности (>0.8) образовывались в основном малорудные кварцито-сланцы и магнетит-силикатные кварциты, являющиеся переходной разностью между рудами и вмещающими породами.

Химизм железистых кварцитов характеризуется обедненностью всеми элементами, кроме железа и кремнезема.

Установлено уменьшение разных форм железа от центра к периферии рудных тел, отражающее существование седиментогенной химической и унаследованной минералогической зональности железисто-кремнистых пород.

В Центральном-Фрунзовском участке непосредственно не вскрыты железистые кварциты, но в Центральном блоке (на фланге одной из магнитных аномалий в 6 км к СВ от участка) они все же установлены. По составу, химическим и геохимическим особенностям, а также породному парагенезису эти железистые кварциты очень сходны с таковыми петровского разреза, отличаясь только большими содержаниями P, Zn, Zr (с.0171).

**Метасоматиты и связанные с ними руды** в сланцевой железисто-кремнистой формации характеризуются узколокальным развитием на контактах железисто-кремнистых сланцев и кальцифиров. Однако процессы метасоматоза участками развиты настолько интенсивно, что

привели к образованию значительных по мощности пачек метасоматитов, с которыми связаны несколько типов железных руд; они сосредоточены главным образом в центральной части Фрунзовской зоны.

Минеральные типы руд представлены карбонат-магнетитовыми и силикат-магнетитовыми, как правило, залегающими совместно. Карбонат-магнетитовые руды имеют гнездово-вкрапленную, прожилково-вкрапленную, реже неясно-полосчатую текстуру; сложены карбонатом, оливином и магнетитом, количество которых непостоянно. Переходы карбонат-магнетитовых руд в кальцифиры постепенные за счет увеличения количества вкрапленного магнетита. Силикат-магнетитовые руды плотные, массивные, участками неяснополосчатые. Переходы силикат-магнетитовых руд в околорудные метасоматиты постепенные; состав силикатов в рудах зависит от состава оруденевших метасоматитов. Руда связана в основном с оливиновыми и пироксен-оливиновыми метасоматитами, в которые  $Fe_{\text{маг}}=40\%$ .

Многообразие типов метасоматитов отражает главным образом разнообразие состава замещаемых ими пород. По минеральному и химическому составу выделены пироксеновые, амфибол-пироксеновые, серпентин-оливиновые и амфиболовые разности, между которыми существуют постепенные переходы.

Связь состава метасоматитов с составом метаморфических пород, детально изучена на Центрально-Фрунзовском участке, где в толще мощностью 260 м наблюдается частое переслаивание кальцифиров и железисто-кремнистых пород. Амфибол-пироксеновые и серпентин-оливиновые метасоматиты приурочены к контактам кальцифиров с последними и, вероятно, являются реакционными биметасоматическими образованиями. Установлена реакционная зональность: кальцифир  $\rightarrow$  серпентин-оливиновый метасоматит  $\rightarrow$  амфибол-пироксеновый метасоматит  $\rightarrow$  кварц-силикатный сланец. Амфибол-пироксеновые метасоматиты окружены серпентин-оливиновой оторочкой. Амфиболовые - послойно развиваются среди железисто-кремнистых пород, приурочены к зонам трещиноватости среди пироксеновых метасоматитов и кальцифиров, и, вероятно, представляют собой инфильтрационные образования. Для метасоматически измененных пород характерно образование мономинеральных обособлений, сложенных кварцем, фаялитом, пироксеном и гранатом.

В изученной толще обособлены три комплексные залежи пластовой формы и несколько субсогласных рудных тел. Комплексные залежи сложены железистыми кварцито-сланцами, оруденевшими метасоматита-

ми и кальцифирами; а рудные тела (мощностью 3-5 м) - магнетитсодержащими кальцифирами и оруденевшими серпентин-оливиновыми метасоматитами с  $Fe_{\text{маг}}$  -21-27%; оруденевшими оливиновыми метасоматитами и рудами с  $Fe_{\text{маг}}$  -41%.

В амфибол-пироксеновых и пироксеновых метасоматитах преобладают клинопироксен, безглиноземистый, безтитанистый, с низким содержанием щелочей. По соотношению  $MgO$ ,  $CaO$  и  $FeO$  относится к ряду диопсид-геденбергита; по железистости отвечает диопсиду ( $f=14.44\%$ ) и железистому диопсиду ( $f=38.21\%$ ). Амфибол по оптическим данным представлен бесщелочной кальциево-натриево-железистой разностью актинолита и, возможно, паргасситом. Содержание в них  $F$  и  $Cl$  несколько выше, чем в амфиболах из сланцев.

В оливине преобладает форстеритовая молекула; вероятно, в метасоматитах оливин представлен более железистой разностью ( $f=28.12-40.87\%$ ), чем в кальцифирах ( $f \approx 20\%$ ), содержания  $MnO$  в оливине выше, чем в амфиболах и пироксенах.

Для метасоматитов характерно развитие вкрапленного и прожилкового магнетита, а также образование его обособлений разной формы, вплоть до возникновения участков сливных магнетитовых руд. Магнетит представлен двумя генерациями: более ранней, с зернами (0.2-2.5 мм) резко ксеноморфными по отношению к оливину, и поздней, - развивающейся по серпентину, с идиоморфными полигональными кристаллами. Магнетит метасоматитов характеризуется составом, близким к стехиометрическому. По содержанию  $TiO_2$ ,  $MnO$  и  $MgO$  магнетит из метасоматитов ближе к магнетиту из кальцифиров.

Минеральные типы метасоматитов отличаются по соотношению  $Fe_2O_3$  и  $FeO$ ,  $MgO$  и  $CaO$ . Анализ химического состава и геохимических особенностей руд и метасоматитов, положения точек их составов на тройных диаграммах  $SiO_2$ - $MgO$ -( $Fe_2O_3+FeO$ ) и  $SiO_2$ - $MgO$ - $CaO$ , позволили рассмотреть поведение компонентов при метасоматозе и оруденении разных пород и сделать выводы:

1. Химический состав метасоматитов зависел от состава замещаемых пород, от соотношения в контактировавших карбонатных и железисто-кремнистых породах и флюиде  $SiO_2:(MgO+CaO+FeO)$ , а также  $CaO:MgO:FeO$ . Колебания общей железистости клинопироксена и оливина в метасоматитах, также как и содержания в них магнетита зависело от соотношения  $FeO:MgO$  в породах, а также активности железа, соотношения  $Pn_2O:PcO_2$  и  $PO_2$  во флюидах.

2. Перераспределение компонентов, в основном  $SiO_2$ ,  $Ca$ ,  $Mg$  и

Fe, наиболее интенсивно осуществлялось в контактах контрастных по составу и тектонифизическим свойствам метаморфических пород и во флюидопроницаемых зонах среди этих пород. При этом MgO и FeO были менее подвижны и фиксировались в существенно оливиновых метасоматитах; CaO - более подвижен и связывался в клинопироксеновых метасоматитах. По содержанию MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и TiO<sub>2</sub> метасоматиты ближе к кальцифирам; вероятно, эти компоненты проявляли инертность при биметасоматозе.

3. Образование карбонатно-магнетитовых руд сопровождалось привнесом в кальцифиры железа, выносом магния и преимущественно кальция, а силикат-магнетитовых - выносом магния и кремнезема на фоне перехода закисной формы железа в окисную.

Таким образом, рудообразование в железисто-кремнистой формации обусловлено первичным составом рудовмещающей сланцевой железисто-кремнистой формации и осуществлялось на всех этапах ее преобразования. По связи с разными этапами и способу образования силикат-магнетитовые кварциты являются сингенетическими, а карбонат-магнетитовые и силикат-магнетитовые руды - эпигенетическими.

Полученные нами данные указывают на то, что образование железистых кварцитов наиболее удовлетворительно объясняется седиментогенно-метаморфической моделью, в соответствии с которой находят объяснение следующие особенности строения и состава железистых кварцитов: 1) стратифицированное залегание среди других пород формации, отражающее закономерное положение железисто-кремнистых осадков на седиментогенном профиле, 2) структурный контроль согласных линзовидно-пластовых тел, 3) тесный парагенезис с различными параспорами, 4) сингенетичность и изофациальность метаморфизма железистых кварцитов и пород рудовмещающей формации, а также унаследованность окислительного режима их метаморфизма от условий седиментогенеза, 5) текстурно-структурные особенности и состав железистых кварцитов и слагающих их минералов, свойственные высокожелезистым хемогенно-осадочным образованиям.

Детальное изучение железистых кварцитов позволило выявить седиментогенные признаки и установить, что в качестве определяющих факторов генезиса железистых кварцитов выступали процессы биогенно-хемогенного накопления железисто-кремнистых осадков, сопровождавшиеся доорогенными процессами слабо дифференцированного вулканизма, а затем среднетемпературный метаморфизм.

О метасоматической природе связанных между собой карбо-

нат-магнетитовых и силикат-магнетитовых руд сланцевой железисто-кремнистой формации свидетельствуют следующие особенности их состава и строения: 1) условия залегания руд, контролируемые литотектоническими факторами, 2) тесная связь руд с метасоматитами и зависимость их состава от состава метасоматитов, 3) отличия минерального и химического состава метасоматитов и состава слагающих их минералов от состава метаморфических пород и минералов, 4) морфогенетические особенности, состав магнетита, характер его распределения и взаимоотношения с нерудными минералами.

Сделанные нами \* выводы хорошо соотносятся с выводами М.А. Ярошук (1986), которой обоснованы представления о тесной связи сингенетических и эпигенетических руд и выявлены особенности, подтверждающие определенную роль метасоматоза в образовании последних на основе изучения карбонат-метабазитовой железисто-кремнистой формации бугской серии.

**К бедным кластогенным железным рудам** по содержанию железа, связанного в магнетите, отнесены некоторые пачки метаконгломератов васильевской груботерригенной толщи. В гравийно-галечных конгломератах содержатся гальки богатых кварц-магнетитовых руд и железистых микрокварцитов. Последние в обломках представлены тонко- и криптозернистой разностями с массивной текстурой, обусловленной равномерным распределением изометричных агрегатов магнетита в гранобластовом кварце: в нем также присутствует разной густоты эмульсиевидные выделения магнетита и гематита. Установлен мартит, который образовался при выветривании галек, а также гематит, образовавшийся по гетиту. Некоторые гальки железистых микрокварцитов имеют значительный коэффициент окисления (0.8-1.0), F(60-90), M(4-9), A(0.4-4), характерные для рудных закисно-окисных железисто-кремнистых пород.

В гальках богатых кварц-магнетитовых руд  $Fe_{mag}$  составляет 50-60%; в гравийно-галечных и галечно-гравелистых конгломератах - 12-14%, а в некоторых участках - 17-19%. Концентрация железа обусловлена присутствием магнетита в гальках, обломках гравелитов и участках перекристаллизации цемента.

Метаконгломераты васильевской толщи сходны с метаконгломератами и песчаниками базального железистого горизонта, приуроченного к низам гданцевской свиты ингуло-ингуленцкой серии Кривбасса (Прокопкин, 1975), в котором развиты терригенные песчано-сланцевые магнетитовые и хемогенные сидеритовые руды, имеющие металлурги-

ческую ценность. Учитывая это, а также предполагаемые масштабы развития грубокристаллических пород во Фрунзовской зоне (по данным геофизики), такие же руды можно прогнозировать и здесь.

### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Железисто-кремнистые породы Фрунзовских магнитных аномалий Украинского щита //Геол.журнал, 1985.-45, N5.-С.1-12 (в соавторстве с Галецким Л.С., Ярошук М.А. и др.)

2. Метаморфизованные конгломераты Фрунзовской зоны магнитных аномалий Украинского щита //Геол. журнал,1988.- N2. -С.130-133 (в соавторстве с Галецким Л.С., Ярошук М.А. и др.)

3. Генетические особенности пород железисто-кремнистой формации Фрунзовской зоны Украинского щита //Геол.журнал, 1989. -N3. -С.105-113 (в соавторстве с Ярошук М.А. и Савченко Л.Т.)

4. Рудоносные метасоматиты Фрунзовской зоны Украинского щита //Геол.журнал,1989. -N5.-С.96-104 (в соавторстве с Ярошук М.А.)

5. О структуре Фрунзовской рудоносной зоны Украинского щита //Тезисы докл. III Всесоюз. школы "Структурный анализ кристаллических комплексов и геологическое картирование". Ч. II. -Киев, 1990 -С.65-67 (в соавторстве с Занкевичем В.А.)

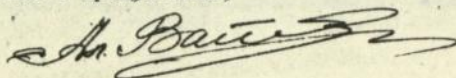
6. Метаморфические формации Фрунзовской троговой зоны Украинского щита и перспективы их рудоносности // Тезисы докл. XII Всесоюз. металлоген. совещ. "Металлогения докембрия и метаморфогенное рудообразование". Ч. II. -Киев, 1990. -С.24-26 (в соавторстве с Ярошук М.А.)

7. Строение и этапы развития эндербит-гранулитовых областей и гнейсо-гранулитовых зон Ущ //Глубинное строение и геодинамика кристаллических щитов Европейской части СССР.-Апатиты, 1992. -С.41-46 (в соавторстве с Ярошук М.А. и Быстревской С.С.)

8. Перспективы рудоносности Фрунзовской структурно-формационной зоны Ущ //Металлогения докембрия и метаморфогенное рудообразование.-Киев: Наукова думка, 1993. -С.191-198 (в соавторстве с Ярошук М.А., Ентиным В.А.)

9. Железорудные формации Фрунзовской структурно-формационной зоны Украинского щита.// Эволюция железонакопления в докембрии, определение масштабов развития железисто-кремнистых формаций... Отчет Ом ИГФМ АН УССР за 1986-90 г.г. Номер гос.рег.0180021059 39-86-26/3 (в соавторстве с Ярошук М.А.)

Соискатель



Подп. к печ. 25.09.93. Формат 60×84 $\frac{1}{2}$  Бумага офс.  
Печ. офс. Усл. печ. л. 1,3 Уч.-изд. л. 1 Тираж 100.  
Зак. 4-3308

---

Киевская книжная типография научной книги. Киев, Репина, 4.

458627

AB 30.671

**AB 30.671**