

На правах рукописи

Файнштейн Георгий Георгиевич

**ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАГНЕТИТОВОГО СЫРЬЯ
МЕТОДАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ НА РАННИХ
СТАДИЯХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ ПРИПОЛЯРНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА)**

Специальность 25.00.05 – Минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2009

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС»)

Научный руководитель- доктор геолого-минералогических наук
Ожогина Елена Германовна

Официальные оппоненты- доктор геолого-минералогических наук
Дубинчук Виктор Тимофеевич

кандидат геолого-минералогических наук
Кононов Олег Васильевич

Ведущая организация- Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»)

Защита состоится 25 декабря 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГУП «ВИМС») по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС».

Автореферат разослан 24 ноября 2009 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор геолого-минералогических наук

И.А.Бергман

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Минерально-сырьевая база черной металлургии играет важнейшую роль в развитии промышленного потенциала России. По запасам железорудного сырья наша страна занимает первое место в мире, располагая почти 100 млрд. т руды, что составляет почти треть мировых запасов этого полезного ископаемого. Однако существующая база характеризуется невысоким качеством сырья и неблагоприятным географическим положением основных железорудных месторождений, значительно удаленных от главных центров металлургической промышленности. Проблема обеспечения сырьем перерабатывающих предприятий возникла уже в настоящее время. Особенно острая ситуация сложилась на Урале, где дефицит местной сырьевой базы по железу составляет более 15 млн.т. Потребности промышленности в сырье вынужденно покрываются за счет импортных поставок и собственных, но территориально удаленных источников, что делает продукцию металлургических предприятий неконкурентоспособной.

Северные районы Урала, по прогнозным оценкам, располагают значительным сырьевым потенциалом в отношении железорудного сырья, способным при его реализации обеспечить потребности уральского металлургического комплекса. Поэтому основным направлением решения сырьевой проблемы должно стать выявление в регионе новых железорудных месторождений, в том числе и на Приполярном Урале, где складывается благоприятная экономическая ситуация в зоне влияния намечаемой к строительству железнодорожной магистрали Ивдель – Лабытнанги, создаваемой в рамках федерального проекта «Урал Промышленный – Урал Полярный». В настоящее время в этом районе рядом геологических организаций активно проводятся работы по выявлению новых и переоценке известных железорудных месторождений и рудопроявлений. Основные изучаемые объекты представлены рудами скарно-магнетитового промышленного типа. К ним относятся ныне разведываемые и оцениваемые проявления А-4 и Южно-Чернореченское, ставшие объектами диссертационного исследования. Кроме того, на Приполярном Урале активно изучается объект нового для этих районов промышленного типа руд железистых кварцитов (рудопроявление МАН-9), представляющийся весьма перспективным, поскольку именно с этим типом связана большая часть балансовых запасов железных руд в западных районах страны.

На ранних стадиях геологоразведочных работ всегда возникает проблема выбора первоочередных объектов исследования, что требует их ранжирования по перспективности. Одним из важнейших факторов, определяющих промышленную ценность месторождений, при прочих равных условиях является качество руд. Прогнозная оценка этого параметра минерального сырья, в том числе и выход на аналогичный объект в банке данных по сырьевой

базе, может быть проведена на основе использования малозатратных и экспрессных методов технологической минералогии. Эти методы обеспечивают получение достаточно полных сведений о минеральном составе, текстурно-структурных характеристиках руд, тонких, в том числе типоморфных особенностях состава и строения рудных и сопутствующих минералов, определяющих их поведение в технологических процессах. Все это позволяет внести существенный вклад в прогнозную оценку разведываемого объекта на ранних этапах его изучения.

Цель работы – прогнозная оценка качества железорудного сырья методами технологической минералогии на ранних стадиях изучения месторождений.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Изучение вещественного состава руд рудопроявлений МАН-9, А-4 и Южно-Чернореченского комплексом минералого-аналитических методов.
2. Установление вероятной принадлежности изучаемых объектов к определенным формационным типам железорудных месторождений на основе выявленных особенностей вещественного состава руд и вмещающих пород.
3. Прогнозная оценка качества минерального сырья упомянутых рудопроявлений на основании полученных данных о вещественном составе руд с учетом материалов по месторождениям-аналогам.

Фактический материал. Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС») в рамках договорных работ с ОАО «Сосьвапромгеология», ОАО «Уральская геофизическая экспедиция», ООО ГП «Березовское» по прогнозной минералого-технологической оценке руд скарново-магнетитовых рудопроявлений А4 и Южно-Чернореченского, а также метаморфизованных руд рудопроявления МАН-9 (Маньхамбо). Непосредственными объектами диссертационного исследования являлись руды указанных рудопроявлений:

- две керновые минералогические пробы руд рудопроявления А4 массой 10,6 и 11,4 кг, отобранные из разведочных скважин 5 и 6, дополненные отдельными образцами из керна скважин 49, 50 и разведочной канавы 201,
- бороздовая минералогическая проба руды из разведочной канавы на рудопроявлении МАН-9 массой 27 кг,
- керновая минералогическая проба руды рудопроявления Южно-Чернореченское массой 7,4 кг.

В процессе исследований изучено более 150 прозрачных, полированных шлифов и брикетов; в работе использованы данные химических (17 проб - аналитический отдел ФГУП «ВИМС»), микрорентгеноспектральных (более 100 – к.г.-м.н. Н.И. Чистякова), Мёссбауэровских (14 проб – МИСиС), рентгенографических (30 проб – И.С. Наумова), оптико-геометрических (20 аншлифов и брикетов – Кривошеков Н.Н.) анализов. Для определения параметров элементарной ячейки предположительно нового минерала использованы данные микродифракции. Помимо этого, использованы

результаты определений физических свойств (плотности, микротвердости, магнитных свойств) рудных и породообразующих минералов и фракций проб.

Методы исследований. Основной объем минералого-аналитических исследований выполнен во Всероссийском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС») в минералогическом и аналитическом отделах в соответствии с нормативно-методическими документами НСАМ и НСОММИ. Для решения поставленных задач были использованы следующие методы исследования:

- *оптическая микроскопия* (петрографический, минераграфический, оптико-минералогический и оптико-геометрический методы) для изучения минерального состава и текстурно-структурных особенностей руд и вмещающих пород. Аппаратура: поляризационные микроскопы ПОЛАМ Р-112, Nikon Optihot-Pol, Leica RD-DM (автоматический оптико-геометрический анализ на системе анализа изображений TomAnalysis), стереомикроскоп МБС-1,
- *рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА)* для количественной оценки содержания минералов в рудах, определения параметров элементарной ячейки магнетита. Аппаратура: рентгеновский дифрактометр X`Pert PRO PANalytical,
- *микрорентгеноспектральный анализ (МРСА)* для определения элементного состава минералов и особенностей распределения в них примесей по площади выделений. Аппаратура: микрозонд JEOL JXA-8100,
- *просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)* для определения параметров элементарной ячейки предположительно нового минерала методом микродифракции. Аппаратура: просвечивающий электронный микроскоп Теспаі 12В,
- *Мёссбауэровская спектроскопия (ЯГРС)* для определения особенностей распределения железа двух- и трехвалентного по минералам руд, определения структурных особенностей магнетита. Аппаратура: спектрометр электродинамического типа Ms1104Em с источником Co^{57} в матрице хрома,
- методы определения физических свойств минералов и фракций:
 - *микровдавливания* для определения микротвердости магнетита на полуавтоматическом микротвердометре ПМТ-3М,
 - *объемометрический* для измерения плотности рудных и породообразующих минералов на установке Василевского М.М. в барометрической трубке,
 - *каппаметрический* для измерения удельной магнитной восприимчивости магнетита на установке Кappabridge KLI-2 с напряженностью поля 300 А/м.

Научная новизна работы.

1. Подтверждена принадлежность рудопроявлений А4 и Южно-Чернореченского к скарново-магнетитовому классу и определена

принадлежность магнетитовых руд рудопроявления МАН-9 к формации железистых кварцитов, а пород рудовмещающего комплекса этого объекта – к эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. Определен возможный протолит для этих пород.

2. Выявлены минеральные ассоциации магнетитовых руд рудопроявления А4 и установлена последовательность минералообразования.

3. Впервые установлены: в рудах рудопроявления А4 «мирмекитоподобные» магнетит-пиритовые субграфические агрегаты, характерные для гипогенного окисления пирротина, в рудах Южно-Чернореченского рудопроявления - ранее неизвестная минеральная фаза (CuFe_2S_4), предположительно являющаяся новым минеральным видом.

Практическая значимость.

1. Проведена прогнозная оценка качества руд трех рудопроявлений на основе минералого-аналитических исследований с учетом литературных сведений по месторождениям-аналогам и рудным формациям, к которым принадлежат изученные объекты.

2. Выявлено наличие существенной примеси меди и повышенных количеств золота в рудах проявления Южно-Чернореченского, что при их попутном извлечении повысит экономический эффект отработки этого объекта. Обращено также внимание на возможность попутного использования крупнокускового материала хвостов рудоподготовки на изученных объектах в стройиндустрии.

3. Указано на возможность присутствия ухудшающего качество сырья пирротина на глубоких горизонтах разведываемых объектов (А4, Южно-Чернореченское) на основе выявленных характерных пирит-магнетитовых микроструктурных агрегатов.

4. Применен метод корреляционного анализа для определения формы присутствия элементов-примесей в магнетитах, позволяющий выделить среди них примеси структурные и «механические», что подтверждено методом ЯГР-спектроскопии.

5. Результаты проведенных исследований вошли в качестве отдельных глав в производственные отчеты по каждому из рассмотренных объектов.

Личный вклад. Автор принимал участие в качестве минералога в проведении всех этапов исследований: подготовка каменного материала к исследованиям, оптико-минералогическое изучение дробленого материала руд, петрографическое и минераграфическое изучение руд и вмещающих пород, определение физических свойств рудообразующих минералов, систематизация, обработка и интерпретация результатов химических, микрорентгеноспектральных, рентгенофазовых и мессбауэровских анализов.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертации докладывались и обсуждались на конференциях и совещаниях различного уровня: на научно-практической конференции молодых ученых и специалистов – ВИМС, Москва, 2008 г., на Международном минералогическом семинаре «Структура и разнообразие минерального мира», г. Сыктывкар, 2008

г., на 5-ой Международной школе молодых ученых и специалистов ИПКОН РАН, Москва, 2008 г. (доклад отмечен грамотой), на IX Международной конференции "Новые идеи в науках о Земле" РГГРУ, г. Москва, 2009 г., на XV геологическом съезде республики Коми – «Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-востока России», г. Сыктывкар, 2009 г. Результаты исследований соискателя опубликованы в восьми статьях, в том числе в одной статье в журнале, перечисленном в списке ВАК.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы (113 наименований). Общий объем работы 125 страниц, в том числе 37 рисунков и 44 таблицы. Во *введении* обоснована актуальность работы, обозначены цели, задачи, показана научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, сформулированы защищаемые положения. В *первой главе* приводятся общие сведения о железорудных месторождениях Урала, а также проведен анализ литературных материалов, посвященных исследованиям в области технологической минералогии железных руд. Во *второй главе* охарактеризовано геологическое строение и изученность рудопроявления МАН-9, помещены результаты исследований особенностей вещественного состава руд, их фации метаморфизма и обоснована формационная принадлежность рудопроявления. В *третьей главе* рассмотрены геологическое строение и изученность рудопроявления А4, выявленные особенности состава, строения руд и последовательность минералообразования. В этой же главе приведены результаты минералого-аналитического изучения руд Южно-Чернореченского рудопроявления. *Четвертая глава* посвящена обобщению собранных материалов по особенностям вещественного состава руд изученных объектов, которые позволили дать прогнозную минералого-технологическую оценку сырья. В *заключении* перечислены основные научные и практические результаты работы.

За неоценимую помощь в написании диссертационной работы, советы, критические замечания и поддержку автор признателен своему учителю – кандидату геолого-минералогических наук В.И. Кузьмину. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук Е.Г. Ожоговой. Кроме того, автор признателен за помощь в проведении исследований, за обсуждение результатов и поддержку: кандидату геолого-минералогических наук С.В. Соколову, кандидату геолого-минералогических наук Н.И. Чистяковой, В.А. Рассулову, И.С. Наумовой, кандидату геолого-минералогических наук Г.К. Кривоконевой, Н.Н. Кривошекову, кандидату геолого-минералогических наук Е.Ю. Кустову, Е.В. Зублюк, Н.Г. Летуновой. Автор благодарит за помощь и поддержку геологов производственных организаций С.И. Комарицкого, А.В. Буханова. За поддержку и ценные консультации автор глубоко признателен докторам геолого-минералогических наук И.Г. Печенкину и профессору П.А. Игнатову.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

1. В рудоносном комплексе на рудопроявлении МАН-9 установлены генетически связанные между собой железистые кварциты и магнетитсодержащие плагиогнейсы, для которых выявлены микроплочатые текстуры, минеральная ассоциация кварца, кислого плагиоклаза, мусковита и эпидота, а также типоморфные свойства магнетита. Эти особенности в совокупности с химическим составом руд позволяют отнести рудопроявление к классу месторождений метаморфизованных руд (железистых кварцитов) и определить принадлежность рудоносного комплекса к эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма.

Представления о генезисе рудопроявления на разных стадиях исследования объекта были различны. Так, А.А. Лапытов в 1960 г. на стадии регионального изучения района по единичным наблюдениям пришел к выводу о связи оруденения с породами основного состава и отнес его к титано-магнетитовому типу по аналогии с несколькими десятками рудопроявлений, в действительности связанных с габброидами, находящимися в районе Хорасюрского и Маньхамбовского массивов (Лапытов, 1963). При более детальном изучении работ, выполненных в 1988-1990 гг., С.И. Комарицкий отнес рудопроявление к контактово-метасоматическому типу (Комарицкий, 2001). В.Д. Блоха также предполагал для данных руд высокотемпературный контактово-метасоматический процесс формирования (Блоха, 1992).

Рудопроявление МАН-9 расположено в приосевой части Приполярного Урала в верховьях рек Няйс и Укью, в 170 км к юго-западу от пос. Саранпауль (рис.1) в зоне проектируемой трассы железной дороги Ивдель-Лабытнанги. Сведения по геологическому строению рудопроявления приводятся по данным С.И. Комарицкого, И.Н. Шиятого и Е.В. Зублюк. В геолого-структурном отношении рудопроявление МАН-9 находится в пределах Центрально-Уральского поднятия, в Центральной подзоне Ляпинской СФЗ Приполярного Урала, вблизи восточного экзоконтакта Сальнеро-Маньхамбовского гранитоидного массива. В геологическом строении района рудопроявления участвуют породы позднепротерозойского, кембрийского и ордовикского возраста. В состав позднепротерозойских образований входят отложения маньхамбовской, хобеинской, саблегорской и мороинской свит, выполняющие синкликорные зоны сложной конфигурации. Они сформировались в результате наложения более поздних структур на мегасинклинии, образовавшиеся в раннюю фазу байкальской складчатости. Наиболее мощные зоны магнетитового оруденения приурочены к синклинальным структурам субмеридионального простирания, выполненным отложениями верхней части маньхамбовской свиты, смятыми в дисгармоничные складки. Рудовмещающими породами являются магнетитсодержащие биотитовые, биотит-мусковитовые плагиогнейсы и хлорит-серицит-кварцевые, мусковит-кварцевые сланцы. Параметры рудных тел небольшие: мощность 3-5м, протяженность по падению первые сотни метров;

форма линзовидно-пластообразная, залегание согласное с вмещающими породами. Рудные тела сложены чередующимися плейчатými прослоями (мощность от первых десятков сантиметров) слабо сланцеватых железистых кварцитов (богатых руд) и биотитовых плагиогнейсов с убогой тонкозернистой вкрапленностью магнетита, массовые доли которых практически равны. Составляющие руд изучались как отдельно, преимущественно минералогическими методами, так и совместно, в виде составленной средней пробы, аналитическими методами (табл. 1). Руды характеризуются полосчатой, микроплейчатой, участками сланцеватой текстурой и разномелкозернистой, тонко-мелкозернистой, участками порфиروبластовой структурой. В рудах выявлено двадцать минералов (табл. 2), для которых определены оптические и морфоструктурные характеристики, установлены особенности локализации и взаимоотношения, определён элементный состав и рассчитаны кристаллохимические формулы.

Таблица 1

Химический состав руд (главные промышленно ценные, попутные, шлакообразующие, вредные компоненты) рудопроявлений А4, Южно-Чернореченское и МАН-9 (% мас.)

	Руды МАН-9 (средняя проба)	Железистые кварциты рудопроявления МАН-9	Магнетитсодержащие плагиогнейсы МАН-9	Руды рудопроявления А4	Руды Южно-Чернореченского рудопроявления
Fe _{общ.}	28,3	50,9	7,3	43,6	33,4
Fe _{Мт}	26,5	49,3	5,3	34,0	24,6
Fe _{силикатное}	1,8	1,6	2,0	9,4	5,8
Fe _{сульфидное}	-	-	-	0,2	3,0
Mn	0,098	0,150	0,050	0,108	0,132
Cu	$<0,2 \cdot 10^{-6}$	$<0,2 \cdot 10^{-6}$	$<0,2 \cdot 10^{-6}$	$83 \cdot 10^{-4}$	1,29
Co	$8,5 \cdot 10^{-4}$	$13 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$32 \cdot 10^{-4}$	0,012
Au	$<0,05 \cdot 10^{-4}$	$<0,05 \cdot 10^{-4}$	$<0,05 \cdot 10^{-4}$	$<0,05 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$
SiO ₂	45,7	20,6	69,0	20,8	25,90
Al ₂ O ₃	6,7	2,1	11,0	4,74	9,95
MgO	1,19	1,28	1,10	3,02	2,24
CaO	0,73	0,77	0,69	7,61	8,93
Na ₂ O+K ₂ O	3,55	0,95	5,95	0,65	0,98
S _{общ.}	$<0,05$	$<0,05$	$<0,05$	0,22	2,20
P _{общ.}	0,041	0,044	0,039	0,044	0,092
As	$37 \cdot 10^{-4}$	$17 \cdot 10^{-4}$	$56 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
PЗЭ	$29,0 \cdot 10^{-3}$	$42,3 \cdot 10^{-3}$	$16,7 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$35,7 \cdot 10^{-3}$

Наиболее распространенным минералом руд является магнетит $Fe^{2+}_{7,96}Mn_{0,04}Ti_{0,04}Fe^{3+}_{15,96}O_{32}$ (табл. 2), образующий зерна различной крупности (от 0,003 до 0,5 мм) и разной степени идиоморфизма (рис.2а). Агрегаты зерен разделяются по текстурно-структурным признакам на следующие группы: 1) с массивной или пятнистой текстурой и сидеронитовой, мелко-среднезернистой структурой, 2) с густовкрапленной, нередко полосчатой или пятнистой, микроплейчатой (рис.2б)

текстурой и тонко-, мелкозернистой структурой, 3) с вкрапленной, полосчатой, микроплойчатой текстурой (рис. 2в), тонко-, мелкозернистой структурой. Установлены две разновидности магнетита в железистых кварцитах: преобладающая, характеризующаяся гомогенным строением и низким количеством неструктурных примесей, и гетерогенная с ультратонкодисперсными включениями фазы, контролируемой гранями роста магнетита (рис.3), концентрирующей Si, Al, Ca, Na, K (Σ 0,8-3,5%). Изоморфными примесями в обеих разновидностях магнетита являются Mn и Ti (Σ 0,1-0,3%). Их низкое количество в магнетите подтверждается близкими к табличным параметрами элементарной ячейки ($a=8,399\text{\AA}$) и параметрами мёссбауэровских спектров ($S_A/S_B=0,53$). Мартитизация магнетита слабая и проявлена неравномерно (рис.4).

Таблица 2

Минеральный состав руд рудопроявлений А4, Южно-Чернореченское и МАН-9

Минералы	Рудопроявление		
	МАН-9	А4	Южно-Чернореченское
Главные	Магнетит (36%), кварц (27%), альбит (23%), биотит (4%)	Магнетит (47%), роговая обманка (23%), диопсид (15%), хлорит (5%)	Магнетит (35%), диопсид (16%), гидрослюда (8%), плагиоклаз ($Аn_{11-22}$, $Аn_{77-82}$) (7%), хлорит (4,5%)
Второстепенные	Пеннин (3%), мусковит (2%), ортоклаз, роговая обманка, титаномагнетит, гематит, кальцит, пирит, халькопирит, гидроксиды железа	Эпидот (4%), мариалит (2%), олигоклаз (2%), авгит эгирина содержащий (1%), анальцим, пирит, ломонтит, пренит, кальцит, калиевый полевой шпат, халькопирит, марказит, гематит, глинистый минерал	Халькопирит (3,7%), пирит (1,7%), эпидот (2%), гидрогётит, гематит, кварц, пренит, калиевый полевой шпат, кальцит, сфалерит, ковеллин, золото ($8 \cdot 10^{-5}\%$)
Акцессорные	Эпидот, ортит, апатит, сфен, манганильменит, циркон	Сфен, гранат (андрадит-гроссуляр)	Сфен, апатит, зигенит

Примечание. Содержание минералов определено методом РКФА с учетом данных ЯГРС и валового химического анализа руд. Промышленно ценные минералы выделены жирным шрифтом.

На основе микроскопического изучения руды установлена тесная связь железистых кварцитов и плагиогнейсов, выражающаяся в наличии постепенных переходов. Для железистых кварцитов характерна преобладающая ассоциация: магнетит + кварц + биотит + мусковит + эпидот, в которой в приконтактной зоне появляются альбит и роговая обманка, а доля магнетита резко уменьшается. В плагиогнейсах преобладающей минеральной ассоциацией (в порядке убывания содержаний) – кварц + альбит + биотит + мусковит + магнетит + эпидот. Данные минеральные ассоциации

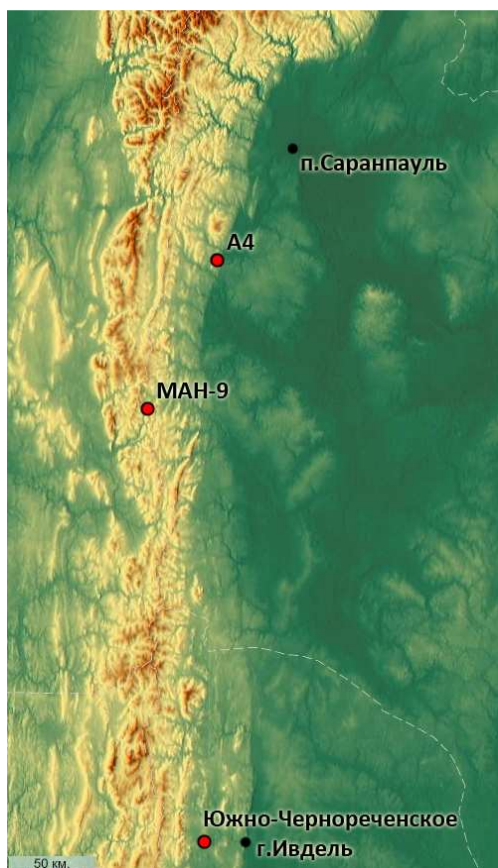


Рис.1. Обзорная географическая карта Приполярного и Среднего Урала; расположение изученных объектов (м-б 1:5000000).

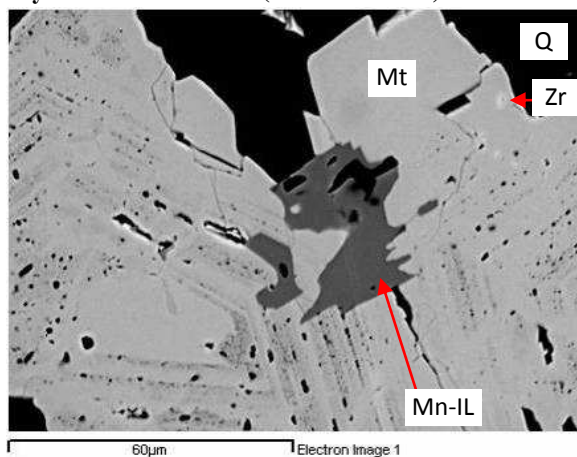
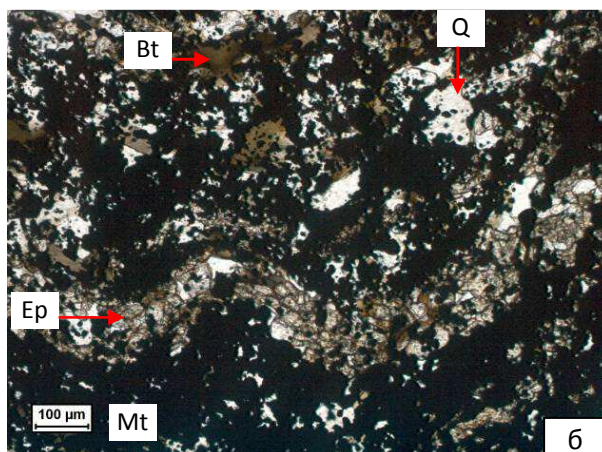
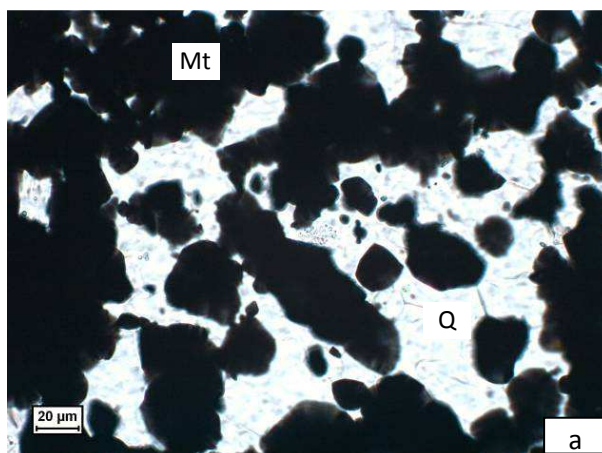


Рис.3. Недродное внутренне строение некоторых зерен магнетита рудопроявления МАН-9; особенности локализации манганильменита. Гетерогенность зерен магнетита (Mt) выражается в неравномерном распределении субмикроскопической алюмосиликатной фазы по зонам роста. Наблюдается контроль выделений манганильменита (Mn-IL) кристаллографическими направлениями магнетита. Изображение в обратно рассеянных электронах.

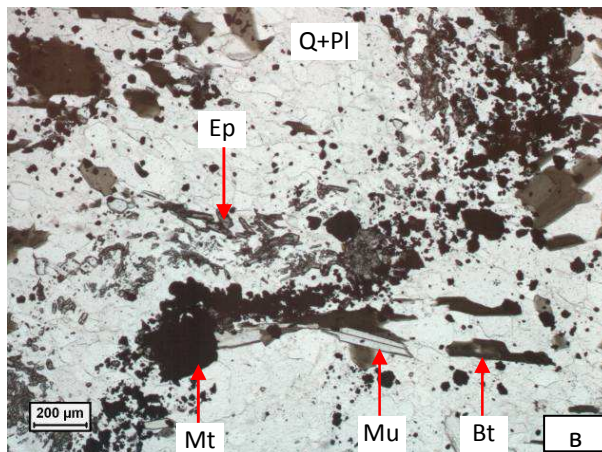


Рис.2. Текстурно-структурные особенности агрегатов магнетита рудопроявления МАН-9. Проходящий свет, при одном николе. а) Вкрапленный агрегат разнозернистого тонко-среднезернистого магнетита (Mt) в кварцевой (Q) матрице; б) микроплойчатая текстура железистого кварцита. Наблюдаются полосы, преимущественно состоящие из магнетита (Mt), эпидота (Ep) и биотита (Bt) с постоянной более-менее равномерной примесью кварца (Q); в) микроплойчатая текстура плагиогнейса, выраженная в наличии полос с высокой концентрацией зерен магнетита (Mt), иногда ассоциирующими с редкими полосами интенсивной вкрапленности эпидота (Ep), развитые в кварце (Q) – альбитовом (Ab) агрегате. К магнетиту тяготеют листочки биотита (Bt) и мусковита (Mu).

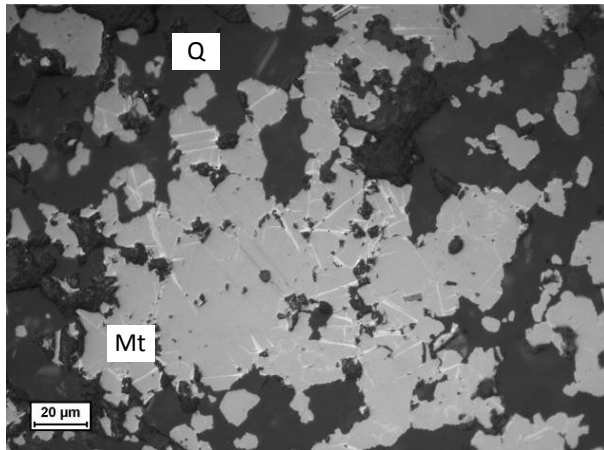


Рис.4. Слабо мартитизированный магнетит рудопроявления МАН-9. Отраженный свет при одном никеле.

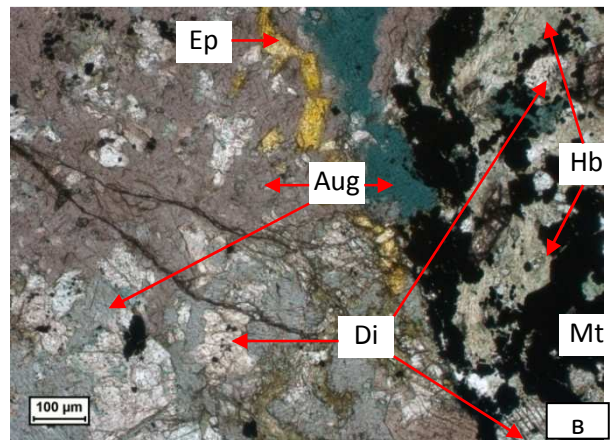
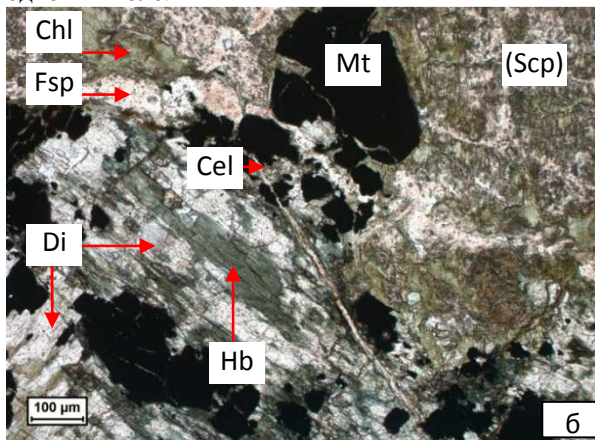
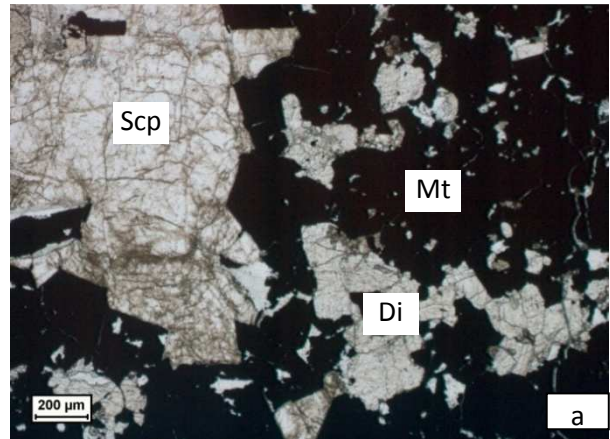


Рис.5. Характер взаимоотношений магнетита в рудах рудопроявления А4. а) сидеронитовая структура сростков магнетита и диопсида. Магнетит формирует грани в сростках с мариалитом. Слабо выраженный идиоморфизм магнетита в сростках с более идиоморфным диопсидом; б) диопсид, находящийся в сростках с магнетитом, в значительной степени замещается роговой обманкой. Мариалит псевдоморфно замещен агрегатом хлорита, полевых шпатов, глинистого минерала и кальцита. Наблюдается корродирование по коротким заливам и трещинам магнетита указанной ассоциацией; в) диопсид замещается двумя минеральными ассоциациями: в левой части снимка эгиринсодержащим авгитом и эпидотом, в правой – преимущественно роговой обманкой и магнетитом; проходящий свет, без анализатора.

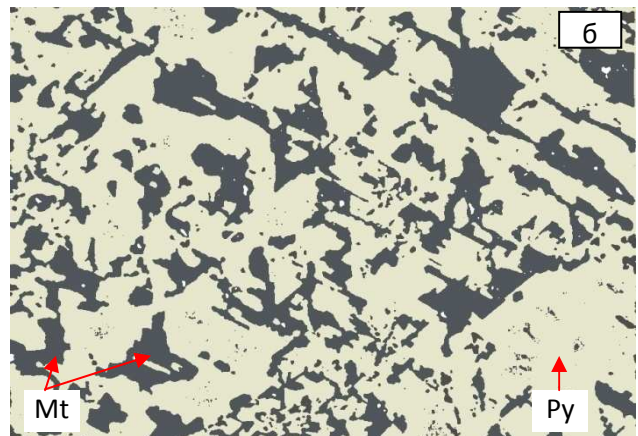
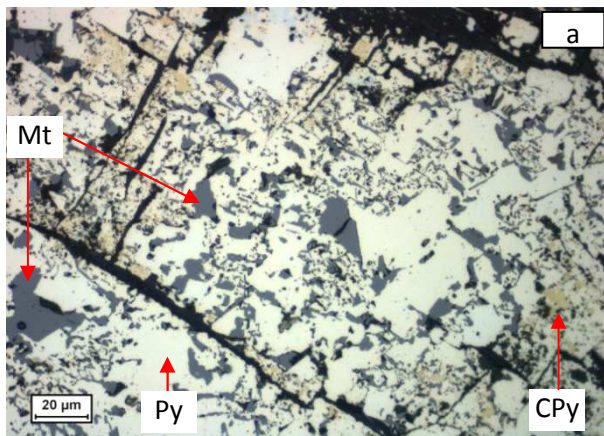


Рис.6. Пирит-магнетитовый агрегат, образующий псевдоморфозу по пирротину. Отраженный свет, без анализатора. а) структуры наблюдаемые в рудах А4; б) структуры, приведенные П. Рамдором, ув. х 250 (Рамдор, 1962).

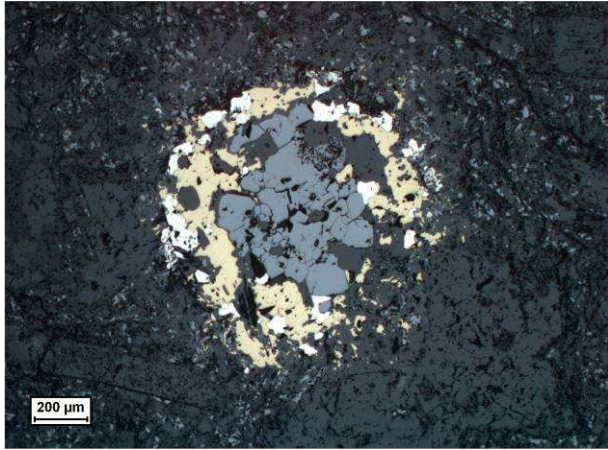


Рис.7. Агрегат рудных минералов, замещающий миндалину андезито-базальта. Оруденелая «миндалина» в скарнированном андезито-базальте с вкрапленностью магнетита. В центре «миндалины» агрегат идиобластовых зерен магнетита, окаймленный халькопиритом с включениями отдельных идиобластовых зерен пирита. Отраженный свет, без анализатора.

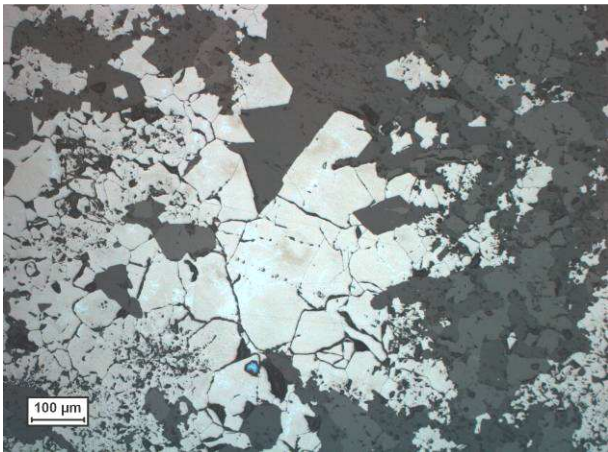


Рис.9. Гипидиобласты магнетита в массе нерудных минералов. Видна неоднородность магнетита, связанная с пылевидными включениями алюмосиликатов (светло-коричневые пятна) и частичной его мартитизацией (светло-голубовато-серые микропрожилки).

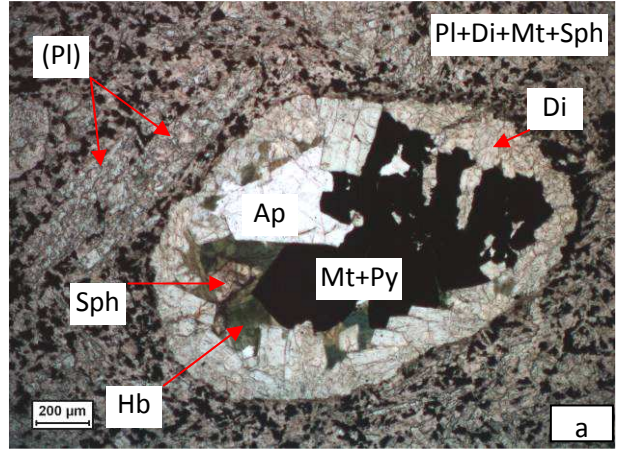


Рис.8. Особенности минерального состава скарнированного андезито-базальта. В центральной части рисунка виден агрегат рудного минерала (магнетит, пирит), диоксида, апатита, роговой обманки, сфена, образовавшийся за счет замещения миндалины в эффузиве основно-среднего состава. В верхней левой части рисунка таблитчатые выделения – вкрапленники плагиоклаза, псевдоморфно замещенные диопсидом. Основная ткань породы (перекристаллизованная основная масса вулканита) состоит из мелкозернистого рудного минерала (магнетита), псевдоморфоз диопсида по микролитам плагиоклаза и сфена. Проходящий свет, без анализатора.

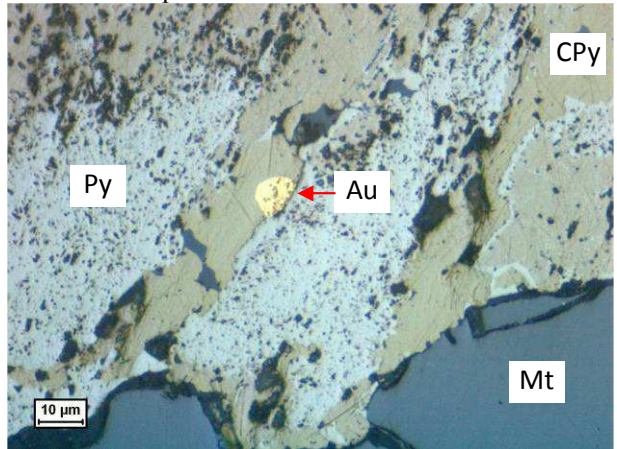


Рис.10. Выделение золота в агрегате пирита и халькопирита. В нижней части фотографии агрегат сульфидов контактирует с магнетитом.

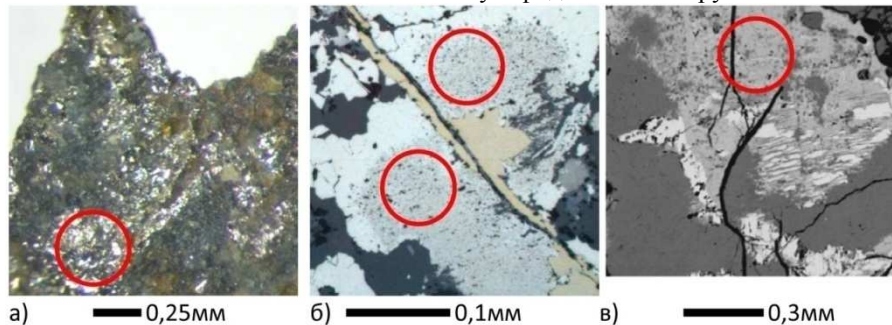


Рис.11. Микрофотографии предположительно нового минерала: а) микрофотография образца; б) тесные срастания *Минерала* с пиритом, пересекаемые прожилком халькопирита, отраженный свет; в) ориентированные вросстки халькопирита (светло-серое) в *Минерале*, находящегося в тесной ассоциации (взаимных прорастаниях) с пиритом (темно-серое), изображение в обратно рассеянных электронах.

являются типоморфными для эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма. Выявленные типоморфные особенности магнетита свидетельствуют в пользу правильности этого вывода (табл. 3). Совокупность проведенных исследований, в т.ч. основные особенностей геологического строения рудопроявления и вещественного состава руд, приведены в таблице 3, из которых следует вывод о соответствии руд рудопроявления МАН-9 формации железистых кварцитов (классу метаморфизованных руд, подклассу магнетитовых кварцитов).

Таблица 3

Признаки железистых кварцитов (метаморфических пород, в т.ч. эпидот-амфиболитовой фации), выявленные для руд рудопроявления МАН-9

Признак	Характеристика
Текстура	Полосчатая, микроплойчатая, участками сланцеватая
Структура	Разнозернистая, тонко-мелкозернистая, участками порфиروبластовая
Минеральная ассоциация	Кварц+альбит +мусковит+эпидот
Типоморфизм магнетита	Низкое содержание изоморфных примесей по данным РСА и ЯГРС; отсутствие ламеллей распада ильменита и шпинели; сложный характер срастаний с породообразующими минералами, в т.ч. с кварцем
Гранулометрия магнетита	Количественное резкое преобладание класса крупности -0,05мм, в сочетании с прочими факторами, предопределяющее необходимость тонкого измельчения руд при обогащении
Химический состав руд	Низкое содержание вредных примесей серы и фосфора; отношение $1000 \cdot Li/Mg$, равное 0,97 (<1 характерно для железистых кварцитов, не содержащих щелочных амфиболов (Бергман, 1980)
Особенности рудных тел	Согласное залегание с вмещающими регионально метаморфизованными породами
Геологический возраст	Поздний рифей, однако возможен и более древний возраст по последним данным

Рассматриваемые руды по фации метаморфизма и возрасту не имеют аналогов среди железистых кварцитов юга Урала (Тараташский и Уфалейский блоки). Их, вероятно, можно сопоставить с протерозойской вулканогенно-осадочной формацией железистых кварцитов КМА. Однако между ними имеются и некоторые принципиальные отличия, в том числе по минеральному составу: на МАН-9 в рудах отсутствуют такие минералы как куммингтонит и щелочные амфиболы. Это обстоятельство, по Н.И. Голивкину, может быть обусловлено непроявленностью на рудопроявлении МАН-9 стадии магнезиально-железистого метасоматоза, характерной для железистых кварцитов КМА.

2. Выявлены основные черты сходства железорудных рудопроявлений А4 и Южно-Чернореченского, выражающиеся в близкой геологической позиции, известково-скарновой минеральной ассоциации руд, реликтовых текстурах и структурах протолита и особенностях состава и строения магнетита. По комплексу признаков эти объекты относятся к месторождениям скарново-магнетитового класса складчатых областей фанерозоя.

Рудопроявление А4 расположено в Березовском районе Ханты-Мансийского автономного округа, в среднем течении р. Охтлям. В геолого-структурном плане рудопроявление находится в Восточно-Уральской зоне в пределах Тагило-Магнитогорского поднятия. Богатые вкрапленные магнетитовые руды мариалит-эпидот-диопсидового и эпидот-диопсидового состава (см. табл.1) пространственно ассоциируют с оруденелыми пятнистыми, вкрапленными иногда брекчиевидными магнетитовыми скарнами мариалит-диопсидового состава (19,5% Fe общ.). Несмотря на различия по текстурно-структурным особенностям минеральный состав выделенных руд и пород в значительной степени однообразен. Комплексом минералого-аналитических методов в рудах выявлено 20 минералов, однако главных, содержание которых в отдельных участках достигает десятков процентов, не более пяти (см. табл.2). Изучены оптические свойства и морфоструктурные особенности. На основании выявленных структурных взаимоотношений минералов впервые для объекта установлена схема последовательности минералообразования. Выделено пять стадий минералообразования, разделенных тектоникой различной интенсивности. Наиболее ранними минералами являются диопсид и гранат, после завершения кристаллизации которых порода подвергается брекчированию. Основная часть магнетита образуется близко одновременно со скаполитом и кальцитом первой генерации. Более поздние минералы выступают с перечисленными в секущих взаимоотношениях (рис. 5а,б,в, табл. 4). Особый интерес представляют выявленные в руде пирит-магнетитовые тонкозернистые «графические» агрегаты, образованные по первичному пирротину (рис.б) Их наличие указывает на возможность присутствия неизмененного пирротина на более глубоких горизонтах.

Рудопроявление Южно-Чернореченское располагается в северной части Западно-Тагильской мегазоны, в зоне экзоконтакта Южно-Помурского гранодиоритового массива с андезитово-базальтовой вулканогенной формацией силура, в 25 км к западу от г. Ивдель. В настоящее время это слабо изученный объект, вскрытый лишь несколькими скважинами и канавами. Руды представляют собой известковые скарны, образованные по эффузивным породам основного-среднего состава с широким распространением реликтовых текстур и структур (рис. 7,8). В руде выявлено 20 минералов, из числа которых лишь 8 присутствуют в количестве более 1% (см. табл. 2). В тексте работы приводится их подробное минералогическое описание. Особое внимание уделено магнетиту – главному рудному минералу. Установленные основные типоморфные свойства магнетита приведены в табл. 5. Отдельный интерес

представляют детали строения магнетита. В значительной части его зерен обнаружена примесь ультратонких (первые нанометры) пылевидных включений посторонней минеральной фазы, распространяющейся в виде обширных участков как в центральных частях зерен, так и по периферии. Зерна магнетита, почти полностью «загрязненные» пылевидными включениями, отличаются низким отражением (рис. 9). Это явление характерно для магнетитов месторождений известково-скарнового генезиса (Чернышева, 1981).

Таблица 4

Последовательность минералообразования руд рудопроявления А4

Минералы \ Стадии	Дорудная стадия		Ранняя рудная стадия		Поздняя рудная стадия		Жильная стадия	Стадия гипогенного окисления
Диопсид	-----	Брекчирование		Трещинообразование/брекчирование		Трещинообразование		
Гранат	-							
Магнетит I			-----					
Мариалит			----					
Кальцит I			----					
Магнетит II					----			
Роговая обманка					----			
Эпидот					----			
Авгит эгиринсодержащий					----			
Кальцит II					-----			
Пренит					----			
Сфен					---			
Олигоклаз					---			
Пирит I					---			
Халькопирит					---			
Пирротин					---			
Калиевый полевой шпат					-			
Хлорит							-	
Анальцим								---
Ломонтит								---
Марказит						---		
Пирит II						---		
Магнетит III						---		
Пирит III						-		
Гематит						?-		
Глинистый минерал						?-		

Типоморфные особенности магнетита Южно-Чернореченского рудопоявления, указывающие на его соответствие магнетитам известково-скарновых железорудных месторождений Урала

Признак	Характеристика
Строение зерен	отсутствие структур распада твердого раствора, ультрадисперсная примесь алюмосиликатной фазы
Количество изоморфных примесей (мас.%)	низкое: 0,47-0,75
Изоморфные примеси	Mn, Ti
Механические примеси	Mg, Al, Si, Ca
MgO:Al ₂ O ₃ *	1,1
Микротвердость	657 кгс/мм ²
Параметр элементарной ячейки (a)	8,395 Å

* Отношение молекулярных количеств.

Исследование состава таких включений микрорентгеноспектральным анализом показало, что они обогащены рядом элементов-примесей. Среди них можно выделить те, которые характерны для магнетита в качестве изоморфных примесей (Mn, Mg, Ti, Al), и те, которые в магнетите таковыми никогда не являются (Si, Ca). ЯГРС магнетита установлено, что на долю изоморфных примесей, замещающих железо в октаэдрической позиции, приходится 0,04 формульных коэффициента. Наиболее вероятен изовалентный изоморфизм $Mn^{2+} \rightarrow Fe^{2+}$. Установленная по данным МРСА примесь Mn меньше (0,01 формульных коэффициентов). Титан, способный замещать трехвалентное железо в магнетите, однозначно не устанавливается методом ЯГРС (по величине замещения Fe^{3+}), однако его содержание находится на уровне порога обнаружения метода. Рассмотрение корреляционной таблицы анализов магнетита (табл. б) показывает: 1) железо характеризуется высокой значимой отрицательной корреляцией с Mg, Al, Si, Ca, 2) корреляция железа с Ti и Mn низкая и незначимая. В свою очередь, данные элементы между собой обладают значимой положительной корреляцией. Поэтому несмотря на низкие корреляционные связи этих элементов с железом переменные количества Ti и Mn скорее всего являются структурными примесями в магнетите. С кремнием, который не может выступать структурной примесью в магнетите, коррелируют Mg, Al, Ca, которые как следствие также являются неструктурными примесями. Они, по-видимому, образуют самостоятельную ультрадисперсную примесную алюмосиликатную фазу в магнетите. Все это позволяет представить кристаллохимическую формулу магнетита в следующем виде: $(Mn_{0,01}Fe^{2+}_{0,99})_{1,00}(Ti_{0,01}Fe^{3+}_{1,99})_{2,00}O_4$.

Корреляция элементов-примесей в магнетите руд Южно-Чернореченского рудопроявления (N=23)

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ общ
MgO	1,00	0,63	0,92	0,91	0,36	0,33	-0,90
Al ₂ O ₃	0,63	1,00	0,77	0,76	0,02	0,11	-0,72
SiO ₂	0,92	0,77	1,00	0,99	0,35	0,28	-0,98
CaO	0,91	0,76	0,99	1,00	0,33	0,25	-0,98
TiO ₂	0,36	0,02	0,35	0,33	1,00	0,58	-0,37
MnO	0,33	0,11	0,28	0,25	0,58	1,00	-0,33

Примечание: выделенным шрифтом отмечены значимые корреляции.

В рудах отмечено присутствие самородного золота (размером 10-20 мкм), локализованного в халькопирите (рис. 10), а также единичные выделения редкого сульфида никеля и кобальта зигенита. Кроме того, установлено наличие минерала, по своему составу, параметрам элементарной ячейки и оптическим характеристикам не имеющего известных аналогов. Предположительно эта фаза является новым минералом – сульфидом меди и железа $Cu_{1,05}(Fe_{1,89}Co_{0,03}Ni_{0,03})_{1,95}S_{4,00}$ с вероятно изоморфными примесями кобальта и никеля (S 41.18%, Fe 33.95%, Cu 21.47%, Co 0.5%, Ni 0.64%, a=6.21 Å, b=5.38 Å, c= 13.64 Å, β=95°, синг. моноклинная, пр.группа p2/m). Он образует ксеноморфные выделения, размером в первые десятые доли миллиметра, находящиеся в тесной ассоциации с пиритом и халькопиритом (рис.11).

Рудопроявления А-4 и Южно-Чернореченское несмотря на географическую разобщенность почти в 330 км обладают многими чертами сходства как между собой, так и с другими железорудными объектами восточного склона Урала (табл. 7). Изученные объекты приурочены к сложно дислоцированным зеленокаменным образованиям нижнепалеозойской рифтогенной формации. Возраст вмещающих пород на рудопроявлениях силурийский. Рудопроявления имеют известково-скарновый генезис, и по совокупности минералогических данных относятся к классу магнетитовых руд складчатых областей фанерозоя. Оруденение напрямую (Южно-Чернореченское) или косвенно (А4) располагается в экзоконтактовых зонах интрузий кислого состава и локализуется в эффузивных толщах основного-среднего состава. Минеральный состав руд данных объектов имеет сходство по следующим признакам: 1) главным рудным минералом, концентрирующим железо, является магнетит, 2) ему сопутствуют такие порообразующие минералы как диопсид, эпидот, полевые шпаты и более редкие второстепенные – пирит, пренит, скаполит, хлорит, кальцит, а также сфен, 3) наличие пирит-магнетитовых закономерных «графических» тонкодисперсных агрегатов, образованных по первичному пирротину. По химическому составу руды близки по относительно низким содержаниям вредных примесей фосфора и мышьяка. Схожи также и особенности состава и строения магнетита. Магнетит этих

рудопроявлений гомогенен - не содержит структур распада твердого раствора, содержит низкое количество изоморфных примесей, параметры элементарной ячейки и параметры мёссбауэровских спектров, близкие к стехиометрии. Эти характеристики типоморфные для скарново-магнетитовых объектов в целом. Близка в целом и гранулометрическая характеристика магнетита – большинство зерен концентрируется в классе -0,044 мм, а в массовом отношении преобладает класс -0,5+0,044 мм. Срастания магнетита с породообразующими минералами в рудах сложные, что предопределяет его низкое раскрытие в крупных классах. Руды по коэффициенту основности кислые и характеризуются высоким кремниевым модулем.

Таблица 7

Сравнительная характеристика рудопроявлений А4 и Южно-Чернореченского

Рудопроявление / Признак	А4	Южно-Чернореченское
1	2	3
Основные промышленно ценные компоненты	Железо (магнетит)	Железо (магнетит), медь (халькопирит)
Попутные компоненты	Щебень (хвосты СМС)	Золото, щебень (хвосты СМС)
Породы, вмещающие оруденение	Грубообломочные туфы основного-среднего состава	Миндалекаменные эффузивы основного-среднего состава
Возраст протолита	Верхний силур	Силур (нерасчлененный)
Пространственная связь с интрузиями кислого состава	Обширные зоны микроклинизации, биотитизации и окварцевания, указывающие на присутствие крупного кислого массива на более глубоких горизонтах	Оруденение в экзоконтакте Южно-Помурского гранодиоритового массива
Генезис	Известково-скарновый	
Класс	Месторождения магнетитовых руд складчатых областей фанерозоя	
Рудная формация	Железная	Медно-железная
Текстуры руд	Вкрапленные, массивные, брекчиевидные	Вкрапленные, брекчиевидные, реликтовые (от вулканического протолита) миндалекаменные, порфиоровые, флюидальные
Структуры руд	Мелко-тонкозернистые, гипидиоморфнозернистые, разнозернистые, участками коррозионные, участками сидеронитовые	
Химический состав руд	Fe _{общ} 43,6%; Fe _{нт} 34,0%; P _{общ} 0,044%; S _{общ} 0,22; As 2,1 г/т; Cu 0,0083%; Au <0,1 г/т; коэф.основности 0,4; кремниевый модуль 4,4	Fe _{общ} 33,4%; Fe _{нт} 24,6%; P _{общ} 0,092%; S _{общ} 2,20; As 2,9 г/т; Cu 1,29%; Au 0,8 г/т; коэф.основности 0,3; кремниевый модуль 2,6

1	2	3
Минеральный состав руд	Магнетит, диопсид, эпидот, кальцит, скаполит, халькопирит, пирит, хлорит, гематит, калиевый полевой шпат, олигоклаз, пренит, сфен	
	Авгит эгиринсодержащий, роговая обманка, анальцим, глинистый минерал, гранат (андрадит-гроссуляр), ломонтит, марказит	Апатит, гидрогётит, гидрослюда, зигенит, кварц, ковеллин, основной плагиоклаз, сфалерит, золото
Характерные минеральные агрегаты	Пирит-магнетитовые закономерные «графически» тонкодисперсные сростки, образованные по первичному пирротину	
Строение магнетита	Гомогенное (отсутствие структур распада)	
Состав магнетита	Близкий к стехиометричному: низкое количество изоморфных примесей (<0,4% Ti, <0,3% Mn)	
Характер сростков магнетита	Сложные срастания с породообразующими минералами (диопсидом, эпидотом и др.)	
Гранулометрия магнетита	87,7% кол. зерен -0,044 мм 86,0% мас. зерен -0,5+0,044 мм	91,1% кол. зерен -0,044 мм 73,0% мас. зерен -0,5+0,044 мм
Рекомендуемая крупность измельчения руды	-0,05 мм для обеспечения кондиционного раскрытия магнетита	
Принципиальные черты предполагаемой технологии обогащения	Дробление; крупнокусковое предобогащение на основе СМС; измельчение; многостадийная ММС	Дробление; крупнокусковое предобогащение на основе СМС; измельчение; многостадийная ММС, флотация с получением медного концентрата содержащего золото

Несмотря на сходства есть и принципиальные отличия изученных объектов. Если рудопроявление А4 только железорудное (железная рудная формация), то Южно-Чернореченское – комплексное медно-магнетитовое с повышенным содержанием в рудах золота (медно-железная рудная формация). По содержанию железа руды Южно-Чернореченского рудопроявления более бедные, однако они являются богатыми по меди, связанной с халькопиритом. Помимо отмеченного выше сходства в минеральном составе есть и существенные различия. В первую очередь это касается значительно большему распространению сульфидов железа (прежде всего халькопирита) в рудах Южно-Чернореченского рудопроявления, а также таких минералов как основной плагиоклаз (наряду с кислым), кварц (в небольшом количестве), золото, сфалерит, зигенит и предположительно – новый минерал. В рудах А4 проявлена поздняя жильная минеральная ассоциация, представленная эгиринсодержащим авгитом и роговой обманкой. Из-за различий в минеральном составе и направлении использования сырья несколько различаются принципиальные особенности технологии обогащения, как будет показано ниже.

Установлено, что близкими аналогами рудопроявления А4 являются руды Осокино-Александровского и Естюнинского месторождения, а близкими аналогами Южно-Чернореченского рудопроявления можно считать Северное Третье и Выйское месторождения.

3. Морфоструктурные характеристики магнетита – главного рудного минерала изученных рудопроявлений, низкие содержания изоморфных примесей, отсутствие структур распада, близкие к теоретическим плотность и микротвердость, особенности ассоциирующих с ним минералов позволяют рекомендовать магнитные методы обогащения для руд А4 и МАН-9, а для руд Южно-Чернореченского рудопроявления - комплексную технологию, включающую химическое обогащение.

Полученные данные о составе и строении руд изученных объектов с учетом материалов по месторождениям-аналогам позволили оценить качество руд и дать прогнозную оценку минерального сырья рудопроявлений МАН-9, А4 и Южно-Чернореченского.

Выделенные две литологические составляющие руды *рудопроявления МАН-9* существенно отличаются по промышленному значению: магнетитсодержащие плагиогнейсы (чуть менее половины массы руды) по содержанию железа магнетитового (5,3%) отнесены к пустым породам, переслаивающиеся с ними железистые кварциты - к богатым рудам (49,3%). Мощность рудных и нерудных прослоев и их физические свойства обуславливают целесообразность применения крупнокускового предобогащения на основе СМС. Концентрация железа магнетитового при этом может возрасти почти на 23 мас.%. Выделенный щебень из хвостов СМС по опыту Естюнинского месторождения, вероятно, можно использовать в стройиндустрии. По коэффициенту основности руды являются суперкислыми (0,037) и характеризуются высоким кремниевым модулем (6,8), что является типичным для железистых кварцитов. В рудах магнетит образует два вида агрегатов: тонкозернистые выделения в преимущественно кварцевой матрице и массивные агрегаты с обильными включениями тонкозернистых порообразующих минералов. Это обуславливает плохое раскрытие и необходимость тонкого измельчения руды (-0,05 мм). Как следствие необходимо принятие мер для уменьшения флокуляции. В качестве принципиальной схемы обогащения можно предположить многостадийную ММС. Отмечена повышенная кобальтоносность пирита, однако его количество в руде низкое, и селективное извлечение скорее всего будет экономически нецелесообразно.

Руды рудопроявления А4 по особенностям состава и текстурно-структурным признакам соответствуют богатым скарново-магнетитовым рудам. Содержание ценных примесей незначительное. Вредные примеси: фосфор и сера, присутствуют в небольших количествах. По коэффициенту основности руды кислые (0,42) и с высоким кремниевым модулем (4,4). Потери железа, связанного с силикатами и сульфидами, составляют 9,6%, что характерно для руд данного типа (см. табл.1). Пирротин отсутствует. Однако наличие в рудах микрокристаллических магнетит-пиритовых псевдоморфоз по первичному пирротину, обладающих высокой магнитной восприимчивостью, неизбежно приведет к повышению сернистости концентрата магнитной сепарации. Кроме того, наличие этих структур указывает на возможность появления пирротина на более глубоких горизонтах рудопроявления. Существенное раскрытие магнетита в руде наблюдается в классах мельче 0,05 мм,

что обусловлено с его тесными сростаниями с породообразующими минералами. Трещиноватость и обилие микропрожилков в руде обуславливают её хрупкость и возможность переизмельчения в процессе дробления и измельчения. В качестве принципиальной схемы обогащения можно рекомендовать использование предобогащения на основе СМС, многостадийной ММС с операцией сульфидной флотации.

Руды Южно-Чернореченского рудопроявления по результатам исследования являются комплексными медно-магнетитовыми: по содержанию магнетитового железа - рядовые, по меди (связанной с халькопиритом) - богатые. Потери железа, связанного с силикатами и сульфидами (халькопиритом и пиритом), не превышают аналогичных значений схожих промышленных скарново-магнетитовых месторождений. Пирротин в рудах отсутствует. В руде установлено золото с промышленными концентрациями (0,8 г/т), однако потребуются дополнительные работы на объекте для установления особенностей его распределения и подтверждения содержаний. По коэффициенту основности руды кислые (0,31) с повышенным кремниевым модулем (2,6). Содержание токсичных и радиоактивных элементов незначительно. Ошламование при дроблении и измельчении слабое. В руде существенно преобладают мелкие классы магнетита, при этом раскрытие его сростков происходит лишь в тонких классах. Получить высокие результаты при обогащении такой руды достаточно сложно. Потребуется тонкое измельчение (-0,05 мм). Выявленные характеристики магнетита позволяют рекомендовать крупнокусковое предобогащение на основе СМС в голове технологического процесса. Далее целесообразно применение многостадийной ММС в соответствии с классической технологией используемой для магнетитовых руд. Для комплексного использования руд необходимо также включить в технологическую схему флотацию хвостов ММС с получением медного концентрата. По аналогии с технологическими показателями схожих руд Северо-Гороблагодатского месторождения можно ожидать высокое извлечение золота в медный концентрат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По вещественному составу руд установлена принадлежность рудопроявления Маньхамбо к формации железистых кварцитов докембрия (классу метаморфизованных руд, подклассу магнетитовых кварцитов), А4 и Южно-Чернореченского к объектам скарново-магнетитового класса месторождений складчатых областей фанерозоя. Наиболее близкими месторождения аналогии по вещественному составу руд являются: А4 - Осокино-Александровское, Естюнинское, Южно-Чернореченское – Северное Третье, Выйское, МАН-9 - месторождения протерозойской вулканогенно-осадочной формации железистых кварцитов КМА.

Руды А4 и МАН-9 отнесены к железным среднего качества аналогичных объектов. Отмечена комплексность руд Южно-Чернореченского рудопроявления на Fe, Cu и Au.

Выявленные особенности состава и строения руд позволили рекомендовать в качестве первоочередных магнитные методы обогащения руд рудопроявлений А4 и МАН-9 (предобогащение СМС. многостадийная ММС), а для руд Южно-Чернореченского рудопроявления комплексную технологию, включающую физические методы обогащения и металлургический передел (магнитно-флотационно-гидрометаллургическую технологию).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Файнштейн Г.Г.,* Кузьмин В.И., Комарицкий С.И., Корепанов В.Б. Прогнозная минералого-технологическая оценка качества скарново-магнетитовых руд рудопроявления А4 (Приполярный Урал) // Разведка и Охрана Недр, 2009, №4, С. 71-76.

2. *Файнштейн Г.Г.,* Кузьмин В.И., Ожогина Е.Г., Зублюк Е.В., Буханов А.В., Филатов А.Ф., Комарицкий С.И. Особенности минерального состава некоторых железорудных рудопроявлений Полярного Урала // XV геологический съезд республики Коми – «Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-востока России». Сыктывкар. 2009. С. 259-261.

3. *Файнштейн Г.Г.,* Кузьмин В.И., Комарицкий С.И., Корепанов В.Б.. Минералогические исследования при прогнозной оценке качества сырья (на примере скарново-магнетитового рудопроявления А4, Приполярный Урал) // Третий Всероссийский Семинар - Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2009. С. 45-51.

4. *Файнштейн Г.Г.* Использование особенностей минерального состава руд Бакчарского месторождения при обогащении // V Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в 21 веке глазами молодых». М.:ИПКОН РАН. 2008. С. 42-43.

5. *Файнштейн Г.Г.* Минералого-технологические особенности продуктов СГД руд Бакчарского месторождения // Актуальные проблемы геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых. Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов. М.: ФГУП "ВИМС". 2008. С. 148-149. С. 42-43.

6. *Файнштейн Г.Г.* Некоторые аспекты технологической минералогии руд Бакчарского месторождения, Томская область // «Структура и разнообразие минерального мира». Сыктывкар. 2008. С. 222-223.

7. *Файнштейн Г.Г.,* Кузьмин В.И., Кривоконева Г.К. Некоторые особенности минералогии гидрогетовых руд Бакчарского месторождения // «Типоморфные минералы и минеральные ассоциации - индикаторы масштабности природных и техногенных месторождений и качества руд». Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. Годичное собрание РМО. 2008. С. 93-94.

8. *Файнштейн Г.Г.,* Кузьмин В.И., Чистякова Н.И. Особенности локализации вредных примесей в продуктах скважинной гидродобычи руд Бакчарского железорудного месторождения // IX Международная конференция "Новые идеи в науках о Земле" М.:РГГРУ. 2009. С.236.

Подписано в печать 19.11.2009 г.
Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 1,1
Отпечатано на ризографе.
Тираж 100. Заказ № 63

РИС «ВИМС»
119017, г. Москва, Старомонетный пер. дом 31