

характеристики минералов и давать прогнозную оценку минерального сырья на всех стадиях его изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологическое изучение и использование недр. Информационный сборник, М.: Геоинформцентр, 2003. Вып. 5, 6. С.38-53.
2. *Козловский Е.А.* Минерально-сырьевые проблемы России накануне XXI века. М.: Русский биографический ин-т, 1999. 401 с.
3. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997.
4. Исследование фазовой и структурно-текстурной микронеоднородности объектов методом рентгеновской микротомографии // Методические рекомендации № 130 / Утверждены НСОММИ. М.: ВНИИГеосистем, 1999. 53 с.
5. Инструкция для пользователя по обработке изображений с помощью программы «TomAnalysis» // Утверждена ГНЦ РФ ВНИИГеосистем. М.: ВНИИГеосистем, 2003, 44 с.
6. Марганец // Под ред. акад. К.Н. Трубецкого. М.: Изд-во Акад. Горн. Наук, 1999, 271 с.
7. Новые минерально-сырьевые металлургические комплексы России (краткий обзор) / Под ред. Г.А. Машковцева. М.: «ВИМС», 2007, 44 с.
8. *Ожогина Е.Г., Рогожин А.А.* Применение комплекса минералого-аналитических методов для технологической оценки руд черных и цветных металлов // Разведка и охрана недр. 2005. №4. С. 33-36.
9. Рентгенотомографический анализ карбонатных марганцевых руд. Методические рекомендации № 146 // Утверждены НСОМИ / Составители: Якушина О.А., Ожогина Е.Г., Броницкая Е.С., Козорезов Е.В., Хозяинов М.С. М.: «ВИМС». 2001. 19 с.
10. *Хозяинов М.С., Вайнберг Э.И.* Вычислительная микротомография – новая информационная технология неразрушающего исследования внутренней микроструктуры образцов геологических пород // Геоинформатика. 1992. №1. С. 42-50.
11. *Якушина О.А., Ожогина Е.Г., Кузьмин В.И., Хозяинов М.С.* Рентгенотомографический анализ карбонатных марганцевых руд. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2002. Т. 68. № 8. С. 26-31.
12. *Якушина О.А., Ожогина Е.Г., Хозяинов М.С.* Минералого-технологическая оценка карбонатных марганцевых руд с помощью рентгенотомографического анализа // Геоинформатика. 2002. № 4. С. 28-31.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ (НА ПРИМЕРЕ СКАРНОВО-МАГНЕТИТОВОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ А4, ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Файнштейн Г.Г.¹, Кузьмин В.И.¹, Комарицкий С.И.², Корепанов В.Б.²

¹ ФГУП «ВИМС», г. Москва; ² ОАО «Сосьвапромгеология»

На ранних поисково-оценочных стадиях изучения потенциального рудно-сырьевого объекта важно оценить качество сырья, поскольку целесообразность выполнения всего высокзатратного комплекса геологоразведочных работ для перевода рудопроявления в ранг промышленного месторождения во многом определяется экономически эффективной переработкой руды с получением кондиционных продуктов. Минералого-аналитические исследования проб, отобранных из вскрытых рудных тел, позволяют обоснованно дать такую прогнозную оценку.

Подобные исследования нами были проведены на малообъемных пробах скарно-магнетитового рудопроявления А-4. Объект расположен в Березовском районе Ханты-Мансийского автономного округа, в среднем течении реки Охтля, на северо-восточном и восточном склонах высотной отметки 388,7 м. Рудопроявление находится в непосредственной близости от проектируемой трассы железной дороги «Урал Промышленный - Урал Полярный». Это определяет его благоприятное экономико-географическое положение в связи с возможностью эффективного решения транспортных проблем при промышленной отработке месторождения в случае его положительной геологической оценки. В настоящее время на рудопроявлении предприятие ОАО «Сосьвапромгеология» проводит поисково-оценочные работы. Одновременно перед «ВИМС» была поставлена задача установления качества руд - важнейшего фактора, определяющего промышленную ценность рудно-сырьевого объекта.

Рудопроявление А-4 находится в Восточно-Уральской зоне, в восточной части Салатимской структурно-формационной подзоны. Как и многие другие рудные объекты восточного склона Урала, разведываемый участок приурочен к сложно дислоцированным зеленокаменным образованиям нижнепалеозойской рифтогенной формации ордовикско-нижнесилурийского времени заложения. Последующие преобразования в районе, вплоть до нижнедевонского времени, определялись процессами

регионального, динамотермального и контактового метаморфизма и формированием вулканоплутонического комплекса кислого состава, с которым связано скарново-магнетитовое оруденение. В районах Полярного Урала вулканоплутонический магматизм и процессы скарнирования развивались в период от верхнего силура до нижнего девона [1]. Как и в более южных районах, с ними связано формирование магнетитового оруденения в фации известковых скарнов. Примером такого оруденения может являться рудопоявление А-4, близкое к известково-скарновому магнетитовому типу, напоминающему ряд крупных железорудных месторождений на Среднем и Южном Урале.

В строении рудопоявления принимают участие вулканогенно-осадочные и метаморфические породы, а также имеющий ограниченное распространение комплекс интрузивных пород. К интрузивным образованиям относятся габбро, габбро-нориты, оливиновое габбро, а также их амфиболизированные разновидности тагилокытлымского комплекса. Средние и кислые породы представлены маломощными дайко- и штокообразными телами гранодиоритов и диоритов верхнетагильского комплекса. Указанные кислые разновидности интрузивных пород не образуют в пределах рудопоявления значительных массивов на современном эрозионном срезе, но наличие обширных зон микроклинизации, биотитизации и окварцевания, указывает на присутствие крупного кислого массива на более глубоких горизонтах. Вулканогенно-осадочные породы представлены в основном грубообломочными туфами пироксен-плагиоклазовых пофиритов андезито-базальтового состава, а в восточной части проявления отмечаются слабо измененные вулканогенные породы - пироксен-плагиоклазовые и плагиоклазовые порфириты трахиандезито-базальтового состава, относящиеся к сосвинской свите верхнего силура - нижнего девона (S₂-D_{1ss}).

Рудовмещающая пачка представлена контактово-метаморфическими породами – роговиками, а также скарнами и скарноидами, образовавшимися по грубообломочным туфам. Роговики представлены пироксен-плагиоклазовыми, пироксен-амфибол-плагиоклазовыми, биотит-амфибол-плагиоклазовыми разновидностями. Рудные тела, мощность которых варьирует в пределах от десятков сантиметров до 32 м, имеют линзовидную форму. В структурном плане они имеют моноклиналиное залегание с падением на восток, северо-восток под углом 20-25°. Контакт их с породами базитового комплекса в южной части рудопоявления тектонический.

Прогноз технологических показателей руды проведен на основе минералогического и химико-аналитического изучения двух малообъемных керновых проб, отнесенных разведочным предприятием к бедному и богатому типам руд. В состав проб вошел каменный материал по двум скважинам, вскрывшим руду в нескольких интервалах общей мощностью в 30,7 м. Представление о химическом составе руд дает проведенное предприятием поинтервальное опробование керна (табл. 1), а также анализ усредненных навесок проб богатой и бедной руды, выполненный в «ВИМС»е (табл. 2). Полученные анализы показывают, что проба богатой руды существенно отличается от бедной в среднем как по общему содержанию железа (32,1% и 18,9%), так и по содержанию железа в магнетите (23% и 11,1%). Несколько меньше пробы различаются по содержанию серы (0,3% и 0,4%), хотя в отдельных интервалах бедной пробы содержание серы достигает почти 2%, в то время как в богатой пробе количество серы не поднимается выше 0,71%. Бедные руды характеризуются повышенными содержаниями компонентов, связанных с силикатами. В примесном элементном составе проб существенных различий не наблюдается, за исключением относительного больших концентраций в бедных рудах Rb, Ba, возможно связанных со скаполитом, а также Cs, по-видимому, входящего в состав анальцима.

Исследованные пробы содержат лишь незначительное количество ценных примесей. В десятых долях процента присутствуют Cr и V. Содержания Co, Ni, Cu не превышают тысячных и десятитысячных долей процента, что практически исключает возможность их экономически целесообразной утилизации. Вредные примеси, фосфор и сера, отмечены в небольших количествах. Токсичные элементы, такие как U, Th, As, Hg, Be и др. содержатся в крайне низких количествах.

Таблица 1

Общая характеристика проб руд рудопоявления А-4

Характеристика пробы	Богатая руда	Бедная руда
Исходная масса, кг	10,6 кг	11,4 кг
Общая длина интервала, м	12,9	17,8
Содержание Fe _{общ.} % (от - до)	17,4-47,4	6,8-42,9
Среднее содержание Fe _{общ.} %	32,1	18,9
Содержание Fe _{магнетит} (от - до)	5,0-43,2	0,41-37,34
Среднее содержание Fe _{магнетит}	23,0	11,1
Содержание серы % (от-до)	0,56-0,71	0,03 – 1,97
Среднее содержание серы	0,3	0,4

Характеристика химического состава усредненных проб руд рудопроявления А-4

Окислы	Бедная руда	Богатая руда	Окислы	Бедная руда	Богатая руда	Окислы	Бедная руда	Богатая руда
	масс. %			г/т			г/т	
Na ₂ O	2,00	0,50	Li	2,56	1,36	Ho	0,41	0,34
MgO	3,38	3,02	Be	0,61	0,32	La	4,68	3,76
Al ₂ O ₃	10,70	4,47	Sc	14,7	11,5	Ce	7,92	5,34
SiO ₂	34,90	20,80	Cr	58,8	39,9	Pr	1,11	0,73
P ₂ O ₅	0,056	0,10	Co	20,7	32,2	Nd	5,22	3,95
Soбщ	<0,10	0,22	Ni	19,5	19,1	Sm	1,88	1,50
SO ₃	<0,10	<0,10	Cu	22,9	82,8	Eu	0,68	0,56
K ₂ O	0,50	0,15	Zn	34,4	33,8	Gd	2,04	1,72
CaO	9,39	7,61	Ga	15,2	16,5	Tb	0,34	0,28
TiO ₂	0,51	0,53	As	1,1	2,1	Dy	2,02	1,64
V ₂ O ₅	0,051	0,065	Se	<0,7	<0,7	Er	1,63	1,51
Cr ₂ O ₃	0,058	0,044	Rb	3,69	0,80	Tm	0,15	0,13
MnO	0,14	0,14	Sr	183	221	Yb	1,02	0,85
Fe ₂ O ₃ общ	35,0	62,3	Y	11,6	9,93	Lu	0,15	0,12
FeO	10,9	18,6	Zr	34,4	31,5	Hf	0,98	0,74
Fe ₂ O ₃	22,8	41,7	Nb	1,12	0,75	Ta	0,080	0,058
CO ₂	<0,10	<0,10	Mo	1,29	0,89	W	0,35	0,23
			Rh	<0,01	<0,01	Ir	<0,003	<0,003
			Pd	<0,1	<0,1	Pt	<0,1	<0,1
			Ag	<0,09	<0,09	Au	<0,03	<0,03
			Cd	0,058	0,055	Hg	<0,1	<0,1
			Sn	1,3	1,3	Tl	0,016	0,012
			Sb	0,25	0,15	Pb	1,6	1,0
			Te	<0,04	<0,04	Bi	<0,04	<0,04
			Cs	1,67	0,058	Th	0,28	0,31
			Ba	109	39,8	U	0,91	0,81

В обеих пробах снижается суммарное среднее содержание железа магнетитового, особенно при сопоставлении со средними содержаниями общего железа в пробах. Это связано с присутствием части железа в силикатах (силикатное железо). Однако в наиболее богатых магнетитом секционных пробах «потери» железа с силикатными минералами (эпидотом, роговой обманкой) не превышают 10-12 отн.%. Еще меньшее влияние на снижение железа «магнетитового» оказывает присутствие сульфидов, прежде всего пирита, поскольку содержание серы в пробах сравнительно низкое.

Изученные образцы богатой и бедной руды по внешним признакам сравнительно однообразны. В основном это плотная горная порода пятнистой текстуры, с пятнами светло-зеленого, светло-серого, реже темно-зеленого цвета, часто с признаками катаклаза и брекчирования, с секущими прожилками, заполненными светлоокрашенными, белыми, зеленовато-серыми и светло-серыми минералами тонкокристаллического строения. Менее характерны, особенно для богатой руды, куски черного цвета, массивной текстуры, мелко- и тонкозернистого строения, состоящие из магнетита, в массе которого изредка отмечаются небольшие пятнистые, реже струйчатые или неправильной формы выделения сульфидных минералов, чаще всего пирита. Размеры таких выделений не превышают 10-20 мм.

По данным петрографического, минераграфического и рентгенографического изучения в пробе богатой руды нами выделено три подтипа: 1) богатые вкрапленные магнетитовые мариалит-эпидот-диопсидовые скарны, 2) бедные прожилково-пятнистые магнетит-роговообманково-эпидот-диопсидовые скарны и 3) бедные вкрапленные мариалит-диопсид-магнетитовые скарны. По тем же признакам выделяются четыре подтипа в бедных рудах: 1) богатые вкрапленные магнетитовые эпидот-диопсидовые скарны, 2) бедные вкрапленные магнетитовые диопсид-мариалитовые скарны; 3) бедные прожилково-вкрапленные мариалит-магнетит-кальцит-пренитовые скарны брекчиевидной текстуры и 4) магнетит-диопсид-мариалитовые скарны брекчиевидной текстуры.

Для уточнения количественных соотношений между минералами отквартовки проб богатых и бедных руд были разделены на магнитную и немагнитную фракции и подвергнуты рентгенографическому анализу, а железосодержащие фазы в магнитных фракциях были исследованы методом Мессбауэровской спектроскопии.

На основе проведенных исследований в пробах выявлено 19 минералов. Однако главных, содержание которых в отдельных участках руд достигает десятков процентов, не более пяти. Это магнетит, диопсид, скаполит (мариалит), роговая обманка и эпидот. Остальные 14 минералов присутствуют в меньших количествах и, как правило, развиты лишь в интенсивно катаклазированных рудных интервалах. К таким минералам, помимо

указанных роговой обманки и эпидота, относятся цеолиты (ломонтит), пренит, анальцим, поздний карбонат, полевые шпаты, эгиринсодержащий авгит, актинолит, хлорит и тонкодисперсный глинистый, точнее не идентифицированный, минерал.

Процесс минералообразования проходил в две основные стадии. Ранней скарновой стадии, по-видимому, предшествовало брекчирование исходных пород. Далее сформировалась основная масса магнетита и ассоциирующие с ним диопсид, сфен, мейонит, ранний кальцит (рис. 1). В позднюю стадию, после интервала трещинообразования и различной интенсивности брекчирования, образовались минералы, развивающиеся за счет ассоциации ранней стадии или выполняющие секущие прожилки - эпидот, поздний кальцит, авгит эгиринсодержащий (рис. 2), пренит, анальцим, ломонтит, хлорит, полевые шпаты, глинистый минерал, а также ассоциирующие с ними небольшое количество сульфидов и позднего магнетита.

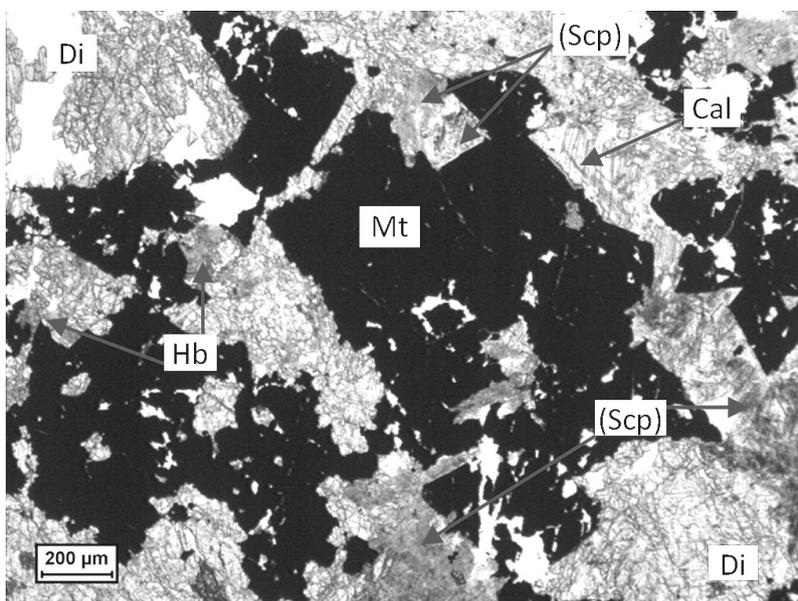


Рис. 1. Идиобласты магнетита (Mt) на контакте со скаполитом (Scp, правая часть фото), и его ксеноморфизм в сростаниях с диопсидом (Di). Скаполит полностью замещен глинистым минералом (справа на фото) и хлоритом (внизу фото). Наблюдается частичное замещение диопсида роговой обманкой (Hb). Снимок без анализатора

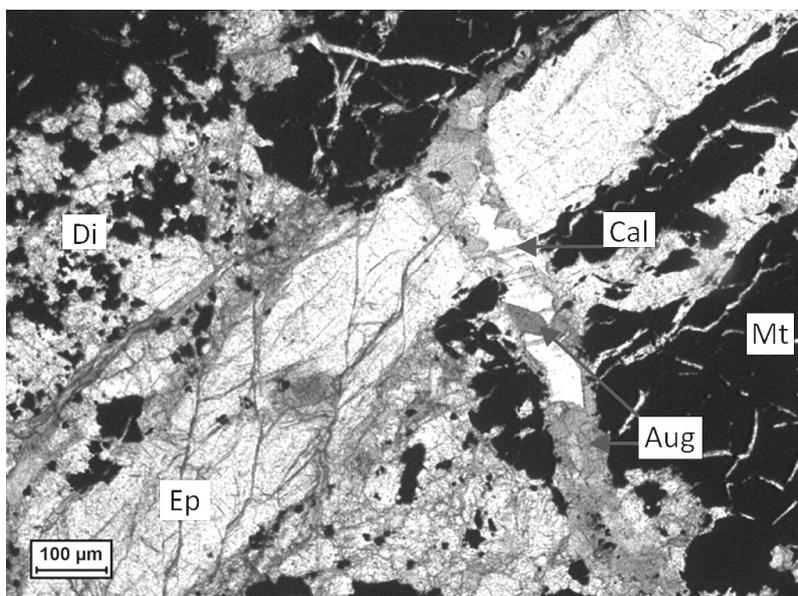


Рис. 2. Магнетит (Mt), находящийся в сростаниях с диопсидом (Di), пересекают многочисленные прожилки эпидота (Ep), в свою очередь разрываемые прожилками кальцита (Cal) и эгиринсодержащего авгита (Aug). Снимок без анализатора

Главный промышленно-ценный минерал исследуемых руд - магнетит находится в сложных взаимоотношениях с остальными минералами руды и образуется на относительно протяженном интервале всего процесса формирования разновременных минеральных ассоциаций, частично разделенных периодом катаклаза.

Сплошные магнетитовые руды не характерны для данного рудопроявления и в пробе богатой руды представлены лишь единичными образцами. Значительно больше каменного материала представлено рудами пятнистой текстуры, в которых магнетит образует вкрапленность различной интенсивности (рис. 3). Как правило, в таких образцах магнетит обнаруживает 2 типа выделений:

- относительно крупные (от 0,3 до 1,5 мм), по очертаниям близкие к изометричным, частично трещиноватые зерна. В секущих эти зерна трещинах, мощностью от 5-10 мкм до первых сотых долей миллиметра, местами наблюдаются прожилковые выделения жильных минералов.

- мелкозернистые агрегаты магнетита второго типа, интенсивно раздробленного, превращенного в мелкие (от 10-15 до 100-120 мкм) угловатые осколки. Этот агрегат как бы окаймляет зерна и сростки зерен крупнозернистого магнетита первой разновидности.

Все зерна магнетита в основном агрегированы, формируют кучные скопления размером до 3-5 мм. Лишь мелкие ксенобласты магнетита иногда образуют рассеянную вкрапленность в массе нерудных минералов. Все агрегаты зерен магнетита обычно разбиты разноориентированными трещинами разной мощности с нерудным выполнением.

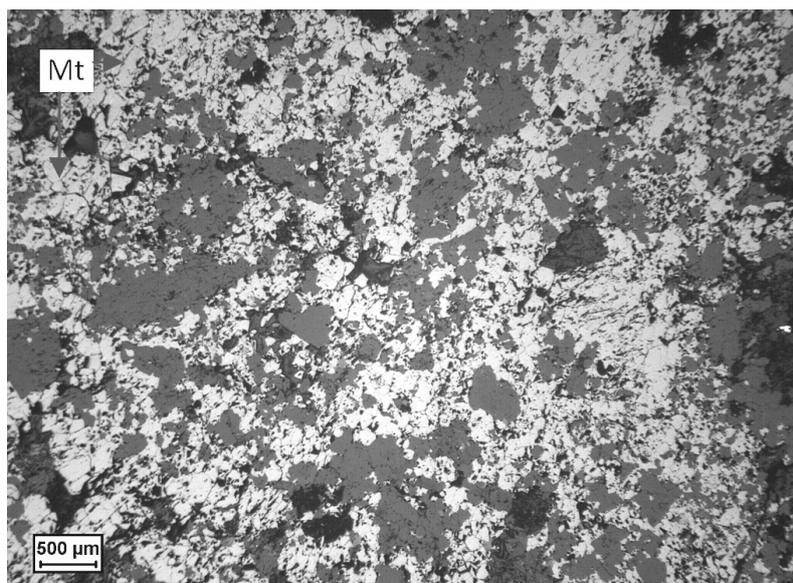


Рис. 3. Вкрапленная магнетитовая руда (Mt) с пятнистыми включениями жильных минералов – диопсида, роговой обманки и эпидота (темно-серое). Снимок в отраженном свете без анализатора

Ранний крупнозернистый магнетит чаще всего находится в сростании с диопсидом, сфеном, мариалитом, иногда с ранним кальцитом. Изредка внутри зерен магнетита встречаются включения сфена. С диопсидом, мариалитом и ранним кальцитом магнетит образует структуры взаимных границ, местами проявляет по отношению к ним больший идиоморфизм. По сравнению с пиритом магнетит более идиоморфен. В зернах магнетита часто наблюдаются прожилки и заливообразные выделения эпидота, пренита с актинолитом, авгита с поздним кальцитом, цеолита с анальцимом и поздним кальцитом. В отдельных участках наблюдается коррозия магнетита хлоритом. Изредка в магнетите наблюдаются мелкие (2-5 мкм) трещинки, выполненные пиритом (очевидно поздней генерацией) и еще реже - халькопиритом.

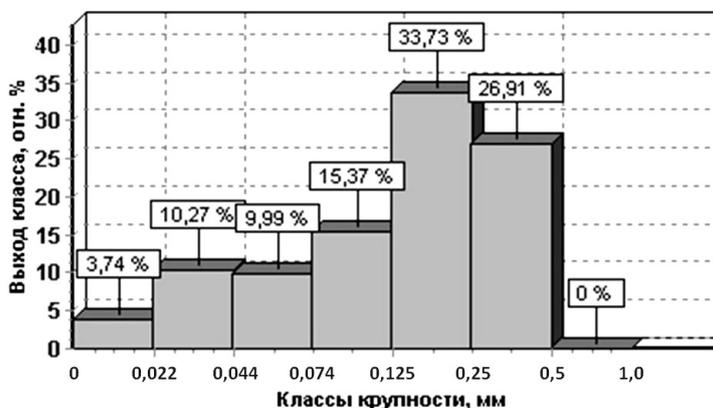


Рис. 4. Гистограмма распределения массового гранулометрического состава по классам крупности дробленой до -1 мм пробы богатой руды

От структурных взаимоотношений магнетита в исходной руде и прежде всего характера его сростаний с другими минеральными фазами зависит его раскрытие в виде свободных зерен при дезинтеграции. Просматривая полированные шлифы (брикеты) измельченной до крупности -1 мм проб богатой и бедной руды, было установлено, что в классах -500+300 мкм свободные зерна в обеих пробах составляют не более 30-40%, в более мелком классе -300+50 мкм их количество повышается до 70-75%, а почти полное раскрытие (95-98%) происходит лишь в классе -50+0 мкм. Автоматический оптико-геометрический анализ руды показал, что в дробленной пробе резко преобладают мелкие и тонкие классы (-0,044 мм до 87,86%). Однако массовая величина этих классов значительно ниже массы крупных классов (76,11% массы концентрируется в классах -0,5+0,074 мм) (рис. 4). Вместе с визуальными наблюдениями эти данные свидетельствуют о повышенной хрупкости руды в связи с ее значительной исходной катаклазированнойностью. При стадийном измельчении руды эта первичная нарушенность будет способствовать, при снижении энергозатрат на дробление, повышению выхода свободных зерен магнетита в мелких классах продуктов рудоподготовки.

Плотность магнетита составляет в среднем $4,81 \text{ г/см}^3$ при вариациях в диапазоне от 4,72 до $4,92 \text{ г/см}^3$, что несколько выше табличных значений. Размер элементарной ячейки $a=8,395 \pm 0,006 \text{ \AA}$, что также несколько выше стандартных величин для магнетита обычного состава. Эти небольшие отклонения свидетельствуют о повышенной чистоте изученных образцов, соответствующих стехиометрии состава беспримесного магнетита, что подтверждают значения его удельной магнитной восприимчивости $\chi = 7,46 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$ и параметры Мёссбауэровских спектров. ЯГР-спектры однозначно свидетельствуют о чистоте магнетита данного рудопроявления - об отсутствии в нем каких-либо изоморфных примесей. Однако это не противоречит его загрязнению «механическими» (внеструктурными) примесями-микровключениями посторонних минеральных фаз.

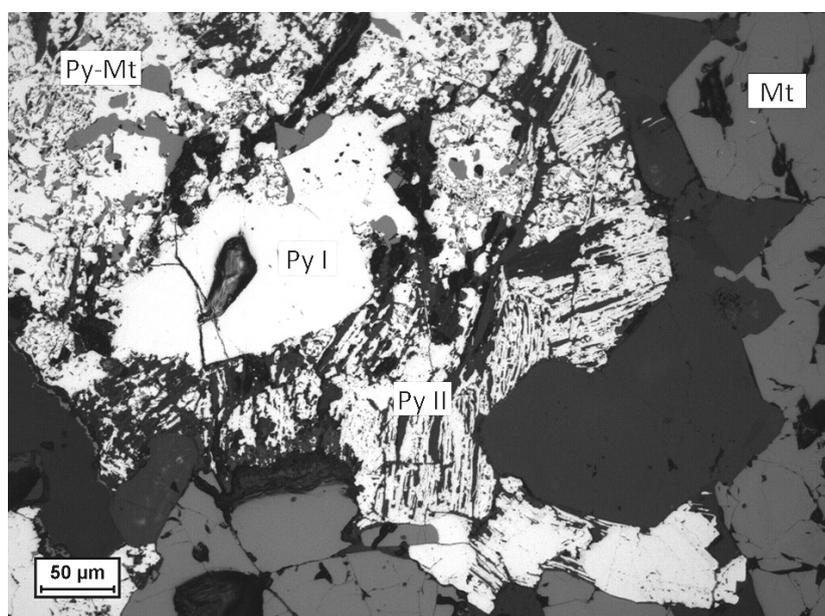


Рис. 5. Крупное зерно раннего пирита (Py I) окружено микрозернистым поздним пиритом (Py II), заместившим выделения марказита. Видна характерная для марказита «досчатая» структура агрегата. В левом верхнем углу снимка зерно пирита контактирует с пирит-магнетитовым (Py-Mt) микрозернистым агрегатом, псевдоморфно заместившим ранний пирротин. Снимок в отраженном свете без анализатора

Сульфидные минералы, пирит и халькопирит, отмечаются в руде спорадически, в небольшом количестве. В сумме их содержание не превышает одного процента. Пирит резко преобладает над халькопиритом, что подтверждается низкими содержаниями меди в пробах, которые не превышают тысячных долей процента. Характерной особенностью состава изученных проб является отсутствие пирротина, обычной примеси в рудах месторождений подобного генетического типа.

Пирротин не был обнаружен как при детальном изучении полированных шлифов, так и физическими методами - мёссбауэровской спектроскопией и рентгенографическим анализом. Однако нами выявлены специфические пирит-магнетитовые агрегаты с графической и «досчатой» структурами, свидетельствующие о ранее существовавшем в руде пирротине (рис. 5, 6). Особенности данных структур позволяют предположить, что на определенном этапе развития процесса рудогенеза пирротин, который окаймлял зерна раннего пирита и магнетита, в этих участках рудопроявления находился в значительном количестве. В дальнейшем он подвергся распаду с образованием мелкокристаллических графических структур пирит-магнетитового состава с примесью марказита (дисульфидизация пирротина), а затем марказит также преобразовался в пирит (второй генерации) [2]. Подобные агрегаты обладают высокой магнитной восприимчивостью, что должно привести к заражению пиритом магнетитового концентрата в процессе электромагнитной сепарации. Можно предположить, что на более глубоких горизонтах месторождения, не затронутых процессами гипогенного преобразования при повышении фугитивности кислорода, пирротин может сохраниться.

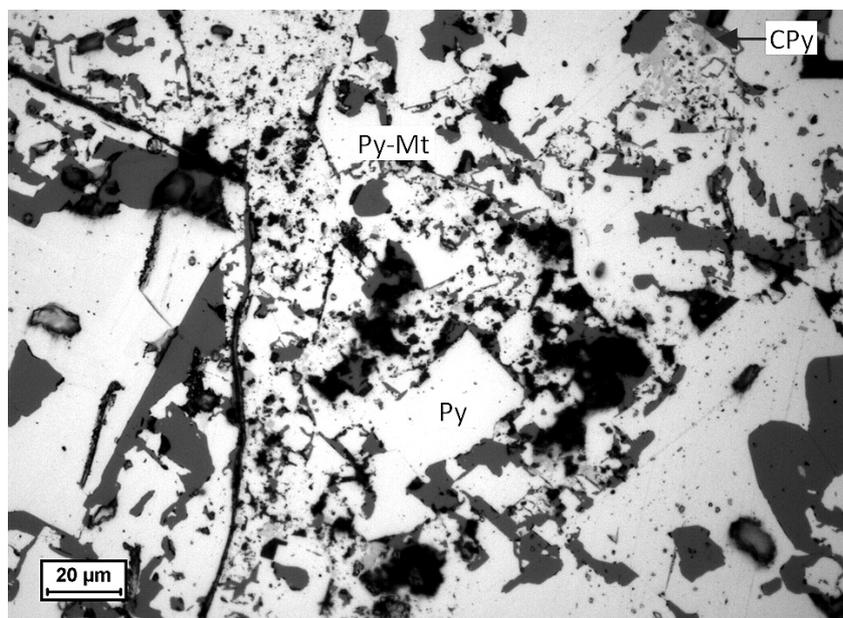


Рис. 6. Группа идиобластовых зерен раннего пирита (Py) в массе пирит-магнетитового микрографического агрегата (Py-Mt), псевдоморфно заместившего ранний пирротин. В микрографическом агрегате присутствуют мелкие включения халькопирита (CPy). Снимок в отраженном свете без анализатора

Таким образом, минералогическое изучение с целью прогнозной оценки технологических свойств руд скарново-магнетитового рудопроявления А-4 позволяет сделать ряд выводов.

1. Среди рудных минералов количественно резко преобладает магнетит. Он концентрирует главный ценный компонент руды - железо. Небольшую долю структурного железа содержат несколько нерудных минералов (эпидот, роговая обманка, хлорит), с чем будут вызваны неизбежные потери этого «силикатного железа» при обогащении.

2. Примесь сульфидов (пирит, халькопирит) в рудах незначительна. Пирротин не был установлен, но отмечается присутствие псевдоморфоз пиритизированного марказита и пирит-магнетитовых агрегатов, развитых по пирротину. Наличие микрокристаллических пирит-магнетитовых псевдоморфоз по пирротину, обладающих высокой магнитной восприимчивостью, приведет к повышению сернистости концентрата магнитной сепарации, что потребует принятия дополнительных мер для его обессеривания.

3. В дробленной до - 1 мм руде по размерности преобладают мелкие классы магнетита (-0,074+0 мм), но основная масса железа концентрируется в более крупных классах (-0,5+0,074 мм), где магнетит в значительной части представлен сростками с нерудными минералами. Максимальное раскрытие сростков происходит лишь в классе -0,05 мм.

4. Состав магнетита соответствует его чистой разновидности, лишенной структурных примесей, характерных для группы железосодержащих шпинелидов. Однако присутствие в зернах магнетита включений «механической» микропримеси нерудных минеральных фаз может незначительно понизить содержание железа в концентрате.

5. Характерно широкое развитие в рудах и во вмещающих породах рудопроявления катаклаза. Повышенная исходная раздробленность магнетита может облегчить измельчение руды, но одновременно приведет к высокому ошламованию продуктов рудоподготовки.

6. Низкие содержания большинства ценных элементов-примесей в руде, за исключением хрома и ванадия, исключают возможность их извлечения на экономически целесообразных условиях.

7. Возможна утилизация в качестве полезного побочного продукта переработки руды хвостов радиометрической сепарации: щебня и кускового материала для стройиндустрии в случае включения этого процесса предварительной рудоподготовки в технологическую схему.

8. Отсутствие или весьма низкие содержания в руде токсичных элементов позволяет предварительно исключить вероятность возникновения экологических проблем при промышленной отработке данного объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов В.П., Веригин М.И., Голивкин Н.И. Железорудная база России. Москва, 1998.
2. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. Москва, 1962.