

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРИКЛАДНОЙ МИНЕРАЛОГИИ В ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СКАРНОВЫХ МАГНЕТИТОВЫХ РУД

*Сычева Н.А., Азарнова Л.А.*

ФГУП «ВИМС», г. Москва

Одним из основных источников железа в России являются магнетитовые руды магнезиальных и известковых скарнов, месторождения которых обрабатываются по всей стране. Скарново-магнетитовые руды формировались в различных геодинамических обстановках при участии скарнирующих растворов, генетически связанных с разными типами магматизма, что обусловило существенные различия в их вещественном составе. Тем не менее, руды этого типа характеризуются рядом общих черт: сложным минеральным составом, неравномерным распределением магнетитового оруденения, присутствием железосодержащих силикатов (пироксена, граната, эпидота, амфибола, форстерита, хлорита), изменчивостью размера зерен магнетита, присутствием сульфидов железа (пирита, халькопирита, пирротина и др.). Сложный вещественный состав руд предопределяет необходимость его всестороннего детального изучения с применением современных методов технологической минералогии при исследованиях руд на обогатимость.

Такое исследование, позволившее определить технологические свойства, выявить основные черты их сходства и различия, проведено для руд Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений, которые являются типовыми объектами магнетитового оруденения магнезиальных и известковых скарнов. Все минералогические исследования выполнены в ФГУП «ВИМС» в рамках работ по геолого-технологической оценке этих месторождений, основной задачей которых являлось создание новых высокоэффективных технологий передела, так как вовлечение Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений в разработку является важной составной частью реализации региональных мегапроектов «Комплексное развитие Нижнего Приангарья» и «Урал промышленный – Урал Полярный». Предметом исследований служил как керновый материал технологических скважин, так и сформированные из него представительные технологические пробы и продукты их испытаний.

Тагарское месторождение находится в Красноярском крае и является наиболее крупным и хорошо изученным объектом в составе Средне-Ангарского железорудного района. В геологическом отношении месторождение расположено в пределах южного крыла Кодинской антиклинали и находится на участке сочленения двух крупных региональных разломов. Магнетитовое оруденение локализовано в метасоматитах, сформировавшихся в интенсивно брекчированных траппах и представлено апофорстеритовыми скарнами. Общие запасы железных руд месторождения составляют  $V+C_1+C_2$  265,4 млн.т при среднем содержании железа 31,1%.

Юнь-Ягинское месторождение расположено на западном склоне Полярного Урала в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа и приурочено к южной границе Щучьинской структурно-формационной зоны. Месторождение находится на контакте эффузивно-осадочных пород с интрузиями габбро-тоналит-гранодиоритового комплекса и представлено довольно мощной и сложной зоной скарнов, скарнированных пород и руд. Рудовмещающая толща сложена андезитобазальтовыми порфиритами и их туфами, прорвана плагиогранитами и диабазами и вместе с ними интенсивно изменена и превращена в роговики, эпидотовые, эпидот-гранатовые, пироксен-амфибол-гранатовые и магнетитовые скарны.

## **Методы исследования**

Сегодня при изучении вещественного состава железных руд широко используются как традиционные, так и современные минералогические и аналитические методы: оптической и электронной микроскопии, рентгенографического, микрорентгеноспектрального и элементного анализов, а также широко привлекаются методы изучения физических свойств минералов. Необходимым представляется использование метода мёссбауэровской спектроскопии, позволяющего надежно решать вопросы распределения железа по минералам железной руды, а также выявлять соотношение двух- и трехвалентных форм металла.

Минералогические исследования выполнены нами в соответствии с нормативно-методическими документами Научного Совета по методам минералогических исследований (НСОММИ). В работе использованы следующие методы исследований:

➤ *оптической микроскопии* для изучения структурных особенностей и минерального состава руд и продуктов их обогащения. Исследовались прозрачные и полированные шлифы, в том числе и искусственные с помощью оптических микроскопов Nikon Optiphot-Pol и Leica DM RX, а также дробленый материал с помощью стереоскопического микроскопа МБС-10. Оптико-геометрический анализ (ОГА) минералов проводился с помощью систем анализа изображения Leica QWin Standard и TomAnalysis.

➤ *рентгенографического фазового анализа (РФА)*, в том числе количественного, для определения минерального состава пород и руд, а также продуктов технологических испытаний. Для количественных измерений использован метод внутреннего стандарта. Работа проводилась на рентгеновском дифрактометре X'Pert PRO MPD.

➤ *рентгеноспектрального микроанализа (МРСА)* для изучения химического состава минералов с помощью сканирующего электронного микроскопа, совмещенного с энергодисперсионной приставкой (JXA-8100).

➤ *мёссбауэровской спектроскопии* для установления распределения железа в виде двух- и трехвалентной форм в рудах, а также для изучения особенностей конституции магнетита. Измерения проводились в МИСиСе на спектрометре электродинамического типа с источником  $\text{Co}^{57}$  в матрице хрома при комнатной температуре.

➤ *определения физических свойств минералов:*

- плотность определена на установке М.М. Василевского объеметрическим методом в барометрической трубке;
- удельная магнитная восприимчивость монофракций минералов измерена при комнатной температуре на установке Каррbridge KLI-2 с напряженностью поля 300 А/м;
- микротвердость измерена методом микровдавливания на полуавтоматическом микротвердометре ПМТ-3М в соответствии с рекомендациями С.И. Лебедевой [1]; измерения проведены на полированной поверхности минералов (в полированных шлифах) при различной нагрузке и стандартном времени экспозиции 10 с.

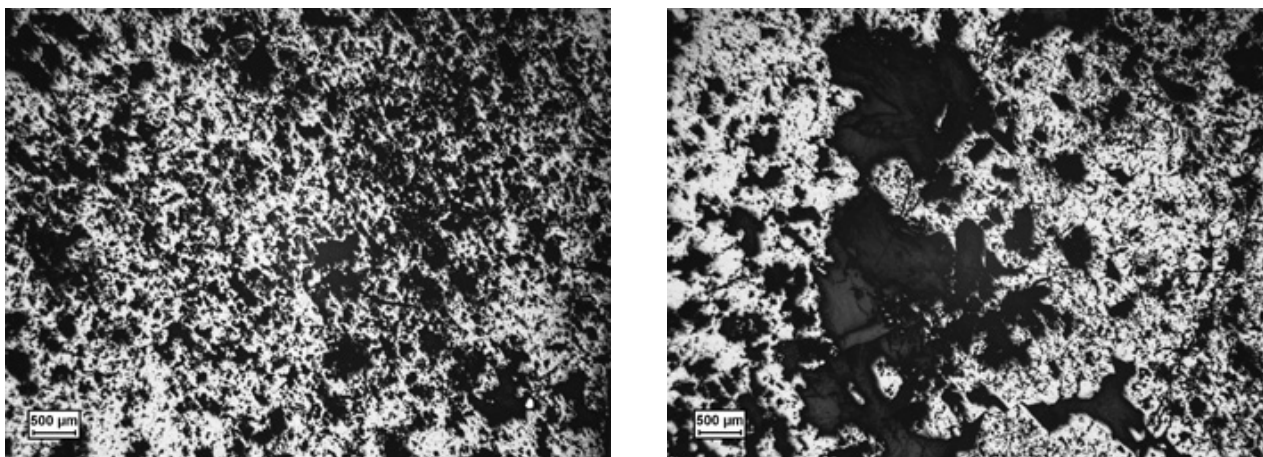
### **Магнетитовая руда Тагарского месторождения**

Магнетитовая руда Тагарского месторождения представляет метасоматическую породу, насыщенную в различной степени магнетитом, содержание которого широко варьирует от 5 до 60 %. Преобладает брекчиевидная текстура руд, реже встречаются пятнистые и массивные текстуры. Структура руды тонко-мелкозернистая, гранобластовая, гетеробластовая.

В химическом составе руды преобладают оксиды железа ( $\text{FeO}$  8,8%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  30,5%,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ). По минералам железо распределяется следующим образом (%): магнетит 76,1, гематит 8,3, силикаты (хлорит, монтмориллонит) 15,7, пирит 0,7. В меньшей степени присутствуют оксиды кремния (22,9%), магния (15,7%), алюминия (7,0%) и кальция (4,2%), связанные с силикатами и карбонатом. По составу руда сернистая, малофосфористая ( $\text{S}_{\text{общ}}$  0,3 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,35%).

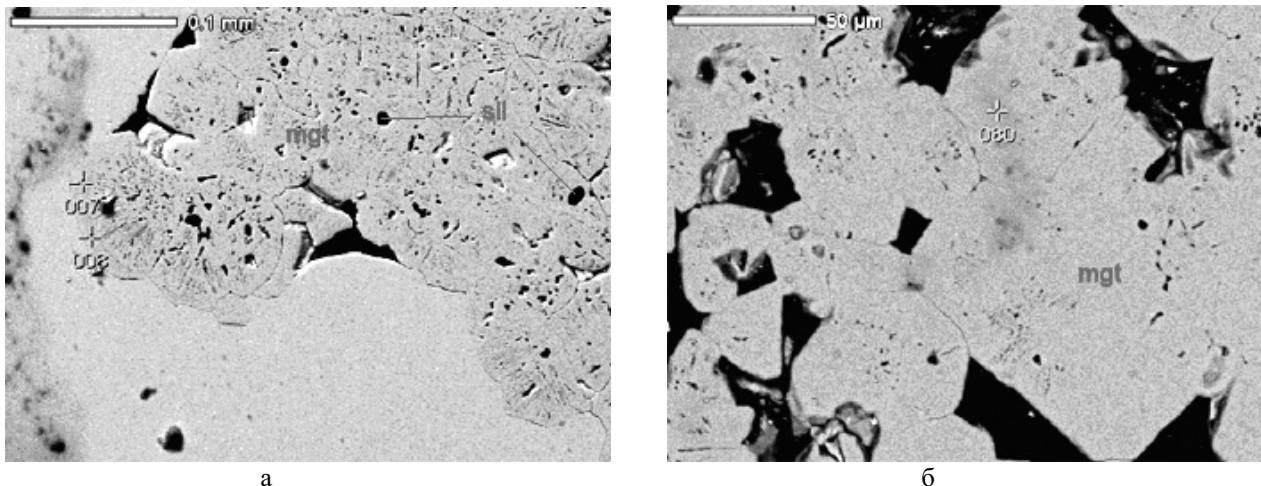
Главным рудным минералом на месторождении является магнетит, в подчиненном количестве присутствует гематит. Нерудные минералы представлены в основном слоистыми силикатами: монтмориллонитом, хлоритом и серпентином. Вредные минеральные примеси присутствуют в незначительном количестве и представлены пиритом и апатитом.

Магнетит слагает в основном цемент брекчий, в незначительном количестве присутствует в составе обломков. Обычно магнетит образует тонко-мелкозернистые агрегаты, имеющие характерное «ажурное» строение за счет тонкого прорастания силикатами (рис.1). Форма зерен минерала в агрегатах аллотриоморфная, размер варьирует от 0,005 до 0,2 мм. Реже магнетит присутствует в виде тонко-мелкозернистой вкрапленности зерен идиоморфной формы размером от 0,004 до 0,5 мм и в разной степени корродированных пороодообразующими минералами.



**Рис. 1. Ажурное строение магнетита; светло-серое – магнетит, темно-серое и черное – включения пороодообразующих минералов (хлорита, серпентина). Полированный шлиф, отраженный свет, без анализатора**

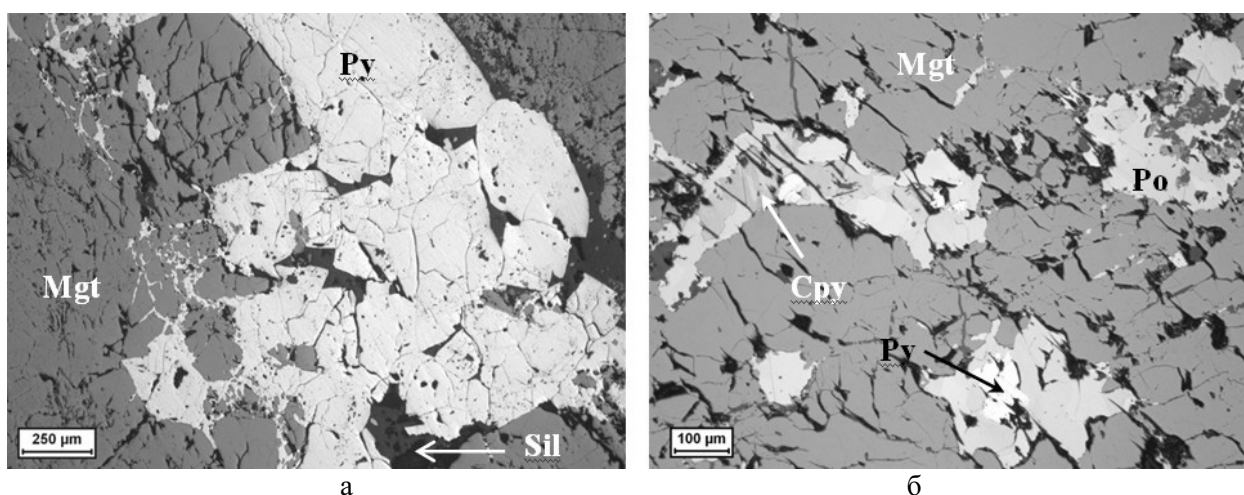
Магнетит характеризуется микронеоднородностью, обусловленной присутствием в нем изоморфных примесей и структур распада твердого раствора, вростков силикатных минералов, а также кавернозностью и окисленностью (рис. 2). Вростки силикатных минералов, захваченные магнетитом в процессе роста, представлены в основном хлоритом и имеют размеры от 0,1-н до 3 мкм. Изоморфная примесь магния, проявляющаяся в понижении отражения, распределена в минерале крайне неоднородно, и ее содержание достигает 3,5%. Редко отмечается слабая мартитизация магнетита, проявленная в виде тонких волокон гематита, развивающихся по периферии его зерен в зонах микродислокационных нарушений. Влияние перечисленных факторов приводит к снижению содержания железа в минерале до 67,4%.



**Рис. 2. Неоднородное строение магнетита (mgt). Зерна содержат большое количество каверн и силикатных включений (sil) (а); темно-серые участки содержат изоморфную примесь магнезия (б). Изображение в обратно-рассеянных электронах**

Отметим, что электронно-микроскопическими исследованиями установлено микроблочковое строение магнетита. Такое строение должно приводить к повышению коэрцитивной силы минерала.

**Магнетитовая руда Юнь-Ягинского месторождения** отличается неоднородным строением, обусловленным неравномерным распределением магнетита в разрезе скарно-рудной зоны: от массивных и густовкрапленных до практически безмагнетитовых разновидностей. С магнетитом, как правило, ассоциирует пирит, вплоть до образования пирит-магнетитовых разновидностей с содержанием пирита до 10 % и более, значительно реже встречаются пирротин и халькопирит (рис. 3).



**Рис. 3. Структура магнетитовой руды Юнь-Ягинского месторождения: а) тесная ассоциация магнетита с пиритом, оба минерала катаклазированы; б) субграфическая структура сульфидно-магнетитового агрегата с элементами пойкилитовой (Mgt – магнетит, Py – пирит, Sil – силикаты, Cpy – халькопирит, Po – пирротин); отраженный свет**

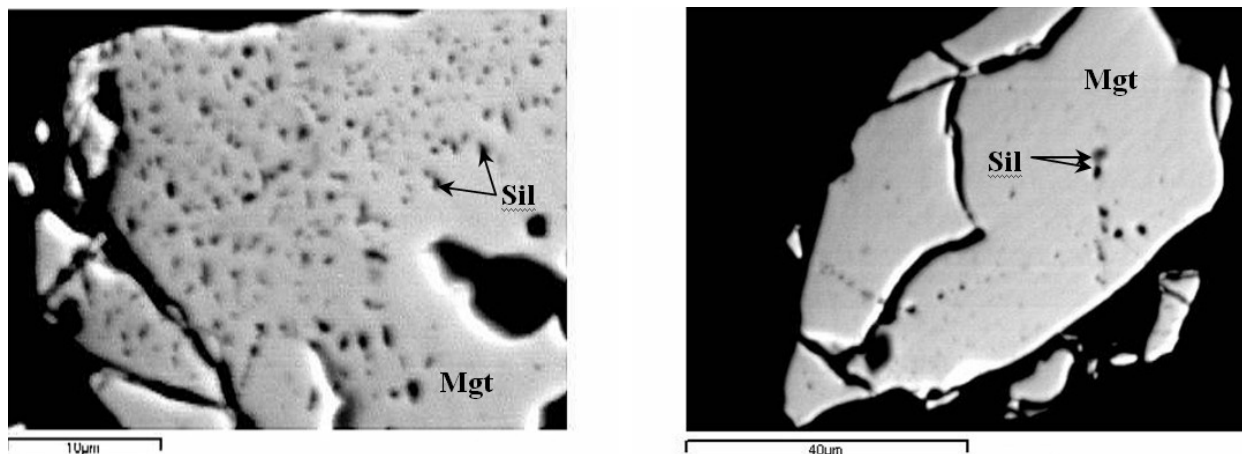
Структура магнетитовой руды гранобластовая, порфиробластовая. Размеры зерен магнетита колеблются от 5-10 мкм до 1,7 мм в поперечнике, однако сравнительно крупные зерна и агрегаты зерен обычно интенсивно раздроблены вследствие проявившихся тектонических процессов, что приводит к образованию вторичной мелкозернистой катакластической структуры. Исходя из массового гранулометрического состава магнетита и его фрагментов, структуру руды следует определить как мелкозернистую до тонкозернистой.

По химическому составу технологическая проба руды месторождения отличается высоким содержанием оксидов железа (44,9%) и таких петрогенных компонентов как (%): SiO<sub>2</sub> - 25,2, CaO - 11,4, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 8,4, заключенных в магнетите и кальциевых железосодержащих алюмосиликатах. Что касается лимитируемых примесей, то содержание фосфора в руде низкое (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0,11%) и единственной вредной примесью является сера, содержание которой составляет 1,3%.

Единственным ценным компонентом на месторождении в настоящее время является железо, среднее содержание которого в руде технологической пробы составляет 30,17%. Из них 67 отн.% связано

с магнетитом и, соответственно, теоретически извлекаемо из руды в виде магнетитового концентрата (или 20,21%). Остальное железо входит в основном в состав силикатной составляющей скарнов (29,2 отн.%), в небольшом количестве – в состав сульфидов (3,8 отн. %). Содержание железа в главных силикатных минералах месторождения варьирует от 10% (салит) до 17-18% (эпидот, андрадит) и 22% (ферропаргасит).

Содержание магнетита в руде составляет 30,8%. Для данного минерала, как и для других магнетитов месторождений известково-скарновой формации, характерен близкий к стехиометрии элементный состав с содержанием изоморфных примесей менее 0,1 %, и при этом постоянное присутствие микронных включений силикатных минералов (гранат, пироксен) (рис. 4). С учетом силикатных включений магнетит месторождения имеет следующий компонентный состав (%):  $Fe_3O_4$  - 97,3 (или 70,4 Fe),  $MgO$  - 0,2,  $Al_2O_3$  - 0,4,  $SiO_2$  - 1,5,  $CaO$  - 0,5 (по данным МРСА).



**Рис. 4. Микровключения скарновых силикатов (sil) в магнетите (mgt). Изображения в обратно-рассеянных электронах**

Весьма негативной природной особенностью руды является не только мелко-, тонкозернистое, гетерогенное строение магнетита, но и присутствие пирротина, представленного моноклинной ферримангнитной разновидностью 4С, а также пирита в сложных срастаниях с магнетитом.

Сравнение минерального состава руд и состава, строения и физических свойств магнетитов Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений приводится в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1

Минеральный состав технологических проб магнетитовых руд Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений

Тагарское месторождение		Юнь-Ягинское месторождение	
Минерал	Содержание, %	Минерал	Содержание, %
магнетит	31,8	магнетит	30,8
хлорит	25	ферропаргасит	14
монтмориллонит	21	андрадит	13
серпентин	10	эпидот	9
кальцит	4	салит	8,5
гематит	3,3	плаггиоклаз	7,5
каолинит	2	хлорит	6
флогопит	2	кальцит	5
пирит	0,6	кварц	2,2
апатит	0,3	пирит	2,1
диопсид, гроссуляр-андрадит, вермикулит	зн.	пирротин	0,3
гидроксиды железа, халькопирит, сфен	зн.	воластонит, сфен, стильпномелан, апатит, халькопирит	1,6
Сумма:	100	Сумма:	100

Таблица 2

Морфология выделения и физические свойства магнетитов Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений

Месторождение	Морфология выделений	a, Å	ρ, г/см <sup>3</sup>	H, кгс/мм <sup>2</sup>	χ·10 <sup>-8</sup> , м <sup>3</sup> /кг
Тагарское	Мелко-тонкозернистые агрегаты, реже - мелкая вкрапленность	8,392 ± 0,003	5,04	659±17	88000
Юнь-Ягинское	Мелкая, тонкая вкрапленность, часто в виде агрегатов	8,399 ± 0,003	4,72	578±35	67000

Таблица 3

Гетерогенность и элементный состав магнетита Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений

Месторождение	Коэф-т окисленности	Содержание, %			Содержание Fe, % (данные МРСА)	Микронеоднородность
		Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
Тагарское	0,69	16,4	51,0	1,31	67,38	-включения силикатных минералов -изоморфная примесь магния и алюминия -структуры распада твердого раствора -кавернозность -окисленность
Юнь-Ягинское	0,67	22,6	47,9	-	70,4	-включения силикатных минералов

Значительная разница в вещественном составе магнетитовых руд Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений влияет на комплекс используемых технологических методов и их эффективность. Традиционно магнетитовые руды обогащаются в слабом магнитном поле, что обусловлено высоким значением удельной магнитной восприимчивости магнетита и ее контрастностью со значениями слабо- и немагнитных минералов нерудной составляющей.

### ***Крупнокусковое обогащение***

Характерное неравномерное распределение магнетита в изученных скарных рудах обоих месторождений предопределяет эффективность использования для предварительного обогащения сухой магнитной сепарации. Это позволит удалить большое количество практически безмагнетитовых пород и сократить объем руды, поступающей на дробление и измельчение для последующего глубокого обогащения.

### ***Рудоподготовка***

Эффективность операции рудоподготовки, в процессе которой подготавливается материал, поступающий на глубокое обогащение, в значительной степени зависит от прочностных свойств слагающих ее минералов.

Руда Тагарского месторождения образована мягкими силикатами (монтмориллонит, хлорит, серпентин) в сочетании с твердым магнетитом, что в целом является благоприятным фактором. С другой стороны, происходит переизмельчение мягких минералов (особенно монтмориллонита) и образуется большое количество тонких и вязких шламов, негативно влияющих на операции глубокого обогащения. Напротив, в строении руды Юнь-Ягинского месторождения участвуют весьма твердые и твердые силикатные минералы, что неблагоприятно скажется на эффективности процессов дезинтеграции.

Одной из основных задач процессов дробления и измельчения материала руды является его подготовка к последующему глубокому обогащению, эффективность которого в значительной степени зависит от степени раскрытия ценного минерала. Например, при обогащении руды методом мокрой магнитной сепарации (ММС) требуется достижение степени раскрытия не менее 90%, чтобы обеспечить содержание магнетита в продукте не ниже 90% и, соответственно, кондиционность концентратов по железу.

При выборе оптимальной крупности глубокого обогащения важным этапом является определение гранулометрического состава ценного минерала, что позволит рекомендовать крупность обогащения, обеспечивающую его высокую степень раскрытия. Необходимо учитывать также особенности его гетерогенности и свойства ассоциирующих минералов (например, легкие чешуйки слоистых минералов в измельченной руде приведут к интенсивной флокуляции).

Специфическое строение магнетита Тагарского месторождения не позволило исследовать его гранулометрический состав методом автоматизированного ОГА в связи с невозможностью выделения индивидуализированных зерен минерала до его травления HCl (рис. 5), поэтому определение размера зерен минерала проводилось в полуавтоматическом режиме.

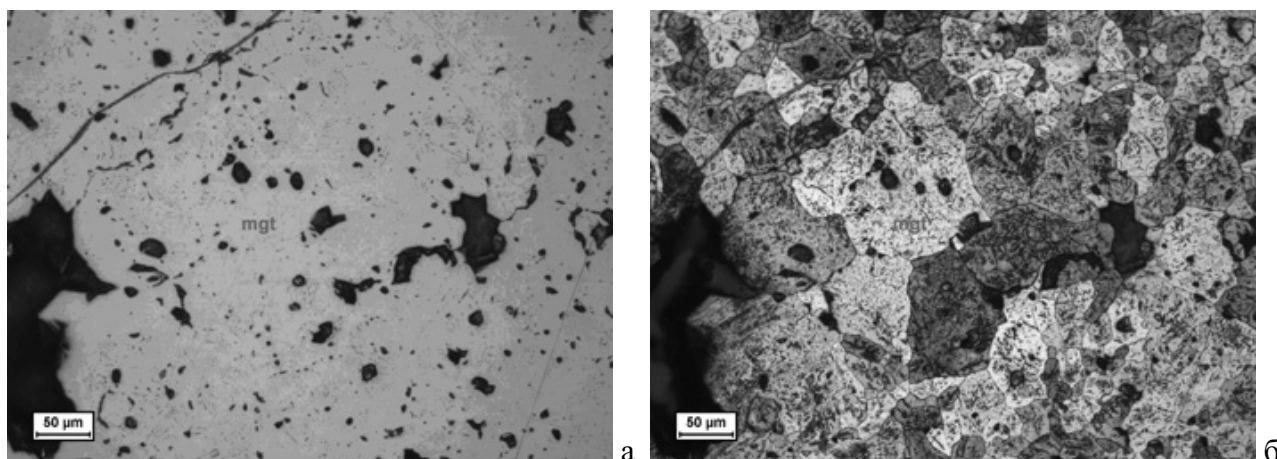


Рис. 5. Магнетит до травления концентрированной соляной кислотой (а) и после (б); mgt – магнетит. Отражённый свет

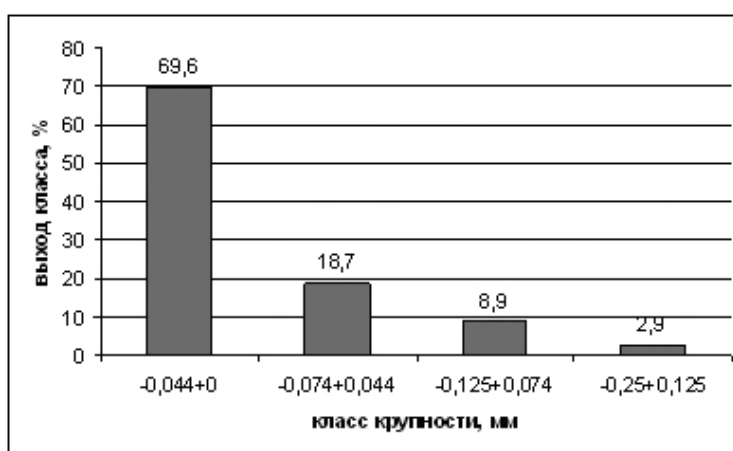


Рис. 6. Гистограмма распределения магнетита по классам крупности (по данным ОГА)

Установлено, что большое количество зерен магнетита (69,6%) имеет размер менее 44 мкм (рис. 6).

Для прогнозирования раскрытия магнетита изучен также гранулометрический состав силикатных включений в его агрегатах. Размер включений варьирует в широком диапазоне, но основная их масса имеет размер крупнее 0,125 мм. Они имеют сложную заливообразную форму, что является негативным фактором и предопределяет неудовлетворительное раскрытие таких сростаний с магнетитом.

Учитывая сложное, мелко- и тонкозернистое строение магнетита, его сростание со слоистыми силикатами, высокую степень раскрытия магнетита, требующуюся для получения качественного концентрата ММС, можно ожидать только в крупности -0,074 мм. Экспериментальные исследования подтвердили недостаточную степень раскрытия магнетита в опытах по шаровому измельчению руды: 82% в классе -0,074+0,044 мм.

Особенностью магнетита Юнь-Ягинского месторождения является интенсивная катаклазированность, а также довольно отчетливые границы между зернами в агрегатах, что позволяет эффективно использовать для его изучения метод автоматизированного ОГА. По данным проведенного исследования, рекомендованная степень раскрытия минерала не менее 90% может быть достигнута только при измельчении руды до -0,074 мм, что обеспечит степень раскрытия минерала 91 % (в руде доля зерен магнетита мельче 0,044 мм составляет 9%) [4].

Проведенные эксперименты по измельчению руды традиционным стержневым способом и центробежно-ударным подтвердили сделанный прогноз. Так, степень раскрытия магнетита по классам крупности в зависимости от способа измельчения составила (%): -0,16+0,074 мм - 66-82, -0,074+0,044 мм - 86-88, -0,044+0,02 мм - 93-97.

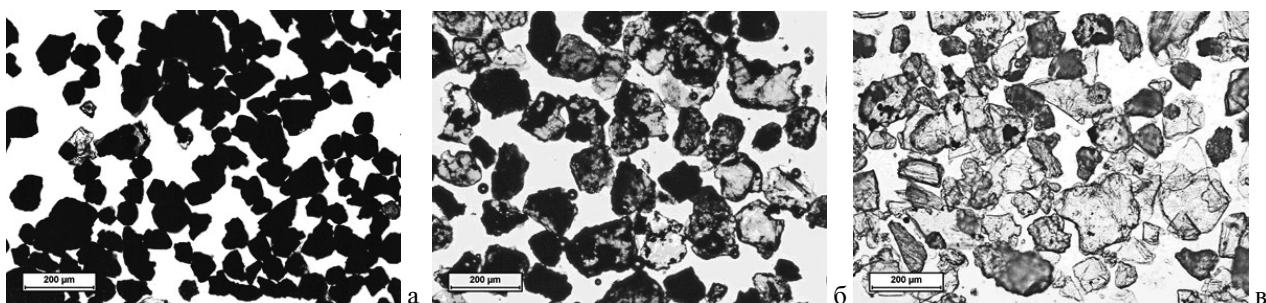
### *Глубокое обогащение*

При обогащении магнетитовых руд методом ММС на качество магнитных фракций весьма сильно влияет степень раскрытия магнетита, что обусловлено неэффективностью разделения магнетита и его рядовых и бедных сростков в слабом поле благодаря их высокой удельной восприимчивости.

Поступающий на ММС измельченный материал руды Тагарского месторождения характеризуется повышенным содержанием сростков магнетита разного качества, имеющих высокие значения удельной магнитной восприимчивости, особенно у богатых и рядовых сростков. В результате в магнитную фракцию совместно со свободными зернами магнетита и богатыми сростками извлекаются также рядовые сростки, ухудшая качество и

повышая содержание в них лимитируемых примесей ( $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$ ). Кроме того, тонкое измельчение магнетитовой руды приводит к появлению магнитной флокуляции [2], а чешуйчатая и пластинчатая форма рудообразующих минералов способствует ее повышению. Таким образом, минералогические исследования, подтверждённые технологическими испытаниями, показали недостаточную эффективность ММС при обогащении магнетитовых руд Тагарского месторождения [3].

В то же время, руда является контрастной по гравитационным свойствам, резкое различие в значениях плотности магнетита и породообразующих минералов (хлорита, монтмориллонита, серпентина, каолинита, кальцита и др.) предопределяет эффективность гравитационного обогащения благодаря возможности селективно выделить существенно магнетитовый продукт (рис. 7а), практически не содержащий примесей, связанных с породообразующими минералами, промпродукт, состоящий в основном из рядовых и бедных сростков (рис. 7б), и хвосты, содержащие незначительное количество железа, частично связанного с хлоритом и монтмориллонитом (рис. 7в). Гравитационный метод позволяет избежать засорения железных концентратов примесями, связанными с породообразующими фазами, которые в основном концентрируются в лёгких фракциях. Доизмельчение промпродукта в процессе обогащения, способствующее раскрытию магнетита из рядовых сростков, позволит повысить его извлечение гравитационным методом. Полученные продукты отличаются более высоким качеством по сравнению с продуктами магнитной сепарации и обладают лучшими металлургическими свойствами.



**Рис. 7. Продукты расщепления исходной пробы магнетитовой руды: а) тяжёлая фракция, б) лёгкая фракция, в) промежуточная фракция. Проходящий свет, без анализатора**

На примере руды Юнь-Ягинского месторождения, сложенной тяжелыми силикатами, видно, что гравитационный метод обогащения для нее неэффективен, так как плотность минералов руды близка, поэтому разработка схемы ее глубокого обогащения основывалась на достижении высокой степени раскрытия магнетита и последующего традиционного обогащения методом ММС.

Учитывая состав магнетита месторождения, получить качественные концентраты с содержанием железа не ниже 65-67% возможно только при содержании магнетита в продукте на уровне 93-96%, которое может быть достигнуто, учитывая поступление в концентрат сростков от бедных до богатых, при степени раскрытия магнетита не ниже 90-95%. Как показало изучение массового гранулометрического состава минерала, это возможно только в крупности  $-0,074$  мм.

Полученные в крупности  $-0,074$  мм концентраты отличались извлечением магнетита более 99%, при этом в хвосты уходили только единичные сростки, а основная их масса поступала в концентрат, разубоживая его.

Сравнение технологических свойств магнетитовых руд Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений приводится в таблице 4.

Таблица 4

Технологические свойства рудообразующих минералов Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений

Месторождение	Главные минералы	Технологические свойства		
		Прочностные $H$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Гравитационные $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Магнитные $\chi$ , $\cdot 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг
Тагарское	магнетит	642-676	5,0	сильномагнитный
	хлорит	60-100	2,6-2,7	немагнитный
	монтмориллонит	4-35	1,8-2,4	немагнитный
	серпентин	75-150	2,3-2,7	немагнитный
Юнь-Ягинское	магнетит	540-624	4,7	сильномагнитный
	пирротин	338-405	4,9	среднемагнитный
	пирит	977-1690	5,2	слабомагнитный
	гранат	1023-1434	3,9	слабомагнитный
	эпидот	948-1247	3,4	немагнитный

Таким образом, проведенные исследования вещественного состава магнетитовых руд Тагарского и Юнь-Ягинского месторождений с применением комплекса современных минералого-аналитических методов позволили выявить основные параметры их обогащения и оценить их влияние на эффективность технологических операций (таб. 5).

Влияние параметров вещественного состава руд на технологические операции

Параметры вещественного состава	Операции	Влияние на операцию	
		Тагарское месторождение	Юнь-Ягинское месторождение
Неравномерное распределение магнетита	СМС	Позволяет повысить качество и сократить объем руды, поступающей на последующее тонкое измельчение и глубокое обогащение	
Гранулометрический состав и включения силикатов	Оптимальная крупность измельчения	Неудовлетворительное раскрытие магнетита при измельчении и образование большого количества различных сростков даже в классе -0,074+0,044 мм	Удовлетворительное раскрытие достигается в крупности -0,074 мм
Содержание магнетита	ММС	Выход концентрата	
Степень раскрытия магнетита		Содержание железа в концентрате	
Элементный состав и микронеоднородность магнетита			
Контрастность гравитационных свойств рудных и нерудных минералов	Гравитационное обогащение	Высокая контрастность обуславливает эффективность операции	Низкая контрастность обуславливает неэффективность операции

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедева С.И. Микротвердость минералов. М.: Недра, 1977. 118 с.
2. Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В. и др. Технологическая минералогия железных руд. Л.: Наука, 1988. 304 с.
3. Сычева Н.А., Ожогина Е.Г., Броницкая Е.С., Тютюнник Н.Д., Стенин Н.Ю. Обоснование целесообразности гравитационного обогащения магнетитовых руд Тагарского месторождения на основании минералоготехнологических исследований // Разведка и охрана недр. 2008. №11. С. 56-60.
4. Азарнова Л.А., Темнов А.В., Ожогина Е.Г. и др. Прогнозная оценка раскрытия магнетита на ранних этапах изучения вещественного состава скарново-магнетитовых руд // Разведка и охрана недр. 2008. №3. С. 54-58.

## СУЛЬФИДЫ АU И АG В РУДАХ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Савва Н.Е.<sup>1</sup>, Пальянова Г.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>СВК НИИ ДВО РАН, г. Магадан,

<sup>2</sup>ИГиМ СО РАН, г. Новосибирск

Для обеспечения высокой извлекаемости золота и серебра из руд важное значение имеет информация об их минеральном составе и формах нахождения полезного компонента. Наряду с изоморфной невидимой (invisible) формой золота и серебра в рудах возможно присутствие микровключений минералов благородных металлов, которых известно уже более 200. В настоящем докладе особое внимание будет уделено Au-Ag сульфиду ( $Ag_3AuS_2$ ) – ютенбогаардтиту, открытому в 80-е годы прошлого века [1] и считавшемся экзотическим минералом. В работах, опубликованных в последние два десятилетия, обращается внимание на более широкую его распространенность и возможность образования, как в эндогенных, так и экзогенных процессах [2-8].

Предварительное изучение минералого-геохимических и генетических особенностей месторождения Юное показало, что количество Au-Ag сульфида в рудах значимо наряду с самородным золотом, и данный объект может быть отнесен к электрум-акантит-ютенбогаардтитовому минеральному типу [3]. Цель наших исследований – изучить минералого-геохимические особенности рудообразования на примере одного из эпитеpmальных золото-серебряных месторождений, оценить соотношения самородной, сульфидной и изоморфной форм нахождения золота в рудах, а также разработать возможные физико-химические модели образования сульфидов золота и серебра в эндогенных условиях.