

На правах рукописи

Сычева Надежда Александровна

**МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ТАГАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ТРАПШОВОЙ ФОРМАЦИИ**

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,
профессор Пирогов Борис Иванович

кандидат геолого-минералогических наук,
профессор Малышева Татьяна Яковлевна

Ведущая организация: ФГУП ЦНИИгеолнеруд

Защита состоится 17 июня 2009 г. в 11.00 на заседании диссертационного совета Д 216 005 01 во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС») по адресу: 119017 Москва, Старомонетный пер., д. 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС».

Автореферат разослан мая 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Шурига Т.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Несмотря на то, что Россия по-прежнему занимает первое место в мире по запасам железных руд, минерально-сырьевая база этого важнейшего полезного ископаемого черной металлургии вызывает тревогу. Причины заключаются, в первую очередь, в относительно низком качестве отечественных руд и расположении месторождений в слабо освоенных районах. Постоянно растущая потребность металлургической промышленности в железорудном сырье побуждает вовлекать в переработку труднообогатимые и бедные по содержанию железные руды, требующие сложных комплексных технологий обогащения с использованием современного оборудования. Для создания эффективных технологий обогащения таких руд необходимо глубокое изучение их вещественного состава и технологических свойств, что значительно повышает роль технологической минералогии, являющейся фундаментом научных изысканий в области обогащения минерального сырья.

Особенно острая сырьевая ситуация сложилась в Сибири с обеспеченностью железорудным сырьем Западно-Сибирского железорудного комбината в связи с тем, что разведанные запасы Коршуновского и Рудногорского месторождений подходят к концу, а отработка подземным способом железных руд Коршуновского месторождения, по данным ТЭО, признана нерентабельной. Вовлечение в разработку месторождений Кодинской группы может кардинально улучшить ситуацию с сырьевым обеспечением. Возможность рентабельной разработки этой группы связывается с крупным инвестиционным проектом «Комплексное развитие Нижнего Приангарья», реализуемым государством в период с 2006 по 2017 гг.

В настоящее время современные минералого-аналитические методы позволяют получать значительно более полную информацию о минералах и рудах в целом и, следовательно, разрабатывать рациональные технологии их переработки с получением кондиционных концентратов даже из руд, считавшихся ранее необогатимыми, а также дополнительно извлекать и использовать все попутные минеральные фазы и компоненты. Поэтому сегодня многие из месторождений, благодаря современным технологиям добычи и переработки, могут представлять промышленный интерес, в том числе и Тагарское месторождение, руды которого являются объектом исследования. При этом получение объективной информации о составе, структуре и свойствах руд возможно только с учетом их генезиса путем изучения типоморфных особенностей рудообразующих минералов.

Цель работы - выявление типоморфных особенностей магнетита трапповой формации, определяющих технологические свойства руд и качество конечных товарных продуктов.

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

1. Комплексом минералого-аналитических методов изучить вещественный состав железных руд Тагарского месторождения.
2. Установить типоморфные особенности магнетита в первичных рудах и коре выветривания и оценить их влияние на поведение магнетита в процессах обогащения.
3. Изучить гравитационные и магнитные свойства первичных руд методами технологической минералогии.

4. Оценить влияние вещественного состава руд и концентратов на качество конечных товарных продуктов (окатышей).

Фактический материал. Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС») в рамках бюджетной темы «Технологическая и геолого-экономическая переоценка железорудных месторождений Кодинской группы Средне-Ангарского района и подготовка их к лицензированию», основной задачей которой являлось создание эффективной технологии переработки руд на основе современных методов обогащения. Непосредственным объектом исследований являлся керн технологических скважин, сформированные из него технологические пробы трех природных типов руд (магнетитового, гематит-магнетитового и гетит-гидрогетитового), продукты их обогащения и химико-металлургического передела (окатыши).

В процессе исследований изучено более трехсот прозрачных, полированных шлифов и брикетов, просмотрено более пятисот проб железных руд, продуктов их обогащения и металлургического передела. В работе использованы результаты нескольких сот рентгенографических (Наумова И.С) и химических анализов (аналитический отдел ФГУП «ВИМС») и несколько десятков микрорентгеноспектральных (к.г.-м.н. Трубкин Н.В., ИГЕМ РАН, к.г.-м.н. Чистякова Н.И., ФГУП «ВИМС»), оптико-геометрических анализов (Кривошеков Н.Н.), электронно-микроскопических (д.г.-м.н. Дубинчук В.Т., Ожогин Д.О.) и мессбауэровских исследований (д.г.-м.н. Коровушкин В.В., МИСиС). Помимо этого, использованы результаты определения физических свойств рудных и породообразующих минералов и их фракций (плотности, микротвердости, микрохрупкости, показателя преломления, удельной магнитной восприимчивости (д.г.-м.н. Раков Л.Т.), люминесценции (Рассулов В.А.).

Методы исследований. Основной объем минералого-аналитических исследований выполнен в минералогическом и аналитическом отделах Всероссийского института минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС») в соответствии с нормативно-методическими документами Научных советов по аналитическим методам (НСАМ) и минералогическим методам исследований (НСОММИ). Для решения поставленных задач были использованы следующие методы исследования:

1. *оптической микроскопии (петрографический, минераграфический, оптико-минералогический и оптико-геометрический)* для изучения минерального состава и структурных особенностей руд, продуктов их обогащения и металлургического передела. Аппаратура: оптические микроскопы Nikon Optihot-Pol, Leica DM RX, Olympus BX-51, стереомикроскоп МБС-1, оптико-геометрический анализ минералов и пор проведен с помощью систем анализа изображений Leica Qwin Standart и TomAnalysis;

2. *рентгенографического (количественного) фазового анализа (Р(К)ФА)* для диагностики минералов, установления их кристаллохимических параметров, определения минерального состава руд, продуктов их обогащения и металлургического передела. Аппаратура: рентгеновский дифрактометр X'Pert PRO PANalytical;

3. *микрорентгеноспектрального анализа* для изучения элементного состава минералов и распределения в них элементов-примесей. Аппаратура: сканирующий

электронный микроскоп, совмещенный с энергодисперсионной приставкой JXA-8100, JSM-5610LV;

4. *электронной микроскопии* для выявления форм нахождения полезных и вредных попутных компонентов в минералах, структур распада твердого раствора в магнетите, выявления тонких особенностей его строения. Аппаратура: растровый электронный микроскоп Tesla BS-301, просвечивающий электронный микроскоп Tesla BS-540;

5. *мессбауэровской спектроскопии* для составления баланса распределения железа в закисной и окисной формах по минералам руды, определения фазового состава и структурных особенностей магнетита, установления степени окисления магнетита в продуктах химико-металлургического передела (окатышах). Аппаратура: спектрометр электродинамического типа с источником Co^{57} в матрице хрома;

6. методы определения физических свойств минералов и фракций:

- *объемометрический* для измерения плотности рудных и породообразующих минералов на установке Василевского М.М. в барометрической трубке;

- *каппаметрический* для измерения удельной магнитной восприимчивости рудных и породообразующих минералов, минеральных фракций на установке Kappabridge KLI-2 с напряженностью поля 300 А/м;

- *микровдавливания* для определения микротвердости и микрохрупкости рудных и породообразующих минералов на полуавтоматическом микротвердомере ПМТ-3М;

- *люминесцентной спектроскопии* для диагностики апатита на установке, смонтированной на базе лазера на молекулярном азоте и микроспектрофотометра МСФУ-312;

- *иммерсионный* для измерения показателей преломления породообразующих минералов.

Научная новизна работы.

1. Впервые в первичных рудах Тагарского месторождения установлены две генерации магнетита, которые при одинаковом элементном составе отличаются морфологией выделения и строением.
2. Установлены типоморфные признаки магнетита: микроскопические включения породообразующих минералов, микроблоковое и кавернозное строение, изоморфная примесь магния и алюминия, окисленность, выражающаяся в гематитизации и маггемитизации, влияющие на технологические свойства первичных и вторичных руд.
3. Впервые выявлены оолитовые разновидности гематит-магнетитовых руд остаточной коры выветривания Тагарского месторождения, образование которых предположительно связано с процессами метасоматического замещения. Для гетит-гидрогетитовых руд переотложенной коры выветривания выявлены вредные минеральные примеси фосфора – апатит и карбонат-фторapatит, образующие тонкодисперсные включения в одном из главных рудных минералов – гетите-гидрогетите.
4. Эмпирически установлено, что индикатором перехода от неокисленных руд к окисленным является серпентин, имеющий гипергенный генезис. Признаками гипергенного происхождения является замещение им гидротермальных минералов – хлорита и флогопита, и устойчивая ассоциация с маггемитизированным магнетитом.

Практическая значимость.

1. Типоморфные особенности магнетита железных руд Тагарского месторождения позволяют прогнозировать его поведение в процессах магнитного и гравитационного обогащения и качество получаемых продуктов.
2. Особенности вещественного состава первичных руд, включающие текстуру, структуру и минеральный состав, раскрываемость главного рудного минерала – магнетита, физические свойства его сростков позволяют установить высокую контрастность рудных и породообразующих минералов по прочностным и гравитационным свойствам и тем самым рекомендовать в качестве основного метода обогащения гравитационный.
3. На основании полученных данных по обогатимости первичных руд Тагарского месторождения дан прогноз эффективности гравитационного метода обогащения для гематит-магнетитовых руд остаточной коры выветривания
4. Для улучшения прочности окатышей из концентратов железных руд трапповой формации необходимо введение в шихту известняка в качестве флюсовой добавки.
5. При производстве окатышей эффективность процесса окомкования магнетитовых концентратов повышается в тонких классах (-0,045 мм) за счет возникновения между частицами явления магнитной флокуляции.

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие на всех стадиях технологической переоценки руд Тагарского месторождения, начиная с литературного обзора по данной проблеме, формирования технологических и отбора минералогических проб, проведения минералогического сопровождения разработки технологических схем их обогащения, и заканчивая минералогическим исследованием конечной товарной продукции (концентратов, окатышей, охр, брикетов). В обязанности автора входило выполнение значительного объема анализов продуктов обогащения методами оптической микроскопии, изучение физических свойств минералов, выбор методики и методов исследования исходных руд и минералов, участие в интерпретации полученных результатов. Соискателем проведены исследования по выявлению петрографических факторов, влияющих на физико-механические свойства вмещающих пород.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на следующих конференциях и совещаниях: 4-ой научной молодежной школе «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, 2007 г.), на VI-ом и VII-ом Конгрессе обогатителей стран СНГ (Москва, 2007 и 2009 гг.), на совещании «Плаксинские чтения-2007» (Апатиты, 2007 г.), на конференции «Минерально-сырьевая база черных, легирующих и цветных металлов России и стран СНГ: проблемы и пути развития» (Москва, 2007 г.), на «Неделе горняка» (Москва, 2008 г.), на конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2008 г.), на III-ем Российском семинаре по технологической минералогии (Петрозаводск, 2008 г.).

По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе три статьи в реферируемых журналах.

Структура, объем и содержание работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы (104 наименования). Общий объем работы составляет 102 страницы, в том числе 42 рисунка и 26

таблиц. Во *введении* обоснована актуальность работы, обозначены цели, задачи, показана научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, сформулированы защищаемые положения. В *первой главе* проведен анализ исследований в области технологической минералогии железных руд, дана характеристика геологического строения Тагарского месторождения, состояние изученности вещественного состава природных типов руд. *Вторая глава* посвящена типоморфным особенностям магнетита, влияющим на поведение минерала в процессах обогащения. В *третьей главе* рассмотрены минералогические факторы обогатимости первичных руд, обосновывающие эффективность гравитационного метода обогащения. В *четвертой главе* определено влияние вещественного состава концентратов первичных и вторичных руд на качество окатышей. В *заключении* обобщены основные научные и практические результаты работы.

Автор благодарит своего научного руководителя, доктора геолого-минералогических наук Е.Г. Ожогину, оказавшую неоценимую помощь в создании работы.

За постоянную поддержку и ценные консультации автор глубоко признателен доктору геолого-минералогических наук В.Т. Дубинчуку. Автор считает своим долгом выразить признательность сотрудникам технологического отдела: кандидатам технических наук Е.С. Броницкой и Н.Д. Тютюнник, кандидату химических наук С.И. Ануфриевой, Г.А. Сладковой и Н.Ю. Стенину, проводившими экспериментальные исследования, с которыми автору было приятно и легко работать. Методическая помощь в проведении работ была оказана доктором геолого-минералогических наук Л.Т. Раковым, И.С. Наумовой и А.И. Федотовым, за что автор выражает им отдельную благодарность. За ценные критические замечания и участие в обсуждении полученных результатов автор благодарит кандидата геолого-минералогических наук Г.К. Кривоконову и кандидата геолого-минералогических наук, доцента Г.И. Дорохову. За моральную поддержку и участие автор благодарен всем коллегам минералогического отдела, в особенности Н.Н. Кривоцекову, кандидату геолого-минералогических наук Л.А. Азарновой и А.В. Иоспе, а также сотрудникам геолого-экономического отдела кандидату геолого-минералогических наук А.В. Темнову и М.А. Турловой.

Автор выражает особую благодарность своим учителям – доктору геолого-минералогических наук, профессору Э.М. Спиридонову и кандидату геолого-минералогических наук В.И. Кузьмину. За помощь в оформлении работы автор благодарен кандидату геолого-минералогических наук Н.Г. Беляевской.

Типоморфизму магнетита посвящено достаточно большое количество работ, среди которых следует выделить монографию Чернышевой Л.В. с соавторами, обобщившую все существующие данные по типоморфизму магнетита из месторождений различного генезиса, в том числе и месторождений трапповой формации [Чернышева и др., 1981]. При этом изучение и выделение типоморфных признаков магнетита осуществлялось главным образом в поисковых целях.

Современный этап развития учения о типоморфизме минералов, приоритетной задачей которого являются не столько поиски новых, а геолого-экономическая переоценка уже имеющихся месторождений, активно развивает

прикладное направление с использованием типоморфных особенностей минералов для оценки технологических свойств минерального сырья. Выявление типоморфных признаков обогатимости минералов и руд обеспечивает прогнозирование и перспективное планирование технологических показателей обогащения.

Конечной продукцией переработки железных руд являются различные виды кускового сырья (агломераты, окатыши). В связи с этим, важное значение приобретает понятие «генетического кода» руды, под которым Т.Я. Малышева подразумевает состав и физико-химические свойства рудообразующих минералов. «Генетический код» руды наследуется концентратом и определяет процессы его укрупнения и термоупрочнения при подготовке к доменной плавке. Знание «генетического кода» позволяет получать высокопрочное сырье с минимальными энергетическими затратами [Малышева, 1988].

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТАГАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Тагарское месторождение расположено в Богучанском районе Красноярского края в 110 км к востоку-северо-востоку от станции Богучаны строящейся железной дороги Решеты-Богучаны, в 60 км к северо-востоку от створа плотины проектируемой Богучанской ГЭС. Оно является наиболее крупным и хорошо изученным в составе Кодинской группы месторождений Средне-Ангарского железорудного района.

В геологическом отношении месторождение расположено в южном крыле Кодинской антиклинали на участке сочленения двух региональных разломов и пространственно приурочено к вулканической трубке взрыва. В геологическом строении рудного поля принимают участие осадочные породы кембрийской и каменноугольной систем, пирокластический материал жерловых фаций, трапповые интрузии нижнемезозойского возраста и четвертичные образования. В плане трубка имеет эллипсоидную форму с размерами по осям 2040x940 м. Практически вся масса пород, заполняющая трубку взрыва, несет магнетитовое оруденение различной интенсивности, поэтому рудные тела в пределах трубки представляют собой единую рудную зону и разделены оруденелыми породами, содержащими $Fe_{\text{общ.}}$ 10-20%. Нижняя граница трубки взрыва по геофизическим данным расположена на глубине более 1000 м от поверхности.

Руды представлены тремя природными типами: *магнетитовым*, *гематит-магнетитовым* и *гетит-гидрогетитовым*. Магнетитовое оруденение приурочено к зоне метасоматитов, руды располагаются в двух телах, объединяющихся на восточном фланге в единое тело мощностью до 300-400 м и протяженностью на глубину до 1000 м без следов выклинивания. В остаточной коре выветривания магнетитовые руды частично окислены и преобразованы в гематит-магнетитовые. Всего на месторождении выявлено и разведано шесть плащеобразных залежей этого типа руд. В северной части месторождения выявлено десять залежей гетит-гидрогетитовых руд в «преобразованной» коре выветривания, выходящих на дневную поверхность и распространяющихся на глубину до 164 м.

Общие запасы руд месторождения по категории В+С₁ составляют 243 млн. т, по категории С₂ – 22,5 млн. т. По состоянию на 01.01.1994 г. в Государственном балансе запасов месторождение отнесено к резервным разведанным.

Магнетитовые руды представляют собой метасоматические породы, в различной степени обогащенные магнетитом. Текстура руды преимущественно брекчиевидная, реже массивная и пятнистая. Структура тонко-мелкозернистая, аллотриоморфнобластическая, коррозионная. Содержание Fe_{общ.} колеблется от 25,0 до 32,6 %, S - от сотых долей до 9,6%, в среднем 1,2%.

Главным рудным минералом является магнетит, содержание которого изменяется от 22 до 80%. В подчиненном количестве присутствуют гематит, маггемит, гидроксиды железа, пирит и халькопирит. Главные породообразующие минералы представлены хлоритом, монтмориллонитом и серпентином, в меньших количествах присутствует кальцит, флогопит, каолинит, диопсид, гроссуляр-андрадит, вермикуллит, апатит и сфен.

Основная масса магнетита образует вкрапленность различной густоты в составе цемента рудных брекчий, в незначительном количестве - в обломках измененных пород. Размер зерен магнетита изменяется от 0,005 до 0,24 мм, количественно преобладают зерна размером менее 0,044 мм (порядка 70%). Магнетит образует тесные сростания с породообразующими минералами, главным образом с хлоритом и серпентином.

В коре выветривания магнетит незначительно маггемитизирован и гематитизирован. Начало окисления магнетита четко фиксируется сменой хлорит-магнетитовой ассоциации на серпентин-маггемит-магнетитовую: наблюдается изменение окраски магнетита с появлением серпентина от буровато-серой до розовато-серой с участками голубовато-серого маггемитизированного и белого гематитизированного магнетита. То есть, индикатором перехода от неокисленных руд к окисленным является серпентин, имеющий гипергенный генезис. Признаками гипергенного происхождения серпентина является замещение им гидротермальных минералов – хлорита и флогопита и устойчивая ассоциация с маггемитизированным магнетитом.

Гематит-магнетитовые руды представлены сыпучим глинистым материалом с обломками плотных руд. Текстура сыпучих руд землистая, структура обломочная от пелитовой до псаммитовой. Текстура у плотных руд массивная, пятнистая и брекчиевидная, структура тонко-мелкозернистая, участками оолитовая. В отличие от магнетитовых руд, данный тип характеризуется повышенным содержанием оксидной и гидроксидной форм железа, меньшим содержанием породообразующих минералов и почти полным отсутствием сульфидов. Содержание Fe_{общ.} изменяется от 29,0 до 50,0%.

Главными рудными минералами являются магнетит (5-50%) и гематит (15-60%), в подчиненном количестве присутствует маггемит, гидроксиды железа и ильменит. Главные породообразующие минералы представлены монтмориллонитом и хлоритом, второстепенные – гроссуляром-андрадитом, диопсидом, каолинитом и апатитом.

В сыпучих рудах магнетит присутствует в виде тонкой вкрапленности в глинистой массе, в плотных - в виде тонко-мелкозернистых агрегатов и оолитов, образование которых связано, вероятно, с избирательной коррозией магнетита и замещением хлоритом. В строении оолитов обычно выделяется центральная

сильно «изъеденная» магнетитовая часть и идеальная эллипсоидальная магнетитовая оболочка, пространство между которыми заполнено хлоритом. Размер оолитов варьирует от 0,16 до 4 мм по длинной оси, в среднем около 1-1,5 мм. Специфическая форма этих образований обусловлена стремлением магнетита принять форму, характеризующуюся минимумом поверхностной энергии. Стадии формирования и разрушения оолитов приведены на рис. 1.

Магнетит в руде интенсивно маггемитизирован и гематитизирован. Магнетит, гематит и гидроксиды железа находятся в сростании с монтмориллонитом и хлоритом.

Гетит-гидрогетитовые руды сложены преимущественно глиной, интенсивно пропитанной гидроксидами железа, с большим количеством обломков гетита-гидрогетита и стяжений маггемит-гематитового состава. Текстура руд брекчиевидная, реже массивная и полосчатая. Структура обломочная: от псефитовой до пелитовой. Содержание $Fe_{\text{общ}}$ колеблется от 32,0 до 39,0%.

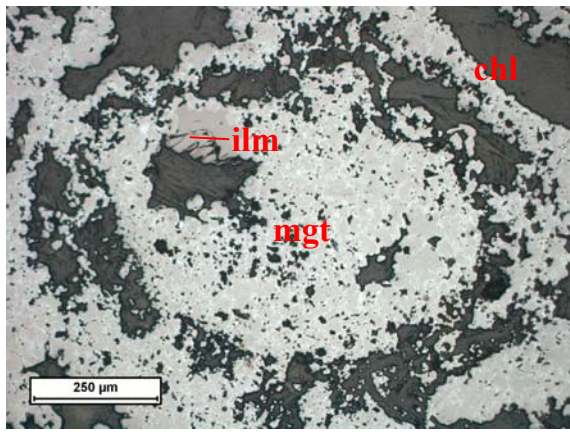
Главные рудные минералы представлены гидроксидами железа (гетит, гидрогетит) (17-70%) и гематитом (до 20%), в подчиненном количестве присутствует маггемит, магнетит, ильменит, рутил и анатаз. Главным породообразующим минералом является каолинит, из второстепенных встречается кварц, кальцит, хлорит, апатит, карбонат-фторапатит, гидрослюда, плагиоклаз и гроссуляр-андрадит.

Гетит и гидрогетит присутствуют в виде обломков размером от сотых долей мм до 10 мм, гнездовых выделений и охр, а также инфильтрационных образований колломорфной структуры. Гематит образует частичные и полные псевдоморфозы по магнетиту, реже присутствует в виде обломков размером до 10 мм. Магнетит сохраняется в виде реликтов среди гематита и гетита-гидрогетита, замещен маггемитом. Охристый гидрогетит присутствует в виде тонких включений размером 0,004-0,02 мм среди агрегатов каолинита и монтмориллонита. Апатит и карбонат-фторапатит, являющиеся вредными минеральными примесями, образуют тонкодисперсные включения в обломках гетита-гидрогетита. Все рудные минералы находятся в тесных сростаниях с каолинитом.

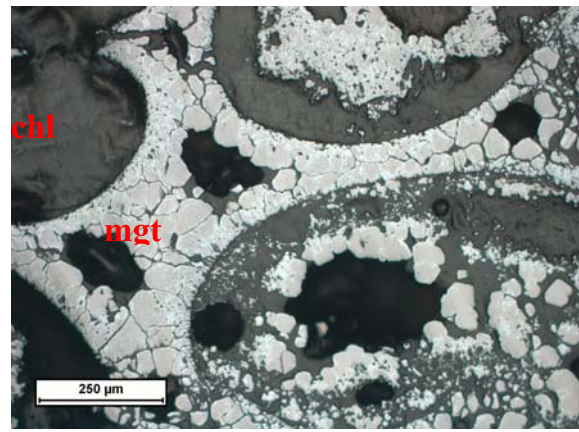
ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

1. Главными типоморфными особенностями магнетита, определяющими его поведение в процессах обогащения, являются: микроскопические включения породообразующих минералов, микроблоковое и кавернозное строение, присутствие изоморфной примеси магния, а также гематитизация и маггемитизация минерала в коре выветривания.

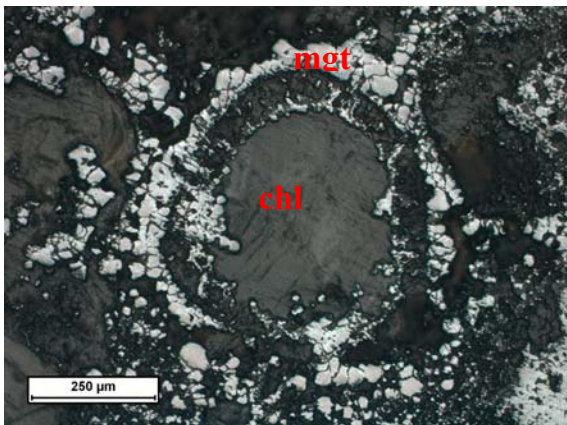
Типоморфной особенностью магнетита трапповой формации юга Сибирской платформы является неоднородное строение (присутствие неструктурных примесей, структур распада твердого раствора, кавернозность, маггемитизация и гематитизация) и промежуточный состав в ряду магнетит-магнезиоферрит [Чернышева, 1981].



а

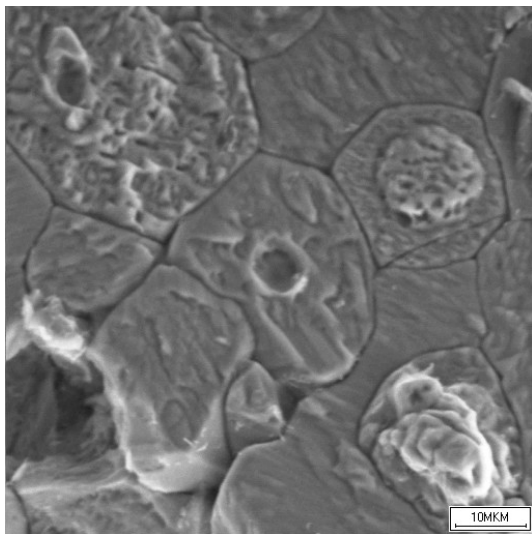


б

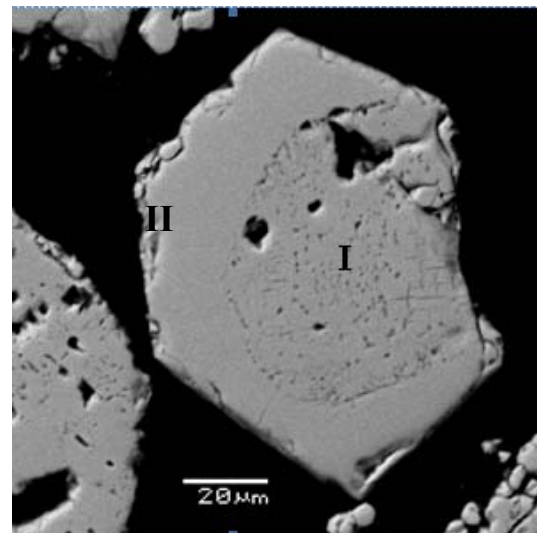


в

Рис. 1. Стадии образования оолитоподобных структур: а) начальная стадия: в руде видны формы, отдаленно напоминающие оолиты; б) сформированные оолиты с четкими очертаниями; в) разрушение оолитов, частично сохраняются оболочки или центральные части. Отраженный свет, без анализатора.



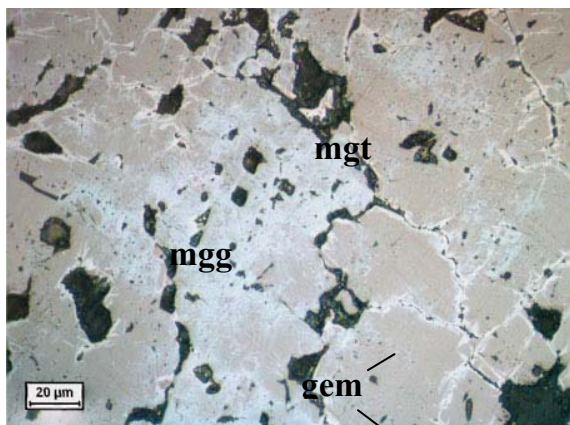
а



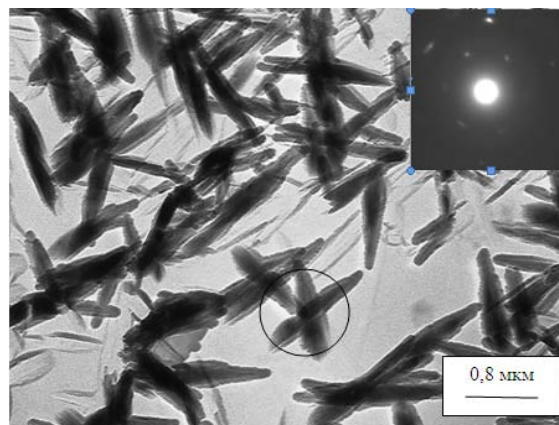
б

Рис. 2. Новообразованные кристаллы, центральные части которых представлены магнетитом I генерации, а кайма – магнетитом II генерации (а), РЭМ

Рис. 3. Неоднородное строение магнетита I генерации и однородное - магнетита II генерации (б); изображение в обратно-рассеянных электронах.



а



б

Рис. 4. Маггемитизация и гематитизация магнетита в магнетитовой руде: mgt – магнетит, mgg – маггемит, gem – гематит, отраженный свет, без анализатора; б) закономерная ориентация пластинок гематита, микродифракция которого приведена в правом верхнем углу снимка, ПЭМ.

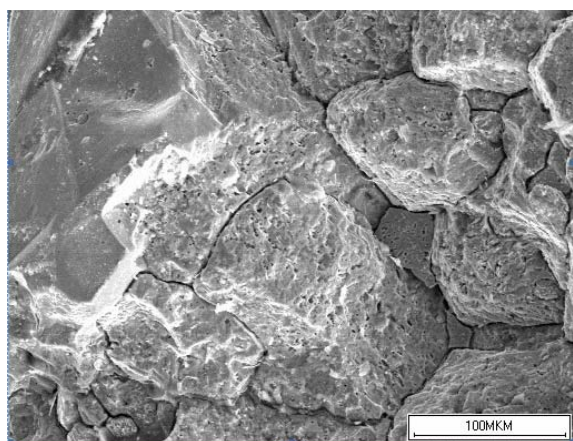


Рис. 5. Магнетит микроблочного строения с мелкобугристой поверхностью, РЭМ.

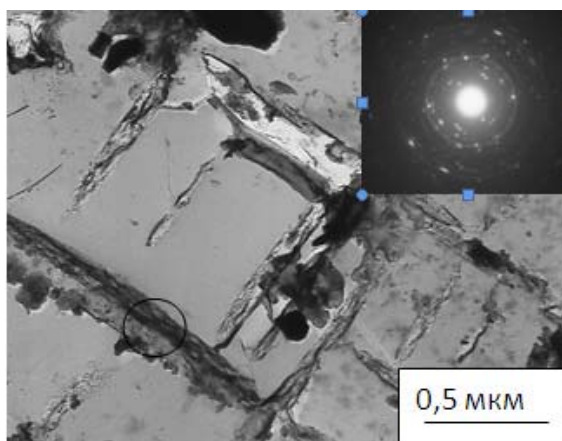
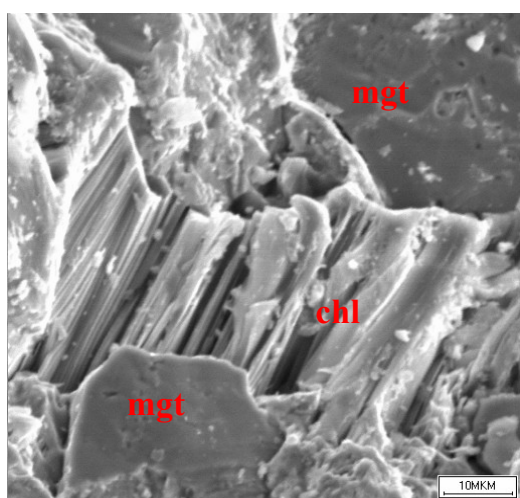
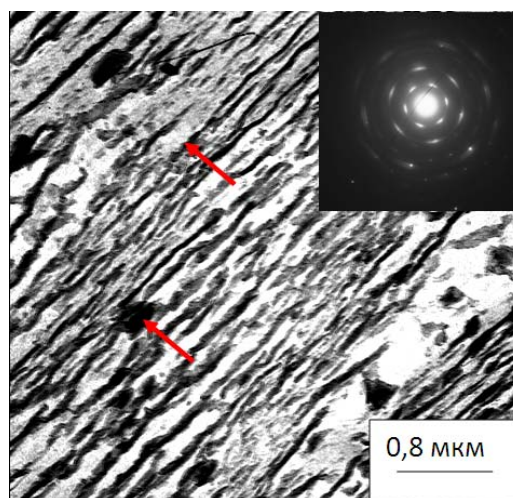


Рис. 6. Ламели распада ориентированы по кубу и соответствуют ильмениту, микродифракция которого приведена в правом верхнем углу снимка; ПЭМ.



а



б

Рис. 7. Извилистая граница срастания магнетита (mgt) и хлорита (chl) (а), РЭМ; тончайшие нарастания хлорита (показаны стрелками) на поверхности зерна магнетита, микродифракция хлорита приведена в правом верхнем углу (б), ПЭМ.

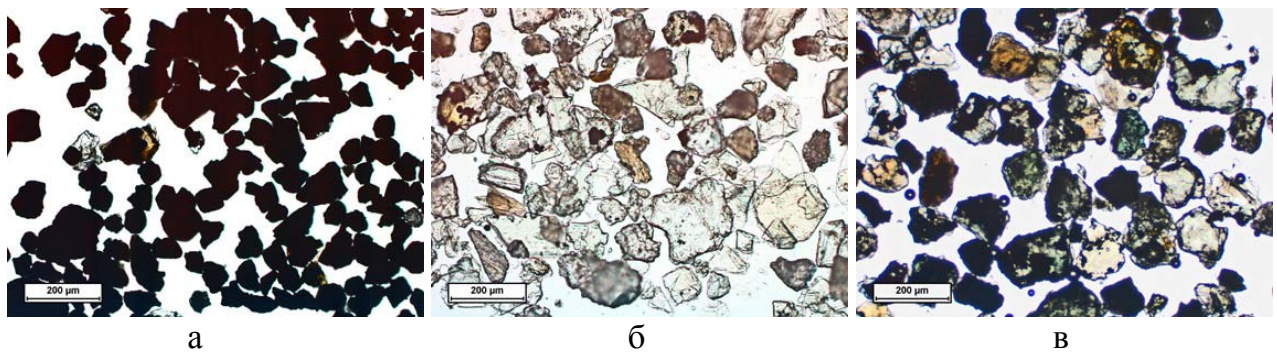


Рис. 8. Продукты фракционирования исходной пробы магнетитовой руды по плотности: а) тяжёлая фракция, б) лёгкая фракция, в) промежуточная фракция. Проходящий свет, николи параллельны.

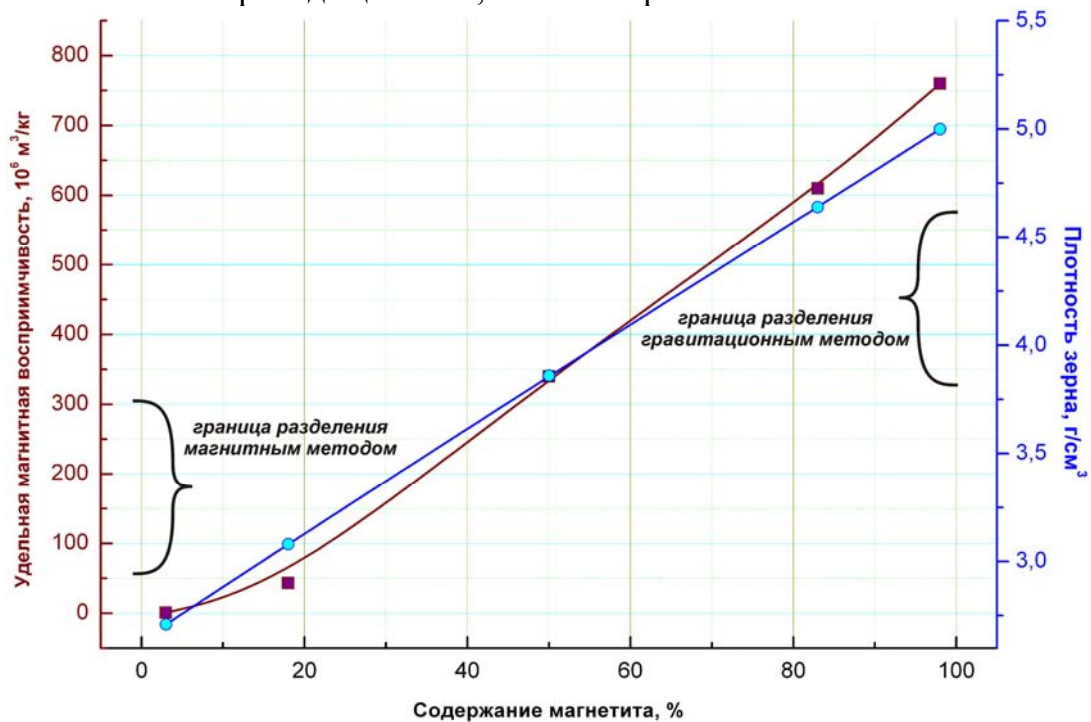


Рис. 9. Сопоставление магнитного и гравитационного методов обогащения для измельчённой магнетитовой руды

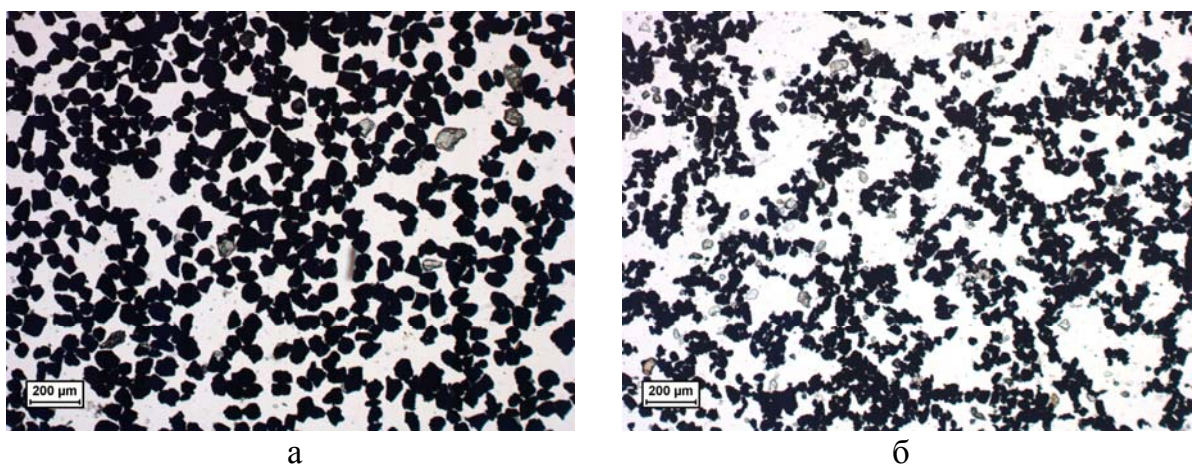


Рис. 10. Магнетитовый концентрат: а) крупностью $-0,074+0$ мм, флокуляция магнетитовых частиц проявлена слабо; б) крупностью $-0,045+0$ мм, флокуляция проявлена сильно. Иммерсионный препарат, проходящий свет. Без анализатора.

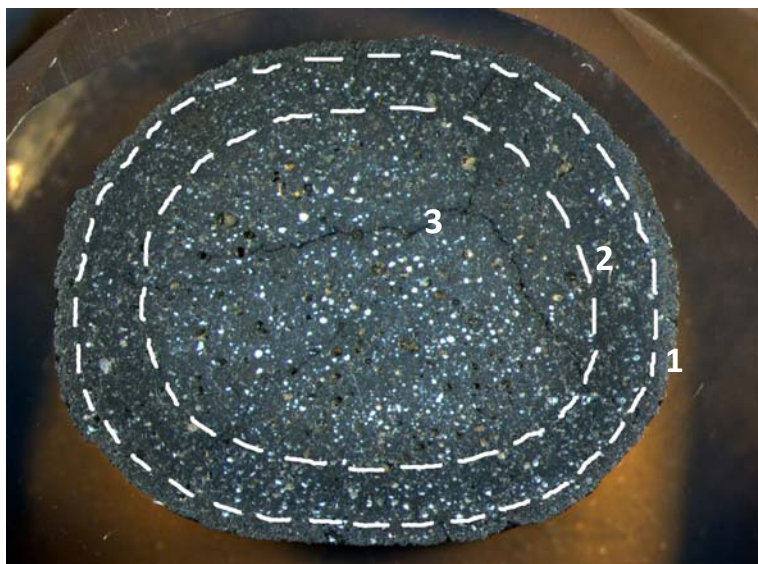


Рис. 11. Зональное строение окатыша. Зоны выделены пунктирной линией. Диаметр окатыша составляет 15 мм. Стереомикроскоп.

Рис. 12. Гематит (белое), образовавшийся при окислении зерен магнетита в центральных зонах окатышей естественной основности. Отраженный свет, без анализатора.

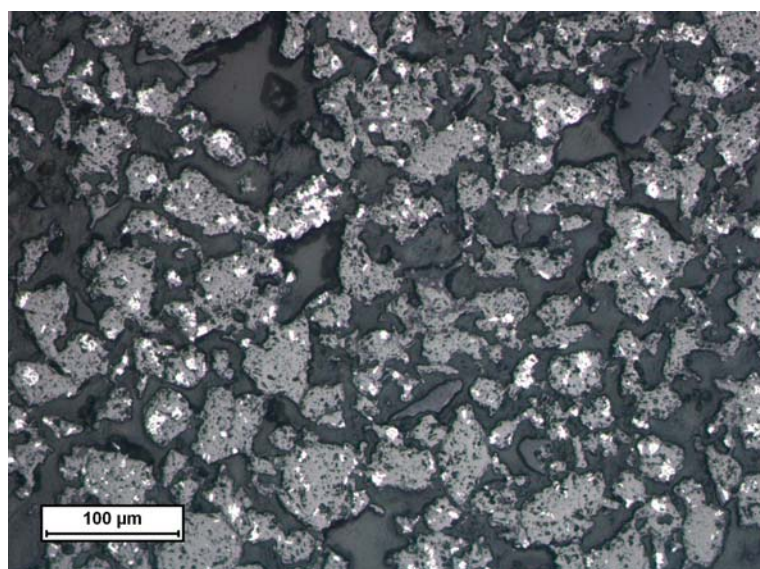
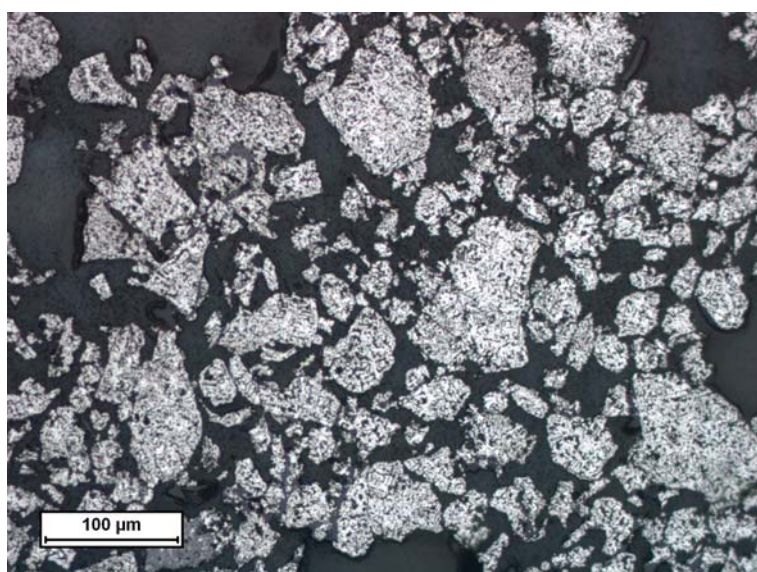


Рис. 13. Недоокисленный магнетит (серое) из промежуточных зон окатышей естественной основности, белое – гематит. Отраженный свет, без анализатора.

Магнетит Тагарского месторождения не является исключением. В рудах установлено две генерации магнетита, различающиеся строением и морфологией кристаллов. *Магнетит I генерации* значительно преобладает, имеет октаэдрический габитус и отличается неоднородным строением. *Магнетит II генерации*, образовавшийся на частично растворенной поверхности магнетита I генерации в результате его дорастания до полногранного кристалла, имеет ромбододекаэдрический габитус и гомогенное строение, обусловленное освобождением его зерен от посторонних примесей при перекристаллизации (рис. 2 и 3).

Неоднородное строение магнетита I генерации определяется присутствием микровключений породообразующих минералов, вторичных рудных минералов, образовавшихся при окислении, кавернозным и микроблоковым строением, присутствием структур распада твердого раствора.

Магнетит содержит *микровключения породообразующих минералов* (главным образом хлорита и серпентина), захваченных им в процессе роста, влияющих на плотность и удельную магнитную восприимчивость минерала, а также уменьшающих содержание железа в его фракциях и увеличивающих содержание лимитируемых примесей.

Под влиянием гипергенных факторов магнетит окисляется. В первичных метасоматических рудах окисление магнетита проявлено в виде незначительной *маггемитизации* и *гематитизации* (рис. 4), в рудах коры выветривания степень окисления магнетита резко возрастает. В гетит-гидрогетитовой руде магнетит практически полностью гематитизируется. Интенсивная гематитизация магнетита значительно уменьшает удельную магнитную восприимчивость его фракций, переход магнетита в маггемит и гематит сопровождается изменением объема минерального вещества, вследствие чего в магнетите возникают многочисленные микротрещины.

Особенностью магнетита является его повышенная *кавернозность*. Кавернозные зерна магнетита обладают более низкой плотностью по сравнению с массивными, и, как правило, являются более хрупкими, что способствует концентрации магнетита в тонких классах. Кроме того, магнетит имеет *микроблоковое строение* (рис. 5), способствующее повышению его хрупкости, так как магнетит легко раскалывается по ослабленным зонам – границам блоков при дроблении и измельчении руды, что также приводит к его переизмельчению. В коре выветривания кавернозное и микроблоковое строение магнетита способствуют его окислению и разрушению.

Магнетит содержит ламели ильменита, образовавшиеся в результате *распада твердого раствора титаномагнетита*, фиксирующие участки дефектности в его структуре (рис. 6). В коре выветривания происходит окисление ильменита с образованием более устойчивых фаз - рутила и анатаза. Низкое содержание и неравномерное распределение ламелей незначительно сказывается на магнитных свойствах магнетита и содержании железа в его фракциях.

Магнетит обеих генераций отличается повышенным содержанием изоморфной примеси магния и незначительным – алюминия. Содержание магния изменяется от 0 до 4%, в среднем составляет 1,3%, содержание алюминия – от 0 до 1,7, в среднем 0,3%. Изоморфизм Fe^{2+} на Mg^{2+} приводит к увеличению микротвердости магнетита, а также к уменьшению параметра элементарной ячейки и снижению содержания железа в продуктах обогащения.

Свойственная магнетиту Тагарского месторождения изменчивость фазового и элементного состава приводит, с одной стороны, к снижению содержания в нем железа в среднем до 67,4%, с другой – к непостоянству его физических свойств (табл.1).

Таблица 1

Физические свойства магнетита с учетом его микронеоднородности

Магнетит	a, Å	ρ , г/см ³	H, кгс/мм ²	K _{мхр.}	$\chi \cdot 10^{-6}$, м ³ /кг
в первичной руде	8,391±0,002	4,71-5,20 (5,04)	630-683 (659)	2,43	880
в остаточной коре выветривания	8,390±0,003	5,06-5,19 (5,13)	658-690 (683)	1,44	530*
в переотложенной коре выветривания	8,365±0,003	-	-	-	390*

*- данные приведены с учетом маггемитизации и гематитизации магнетита

Выявленные типоморфные особенности магнетита, обусловленные его генезисом, определяют изменчивость технологических показателей обогащения и влияют на качество получаемых продуктов (извлечение, выход концентрата и содержание в нем железа). Оценка влияния типоморфных особенностей магнетита на его технологические свойства и качество продуктов обогащения первичных и вторичных руд приведена в таблице 2.

Полученные данные по типоморфизму магнетита Тагарского месторождения позволяют прогнозировать эффективность гравитационного метода для обогащения как первичных, так и вторичных руд.

2. Гранулометрический состав и морфометрические характеристики магнетита, высокая контрастность гравитационных и прочностных свойств магнетита и породообразующих минералов (хлорита, серпентина, монтмориллонита) определяют эффективность его извлечения из первичных и вторичных руд методами гравитации.

Природной особенностью железных руд Тагарского месторождения является не только мелко-тонкозернистое строение агрегатов магнетита, но и его сложные сростания с породообразующими минералами, главным образом с хлоритом и серпентином (рис. 7). Включения силикатных минералов в агрегатах магнетита отличаются сложной, интенсивно изрезанной формой. Иногда отмечается замещение магнетита хлоритом, а также тончайшие нарастания последнего на его поверхности.

Основным методом обогащения магнетитовых руд в мировой практике является магнитная сепарация, основанная на высокой магнитной восприимчивости главного рудного минерала – магнетита. При этом на качество магнитных фракций значительно влияет степень раскрытия магнетита, что обусловлено высокой магнитной восприимчивостью его сростков, частично извлекаемых в магнитные продукты вместе со свободными зернами. Так, при обогащении руды методом мокрой магнитной сепарации (ММС) требуется достижение степени раскрытия не менее 90% для обеспечения кондиционности концентратов по железу [Голилкин, 1997].

Таблица 2

Влияние состава и строения магнетита на его технологические свойства и качество продуктов магнитного и гравитационного обогащения первичных руд и руд коры выветривания

№ п/п	Особенности строения и состава магнетита	Влияние на физические и технологические свойства магнетита	Влияние на качество продуктов магнитного обогащения		Степень влияния состава и строения магнетита	
			Влияние на качество обогащения	гравитационного обогащения	для первичных руд	для руд коры выветривания
1	Микроскопические включения силикатов	снижение плотности и удельной магнитной восприимчивости	отрицательно влияет (снижение содержания железа, повышение содержания лимитируемых примесей)	отрицательно влияет (снижение содержания железа, повышение содержания лимитируемых примесей)	+++	+++
2	Магнетитизация и гематитизация	снижение удельной магнитной восприимчивости, уменьшение параметра элементарной ячейки	отрицательно влияет (часть рудных минералов уходит в немагнитную фракцию)	не влияет (все рудные минералы извлекаются в коллективный концентрат)	+	+++
3	Каверзное строение	повышение хрупкости, снижение плотности	отрицательно влияет (увеличение выхода тонкого класса, засорение концентрата породообразующими минералами вследствие флокуляции)	практически не влияет (крупность гравитационного обогащения выше (-0,16 мм), следовательно, выход тонкого класса и флокуляция ниже)	+++	+++
4	Микроблоковое строение	повышение коэрцитивной силы и флокуляции	отрицательно влияет (снижение содержания железа, снижение качества продуктов)	отрицательно влияет (снижение содержания железа)	+++	+++
5	Изоморфные примеси магния и алюминия	повышение микротвердости, снижение удельной магнитной восприимчивости	отрицательно влияет (снижение содержания железа, снижение качества продуктов)	отрицательно влияет (снижение содержания железа)	++	++
6	Структуры распада твердого раствора	снижение удельной магнитной восприимчивости	отрицательно влияет (снижение качества продуктов)	не влияет	+	+

+++ - сильно влияет, ++ - влияет, + - незначительно влияет

В исходной руде крупностью -1+0 мм установлено, что полного раскрытия магнетита не происходит даже в тонком материале (в классе -0,074+0,045 мм присутствует 18% сростков). В связи с этим поступающий на ММС измельченный материал руды характеризуется повышенным содержанием сростков магнетита разного качества, имеющих высокие значения удельной магнитной восприимчивости, особенно у богатых и рядовых сростков (табл. 3). Поэтому 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, Al₂O₃, SiO₂, CaO). Снижению качества магнитных фракций способствует также магнитная флокуляция, возникающая в результате тонкого измельчения магнетитовой руды, а чешуйчатая и пластинчатая форма рудообразующих минералов способствует ее повышению. Следует также отметить, что руда сформирована мягкими силикатами (монтмориллонитом, хлоритом, серпентином) и твердым магнетитом, что, с одной стороны, определяет ее контрастность по прочностным свойствам и благоприятно сказывается на процессах рудоподготовки, с другой - негативно влияет на операции глубокого обогащения, так как образуется большое количество вязких шламов. Успешное проведение магнитной сепарации возможно лишь при полном удалении таких шламов. В связи с этим при обогащении первичных магнетитовых руд отмечается недостаточная эффективность ММС.

Таблица 3

Результаты измерения удельной магнитной восприимчивости сростков магнетита

Тип сростков	Объемное содержание магнетита, %	Удельная магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^{-6}$, м ³ /кг
свободные зерна	96 - 100	760
богатые сростки	71 - 95	610
рядовые сростки	31 - 70	340
бедные сростки	6 - 30	43
нерудные зерна	0 - 5	0,78

В поисках более эффективного метода обогащения, исключая засорение концентрата сростками и породообразующими минералами, были изучены технологические свойства руды при гравитационном обогащении. Руда является контрастной по гравитационным свойствам, что обусловлено резким различием в значениях плотности магнетита и породообразующих минералов (хлорита, монтмориллонита, серпентина, каолинита и др.) (табл. 4).

Таблица 4

Плотность магнетита и основных рудообразующих минералов

Минерал	Содержание в руде, %	Плотность, г/см ³
магнетит	31,8	5,04
хлорит	25,0	2,65
монтмориллонит	21,0	2,40
серпентин	10,0	2,49
кальцит	4,0	2,70
каолинит	2,0	2,60
флогопит	2,0	2,70

Фракционирование исходной руды, измельчённой до крупностей $-0,5+0$ мм, $-0,315+0$ мм и $-0,16+0$ мм и рассеянной на классы в тяжёлых жидкостях плотностью 2,9 и 3,2 г/см³ показало, что тяжёлые фракции ($\rho > 3,2$ г/см³) характеризуются высоким содержанием свободных зёрен магнетита и богатых сростков (табл. 5).

Таблица 5

Распределение свободных зерен и сростков магнетита в фракционированной по плотности руде

Класс крупности, мм:	Плотность, г/см ³											
	$\rho > 3,2$				$3,2 > \rho > 2,9$				$\rho < 2,9$			
	Тип сростков											
	свободные зерна	богатые сростки	рядовые сростки	бедные сростки	свободные зерна	богатые сростки	рядовые сростки	бедные сростки	свободные зерна	богатые сростки	рядовые сростки	бедные сростки
Крупность руды $-0,5+0$ мм												
$-0,5+0,315$	15	52	29	4	0	2	60	38	0	1	0	99
$-0,315+0,16$	49	33	15	3	0	0	76	24	0	0	5	95
$-0,16+0,045$	80	15	4	1	0	6	44	50	13	5	0	82
Крупность руды $-0,315+0$ мм												
$-0,315+0,16$	59	24	15	2	0	0	73	27	0	1	0	99
$-0,16+0,045$	90	9	1	0	0	4	47	49	0	0	0	100
Крупность руды $-0,16+0$ мм												
$-0,16+0,045$	80	16	4	0	0	2	52	46	0	0	0	100

В лёгких фракциях ($\rho < 2,9$ г/см³) преимущественно концентрируются зёрна нерудных минералов и бедные сростки. Для фракций промежуточной плотности ($3,2 > \rho > 2,9$ г/см³) типично высокое содержание рядовых и бедных сростков (рис. 8).

Качество тяжёлых фракций и извлечение в них $Fe_{\text{общ}}$ повышаются со снижением исходной крупности обогащаемой руды в связи с увеличением количества свободных зёрен магнетита. Так, содержание $Fe_{\text{общ}}$ в тяжелой фракции крупностью $-0,5+0,315$ мм достигает 56% и определяется суммой свободных зёрен магнетита (15%), богатых (52%) и рядовых сростков (29%). В классе крупности $-0,16+0,045$ мм содержание $Fe_{\text{общ}}$ в тяжелой фракции возрастает до 64,2% за счёт 80% свободного магнетита и 15% богатых сростков. Такая же закономерность наблюдается и в руде, измельчённой до $-0,315+0$ мм и $-0,16+0$ мм. Поэтому гравитационное обогащение данной руды можно проводить при большей крупности ($-0,16$ мм), чем магнитное ($-0,045$ мм). Граница разделения при этом находится между богатыми и рядовыми сростками (рис. 9). Преимущество гравитационного обогащения перед магнитным для ферримангнетиков также состоит и в том, что с увеличением доли зёрен тяжелых минералов в продукте эффективность выделения из него лёгких зёрен резко возрастает вследствие увеличения кажущейся плотности среды между ними. Особенно это выражено в плотных пульпах в стеснённых условиях, что имеет место, в частности, при гравитационном обогащении.

Таким образом, минералогическое изучение руды показало явное преимущество гравитационного метода при обогащении мелко-тонкозернистых

магнетитовых руд Тагарского месторождения, что подтверждено технологическими испытаниями. Применение гравитационного обогащения позволяет селективно выделить существенно магнетитовый продукт, практически не содержащий примесей, связанных с породообразующими минералами, промпродукт, состоящий в основном из рядовых и бедных сростков, и хвосты, содержащие незначительное количество железа, частично связанного с хлоритом и монтмориллонитом. Доизмельчение промпродукта в процессе обогащения, способствующее раскрытию магнетита из рядовых сростков, позволит повысить его извлечение гравитационным методом. Продукты гравитационного обогащения отличаются более высоким качеством по сравнению с продуктами магнитной сепарации и обладают лучшими металлургическими свойствами (табл. 6).

Таблица 6

Показатели обогащения магнетитовой руды по магнитной и гравитационно-магнитной схемам

Технологические показатели, %	Магнитная схема			Гравитационно-магнитная схема		
	концентрат	отвальные хвосты	итого	концентрат	отвальные хвосты	итого
Выход	42,5	57,5	100	37,2	62,8	100
Содержание Fe _{общ.}	58,5	7,5	29,2	64,6	6,6	28,2
Извлечение Fe _{общ.}	85,3	14,7	100	85,3	14,7	100

Результаты исследования позволяют также прогнозировать высокую эффективность гравитационного метода обогащения для гематит-магнетитовых руд, развитых в остаточной коре выветривания месторождения, образовавшихся при окислении первичных магнетитовых руд. Особенности минерального состава и строения этих руд, свойства рудообразующих минералов (в первую очередь плотность), позволяют говорить о возможности извлечения в коллективный концентрат всех промышленно ценных минералов, содержащихся в них: магнетита, маггемита и гематита, не прибегая к магнитной сепарации.

3. Характерной особенностью концентратов железных руд трапповой формации является: 1) отсутствие в их составе легкоплавких силикатов, что исключает процесс жидкофазного упрочнения окатышей естественной основности, 2) присутствие изоморфной примеси магния в магнетите, замедляющей процесс его окисления.

Концентраты магнетитовых и гематит-магнетитовых руд Тагарского месторождения характеризуются высоким содержанием пылевидной рудной «мелочи». С целью их укрупнения при подготовке к доменной плавке в технологическую схему была введена операция по грануляции способом окомкования – наиболее дешевого и экологически чистого по сравнению с агломерацией. Процесс грануляции концентратов основан на способности увлажненных тонкоизмельченных материалов при окомковании образовывать гранулы сферической формы (окатыши) крупностью 2-30 мм без применения непосредственного давления.

Известно, что комкуемость материалов зависит от многих факторов, наиболее важными из которых являются крупность частиц, их влажность и физические свойства, характеризующие взаимодействие частиц с водой [Справочник по обогащению, 1983]. На материале концентратов двух крупностей (-0,074+0 мм и -0,045+0 мм) показано, что не менее важным фактором эффективности окомкования выступает характер взаимодействия частиц магнетита друг с другом. Известно, чем более тонкий магнетитовый материал, тем сильнее проявлено явление магнитной флокуляции, в результате которой частицы магнетита стягиваются, образуя устойчивые агрегаты и придавая окатышам дополнительную прочность (рис. 10).

Из полученных концентратов были изготовлены следующие окатыши естественной основности: 1) из магнетитового концентрата с применением в качестве связующего вещества 0,7% бентонитового порошка, содержащего SiO₂ - 45-78, Al₂O₃ - 10-15, MgO - 6-7. Сушка при t=18-20°C в течение 24 часов, T_{макс.обжига} =1250°C, время спекания 10, 20 и 30 минут; 2) из гематит-магнетитового концентрата с применением в качестве связующего вещества 5% отходов обогащения гетит-гидрогетитовой руды, содержащих SiO₂ - 26,6, Al₂O₃ - 21,26, MgO - 0,79, CaO - 0,96, Fe - 22,75, Fe₂O₃ - 32,50, P₂O₅ - 0,93; с применением 0,7% бентонитового порошка. Сушка при t=18-20°C в течение 24 часов, T_{макс.обжига} =1200°C, время спекания 10, 20 и 30 минут. Химический состав концентратов приведен в таблице 7, минеральный состав - в таблице 8.

Таблица 7

Химический состав концентратов

Компонент	Содержание, %:	
	Магнетитовый	Гематит-магнетитовый
Fe _{общ.}	64,3	66,2
MgO	2,75	2,06
SiO ₂	2,8	1,87
Al ₂ O ₃	2,13	2,26
CaO	0,47	0,66
MnO	0,12	0,25
TiO ₂	0,45	-
P ₂ O ₅	0,056	0,11
S _{общ.}	<0,056	-

Все изготовленные окатыши имеют зональное строение, обусловленное неравномерным окислением магнетита в их объеме. Выделяется три зоны, различающиеся величиной отражения: 1 - краевая, 2 - промежуточная, 3 - центральная (рис. 11). Преобладающей рудной фазой во всех окатышах является гематит, развитый преимущественно в центральных зонах (рис. 12). В меньшей степени присутствует магнетит, являющийся остаточным минералом шихты (рис. 13). Наибольшее количество магнетита наблюдается в промежуточных зонах окатышей. Недоокисление магнетита, а также отсутствие обычной для железорудных окатышей естественной основности «мостиковой» структуры, представляющей собой рекристаллизованные кристаллы гематита мелкой фракции, объясняется наличием в концентратах магнетита с изоморфной примесью магнезия (магномагнетита), замедляющей процесс окисления.

Минеральный состав концентратов (%)

Минерал	Содержание, %:	
	Магнетитовый	Гематит-магнетитовый
магнетит	64,7	47,9
маггемит	11,7	16,2
гематит	11,3	25,9
тонкодисперсные оксиды и гидроксиды железа	4,8	2,7
хлорит	4	4,7
каолинит	3	-
кальцит	0,5	ед.зн.
диопсид	ед.зн.	2,6
пирит, халькопирит	ед.зн.	-
гранат, монтмориллонит, плагиоклаз	ед.зн.	ед.зн.
Сумма:	100	100

Силикатная фаза в полученных окатышах естественной основности представлена зернами и листочками пироксена, хлорита и каолинита, равномерно распределенными в их матрице и не претерпевшими изменений после окислительного обжига. Силикатной связки не обнаружено, что обусловлено отсутствием в нерудной части шихты легкоплавких силикатов. Весь кремнезем концентратов входит в состав тугоплавких силикатов, имеющих высокие температуры плавления и не являющихся источниками упрочняющего железосиликатного расплава в условиях температурного режима обжига (табл. 9).

Таблица 9

Температурные интервалы фазовых превращений и температуры плавления силикатных минералов (по данным Малышевой и др., 1988)

Минерал	Дегидроксилизация и аморфизация	Область новообразований	Область расплава
Хлорит	500-820°C	860-880°C, оливин	1890°C
Пироксен	-	-	1320°C
Каолинит	400-650°C	850°C, оливин	1890°C

Минеральный состав полученных окатышей естественной основности приведен в таблице 10.

Таблица 10

Минеральный состав окатышей

Компонент	Содержание, масс.%		
	окатыши №1	окатыши №2	окатыши №3
Гематит	77,0	65,7	64,2
Магнетит	13,0	23,9	25,3
Пироксен и другие силикаты	10,0	5,5	0,0
Стеклофаза	0,0	4,9	10,5
Сумма:	100	100	100

Упрочнение окатышей произошло главным образом за счет развития реакций спекания и рекристаллизации гематита. Полученные окатыши обладают только холодной прочностью и в процессе восстановления будут целиком рассыпаться из-за разрушения рудных контактов.

Таким образом, минеральные особенности железорудных концентратов Тагарского месторождения трапповой формации (присутствие изоморфной примеси магнезия в магнетите, отсутствие легкоплавких силикатов) негативно влияют на процессы жидкофазного и твердофазного упрочнения получаемых окатышей естественной основности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлены типоморфные особенности магнетита первичных и вторичных руд Тагарского месторождения: неоднородное строение, присутствие изоморфной примеси магнезия до 4%, маггемитизация и гематитизация, обуславливающие изменчивость его физических свойств (в первую очередь магнитных).

Установлено, что природной особенностью руд Тагарского месторождения является мелко-тонкозернистое строение и тесные срастания рудных и пороодообразующих минералов, определяющих недостаточную степень раскрытия рудных минералов для проведения ММС, ассоциация магнетита с мягкими силикатами с низкой плотностью, обуславливающая контрастность руды по прочностным и гравитационным свойствам. Сочетание вышеперечисленных особенностей определяет недостаточную эффективность ММС, в то же время позволяет эффективно применять нетрадиционный для данного типа руд гравитационный способ обогащения.

Выявлено влияние типоморфных особенностей магнетита и руд в целом на вещественный состав концентратов и качество получаемых окатышей. Показано, что весь кремнезем концентратов входит в состав тугоплавких силикатов – хлорита, пироксена и каолинита, не являющихся источником упрочняющего железосиликатного расплава в условиях температурного режима обжига окатышей естественной основности. Присутствие в магнетите изоморфной примеси магнезия замедляет процесс его окисления и образование «мостиковой» структуры. Получение высокопрочного сырья из концентратов железных руд трапповой формации возможно только с учетом этих особенностей.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

(Девичья фамилия Сычевой Н.А. – Анашкина Н.А.)

1. Азарнова Л.А., Анашкина Н.А. Минералогические методы в прогнозной технологической оценке руд черных металлов // материалы 3-ей Международной научной школы молодых ученых и специалистов. М.: ИПКОН РАН. 2006. С.195-197.
2. Сычева Н.А., Кривошеков Н.Н., Ожогина Е.Г. Влияние неоднородности минералов на обогатимость руд. Сборник материалов. VI Конгресс обогатителей стран СНГ. М., 2007, Т.2..С. 75-77.

3. Сычева Н.А. Технологические свойства железных руд скарново-магнетитового месторождения Кодинской группы Средне-Ангарского железорудного района // Материалы 4-ой Международной научной школы молодых ученых и специалистов. М.: ИПКОН РАН. 2007. С. 221-224.
4. Анашкина Н.А., Азарнова Л.А. Прикладные минералогические исследования при оценке технологических свойств руд черных металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень №3. М.: МГГУ.2008. С. 370-375.
5. Сычева Н.А. Морфоструктурные особенности гетит-гидрогетитовых руд коры выветривания Тагарского скарново-магнетитового месторождения // Актуальные проблемы геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых (тезисы докладов научно-практической конференции молодых ученых и специалистов). М.: ВИМС. 2008. С 138-139.
6. Сычева Н.А., Ожогина Е.Г., Броницкая Е.С. и др. Обоснование целесообразности гравитационного обогащения магнетитовых руд Тагарского месторождения на основании минералого-технологических исследований // Разведка и охрана недр. №11. 2008. С. 56-60.
7. Сычева Н.А., Дубинчук В.Т., Ожогин Д.О. и др. Влияние неоднородности магнетита на качество продуктов обогащения железных руд Тагарского месторождения // Разведка и охрана недр. № 4. 2009. С. 59-63.

Заказ № 51 Тираж 100
РИС ВИМС