

**ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, Газалеевой Галины Ивановны
на диссертационную работу Колковой Марии Сергеевны, выполненную на тему:
«Минералого-технологические особенности железо-титановых руд

Медведевского месторождения»,

представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по
специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография

20 октября 2020 г.

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа посвящена изучению минералого-технологических особенностей вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд (с позиции их переработки) Медведевского месторождения Южного Урала, являющихся стратегически важным источником железа и титана для металлургических комбинатов Уральского региона. Основу российской сырьевой базы титана составляют титаномагнетитовые руды магматогенных месторождений, связанных с габброидными массивами. Данные руды комплексные и содержат кроме титана железо и ванадий как в качестве попутных, так и главных компонентов. На долю титаномагнетитовых руд, характеризующихся низким содержанием диоксида титана (до 3%), приходится 13,1% запасов РФ (Гусевогорское, Собственно-Качканарское, Суроямское и Чинейское месторождения). Запасы титаномагнетитовых, ильменит-титаномагнетитовых и существенно ильменитовых руд с содержанием TiO_2 более 3% составляют 25,3% (месторождения Кручининское, Медведевское, Большой Сейим и Юго-Восточная Гремяха). В настоящее время активно разрабатываются месторождения только с низким содержанием диоксида титана, что обусловлено простым строением и составом титаномагнетитовых руд со средним содержанием Fe – 15,9% и TiO_2 – 1,22%. Добыча и переработка средне- и высокотитанистых железо-титановых руд, характеризующихся структурной и фазовой неоднородностью рудных микроагрегатов титаномагнетита, на данном этапе развития технологий обогащения не осуществляется в связи с отсутствием возможности получения кондиционного железного концентратата, удовлетворяющего требованиям доменного производства, и выделения ильменитового продукта заданного качества. Основная причина получения некондиционного железного концентратата связана со сложностью реализации физического разделения рудных минералов микроагрегатов титаномагнетита. Поэтому необходимы более прогрессивные решения в области обогащения средне- и высокотитанистых руд, обусловленные их минералого-технологическими особенностями, влияющими на технологические характеристики руд.

В диссертационной работе автором были решены следующие задачи:

1. Проанализировать геологическую ситуацию Медведевского месторождения железотитановых руд – условия локализации рудных тел, их ассоциации с магматическими горными породами геологического разреза месторождения, «скрытую слоистость» массива, выраженную в изменении строения и сложения горных пород и элементного состава минералов.
2. Установить влияние особенностей вещественного состава и строения вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд, а также относительной интенсивности их изменения в постмагматические процессы минералообразования на степень раскрытия срастаний рудных и нерудных минералов при рудоподготовке.
3. Исследовать поведение минералов титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд в магнитном поле при разных значениях его напряженности.
4. Оценить структурную и фазовую неоднородности рудных микроагрегатов, проявившиеся в результате твердофазных превращений при окислительном обжиге дробленого материала руд разных классов крупности при температуре 1100°C во временном интервале, равном 24, 48 и 72 ч.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (141 наименование). Общий объём работы составляет 120 страниц, включая 49 рисунков и 33 таблицы. Во введении раскрыта актуальность прогнозной минералого-технологической оценки высокотитанистых руд, определены объект, цели и задачи исследования, описан фактический материал работы и личный вклад соискателя, сформулированы практическая и научная значимость работы, а также защищаемые положения. В первой главе освещено состояние минерально-сырьевой базы железо-титановых руд магматогенного происхождения, представлены существующий опыт и перспективы переработки титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд, а также приведена характеристика основных технологических свойств рудных минералов. Во второй главе рассмотрены геологические особенности Медведевского месторождения железо-титановых руд и существующие технологии их переработки. В третьей главе описаны минералого-технологические характеристики железо-титановых руд, а именно их текстурно-структурные особенности, вещественный состав, морфоструктурный состав рудных минералов и их технологические свойства с позиции обогатимости. В четвертой и пятой главах изложены результаты исследования: поведение микроагрегатов титаномагнетита и ильменита во внешнем магнитном поле и изменения структурной и фазовой неоднородности микроагрегатов титаномагнетита в

процессе окислительного обжига. В заключении кратко освещены основные выводы по материалам диссертационной работы.

Научные положения

Все результаты исследований автора вынесены на защиту в трех положениях, анализ которых позволил нам судить об уровне и значимости приведенных доказательств.

Первое научное положение. Многостадийность процессов минералообразования в габброидах и, прежде всего, явления постмагматического характера предопределили минералого-технологические особенности вкрапленных руд – минеральный состав, типы срастания, морфоструктурный состав рудных минералов и их физические свойства, которые обусловили основные показатели раскрытия зерен минералов (микроагрегатов) и в целом особенности обогатимости руд.

Высокотитанистые (титаномагнетитовые, ильменит-титаномагнетитовые) руды магматогенного происхождения с различным характером наложенных процессов минералообразования отличаются сложным строением и минеральным составом, обусловливающими их высокую степень гетерогенности на разных уровнях организации минерального вещества. Для титаномагнетитовых руд свойственна средняя относительная интенсивность изменения, для ильменит-титаномагнетитовых – более высокая. Такая разница отражается в значениях микротвердости и нарушенности минералов и, как следствие, влияет на процесс дезинтеграции руд. В рудах четко прослеживается структурная и фазовая неоднородность микроагрегатов титаномагнетита и ильменита, определенная эволюцией продуктов распада твердого раствора ряда ильменит-гематит и ильменит-магнетит, осложненная процессами мартитизации и замещением роговой обманкой и хлоритом. На уровне минерального индивида (магнетита, ильменита) неоднородность проявляется в наличии изоморфных и механических примесей. Гетерогенность микроагрегатов рудных минералов непосредственно будет оказывать влияние на их магнитные характеристики и поведение во внешнем магнитном поле. Эти доказательства вполне позволяют утверждать, что **первое защищаемое положение следует считать достаточно обоснованным и доказанным.**

Второе научное положение. Выявлена зависимость значений удельной магнитной восприимчивости рудных минералов (микроагрегатов) от их кристаллохимических (строения магнитной структуры магнетита, присутствия изоморфных элементов-примесей и т.д.) и морфоструктурных (морфологии минерального индивида, фазового состава и гетерогенности микроагрегатов) характеристик, позволяющих прогнозировать уровень селективного разделения минеральных агрегатов в процессе магнитной сепарации.

Установлено, что кристаллохимические и морфоструктурные параметры минералов, такие как кристаллическая структура рудных минералов, наличие элементов-примесей; фазовая и структурная неоднородность – продукты распада твердого растворов ряда ильменит-магнетит, морфология минеральных индивидов и микроагрегатов, оказывают непосредственное влияние на поведение минералов в магнитном поле. Оптимальным классом крупности титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд является $-0,125+0,071$ мм, характеризующийся максимальным значением удельной магнитной восприимчивости и высокой степенью раскрытия рудных и нерудных минералов. При $H = 10$ мТл выделяется магнитная фракция, сложенная микроагрегатами титаномагнетита различной степени мартитизации с единичными зернами ильменита. С увеличением напряженности магнитного поля до 140 мТл фракция представлена ильменитом, с понижением класса крупности фиксируются мартитизированные микроагрегаты титаномагнетита. Такое распределение рудных минералов подтверждается содержанием Fe_{mag} и TiO_2 , продукты, полученные при 10 мТл, характеризуются содержанием Fe_{mag} от 18,80 до 24,30% (титаномагнетитовые руды) и от 16,76 до 20,20% (ильменит-титаномагнетитовые руды), материал, выделенный при 140 мТл, – 12,08-36,5% и 25,2-41,37% соответственно. **Второе защищаемое положение достаточно обоснованно и доказано.**

Третье научное положение. Выявлена зависимость значений удельной магнитной восприимчивости рудных минералов (микроагрегатов) от их кристаллохимических (строения магнитной структуры магнетита, присутствия изоморфных элементов-примесей и т.д.) и морфоструктурных (морфологии минерального индивида, фазового состава и гетерогенности микроагрегатов) характеристик, позволяющих прогнозировать уровень селективного разделения минеральных агрегатов в процессе магнитной сепарации.

Окислительный обжиг микроагрегатов титаномагнетита позволяет уменьшить степень неоднородности их минерального и химического состава благодаря перераспределению элементов в процессе диффузии и образованию более устойчивых минеральных фаз – гематита, псевдобрукита и рутила. Установлено, что с уменьшением крупности материала интенсивность процесса твердофазного превращения увеличивается, поэтому оптимальными классами являются $-0,25+0,125$ мм и $-0,125+0,071$ мм. Необходимым времененным интервалом обжига является 72 часа, в течение которых происходит практически полное твердофазное превращение первичных минералов в более устойчивые фазы. Вновь сформированные минералы, большей частью, являются твердыми растворами. Гематит, как продукт преобразования мартитизированного магнетита содержит до 4,9% диоксида титана. Рутил образует ограниченные твердые растворы с псевдобрукитом, что наблюдается в продуктах термической обработки руды (точка

эвтектики смешена в сторону псевдобрукита). Полученные результаты позволяет прогнозировать повышение раскрытия микроагрегатов в технологических процессах. Это имеет большое теоретическое и практическое значение и позволяет считать третье положение доказанным.

Научная новизна работы

1. В диссертации обоснована эволюция продуктов распада твердого раствора ряда магнетит-ильменит на примере вкрапленных железо-титановых руд Медведевского месторождения, выраженная в изменении строения и состава микроагрегатов титаномагнетита в процессе их сорбирательной перекристаллизации.

2. Автором установлено влияние элементов-примесей на значение спинового магнитного момента магнетита и ильменита, титаномагнетита руд Медведевского месторождения, что позволяет определить их поведение во внешнем магнитном поле и аргументировать параметры магнитной сепарации.

3. Определено поведение микроагрегатов титаномагнетита разной степени перекристаллизации и мартитизации во внешнем магнитном поле.

4. В работе экспериментально доказана возможность направленного изменения технологических свойств рудных минералов при окислительном обжиге как продолжение природных процессов минералообразования. Установлена зависимость структурной и химической неоднородности рудных минералов (микроагрегатов) в рамках гранулометрического спектра от временного интервала окислительного обжига.

Достоверность и обоснованность результатов научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, обеспечиваются представительностью и надежностью данных, полученных с использованием поверенного оборудования и аттестованных методик, а также сопоставимостью результатов экспериментальных лабораторных исследований.

Диссертация написана технически грамотным научным языком, оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению диссертационных работ. Структура и содержание диссертации соответствует целям и задачам исследования. Выводы и полученные результаты работы достоверны и обоснованы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает ее содержание.

Результаты работы были представлены и обсуждались на международных и всероссийских конференциях. Основные положения диссертационной работы опубликованы и представлены в 13 печатных работах (статьях, тезисах докладов и методических

рекомендациях), в том числе в 3 статьях рецензируемых научных журналов, включенных в перечень ВАК и/или индексируемых в системе Web of Science.

Практическая значимость

1. Полученные экспериментальные данные о характере раскрытия минеральных агрегатов вкрапленных железо-титановых руд могут быть использованы для обоснования крупности измельчения в процессе рудоподготовки.
2. Анализ распределения рудных микроагрегатов в продуктах магнитной (электромагнитной) сепарации, полученных при разных значениях напряженности магнитного поля, позволил определить оптимальные параметры селективной магнитной сепарации для выделения титаномагнетитового и ильменитового продуктов.
3. Разработаны методические указания «Определение раскрытия рудных минералов в продуктах магнитной сепарации железо-титановых руд» для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Магнитные методы обогащения» студентами специализации «Обогащение полезных ископаемых».
4. Результаты окислительного обжига на воздухе дробленого материала мартитизированных титаномагнетитовых и ильменитовых микроагрегатов подтверждают, что оптимальными условиями получения продуктов псевдобрукит-гематитового и рутил-псевдобрукитового составов являются время обжига 72 часа при крупности материала $-0,25+0,125$ мм.

По представленной диссертационной работе и автореферату имеются следующие замечания:

1. В третьей главе представлен общий элементный состав магнетита и ильменита, нельзя проследить разницу между составом этих минералов во вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых рудах.
2. В работе не рассмотрено влияние фазовой и структурной неоднородности титаномагнетита на значение вторичных магнитных характеристик – коэффициента магнитной вязкости S_V и разрушающего поля насыщения вещества H_{CR} , являющихся чувствительными к морфоструктурным особенностям минералов (агрегатов).
3. При проведении обогащения ильменит-титаномагнетитовой руды, стр. 38 диссертации, не учитывалась степень раскрытия ильменита (15 мкм и менее) и не была изучена кинетика измельчения руды, в том числе возможность ультратонкого измельчения.
4. Не стоит ли относить ильменит сегрегационного обособления (стр. 54 – 55 диссертации) к переходной форме между ильменитом и лейкоксеном?

5. Чем обусловлено повышенное содержание изоморфной примеси Cr в магнетите по данным мессбауэровской спектроскопии, таблица 28?

6. Отсутствует доказательство раскрытия вновь образованных железо- и титансодержащих минеральных фаз, полученных в результате окислительного обжига.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы.

Заключение

Диссертационная работа Колковой Марии Сергеевны «Минералого-технологические особенности железо-титановых руд Медведевского месторождения», является законченной научно-квалифицированной работой, выполненной на актуальную тему, обладает новизной и практической значимостью: исследованы минералого-технологические особенности вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд – морфоструктурные характеристики рудных минералов и их технологические свойства, позволяющие обосновать способы их переработки.

Результаты работы соответствуют пунктам: 9 (технологическая минералогия, минералого-технологическое картирование и обоснование эффективной технологии переработки минерального сырья, утилизация промышленных и других отходов) 11 (экспериментальная минералогия) паспорта специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография.

Диссертационная работа Колковой М.С. соответствует критериям, изложенным в Постановлении Правительства РФ от 24.09.2013г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» и требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности
25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых»,
заведующий отделом рудоподготовки и
специальных методов исследования,

ОАО «Уралмеханобр»

Подпись удостоверяю:

Заместитель генерального директора

АО «Уралмеханобр» по персоналу и общим вопросам

Газалеева Галина Ивановна



Д.В. Садовенко
20.10.2020.

Адрес: 620063, г. Екатеринбург,
ул. Хохрякова, 87;
телефон: +7 (343) 344-27-42 доб.2006;
e-mail: gazaleeva_gi@umbr.ru