

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ
(ИГ КАРНЦ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
Института геологии по научной работе
— обособленного подразделения
ФГБУН ФНИЦ «Карельский научный
центр РАН»
канд. геол.-мин. наук

А.В. Степанова
«08» ноября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Колковой Марии Сергеевны «Минералого-технологические особенности железо-титановых руд Медведевского месторождения», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических по специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография

Диссертационная работа Колковой Марии Сергеевны «Минералого-технологические особенности железо-титановых руд Медведевского месторождения» состоит из введения, пяти глав, заключения, включает 49 рисунков, 33 таблицы и список литературы из 141 наименований.

1. Актуальность диссертационной работы

Актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений. Добыча железо-титановых руд (титаномагнетитовые, ильменит-титаномагнетитовые и существенно ильменитовые руды), ассоциирующих с габброидами, практически не ведется из-за технологических проблем, связанных с получением кондиционных продуктов.

Анализ существующих технологий обогащения титаномагнетитовых руд показывает, что основная причина получения некондиционного железного концентрата зависит от реализации

физического разделения рудных минералов микроагрегатов титаномагнетита. Вовлечение титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд с высоким содержанием TiO_2 в промышленное освоение характеризуется особенностями морфологии рудных минералов, их гранулярным составом – наличием тонких выделений, структурной и фазовой неоднородностью микроагрегатов титаномагнетита – степенью перекристаллизации структур распада твердого раствора ряда магнетит-ильменит, гетерогенностью химического состава магнетита – присутствием примесных элементов; относительной интенсивностью преобразования – амфиболизацией, хлоритизацией и мартитизацией минералов руд. Кристаллохимические и морфоструктурные характеристики минералов титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд определяют их технологические свойства, такие как микротвердость и удельная магнитная восприимчивость, лежащие в основе принципиального выбора способов переработки железо-титановых руд. Соискатель исследовал Медведевское ильменит-титаномагнетитовое месторождение Кусинско-Копанского комплекса габбровых интрузий Южного Урала, в котором сконцентрировано 5.6 % российских балансовых запасов диоксида титана. Минералого-технологическое изучение особенностей высокотитанистых вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд этого месторождения с позиции прогнозной оценки их переработки является актуальным.

2. Общая характеристика работы

Диссертационная работа М.С.Колковой посвящена изучению минералого-технологических особенностей вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд Медведевского месторождения, характеризующихся различной относительной интенсивностью изменения их состава и строения под действием наложенных постмагматических процессов минералообразования, что оказало влияние на технологические свойства минералов и выбор технологии их переработки.

Цель работы формулируется как выявление минералого-технологических особенностей – морфоструктурных характеристик и состава, физических свойств минералов, ильменит-титаномагнетитовых и титаномагнетитовых руд с вкрапленными текстурами Медведевского месторождения для обоснования способов их переработки.

Реализованы следующие задачи:

1. Дан анализ геологической ситуации Медведевского месторождения железо-титановых руд. Определены условия локализации рудных тел, их ассоциации с магматическими горными породами геологического разреза месторождения, расслоенность массива, выраженная в изменении строения и структур горных пород и элементного состава минералов.

2. Установлено 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 сростаний рудных и нерудных минералов в процессе рудоподготовки.

3. Исследовано поведение минералов титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд в магнитном поле при разных значениях его напряженности.

4. Оценены структурная и фазовая 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 ч., 48 ч. и 72 ч.

В этой работе обосновываются три положения, выносимых на защиту. Объем использованного материала представляется достаточным для решения поставленных задач. При подготовке диссертации использованы современные методы аналитических исследований и обработки данных, что повышает достоверность полученных результатов.

Во введении обоснованы актуальность, идея, цель и задачи исследования, показана научная новизна, приведены сведения о достоверности полученных результатов, их публичной апробации, личном вкладе автора.

В первой главе диссертации освещено состояние минерально-сырьевой базы железо-титановых руд магматического генезиса. Выделены основные технологические свойства рудных минералов, определяющие выбор технологии обогащения. К ним относятся микротвердость и магнитные свойства. Автор аргументирует, что на современном этапе развития горно-металлургического производства средне- и высокотитанистые титаномагнетитовые руды не вовлекаются в отработку в связи с отсутствием эффективных технологий обогащения по выделению железистого концентрата по существующим техническим условиям доменного процесса.

Во второй главе отражены геологические особенности Медведевского месторождения железо-титановых руд, дана характеристика Кусинско-Копанского комплекса габбровых интрузий. Представлена классификация руд по содержанию ильменита и титаномагнетита. Рассмотрены существующие технологии переработки ильменит-титаномагнетитовых руд Медведевского месторождения, разработанные институтом «Уралмеханобр». Согласно предложенной технологии железо-ванадиевые концентраты, полученные по магнитно-флотационной схеме и в результате доводки ильменитового продукта на магнитном сепараторе, содержат диоксид титана равном 9.90 и 12.7% соответственно, что намного превышает ТУ металлургического производства (до 4.0%). В результате проведенного анализа выполнена постановка цели работы, заключающейся в изучении минералогических особенностей руд на

разных уровнях организации минерального вещества для выявления технологических свойств, определяющих эффективность процессов рудоподготовки и способов переработки.

Третья глава посвящена исследованию минералого-технологических характеристик изучаемых вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд, обусловленных многостадийностью процессов формирования и преобразования, и их сравнению. Соискатель рассматривает текстурно-структурные особенности и минеральный состав руд, а также существующие природные силикатные, рудно-силикатные и рудные минеральные ассоциации. При анализе строения минеральных агрегатов рудных ассоциаций четко прослеживается эволюция продуктов распада твердых растворов ряда магнетит-ильменит с выделением паркетной и тонкорешетчатой структур и структуры сегрегационного обособления. Большое внимание уделено изучению морфоструктурных особенностей и элементного состава микроагрегатов ильменита и титаномагнетита, позволяющих оценить их структурную и фазовую неоднородность. Установлено влияние их на микротвердость и удельную магнитную восприимчивость. Оценка неоднородности рудных микроагрегатов подтверждена результатами мессбауэровской спектроскопии.

На схемах раскрытия рудных и нерудных микроагрегатов отражены различия минералогических особенностей руд, что доказывает влияние на поведение минералов в разделительных процессах.

Четвертая глава посвящена изучению поведения рудных минералов и микроагрегатов во внешнем магнитном поле. Соискателем рассмотрены кристаллохимические и морфоструктурные особенности рудных минералов и микроагрегатов, определяющие их первичные и вторичные магнитные свойства. Их поведение под воздействием магнитного поля исследовалось путем анализа распределения магнитных (электромагнитных) продуктов в рамках гранулометрического спектра, выделенных в процессе сепарации.

А.С. Колкова выявила высокое содержание магнитной (7.57% и 4.51%) и немагнитной (52% и 64%) фракций, что характерно для класса крупности $-0.125+0.071$ мм как титаномагнетитовой руды, так и ильменит-титаномагнетитовой, что определяется структурной и фазовой однородностью рудных микроагрегатов. Рудные микроагрегаты дробленых вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд во внешнем магнитном поле ведут себя практически одинаково. 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 $Fe_{\text{маг}}$ и TiO_2 , продукты, полученные при 10 мТл, характеризуются содержанием

$Fe_{\text{маг}}$ 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. Таким образом, экспериментально подтверждено, что селективная магнитная сепарация позволяет выделить титаномагнетитовые и ильменитовые продукты заданного качества.

В пятой главе соискателем с учетом ранее проведенных экспериментальных работ по термической обработке титаномагнетита и ильменита доказана возможность преобразования рудных микроагрегатов на примере руд Медведевского месторождения в результате их твердофазных превращений. Окислительный обжиг минеральных агрегатов титаномагнетита, по мнению соискателя, позволяет уменьшить степень неоднородности их минерального и химического состава благодаря перераспределению химических элементов в процессе диффузии и образованию более устойчивых минеральных фаз – псевдобрукита и рутила с последующим их укрупнением. Вновь сформированные минералы в значительной мере 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 смещена в сторону псевдобрукита). Полученные результаты позволяют прогнозировать повышение раскрытия микроагрегатов в технологических процессах.

В заключении представлены основные выводы по материалам диссертационной работы.

3. Научная новизна и достоверность результатов работы

В процессе исследований автором получены следующие новые результаты:

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 собирательной перекристаллизации.

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.

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 результатов обеспечивается применением комплекса современных минералого-аналитических методов исследования, использованием сертифицированного и поверенного оборудования и аттестованных методик измерений. Сопоставимость результатов лабораторных исследований согласуется с данными эксперимента и научными выводами.

Результаты работы были представлены и обсуждались на международных и всероссийских конференциях. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 13 работах, в том числе в 3-х статьях в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК и/или индексируемых в системе Web of Science.

4. Значимость для производства полученных автором диссертации результатов

К наиболее значимым практическим результатам в области изучения минералого-технологических особенностей железо-титановых руд магматогенного происхождения можно отнести следующие:

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.

5. О стиле и языке диссертации и автореферата.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Диссертационная работа написана грамотным языком, в целом хорошо проиллюстрирована, оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Необходимо

отметить, что автор в работе использует не только общепринятую геологическую, но и междисциплинарную терминологию. Выводы и рекомендации работы изложены четко. Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям диссертационной работы, обеспечивают видение ее внутреннего единства.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

6. Замечания по диссертационной работе и автореферату:

По содержанию работы можно сделать следующие замечания:

1. В работе проводится анализ большей части литературных источников, связанных непосредственно с исследованиями по Медведевскому месторождению. Необходим был бы более широкий литературный обзор, включая исследования аналогичных месторождений, локализующихся на территории Кольского полуострова, Карелии, Сибири и Дальнего Востока, в частности, следовало бы дать ссылку на монографию Н.Н.Трофимова и А.И.Голубева «Пудожгорское благороднометалльное титано-магнетитовое месторождение». – Петрозаводск: 2008.

2. В тексте диссертации даются ссылки на ряд публикаций, которые отсутствуют в приводимом списке литературы (Байков, Бардин, Брицке, 1939; Гасик, 1969; Болотов, Несговорова, Сысолятин, 1975; Железные руды, 2007; Смирнов, 1996; Быстров, Пирогов, 2013; Зайцева, Чернышева, 1979; Костенко, Стариков 1978; Мясников, 1965; Захарова, 1971; Болотова, 1991; Сергеева, 1968; Попов, 2010; Volenik, 1975 и др). И наоборот – в список литературы включены, а в тексте нет ссылки (Изоитко В.М., 1997; Маракушев А.А. 1979, 1988; Barth, T.F. & Posnjak, 1931) или в списке Басоло Ф., а в тексте Босоло Ф. и т.п.

3. В подразделе 2.1. «Краткая геологическая характеристика месторождения» рис. 5, иллюстрирующий схему размещения массивов и месторождений Кусинско-Копанского комплекса, выглядит малоинформативно с непонятными знаками R и бесконтурными белыми полями под условным знаком 1. Геологическая карта в цветовом изображении (рис. 6) приводится без геологического разреза в сильно уменьшенном масштабе, что не позволяет по гамме различных оттенков определить положение вкрапленных ильменитовых (15), вкрапленных ильменитовых забалансовых (16) и титаномагнетитовых (17) руд. Возможно, лучше было представить укрупненные фрагменты геологического строения Медведевского месторождения.

4. Коллективом Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого (ИГТ УрО РАН) под руководством В.В. Холоднова проводились исследования по изучению геологии Медведевского месторождения. Осталось непонятным, данные исследований М.С. Колковой дополняют или повторяют ранее опубликованные результаты?

3. В работе четко прослежена эволюция продуктов распада твердых растворов, но не проведена количественная оценка соотношений микроагрегатов паркетного и тонкорешетчатого строения, а также структуры сегрегационного обособления. При изучении руд не отражено, какие морфологические типы рудных микроагрегатов преобладают в ильменит-титаномagnetитовых рудах, а какие в титаномagnetитовых. Данные сведения позволяют спрогнозировать качество выделенных продуктов в процессе магнитной сепарации.

4. Поскольку существуют технологии получения искусственного рутила из ильменитовых концентратов, то необходимо было рассмотреть возможность образования гематита и рутила из титаномagnetитовых микроагрегатов в процессе окислительного обжига.

7. Заключение

Диссертация Колковой М.С. «Минералого-технологические особенности железотитановых руд Медведевского месторождения», является законченной научно-квалифицированной работой. По содержанию, новизне и практической значимости диссертационная работа соответствует пунктам: 9 (технологическая минералогия, минералоготехнологическое 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. отвечает 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.

Заведующий отделом минерального сырья

ИГ КарНЦ РАН, д.г.-м.н.

Щипцов

Владимир Владимирович

Старший научный сотрудник отдела минерального сырья

ИГ КарНЦ РАН, к.т.н.

Шеков

Виталий Александрович

Отзыв заслушан, обсужден и утвержден в качестве официального на заседании Ученого совета Института геологии — обособленного подразделения ФГБУН ФНЦ «Карельский научный центр РАН» 29 октября 2020 года, протокол № 8.

Сведения о ведущей организации:

Институт геологии - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИГ КарНЦ РАН)

Место нахождения: 186910, г. Петрозаводск, Республика Карелия, ул. Пушкинская, д.11

Почтовый адрес: 186910, г. Петрозаводск, Республика Карелия, ул. Пушкинская, д.11

Тел.: (8142) 782753 Факс: (8142) 780602

E-mail: geolog@krc.karelia.ru

Председатель Ученого совета ИГ КарНЦ РАН, д.г.-м.н.

С.А. Светов

Ученый секретарь ИГ КарНЦ РАН, к.г.-м.н.

А.В. Первунина

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
ВЕДУЩИЙ ДОКУМЕНТОВЕД
Л.В. ТИТОВА
* 09 * ноября 2020г.

