

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации М.С. Колковой «Минералого-технологические особенности железо-титановых руд Медведевского месторождения, представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография

**Актуальность исследования** связана с тем, что запасы железо-титановых руд (титаномагнетитовых, ильменит - титаномагнетитовых и существенно ильменитовых с  $TiO_2$  более 3%), заключенных в габброидах, составляют 25,3% месторождений РФ. Однако добыча таких руд не ведется в связи с отсутствием возможности получения кондиционного железного концентрата, удовлетворяющего требованиям доменного производства, и выделения ильменитового продукта заданного качества (Быховский, Тигунов, 2003). Поэтому для обеспечения химической титановой промышленности применяется импортируемое титановое сырье - в основном ильменитовые (200 тыс. т) и в небольшом количестве рутиловые концентраты (12 тыс. т) (Государственный доклад, 2018). Руды же с более низким содержанием диоксида титана (до 3%), согласно данным государственного доклада о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ, учитываются как запасы месторождений железных руд. Из них на долю ванадиево-титаномагнетитовых руд приходится 12,3% запасов РФ. Добыча и переработка их осуществляется только на Гусевогорском месторождении с получением железного концентрата (Государственный доклад, 2018; Ляпунов, Макушев, 2019). Анализ существующих технологий обогащения титаномагнетитовых руд ( $TiO_2$  более 3%) и их минералого-технологических особенностей показал, что основная причина получения некондиционного железного концентрата связана со сложностью реализации физического разделения рудных минералов микроагрегатов титаномагнетита. Вовлечение их в промышленное освоение напрямую зависит от сложной многостадийной генетической природы руд: особенностей морфологии рудных минералов; их гранулярного состава – наличия тонких выделений; структурной и фазовой неоднородности микроагрегатов титаномагнетита – степени перекристаллизации структур распада твердого раствора ряда магнетит-ильменит; гетерогенности химического состава магнетита – присутствия примесных элементов; относительной интенсивности преобразования – амфиболитизации, хлоритизации и мартитизации минералов. Поэтому изучение минералого-технологических особенностей руд Медведевского месторождения Кусинско-Копанского габбрового массива Южного Урала, осложненных постмагматическими процессами и отличающихся гетерогенностью морфоструктурных характеристик и состава минералов, с позиции прогнозной оценки их переработки является весьма актуальным.

**Цель исследований** – выявление минералого-технологических особенностей – морфоструктурных характеристик и состава, физических свойств минералов вкрапленных ильменит-титаномагнетитовых и титаномагнетитовых руд Медведевского месторождения для обоснования способов их переработки.

При этом **были реализованы следующие задачи:**

1. Проанализировать геологическую ситуацию Медведевского месторождения железо-титановых 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 сростаний 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 ч., 48 ч. и 72 ч.

На основе изучения представительного фактического материала автором **на защиту вынесены следующие положения:**

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

2. Выявлена зависимость значений удельной магнитной восприимчивости титаномагнетита и ильменита от их кристаллохимических (строения магнитной структуры магнетита и ильменита, 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.

3. Установлено, что окислительный обжиг минеральных индивидов и агрегатов ильменита и титаномагнетита приводит к уменьшению степени неоднородности минерального (фазового) и химического составов, что позволяет прогнозировать повышение раскрываемости вновь образованных железо- и титансодержащих минералов в технологических продуктах и в целом повышение извлечения титана в продукты различного типа. Определены параметры процессов техногенеза для создания перспективной технологической схемы переработки руд.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (141 наименование). Общий объем 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 геология 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: поведения 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.

#### **Доказательства защищаемых положений**

1. Доказательная база их подчинена единой системе получения и обработки минералого-технологической информации, отражающей принципы и методологию технологической минералогии — от изменчивости разнообразных характеристик состава и строения, исходных руд в многостадийных процессах минералообразования на разных уровнях организации минерального вещества (текстур, структур руд, индивидов-агрегатов) — до

формирования технологических свойств разделяемых рудных и нерудных сростаний минералов с особенностями их раскрытия и обогащения дробленого материала при магнитном обогащении с выделением ильменита — и возможности продолжения развития природного процесса мартитизации титаномагнетита в технологическом эксперименте окислительного обжига для получения высокотитанистых минеральных фаз.

2. При доказательстве **первого положения** автор проследил эволюцию природных минеральных ассоциаций на этапах магматогенного формирования и постмагматических преобразований (амфиболизации, хлоритизации, сосюритизации, альбитизации и мартитизации). Это оказало непосредственно влияние, как на изменение минерального состава, морфологии, размеров, типов сростаний и других минералого-технологических характеристик как титаномагнетитовых (с относительно средней интенсивностью изменений) и ильменит - титаномагнетитовых (с более высокой степенью изменений) руд, так и на технологические свойства минералов (удельную магнитную восприимчивость, микротвердость). Особое внимание уделено строению рудных микроагрегатов — распаду твердых растворов рядов ильменит-магнетит и гематит-ильменит (рис. 1-5), отражающих разные этапы эволюционного развития титаномагнетита и ильменита, их размеров в гранулярном спектре дробленой руды, раскрытию сростаний в связи с эффективностью магнитного обогащения. Поэтому в основных операциях обогащения, учитывая сложное строение микроагрегатов титаномагнетита, физическими методами, возможно, выделить титаномагнетитовый и ильменитовый продукты. Дальнейшая переработка титаномагнетитового продукта **потребуется целенаправленного изменения фазовой и структурной неоднородности микроагрегатов с учетом уже запущенного природного процесса окисления магнетита (мартитизации)**.

3. При доказательстве **второго положения** автор использовала кристаллохимические особенности и современные методы расчета величины спинового магнитного момента в моделях катионного распределения по определенным позициям в структурах титаномагнетита и ильменита (формулы 1-2 и данные таблицы 2). Учитывая кристаллохимические и морфоструктурные особенности ильменита и магнетита, можно прогнозировать, что в процессе сепарации под воздействием внешнего магнитного поля при низких значениях напряженности будут выделяться микроагрегаты титаномагнетита паркетной структуры с относительно низкой и средней интенсивностью мартитизации. С ростом значения напряженности магнитного поля в микроагрегатах титаномагнетита будет увеличиваться ильменитовая составляющая (тонкорешетчатая структура и структура собирательной перекристаллизации) и относительная интенсивность их мартитизации. Поведение рудных микроагрегатов и нерудных минералов в магнитном поле (при разной напряженности) и эффективность магнитной сепарации изучалось, и оценивалось в продуктах гранулометрического спектра классифицированных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд во взаимосвязи их удельной магнитной восприимчивости со степенью раскрытия рудных и нерудных минеральных агрегатов разных классов крупности, неоднородностью строения микроагрегатов – эволюцией продуктов распада твердых растворов ряда ильменит-магнетит и интенсивностью процесса мартитизации магнетита (табл. 2, рис. 6-7). Это позволило определить оптимальные параметры селективной магнитной сепарации для выделения титаномагнетитового и ильменитового продуктов при обогащении руд.

4. Доказательство **третьего положения** завершает системный подход в оценке минералого-технологических особенностей переработки труднообогатимых руд месторождения. Полученные экспериментальные данные о характере раскрытия минеральных агрегатов вкрапленных руд определили возможность использования их для обоснования крупности измельчения в процессе рудоподготовки и последующего магнитного обогащения. Стало очевидно, что для завершения технологии переработки руд необходимо использовать, запущенный природой процесс окисления руд через введение операции окислительного обжига. Совместно с металлургами автором были проведены эксперименталь-

ные исследования, позволившие ей с привлечением теоретических данных диаграмм состояния вещества (Патнис, 1983; Хисина, 1987), проследить преобразования руд в процессе обжига на трех временных этапах в течение 24, 48 и 72 часов. Это удачно отражено в формулах реакций и рисунках, отражающих характер преобразования руд (3-5; рис. 8-9). По справедливому замечанию автора, оптимальным интервалом обжига является 72 часа, в течение которых происходит практически полное твердофазное превращение первичных минералов руд в более устойчивые фазы, являющиеся большей частью твердыми растворами рядов псевдобрукит - гематит и рутил-псевдобрукит. При этом следует иметь в виду, что с уменьшением крупности материала интенсивность процессов твердофазного превращения увеличивается, поэтому оптимальными классами крупности являются — 0,25+0,125 мм и - 0,125+0,071 мм.

Подводя итог по всем трем защищаемым положениям, необходимо отметить, что все они определяют суть заявленных позиций с точки зрения приведенного материала и достаточно корректно доказаны. Завершается работа кратким заключением с основными выводами. В них обозначены позиции научной новизны и практической значимости. Работа прошла хорошую апробацию, основные положения и результаты ее были представлены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях, широко опубликованы в печати — в 13 научных работах, из них: 3 статьи в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК РФ, 9 — в прочих изданиях, 1 — методические указания.

#### **Замечания по работе:**

1. Необходимо более четко и конкретно обозначить вопрос о личном вкладе автора в исследования и полученные результаты работы.

2. Желательно было бы в итоге обозначить в виде таблицы или схемы основные минералого-технологические особенности руд месторождения на этапах природного минерогенеза и техногенеза, так как они формируются в единой геолого-техногенной системе, но в различных пространственно-временных условиях.

**Общее заключение по работе.** Диссертационная работа Марии Сергеевны Колковой посвящена актуальной проблеме по оценке минералого-технологических особенностей железо-титановых труднообогатимых руд Медведевского месторождения, так как руды подобного типа являются комплексными и призваны обеспечить в минерально-сырьевой базе РФ получение высококачественных железных и титановых концентратов. Автором четко обозначены цели и задачи исследования. В единой минералого-технологической системе изучены вещественный состав руд, их текстурно-структурные характеристики, морфоструктурные особенности рудных и нерудных минералов, а также продуктов обогащения и окислительного обжига. При этом особое внимание уделено эволюционным процессам минерогенеза и техногенеза в изменчивости минералов на различных этапах в природе и технологии переработки руд. Выявлены причины трудной обогатимости руд, определившие целесообразность использования на заключительном этапе переработки окислительного обжига. Автором получены принципиально новые экспериментальные данные, доказывающие возможность направленного изменения технологических свойств рудных минералов железо-титановых руд при их окислительном обжиге как продолжение природных процессов минералообразования при техногенезе. На основе доказательства трех защищаемых положений с хорошо представленными и аргументированными фактическими материалами выявлены основные минералого-технологические особенности руд, обеспечивающие их переработку. Работа в целом носит законченный характер. Результаты работы соответствуют пунктам: 9 (технологическая минералогия, минералого-технологическое картирование и обоснование эффективной технологии переработки минерального сырья, утилизация промышленных и других отходов) и 11 (экспериментальная минералогия) паспорта специальности 25.00.05. При этом автор показала себя самостоятельным специалистом в области минералогии и обогащения руд. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Несомненно, автор работы, Колкова Мария Сергеевна, заслуживает присвоения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография.

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор,  
главный научный сотрудник минералогического отдела  
ФГБУ «ВИМС»

Пирогов Борис Иванович

20.11.2020 г.

Адрес:

119017, Москва, Старомонетный пер., д.31. ФГБУ «ВИМС»

Телефон: (495) 951-50-43

E-mail: pirogov\_bi@inbox.ru

Я, Пирогов Борис Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Б.И. Пирогова удостоверяю:

Собственноручную подпись сотрудника ФГБУ «ВИМС»  
*Пирогов Б.И.*  
удостоверяю:  
Помощник генерального директора  
ФГБУ «ВИМС» *Лесникова А.*  
*«ЛБ» 11 20 дд.*

