

На правах рукописи

Барнышева Татьяна Александровна

**ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ,
ВЛИЯЮЩИЕ НА ПЕРЕРАБОТКУ КАРБОНАТНО-СИЛИКАТНЫХ
И ОКСИДНО-СИЛИКАТНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД**

Специальность 25.00.05 – Минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского» (ФГУП «ВИМС»)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Ожогина Елена Германовна
зав. отделом ФГУП «ВИМС»

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Быховский Лев Залманович
зав. отделом ФГУП «ВИМС»

кандидат геолого-минералогических наук
Богданова Ольга Юрьевна
ведущий научный сотрудник ФГБУН
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН

Ведущая организация: Институт геологии Коми научного центра УрО РАН.

Защита состоится 26 апреля 2013 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГУП «ВИМС») по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС».

Автореферат разослан « ____ » _____ 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Луговская И.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Марганец – важнейший компонент производства в чёрной металлургии. Сегодня марганцевые руды дефицитный для России вид минерального сырья. Существует проблема зависимости отечественных металлургических предприятий от импорта марганцевых концентратов, так как в настоящий момент Российская Федерация не располагает собственными марганцевыми месторождениями, которые по масштабам и качеству сырья могли бы быть сопоставимы с месторождениями бывших советских республик. Современное состояние отечественной минерально-сырьевой базы марганца, представленной преимущественно низкокачественными труднообогатимыми рудами, в том числе рудами нетрадиционного типа (смешанными карбонатно-силикатными, оксидно-силикатными), требует создания экономически эффективных технологий их переработки.

Учитывая практику промышленного использования марганцевых руд нетрадиционного типа за рубежом (Австралия и Япония), усовершенствование методов технологической переработки и общее развитие работ по технологической минералогии в России могут способствовать переводу подобных руд отечественных месторождений в категорию дополнительного источника получения марганца. Исходя из этого, представляется весьма актуальным установить степень влияния особенностей вещественного состава руд, определяемых генезисом рассматриваемых объектов, на их качество и технологические свойства.

Цель работы. Выявление типоморфных минеральных ассоциаций марганцевых руд существенно силикатного состава и геолого-минералогических факторов, определяющих технологию их передела.

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

- Определить текстурно-структурные особенности, минеральный и химический составы карбонатно-силикатных и оксидно-силикатных марганцевых руд Утхумского и Ир-Нимийского рудопроявлений.
- Установить основные типоморфные ассоциации руд.
- Выявить и оценить технологические особенности карбонатно-силикатных и оксидно-силикатных марганцевых руд методами прикладной минералогии.
- Разработать рекомендации по определению степени раскрытия рудных минералов – силикатов и карбонатов марганца.
- Определить минералогические факторы переработки руд

Фактический материал. Объектом диссертационного исследования являлись марганцевые руды существенно силикатного состава Утхумского и Ир-Нимийского рудопроявлений. Непосредственный объект исследований – каменный материал, отобранный из горных выработок методом бороздowego опробования, из которого были сформированы технологические пробы.

Автором изучено более 200 шлифов пород и руд петрографическим и минераграфическим методами, проведены оптико-минералогический и иммерсионный анализы порядка 120 образцов продуктов обогащения с целью

определения степени раскрытия марганцевых минералов; определены физические свойства: удельная магнитная восприимчивость (д.г.-м.н. Раков Л.Т.), плотность, микротвердость минералов, отобранных в ручную с помощью бинокулярного стереоскопического микроскопа. В работе использованы более 100 рентгенографических, 30 микрорентгеноспектральных, 10 электронно-микроскопических анализов (к.г.-м.н. Чистякова Н.И., к.г.-м.н. Ожогин Д.О., Шувалова Ю.Н., Быстров И.Г.) и 20 химических анализов, выполненных в аналитическом отделе ВИМСа.

Научная новизна.

- Проведено сравнение состава и строения марганцевых руд нетрадиционных типов существенно силикатного состава Утхумского и Ир-Нимийского рудопроявлений, определяющих особенности их типоморфизма.

- Впервые выявлены типоморфные минеральные ассоциации марганцевых руд Утхумского и Ир-Нимийского рудопроявлений, представленные различными изоморфными рядами силикатов и карбонатов марганца, определяющие качество руд.

- Впервые в марганцевых рудах Утхумского рудопроявления идентифицированы минералы: куприт и самородная медь, пиросмадит, пирофанит, алабандин, полидимит, галенит, молибденит, монацит; в рудах Ир-Нимийского рудопроявления установлены минералы: бементит, барит, альстонит, линнеит и джайпурит, которые могут рассматриваться как потенциально промышленные минералы, определяющие комплексность руд.

- В оксидных рудах Ир-Нимийского рудопроявления выявлена типоморфная минеральная ассоциация литиофорит-кимрит, определяющая голубую окраску минеральных агрегатов.

- Установлены минералогические факторы, обусловленные процессами рудогенеза и гипергенеза, влияющие на переработку марганцевых руд существенно силикатного состава.

Практическая значимость

- Разработана и апробирована методика определения степени раскрытия прозрачных марганцевых минералов на основании различия их оптических свойств.

- Выявлены минералогические факторы, определяющие технологические особенности существенно силикатных марганцевых руд и позволяющие прогнозировать способы, методы их переработки и качество ожидаемых продуктов.

- Достоверная информация о составе и строении руд, полученная при минералогическом изучении, использована при разработке технологий их переработки.

Методы исследования. Минералого-аналитические исследования проводились в минералогическом и аналитическом отделах ФГУП «ВИМС» в соответствии с нормативно-методическими документами Научных советов по минералогическим и аналитическим методам исследования (НСОММИ и НСАМ). Использовались следующие методы исследования:

▪ *оптическая микроскопия* (петрографический, минераграфический и оптико-минералогический анализы) для изучения минерального состава и текстурно-структурных особенностей руд и вмещающих пород, а также степени раскрытия минералов. Аппаратура: поляризационные микроскопы ПОЛАМ И-411 (ЛОМО, Россия), «Optifot-Pol», Olympus BX51-DIC (Япония), микроскопы бинокулярные стереоскопические МБС-9, МБС-10 (ЛОМО, Россия);

▪ *рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА)* для количественной оценки содержания минералов в рудах, определения параметров элементарной ячейки рудных минералов. Аппаратура: рентгеновский дифрактометр X'Pert PRO (PANalytical, Голландия);

▪ *микрорентгеноспектральный анализ (МРСА)* для определения элементного состава минералов и особенностей распределения в них примесей по площади выделений. Аппаратура: электронно-зондовый анализатор JEOL JXA-8100 (Япония);

▪ *растровая электронная микроскопия (РЭМ)* для изучения микростроения рудных минералов и определения их элементного состава. Аппаратура: растровый электронный микроскоп Tesla BS 301 (Словения), оснащенный рентгеновским спектрометром с дисперсией по энергии;

▪ *методы определения физических свойств минералов:*

– *микровдавливания* для определения микротвердости минералов на полуавтоматическом микротвердомере ПМТ-3М (ЛОМО, Россия);

– *объемометрический* для измерения плотности рудных и порообразующих минералов на микрообъемометрической установке с использованием ультрамикровесов «Сарториус» и барометрических капилляров;

– *магнитометрии* для измерения магнитной восприимчивости горных пород и ее анизотропии – установка Carrabridge KLY-2.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались: на 4-ой Международной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, 2007), научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов «Актуальные проблемы геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых» (Москва, 2008, 2009), на Межвузовской научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодые – наукам о Земле» и на IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2008, 2009), на научной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения академика Ф.В. Чухрова (Москва, 2008), на Международном совещании «Плаксинские чтения-2010» (Казань, 2010), на VII Российском семинаре по технологической минералогии «Прогнозная оценка технологических свойств полезных ископаемых методами прикладной минералогии» (Москва, 2012). Результаты исследований включены в конкурсную работу коллектива авторов, отмеченную премией Российского геологического общества и Федерального агентства по недропользованию МПР России в номинации «Повышение инвестиционной привлекательности объектов недропользования». По теме диссертации опубликовано 12 работ, в

том числе три статьи в реферируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы (106 наименований). Общий объем работы 153 страницы, в том числе 48 рисунков и 44 таблицы. Во *введении* обоснована актуальность работы, обозначены цели, задачи, показана научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, сформулированы защищаемые положения. В *первой главе* приводятся общие сведения о геолого-структурной позиции марганцевых месторождений, существующих промышленных типах марганцевых руд и их минералогии. Во *второй главе* рассмотрено влияние условий образования, в частности регионального и контактового метаморфизма, на формирование марганцевых руд Утхумского и Ир-Нимийского проявлений, на основании чего определены их качественные характеристики. В *третьей главе* приведены результаты комплексного минералогического изучения марганцевых руд Утхумского и Ир-Нимийского рудопроявлений, определяющие технологию их переработки. *Четвертая глава* посвящена разработке и апробации методики определения степени раскрытия прозрачных рудных минералов в продуктах обогащения карбонатно-силикатных и оксидно-силикатных марганцевых руд. В *заключении* перечислены основные научные и практические результаты работы.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук Е.Г.Ожогойной, доктору геолого-минералогических наук В.И.Кузьмину и доктору геолого-минералогических наук, профессору Б.И.Пирогову за их постоянное внимание, помощь в создании работы и поддержку. За ценные консультации и замечания автор благодарит кандидата химических наук С.И.Ануфриеву; кандидатов технических наук Е.С.Броницкую и Н.Д.Тютюнник; кандидатов геолого-минералогических наук Е.В.Ершову, Н.И.Чистякову; за помощь в работе и доброжелательность автор признателен Ю.Н.Шуваловой, Н.Н.Кривощекову, В.Н.Соколовой, В.А.Рассулову, Ю.М.Астаховой, И.Г.Быстрову, кандидату географических наук Н.И.Орловой, кандидатам геолого-минералогических наук Н.Г.Беляевской, С.В.Соколову, В.В.Морошкину.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Рассматриваемые рудные объекты – Утхумское рудопроявление, расположенное в Восточных Саянах (Иркутская область), и Ир-Нимийское рудопроявление – на Дальнем Востоке (Хабаровский край).

В строении Утхумского рудопроявления участвуют регионально метаморфизованные карбонатно-терригенные породы утхумской свиты верхнего протерозоя (?). Сложена свита биотит-амфиболовыми, гранат-эпидот-амфиболовыми, гранат-биотитовыми сланцами с горизонтами карбонатно-силикатных и существенно силикатных марганцевых руд и прослоями

карбонатизированных сланцев и известняков. Отложения утхумской свиты прорваны габброидами и гранитоидами палеозойского (кембрийского?) возраста.

Ир-Нимийское проявление приурочено к эффузивно-кремнистым марганценосным отложениям верхнекембрийского возраста. Основное марганцевое оруденение, представленное оксидно-силикатными и окисленными рудами, окисленными кварцитами, реже карбонатно-силикатными и силикатными марганцевыми рудами, локализуется среди пестроокрашенных яшм, кремнистых и глинисто-кремнистых сланцев, залегающих в эффузивно-кремнистой толще вблизи ее границы с толщей известняков и микрокварцитов.

Утхумское и Ир-Нимийское рудопроявления небольшие по масштабам, представлены линзо- и пластообразными рудными залежами, образующими несколько марганценосных горизонтов протяженностью 2-3 км и более. Мощность рудных тел обычно варьирует в пределах 2-6 м, достигая 15 м – на Утхумском рудопроявлении и 18-20 м – на Ир-Нимийском. Прогнозные ресурсы марганцевых руд при условии отработки на глубину 200 м оценивались в 40 млн. т. для Утхумского рудопроявления [Столяров и др., 2009], и в 14,2 млн. т. для Ир-Нимийского [Кателла и др., 2009], при средних содержаниях марганца на рудопроявлениях около 23%.

Марганцевые руды обоих проявлений сформировались в процессе нескольких этапов преобразований: седиментогенеза и диагенеза, регионального, контактового метаморфизма, сопровождавшихся метасоматозом и воздействием гидротерм; гипергенеза (табл. 1).

Региональный метаморфизм утхумских марганцевых руд и вмещающих пород неоднороден (отмечается постепенное понижение от фации альмандиновых амфиболитов до средне-низкотемпературной ступени фации зелёных сланцев). Степень регионального метаморфизма пород Ир-Нимийской площади соответствует зеленосланцевой фации низкотемпературной ступени, в этих условиях происходили преобразования руд, их перекристаллизация и незначительное переотложение рудного вещества.

Фации контактово-метаморфизованных пород, связанные с интрузиями гранитоидов, габброидов и диабазов, широко представлены на Утхумском рудопроявлении. На Ир-Нимийском рудопроявлении развиты в основном регионально-метаморфизованные породы; контактовый метаморфизм проявился локально, в связи с ослабленными тектоническими зонами, по которым внедрялись дайки основного состава.

В соответствии с этим, степень преобразования руд под воздействием факторов регионального и контактового метаморфизма на рудопроявлениях неодинакова.

Метасоматические и гидротермальные преобразования, проявились в виде окварцевания, карбонатизации и сульфидизации.

На конечной стадии руды в разной степени подверглись гипергенезу, роль которого на Утхумском рудопроявлении незначительна, тогда как на Ир-Нимийском проявлении с ним связано формирование вторичных (окисленных) оксидно-силикатных руд.

Таблица 1

Геолого-генетическая характеристика рудопроявлений*

Рудопроявление	Угхумское	Ир-Нимийское
Металлогенетическая зона	Восточно-Саянская	Удско-Шантарская
Генезис	Вулканогенно-осадочный	
Возраст вмещающих пород	PR ₃	C ₂₋₃
Породы, вмещающие оруденение	Амфиболиты, кремнистые сланцы	Яшмы, кремнистые и глинисто-кремнистые сланцы
Протолит	Карбонатные породы, обогащенные марганцем; эффузивы основного состава	Кремнистые породы, обогащенные марганцем; эффузивы основного состава
<i>Этапы рудообразования:</i>		
• Седиментогенез и диагенез	+	+
• Региональный метаморфизм	Амфиболитовая фация	Зеленосланцевая фация
• Контактный метаморфизм	+ Внедрение палеозойских интрузий: - габброидов, гранитоидов, диабазов, пироксенитов	+ – - габбро-диабазов, габбро-диоритов
• Метасоматоз и гидротермальные процессы	Окварцевание, карбонатизация, сульфидизация	
Типы руд	- карбонатно-силикатные - силикатные - оксидно-карбонатно-силикатные	- оксидно-силикатные - оксидно-карбонатно-силикатные - силикатно-оксидные
Полезные компоненты	MnO 26,8% MnO ₂ <0,1%	MnO 21,5% MnO ₂ 27,13%
Компоненты-примеси	SiO ₂ 42,3%; Fe _{общ} 8,7%; P ₂ O ₅ 0,32%; S _{общ} <0,1%	SiO ₂ 55,0%; Fe _{общ} 0,5%; P ₂ O ₅ <0,02%; S _{общ} <0,1%
Элементы-примеси	Cu 0,007%; Ni 0,006%; Co 0,002%	Cu 0,009%; Ni 0,018%; Co 0,025%

* Составлена по материалам Огорокова В.Г. (1969), Роганова Г.В. (1977), Кулиш Л.И., Кулиш Е.А. (1974) с дополнениями автора.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

1. Метаморфические и гипергенные процессы, которым подверглись исходные обогащённые марганцем вулканогенно-осадочные породы Утхумского и Ир-Нимийского рудопроявлений, определили формирование типоморфных минеральных ассоциаций руд, представленных минералами с переменным содержанием Mn, Fe, Mg: силикатами – группы оливина, граната, пироксеноидов, и карбонатами – группы кальцита и доломита, а также оксидами и гидроксидами марганца.

Метаморфизм марганцевистых известковых, обогащённых органикой, осадков обусловил формирование руд карбонатно-силикатного состава Утхумского проявления. Метаморфизм осадков существенно кремнистого состава и последующий гипергенез, обусловили на Ир-Нимийском проявлении образование руд оксидно-силикатного состава.

В марганцевых рудах смешанного состава в зависимости от ведущего типа метаморфизма выделены текстурно-структурные типы и типоморфные минеральные ассоциации (табл. 2). Собственно развитие главных типов и минеральных разновидностей руд Утхумского и Ир-Нимийского проявлений, обусловлено формированием устойчивых минеральных ассоциаций и их изменением в результате гипергенеза.

В типоморфную минеральную ассоциацию регионально-метаморфизованных карбонатно-силикатных марганцевых руд входят: карбонаты ряда кальцит-родохрозит и родонит. Наложение на регионально-метаморфизованные руды вторичных (гипергенных) процессов обусловили формирование на Ир-Нимийском проявлении руд оксидно-силикатного типа – псиломелан-родохрозит-родонитовых. На Утхумском рудопроявлении оксидно-силикатные руды находятся в резко подчинённом количестве.

В типоморфную минеральную ассоциацию контактово-метаморфизованных карбонатно-силикатных марганцевых руд входят: пироксеноиды, представленные полисоматическими сериями родонита, бустамита и пироксмангита, железо-марганцевые оливины изоморфного ряда тефроит-марганцевый фаялит, гранат – спессартин, железо-марганцевые карбонаты изоморфных серий группы кальцита – манганокальцит-родохрозит и доломита – мангано-доломит-кутнагорит. Контактново-метаморфизованные марганцевые руды пёстрого состава представляют главный тип руд на Утхумском проявлении, в то время как на Ир-Нимийском рудопроявлении они проявлены локально и выделены в качестве разновидностей.

Перечисленные рудные минералы являются устойчивыми в ассоциации друг с другом и другими (акцессорными) минералами-индикаторами условий формирования проявлений вне зависимости от локализации рудных районов и геологического возраста оруденения.

Минеральные разновидности руд и их морфоструктурный состав в зависимости от ведущего типа метаморфизма

Тип метаморфизма	Фашии метаморфизма	Минеральные разновидности руды	Текстура	Структура	Минеральные ассоциации*	Аксессорные минералы	Проявление
Региональный	Зелёных сланцев	Родохрозит-родонитовые руды (гипергенные псиломелан-родохрозит-родонитовые руды)	- пятнистая - прожилково-вкрапленная	- скрытокристаллическая; - гетеробластовая; - грануляционная; - коррозийная	Псиломелан – манганокальцит – родохрозит – родонит	Кимрит, альстонит, барит, линнеит, джайгурит	Ир-Ниниское
Региональный	Эпидот-амфиболитовая	Манганокальцит-родонитовые руды	- массивная	- скрытокристаллическая до мелкокристаллической; - гетеробластовая - коррозийная	Псиломелан – спессартин – родохрозит – манганокальцит – родонит	Пирит	Утхумское
Контактный**	Альбит-эпидотовых роговиков	Тефроит-родонитовые руды с родохрозитом	- пятнистая	- от мелко- до среднекристаллической; - гранобластовая; - катакластическая	Спессартин– бементит – родохрозит – тефроит – родонит – пироксмангит – бустамит	Алабадин, линнеит, джайгурит, пирит, пирротин	Ир-Ниниское
Контактный	Амфиболовых (до пироксеновых) роговиков	Кутнагорит-спессартин-пикротефроит-родонитовые руды с родохрозитом	- пятнистая - тахситовая	- от мелко- до среднекристаллической; - гранобластовая; - гипидиобластовая; - пойкилобластовая; - катакластическая	Родохрозит – манганокальцит – кутнагорит – спессартин – пикротефроит – родонит – пироксмангит – бустамит – пиросмалит – пирофанит	Алабадин, полидимит, пирит, пирротин, (молибденит, галенит – гидротермальные)	Утхумское

* – жирным шрифтом указаны главные рудные минералы,

** – влияние на генезис руд ранее не рассматривалось.

Таким образом, типоморфными минеральными ассоциациями, характерными для карбонатно-силикатных и оксидно-силикатных марганцевых руд Утхумского проявления являются:

кутнагорит – спессартин – пикротефроит – родонит,
псиломелан – манганокальцит – родонит;

Ир-Нимийского рудопроявления:

родохрозит – псиломелан – родонит,
родохрозит – бементит – тефроит – родонит.

2. Основные факторы, влияющие на переработку карбонатно-силикатных и оксидно-силикатных марганцевых руд: сложное сочетание пятнистых, прожилково-вкрапленных текстур и мелко-скрытокристаллических структур, переменное количество марганцевых минералов и неравномерное распределение в них марганца, высокие содержания примесей (кремнезём, железо и фосфор), контрастность физических свойств рудообразующих минералов, обусловлены характером и глубиной процессов метаморфизма, сопровождавшихся микротектоническими проявлениями (трещиноватость, блочность, катаклиз и др.), и гипергенеза.

Качество смешанных марганцевых руд во многом определено составом первичных марганецсодержащих пород и интенсивностью их преобразований, полигенностью руд и проявлением процессов пострудного метаморфизма, усложняющими характеристики минерального состава.

Факторы регионального метаморфизма обуславливают формирование карбонатно-силикатных разновидностей руд, характеризующихся скрытокристаллическим (реже мелкокристаллическим) строением и массивными текстурами. Впоследствии, под влиянием гипергенных процессов в рудах получили развитие прожилково-вкрапленные текстуры и коррозионные структуры (рис. 1).

Факторы контактового метаморфизма обуславливают изменение и усложнение минерального состава руд, увеличение зернистости минеральных фаз и развитие пятнистых и полосчатых текстур (рис. 2).

В целом, формирование руд проходило за счёт бластогенеза, облик руд изменялся под действием пострудных процессов катаклазирования и вторичных замещений. Термодинамическими условиями обусловлено проявление изоморфизма в структуре рудных минералов, что послужило широкому развитию непрерывных и дискретных изоморфных рядов силикатов и карбонатов марганца в утхумских рудах и достаточно ограниченным дискретным изоморфным рядам марганцевых минералов в ир-нимийских рудах.

В таблице 3 приведены минеральные составы карбонатно-силикатных руд Утхумского и Ир-Нимийского проявлений. Одной из главных особенностей руд является наличие сложных минеральных комплексов, в частности изоэлементных групп силикатов и карбонатов. Изоморфизм в структуре минералов, в зависимости от интенсивности проявления

УТХУМСКОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ



Манганокальцит-родонитовая руда



Пироксмангит-родонитовая руда

ИР-НИМИЙСКОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ



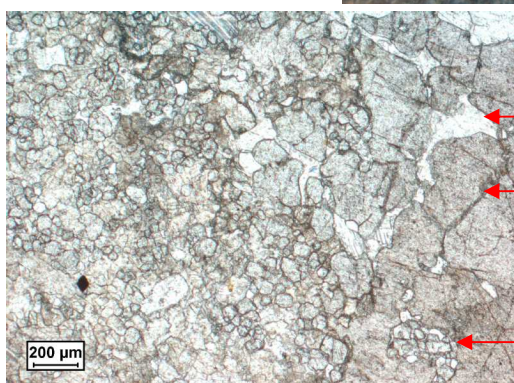
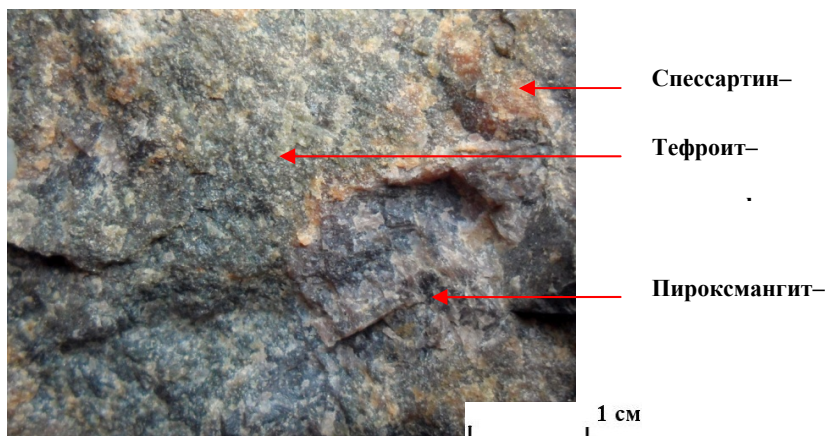
Родохрозит-псиломелан-родонитовая руда



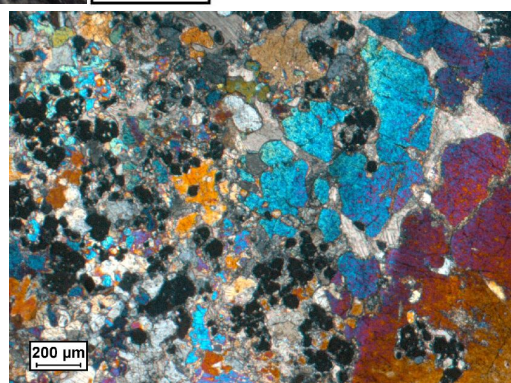
Рис. 1. Пятнистые, массивные и прожилково-вкрапленные регионально-метаморфизованные марганцевые руды скрытокристаллического строения

УТХУМСКОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ

Кутнагорит-спессартин-родонитовая руда с родохрозитом



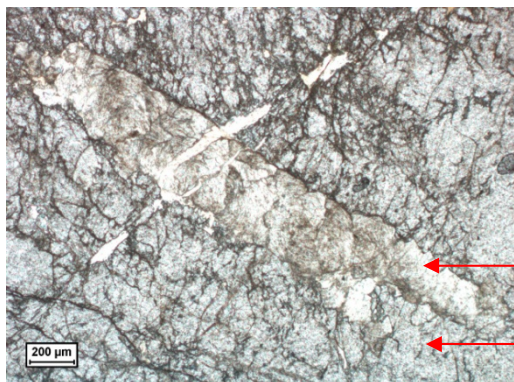
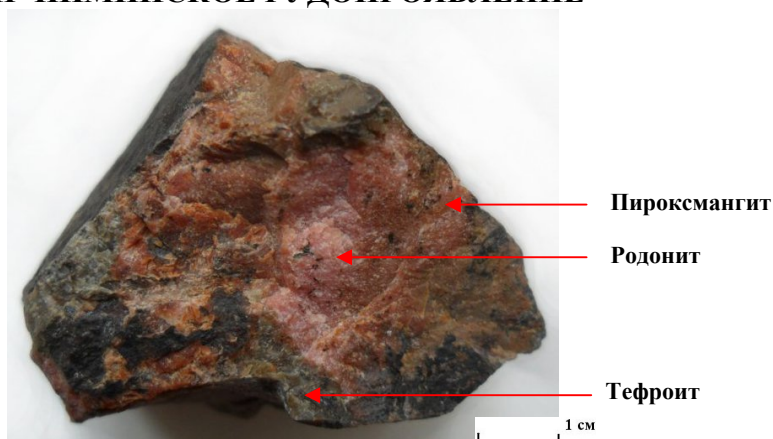
Николи II



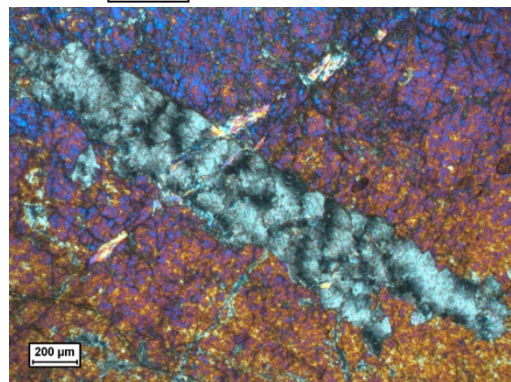
Николи ×

ИР-НИМИЙСКОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ

Тефroit-родонитовая руда с родохрозитом



Николи II



Николи ×

Рис. 2. Пятнистые контактово-метаморфизованные марганцевые руды мелко- и среднекристаллического строения

метаморфизма, в одном случае представлен широким рядом минеральных видов и разновидностей, как на Утхумском рудопроявлении, в другом – не более чем двумя-тремя минералами в каждой серии твердых растворов, что мы наблюдаем на Ир-Нимийском проявлении.

Этим объясняется различное содержание марганца в рудных минералах. При изовалентном изоморфизме в структуре рудных минералов Утхумского проявления, уровень метаморфизма руд на котором достигает амфиболитовой фации, Mn активно замещается Ca, Fe, Mg. При низкотемпературном метаморфизме изоморфная смесимость в твёрдых растворах менее проявлена. Поэтому на Ир-Нимийском рудопроявлении содержание марганца в рудных минералах в сравнении с утхумскими рудами выше.

Соотношение в рудах карбонатов и силикатов марганца, их фосфористость зависят главным образом от количества биогенного материала в исходных осадках. Формирование карбонатной и фосфатной составляющих утхумских руд связано с перекристаллизацией известковых осадков, состоящих из органических соединений, углекислых кальция и фосфора; в ир-нимийских рудах, в которых исходные марганцевистые породы имели существенно кремнистый состав, их недостаток обусловил низкую фосфористость и небольшие содержания рудных карбонатов.

Таким образом, метаморфические преобразования исходных марганецсодержащих пород, сопровождавшиеся микротектоническими проявлениями (трещиноватость, блочность, катаклиз и др.) и гипергенезом, обусловили минералогические особенности, влияющие на переработку существенно силикатных марганцевых руд:

1. сложные текстурно-структурные особенности руд: сочетание пятнистых, прожилково-вкрапленных, мелко-скрытокристаллических и катакластических структур, обуславливающие крупность измельчения руд и раскрытие минералов;

2. химический состав руд, характеризующий их высокую кремнистость, а для утхумских руд также железистость и фосфористость, при невысоком содержании марганца, предполагает повышенные содержания в концентратах лимитируемых примесей (кремнезём, железо, фосфор), что влияет на качество продуктов переработки;

3. переменное количество марганцевых минералов в связи с природными особенностями руд: пестротой состава и тесных сростаний силикатов и карбонатов марганца;

4. неравномерное распределение марганца по минералам – содержание полезного компонента в рудных силикатах и карбонатах в связи с изоморфными замещениями колеблется в широких пределах;

5. силикаты марганца различных групп обладают близкими физическими свойствами (микротвёрдостью, хрупкостью, пластичностью), однако по механическим свойствам карбонаты и силикаты, образующие полиминеральные агрегаты, значительно отличаются, и в этой связи вероятны потери марганца в хвостах за счёт переизмельчения рудных карбонатов.

Сравнительная минералогическая характеристика карбонатно-силикатных руд
Утхумского и Ир-Нимийского марганцевых проявлений

	Утхумское	Ир-Нимийское
Типы руд	Карбонатно-силикатные, силикатные, оксидно-карбонатно-силикатные	Карбонатно-силикатные, силикатные, оксидно-карбонатно-силикатные, силикатно-оксидные
Текстура руд	Пятнистая, массивная, прожилково-вкрапленная, полосчатая и тонкополосчатая	Пятнистая, прожилково-вкрапленная, реже массивная
Структура руд	<i>по гранулярному составу</i>	
	мелко-, среднекристаллическая до скрытокристаллической	скрытокристаллическая, реже мелко-, среднекристаллическая
	<i>по морфологии зёрен:</i>	
	-гипидиобластовая; -гранобластовая; -гранолепидобластовая; -пойкилобластовая; -катакластическая; -коррозионная	-гетеробластовая; -гранобластовая; -грануляционная; -колломорфная; -катакластическая; -коррозионная
Минеральный состав	<i>Изоморфные серии в карбонатах</i>	
Рудные минералы ♦ карбонаты	Манганокальцит-родохрозит-олигонит	Манганокальцит-родохрозит
	Манганоделомит-кутнагорит-анкерит	Манганоделомит
♦ силикаты	<i>Изоморфные серии в оливинах</i>	
	Тефроит-пикротефроит-кнебелит	Тефроит-кнебелит
	<i>Полисоматические серии пироксеноидов</i>	
	Родонит Пироксмангит Бустамит	Родонит Пироксмангит Бустамит
	<i>Алюмосиликаты: группа граната</i>	
	Спессартин	Спессартин
♦ сложные оксиды	<i>Силикаты с хлор-гидроксильной группой</i>	
	Пиросмалит	Бементит
	<i>Группа ильменита</i>	
	Пирофанит	-
	<i>Оксиды и гидроксиды марганца</i>	
	Псиломелан, вернадит, тодорокит	Псиломелан, вернадит, нсутит, тодорокит, рансьеит, браунит, пиролюзит, рамделлит
Породообразующие минералы	Кварц Слюды: биотит, мусковит Пироксен: Mn-содерж. диопсид Амфиболы: роговая обманка, манганкуммингтонит Хлорит Гиалофан, микроклин	Кварц Слюды: биотит, мусковит (серицит) Пироксен: Mn-содерж. диопсид Амфиболы: роговая обманка, манганрихтерит, глаукофан Хлорит
Акцессорные минералы	<i>Сульфидная минерализация</i>	
	Алабандин Полидимит (гр. линнеита) Пирит, пирротин, Галенит, молибденит	Алабандин Линнеит, джайпурит (гр. линнеита) Пирит, пирротин,
	<i>Прочие</i>	
	Куприт, самородная медь, сфен, апатит, монацит, циркон, гетит	Самородная медь, азурит, малахит, кимрит, барит, альстонит, гетит

Установленные минералогические факторы позволяют прогнозировать, что обогащение карбонатно-силикатных руд, механическими методами малоэффективно в связи с образованием при дроблении и измельчении агрегатов, характеризующихся сложными типами срастания минералов. Преобладание в рудах силикатов с повышенным содержанием марганца, гетерогенные поверхности их зёрен благоприятны для выщелачивания.

Оксидно-карбонатно-силикатные и оксидно-силикатные руды более благоприятны для обогащения, что обусловлено высокой степенью контрастности руд по гравитационным свойствам за счёт присутствия в рудах оксидов и частично карбонатов марганца (рудная карбонатно-оксидная фаза) и кварца, являющегося главным породообразующим минералом (нерудная силикатная фаза).

При отсутствии возможности получения карбонатного концентрата из руд, карбонатно-силикатный продукт непосредственно поступает на химико-металлургический передел. При наличии в рудах оксидов и частично карбонатов марганца появляется возможность комбинировать методы механического обогащения и химико-металлургический передел.

На схеме (рис. 3) приведены наиболее значимые геолого-минералогические факторы, определяющие в совокупности выбор методов переработки смешанных марганцевых руд.

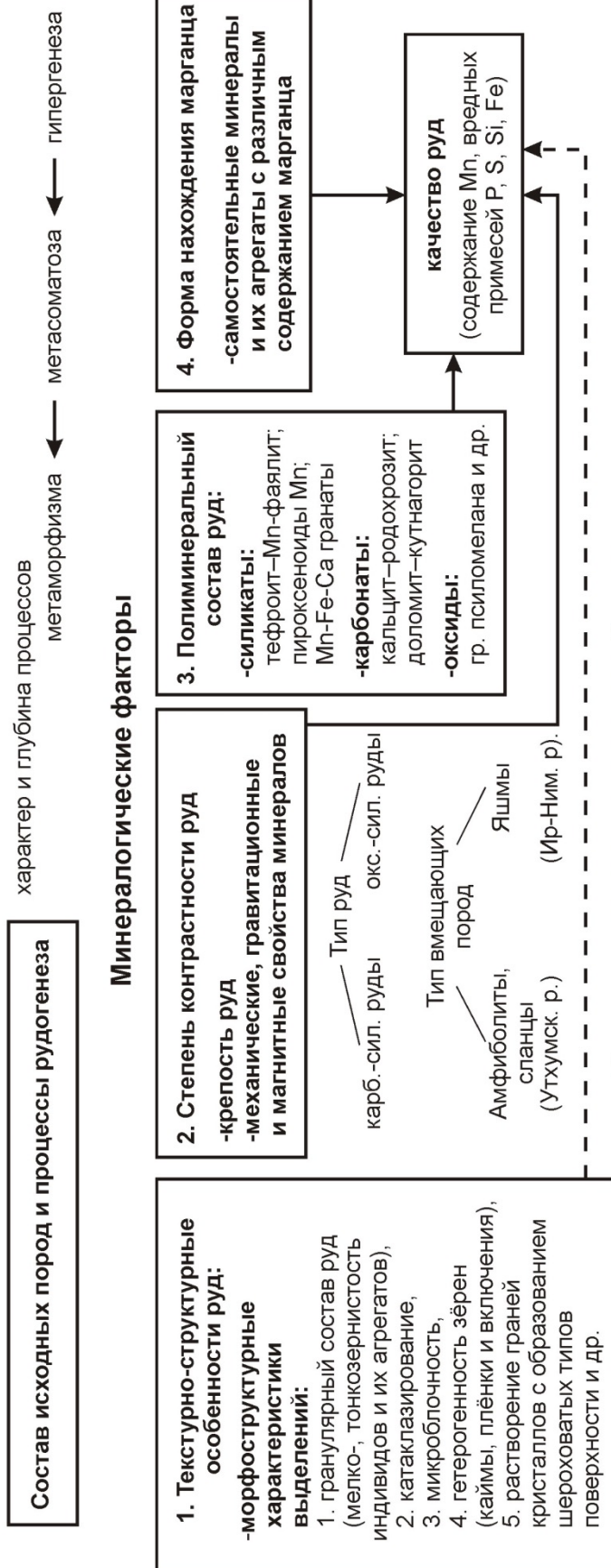
3. Разработана методика определения степени раскрытия марганцевых силикатных и карбонатных минералов в иммерсионных препаратах, позволяющая на основании различия их оптических свойств оценивать раскрываемость в продуктах обогащения руд.

Главной особенностью карбонатно-силикатных, оксидно-силикатных марганцевых руд является то, что в отличие от легкообогатимых оксидных руд, сложены они преимущественно прозрачными рудными минералами, характеризующимися близкими свойствами. Руды отличаются сложными взаимоотношениями минералов, что затрудняет проведение прикладных минералогических исследований и выбор оптимального комплекса методов исследования, позволяющего получить максимально полную информацию об их минеральном составе. Изучение степени раскрытия минералов в продуктах обогащения потребовало нового подхода, заключающегося в применении комплекса физических методов, в котором ведущим явился иммерсионный анализ.

Изучение минерального состава руд, морфометрических характеристик (определение гранулярного состава, типов срастаний) проводились главным образом в иммерсионных препаратах. Специфика руд такова, что при подсчёте раскрытия минералов, применение одного оптико-минералогического метода недостаточно.

Иммерсионный метод использовался для определения минерального состава продуктов обогащения руд Утхумского рудопроявления, как в целом фракций руды, так и присутствующих в них полиминеральных сростков. В отдельных случаях для определения состава материала мелких классов и шламов привлекался рентгенографический анализ.

Геологические факторы



Влияние на технологию переработки руд

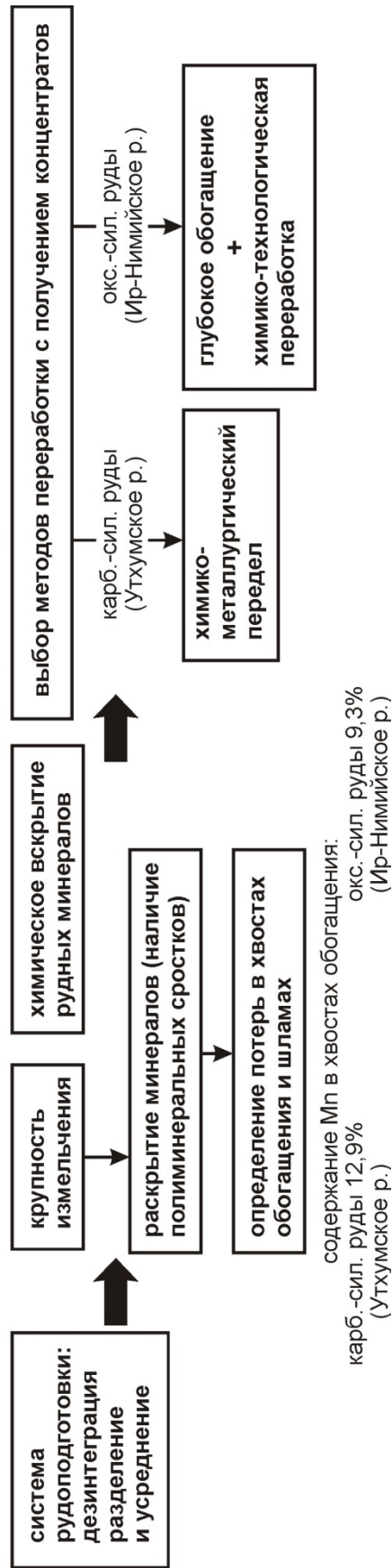


Рис. 3. Геолого-минералогические факторы, определяющие технологию переработки карбонатно-силикатных и оксидно-силикатных марганцевых руд

Рудные сростки силикатов марганца представляют собой массивные агрегаты тесно ассоциирующих минералов – весьма прочные и плотные образования с шероховатой поверхностью, сформированные, главным образом, пироксеноидами, марганцевыми оливинами и спессартином. Родонит и пироксмангит, являясь членами полисоматического ряда пироксеноидов, часто образуют взаимные сростания, в которых установить истинные границы зёрен невозможно (рис. 4).

Рудные сростки карбонатов с силикатами представлены родохрозитом и спессартином, либо родохрозитом и марганцевыми оливинами (рис 5). Ассоциация родохрозита с гранатом переходит в ассоциацию пироксмангита с гранатом, далее состав усложняется за счёт вхождения в агрегаты других минералов. Этим обусловлен один из основных минералогических признаков смешанных руд, влияющих на обогатимость, — полиминеральность.

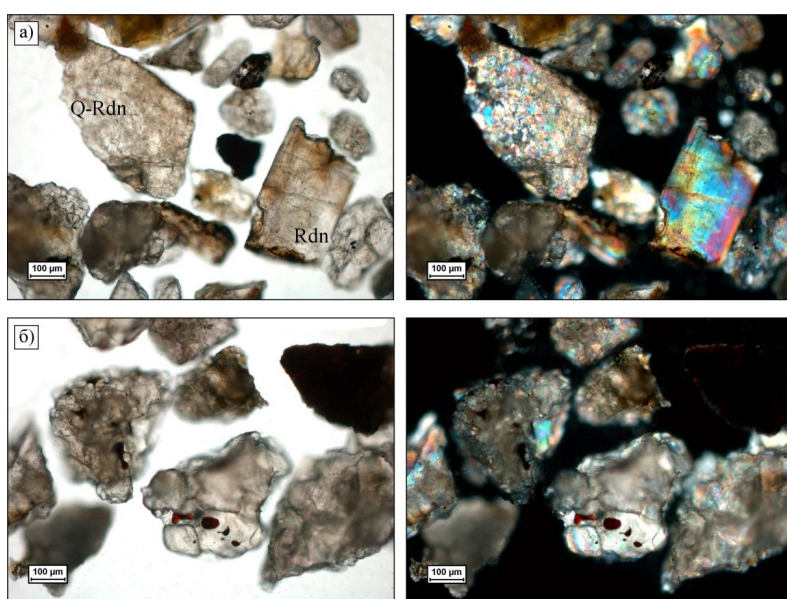
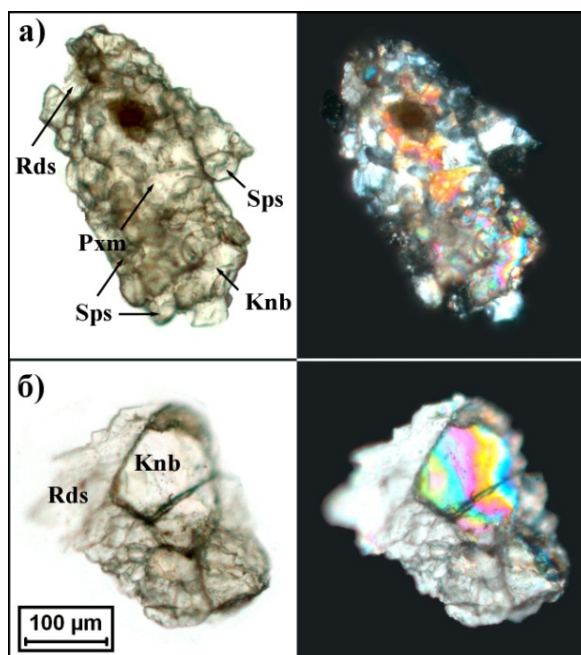


Рис. 4. Материал дроблёной руды, класс $-0,315+0,1$ мм: а) сплошной кремнистый агрегат кварц-родонитового состава (Q-Rdn) и обломок кристалла родонита (Rdn); б) агрегаты зерен железо-марганцевых оливинов. В прямом и поляризованном свете

Рис. 5. Агрегаты рудных минералов (Rds – родохрозит; Sps –спессартин; Pxm – пироксмангит; Knb – кнебелит): а) существенно силикатный сросток; б) силикатно-карбонатный сросток. В прямом и поляризованном свете



Те же методические подходы использовались для определения минерального состава продуктов обогащения руд Ир-Нимийского рудопрооявления. Изучение состава сростков в иммерсионных препаратах, позволило, работая с более объёмными фракциями, уверенно использовать оптико-минералогический анализ для исследования характера распределения сростков в продуктах обогащения. Вместе с тем, иммерсионный анализ выполнялся для контроля состава сростков, а также в тех случаях, когда диагностика минералов и их количество в сростках были неоднозначны. На гистограмме (рис. 6) отражено содержание минералов в сростках различного типа и одновременно распределение их в классах крупности руды. В таблице 4 даны содержания каждого минерала в зависимости от выхода.

На рисунке 7 представлена диаграмма коэффициентов раскрытия (Кр) классов крупности от 1 до 0,07 мм. Наложение линий коэффициентов раскрытия рудной и нерудной фаз показывает, что разделения рудных и пороодообразующих минералов в классах ситового анализа не происходит.

Изучение минерального состава фракций показывает, что содержание рудных минералов в них повышается в материале более мелких классов крупности в соответствии со степенью раскрытия. Следовательно, характер распределения минералов по фракциям, предопределяет получение черного гравитационного концентрата при значительном содержании пороодообразующих минералов, что требует дополнительных методов обогащения.

На рисунке 8 представлены диаграммы коэффициентов раскрытия (Кр) фракционированного по плотности материала. В процессе гравитационного обогащения степень раскрываемости рудных минералов значительно увеличивается. Коэффициенты раскрытия рудной и нерудной фаз для лёгких и тяжёлых фракций, показывают эффективность разделения рудных и пороодообразующих минералов в классах крупности гравитационного анализа.

Комплексирование иммерсионного и оптико-минералогического методов позволило по оптическим свойствам диагностировать прозрачные минералы, оценить их содержания, как в свободных зёрнах, так и в сростках, определить характер распределения сростков в различных продуктах обогащения руд и степень раскрытия прозрачных минералов (карбонатов и силикатов марганца), что в свою очередь определяет эффективность технологических процессов и позволяет прогнозировать качество продуктов обогащения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимость обратиться к рудам нетрадиционного типа (смешанным карбонатно-силикатным и оксидно-силикатным) обусловлена проблемой дефицита марганца в России, в связи с отсутствием в стране месторождений высококачественных марганцевых руд. Основные перспективы развития отечественной марганцеворудной базы связаны с созданием новых высокоэффективных технологий переработки труднообогатимого и нетрадиционного типа марганцевого сырья известных месторождений

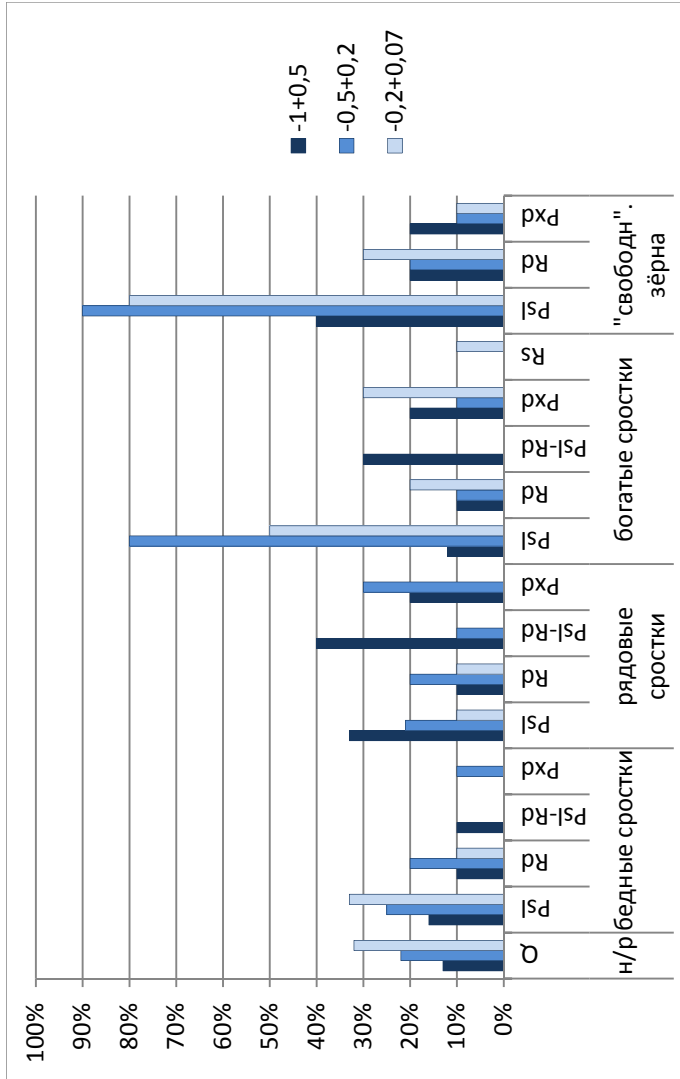


Рис. 6. Характер распределения сростков в руде, дробленной до -1 mm

Таблица 4

Минеральный состав сростков в руде дробленной до -1 mm

Кл. крупн., мм	Типы сростков →	н/р	бедные сростки			рядовые сростки			богатые сростки				«свободн.» зёрна				Сумма, отн. %		
			Q	Oxd	Rd	Oxd-Rd	Pxd	Psl	Rd	Psl-Rd	Pxd	Psl	Rd	Rs	Psl	Rd		Pxd	
-1+0,5	Выход, %	34,92	4,5	5,6	0,3	-	11,5	0,3	1,4	0,7	4,2	0,3	1,0	0,7	-	1,4	0,7	0,7	33,9
-0,5+0,2		18,97	4,2	4,7	0,4	-	4,0	0,4	0,2	0,6	1,5	0,2	-	0,2	-	1,7	0,4	0,2	18,8
-0,2+0,07		13,74	4,4	4,5	0,1	-	1,4	0,1	-	-	0,7	0,3	-	0,4	0,1	1,1	0,4	0,1	13,7
-0,074+0,044		6,32	Q – 3,2; Psl – 0,6; Rs – 0,7; Rd – 0,3; Pxd – 0,3; Px – 0,5; Ran – 0,1; Sps – 0,1(?)															5,5	
-0,044+0		26,05	Q – 15,6; Psl – 2,6; Rs – 1,6; Px – 1,3; Ran – 0,3; Sps – 0,3(?)															21,7	
Итого:		100,0																93,6	

Примечание: Q – кварц, Oxd – оксиды марганца, Rd – родонит, Pxd – пироксеноиды, Psl – псилломелан, Rs – родохрозит, Ran – рансьеит, Sps – сплессартин, Px – пироксен.

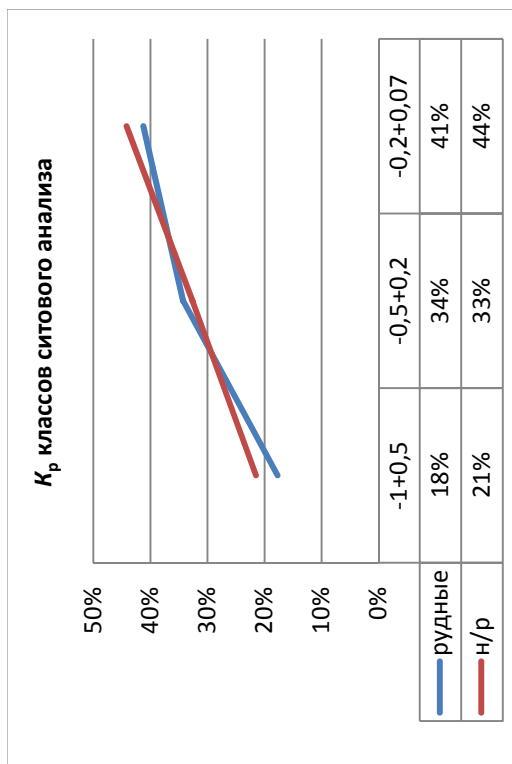


Рис. 7. Диаграмма коэффициентов раскрытия (К_p) рудной и нерудной фаз в руде дробленой до -1 мм

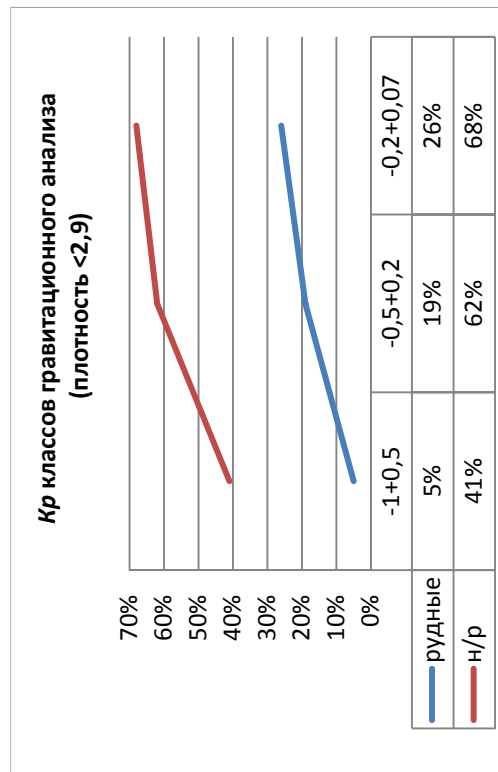
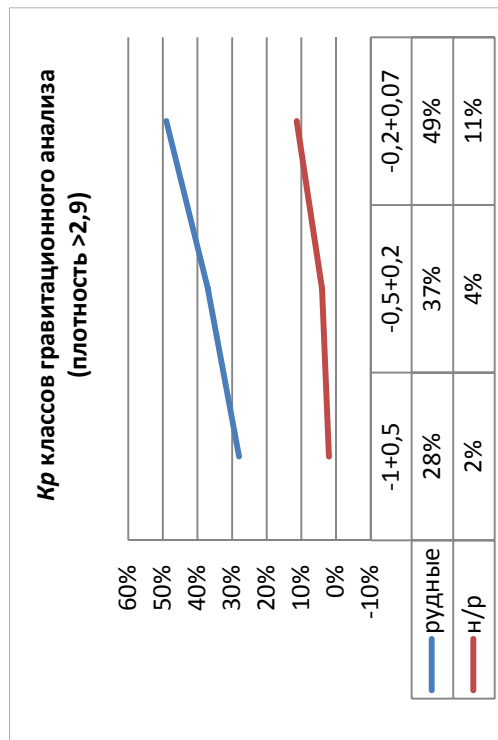


Рис. 8. Диаграммы коэффициентов раскрытия (К_p) рудной и нерудной фаз в руде дробленой до -1 мм и фракционированной по плотности

и многочисленных объектов, запасы которых на протяжении десятилетий остаются не учтёнными.

В результате проведенных исследований установлено, что определяющим в формировании рудных ассоциаций Утхумского и Ир-Нимийского проявлений являлось влияние регионального и контактового метаморфизма, на завершающей стадии – гипергенных процессов. В зависимости от характера и глубины воздействия процессы рудогенеза и гипергенеза по-разному отразились на современном облике руд с развитием в них типоморфных минеральных ассоциаций. Главными отличиями типоморфных ассоциаций регионально- и контактово-метаморфизованных марганцевых руд является появление в контактовых разновидностях силикатов – марганцевых оливинов, пироксеноидов и гранатов с изоморфизмом элементов Mn, Fe, Mg и карбонатов – минералов с изоморфными замещениями элементов Ca, Mn, Fe, Mg – рядов кальцит-родохрозит и манганодоломит-кутнагорит, а также вторичной (сульфидной – линнеит, полидимит, джайпурит, пирротин, алабандин) минерализации и акцессорных минералов-индикаторов условий образования (пиросмалит, пирофанит, кимрит, гялофан, барит и другие).

Выявленные геолого-минералогические факторы характеризуют взаимосвязь состава первичных марганецсодержащих пород и рудообразующих процессов с особенностями руд: сложным строением и полиминеральным составом, различным содержанием марганца в рудных минералах, представленных изоморфными смесями, присутствием примесей кремния, железа, фосфора, контрастностью физических свойств минералов. Установленные геолого-минералогические факторы обуславливают выбор методов их технологической переработки.

Гранулярные составы карбонатно-силикатных и оксидно-(карбонатно) силикатных руд – тонко-, мелкозернистость, редко среднезернистость, определяют различную крупность их измельчения и раскрываемость минералов. Селективное разделение силикатов и карбонатов марганца в процессе рудоподготовки затруднено за счёт образования полиминеральных сростков с переменным содержанием рудных минералов и реальным составом минералов. Негативное влияние на дезинтеграцию руды оказывает близость механических свойств (твёрдость), а также сложные типы сростаний, обусловленные катаклазированием, микроблочностью, гетерогенностью зёрен. Минералогические особенности метаморфизованных марганцевых руд, наиболее проявленные в интенсивно преобразованных разновидностях, не позволяют селективно выделить карбонаты и силикаты, в связи с чем обогащение руд направлено на выделение полиминеральных рудных агрегатов.

Сложное строение карбонатно-силикатных руд, сформировавшихся в условиях повышенных степеней метаморфизма (контактово-метаморфизованные в условиях амфиболовых утхумские руды и альбит-эпидотовых роговиков ир-нимийские руды), практически исключают возможности обогащения их механическими методами. С другой стороны, морфометрические характеристики руд, в частности, типы поверхностей

зёрен и другие элементы их строения, благоприятны для выщелачивания – химического вскрытия рудных силикатов и карбонатов.

В окисдно-силикатных рудах степень метаморфизма соответствует низкотемпературным ступеням (зеленосланцевая фация ир-нимийских руд), изоморфизм в структурах рудных минералов проявлен не столь широко, поэтому содержание марганца остаётся достаточно высоким. Процессы гипергенеза способствовали формированию в рудах окисдной минерализации с образованием плотных агрегатов преимущественно псиломеланового состава. Присутствие в рудах оксидов и частично карбонатов марганца, степень контрастности руд по гравитационным свойствам создают более благоприятные для обогащения условия, что позволяет сочетать методы механического обогащения и химико-металлургический передел.

Разработанная методика оценки раскрытия минералов комплексом минералогических методов, ведущим из которых является иммерсионный анализ, на основании различия оптических свойств минералов, позволяет проводить определение раскрываемости прозрачных рудных минералов – силикатов и карбонатов марганца и прогнозировать качество получаемых продуктов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

(Мартынова Т.А. – Барнышева Т.А.)

1. Мартынова Т.А. К минералогии марганцевых руд Утхумского месторождения // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых / 4 Международная научная школа молодых учёных и специалистов. М.: 2007. С. 55-57.

2. Мартынова Т.А. Текстурно-структурные особенности марганцевых руд Утхумского месторождения (Иркутская область) // Молодые – наукам о Земле / Межвузовская научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. М.: 2008. С. 194.

3. Мартынова Т.А. Минералогия силикатов марганца Утхумского месторождения // Актуальные проблемы геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых / Научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов. М.: 2008. С. 106-108.

4. Мартынова Т.А. Минералого-технологические особенности марганцевых руд Утхумского месторождения // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии / Научная конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения академика Ф.В.Чухрова (1908-2008). М.: 2008. С. 304-306.

5. Мартынова Т.А., Астахова Ю.М., Ожогина Е.Г. Минералого-технологические особенности смешанных марганцевых руд Утхумского месторождения (Иркутская область) // Новые идеи в науках о Земле / IX Международная конференция в РГГРУ. М.: 2009. С. 165.

6. Соколова В.Н., Мартынова Т.А., Лосев Ю.Н., Шувалова Ю.Н. Минералого-технологическое обоснование способов комплексной химико-металлургической переработки труднообогатимого марганцевого сырья // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов. Петрозаводск: 2009. С. 32-40.

7. Астахова Ю.М., Мартынова Т.А. Потенциальные экологические риски в связи с перспективой отработки марганцевых руд Утхумского месторождения // Геология, поиски и комплексная оценка твёрдых полезных ископаемых. М.: 2009. С. 16-17.

8. Мартынова Т.А., Ожогина Е.Г., Ожогин Д.О., Соколова В.Н., Шувалова Ю.Н. Особенности минералогического изучения смешанных марганцевых руд при проведении технологических работ // Инновационные процессы в технологиях комплексной, экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья / Институт горного дела СО РАН. М.: 2009. С. 116-119.

9. Броницкая Е.С., Крылов И.О., Летунова Н.Г., Луговская И.Г., Мартынова Т.А., Ратнер В.Б., Сладкова Г.А., Космина Н.И. Технология переработки марганцевых руд Ванданского месторождения и перспективы применения отходов переработки в промышленности // Разведка и охрана недр, 2009. №7. С. 27-32.

10. Мартынова Т.А. Микроструктурные особенности оолитовых и сферолитовых глинисто-карбонатных марганцевых руд, влияющие на процессы обогащения (на примере руд Елагинской площади) // Научные основы и современные процессы комплексной переработки труднообогатимого минерального сырья: Материалы международного совещания. Казань: 2010. С. 112-114.

11. Мартынова Т.А., Тютюнник Н.Д. Особенности раскрытия минеральных агрегатов карбонатно-силикатных марганцевых руд в продуктах глубокого обогащения (на примере руд Утхумского рудопроявления) // Разведка и охрана недр, 2011. №1. С. 59-64.

12. Мартынова Т.А. Особенности марганцевой минерализации в метаморфических комплексах пород // Разведка и охрана недр, 2011. № 12. С. 26-31.

Подписано в печать 18.03.2013 г.

Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 1,0

Отпечатано на ризографе.

Тираж 100. Заказ № 9

РИС «ВИМС»

119017, г. Москва, Старомонетный пер. дом 31