

В заключение следует отметить, что проведенная технологическая оценка марганцевых руд ряда сырьевых объектов Сибири (Кайгадатского, Селезеньского, Сейбинского, Аскизского, Утхумского, Николаевского) методами прикладной минералогии также позволила получить объективную информацию об их составе и строении, которые в свою очередь определяют их технологические свойства и позволяют прогнозировать рациональные технологии их переработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тигунов Л.П., Смирнов Л.А., Менаджиева Р.А.* Марганец: геология, производство, использование. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2006. 184 с.
2. *Литвинцев Э.Г., Броницкая Е.С., Михайлова Н.С. и др.* Комплексная технология переработки карбонатных марганцевых руд Усинского месторождения // Разведка и охрана недр. 2001. № 11-12. С.56-58.
3. *Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Воробьев А.Е. и др.* Марганец. М: Изд-во Академии горных наук, 1999. 271 с.

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТРУДНООБОГАТИМОГО МАРГАНЦЕВОГО СЫРЬЯ

Соколова В.Н., Мартынова Т.А., Лосев Ю.Н., Шувалова Ю.Н.

ФГУП «ВИМС», г. Москва

Балансовые запасы 22 месторождений марганцевых руд России составляют 188,09 млн. т [1]. В распределенном фонде недр находятся 11 месторождений, из них разрабатываются только три с балансовыми запасами 3,85 млн. т (около 2% от общих запасов страны), что связано с низким качеством отечественных руд: при содержании марганца 18-24% и высоком удельном содержании фосфора (отношение $P/Mn > 0,006$) они имеют повышенные содержания железа и кремния и относятся к труднообогащаемым. Доля карбонатных марганцевых руд в балансе запасов России составляет 82%, оксидных – 10%, окисленных – 5% [2-4].

Переработка марганцевых руд, имеющих комплексный состав, с применением только традиционных методов обогащения и гидрометаллургического передела не обеспечивает получения товарных продуктов высокого качества. Создание конкурентоспособных технологических схем переработки карбонатного, карбонатно-силикатного и оксидно-карбонатно-силикатного марганцевого сырья, преобладающего в балансе разведанных запасов и прогнозных ресурсах страны, позволит освободиться от импортной зависимости по важнейшему стратегическому металлу – марганцу.

Ниже остана «ВИМС» я на результатах изучения вещественного состава и его взаимосвязи с технологическими свойствами силикатных марганцевых руд Утхумского месторождения, положенных в основу обоснования способов его переработки. До настоящего времени смешанные руды (силикатно-карбонатные, карбонатно-силикатные) отечественных месторождений не рассматривались с точки зрения промышленного использования.

Объектами исследований являлись силикатно-карбонатная (У-1), карбонатно-силикатная (У-2) руды и композитная проба (У-3), имеющая существенно силикатный состав.

Текстурно-структурные особенности руд. Силикатно-карбонатным и карбонатно-силикатным рудам свойственна большая изменчивость текстурно-структурных характеристик. Сложный текстурно-структурный рисунок руд обусловлен гранулометрическим составом рудных фаз и их морфометрическими параметрами (изрезанностью, удлинением), что затрудняет раскрытие минералов в классифицированном материале. Установлено, что рудные минералы - карбонаты и силикаты марганца - являются неоднородными по составу и имеют сложный тонкий характер сростания. Карбонаты марганца нередко содержат пойкилитовые включения силикатов марганца, поэтому их селективное разделение является сложной технологической задачей. Именно по этим рудам отобраны пробы, характеристика которых приводится ниже.

Силикатно-карбонатная руда - это монолитная, крепкая, мелко-, среднезернистая, преимущественно массивного сложения руда серого, темно-серого и кремнево-серого цвета (рис. 1а). Текстурный рисунок руды осложняют разно-ориентированные тонкие трещины, секущие ее, выполненные карбонатным материалом, а ближе к поверхности руд трещины заполнены оксидами и гидроксидами марганца и железа. Оксиды марганца проникают по трещинам и очень слабо «пропитывают» руду: заполняют межзерновые пространства и развиваются по швам двойникования карбонатов (родохрозита-манганодолomite). Окисленные поверхности руды нередко пористы и имеют сравнительно небольшую плотность. Для силикатно-карбонатных руд с вторичной прожилковой текстурой характерно наличие прожилков разной мощности (0,05-1,5 мм), выполненных карбонатами или оксидами и гидроксидами марганца и железа (рис. 1б). Прожилки, выполненные карбонатами, мощностью до 1,5 мм рассекают руду в виде полос, а прожилки мощностью 0,02-0,05 мм образуют ветвистый рисунок. Структура руды гранобластовая, пойкилобластовая.

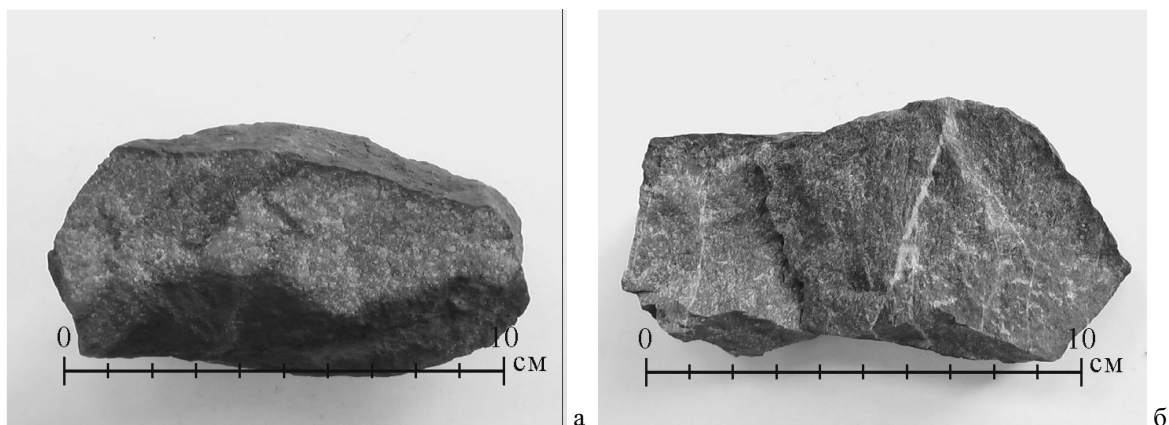


Рис. 1. Силикатно-карбонатная руда: а) массивной текстуры; б) прожилковой текстуры

Карбонатно-силикатная руда — это монолитная, очень крепкая, мелко-среднезернистая, массивная, пятнистая и полосчатая руда серого, зеленовато-серого и розовато-серого цвета с преобладанием розоватых оттенков, что обусловлено увеличением содержания родонита и пирохмангита (рис. 2а, б).

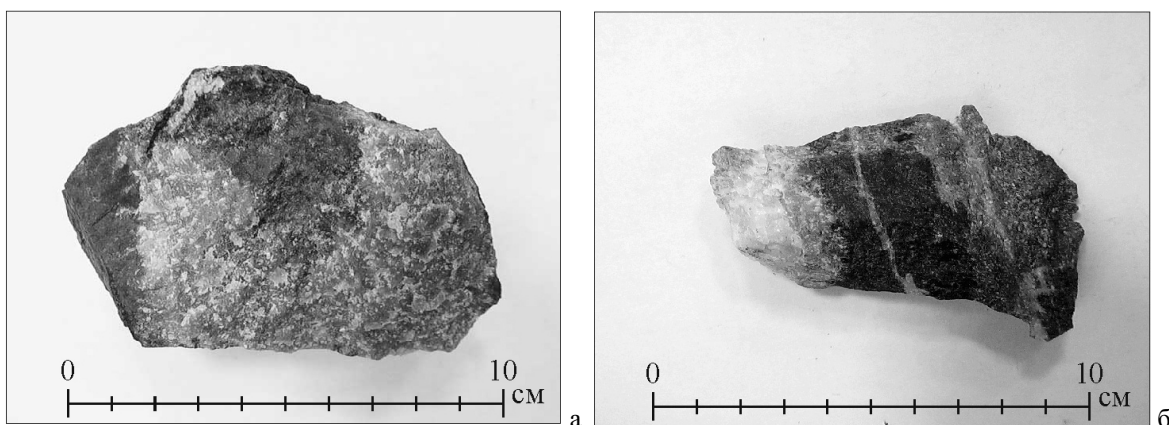


Рис. 2. Карбонатно-силикатная руда: а) пятнистой текстуры; б) слоистой текстуры

Пятнистая и полосчатая текстуры руды обусловлены присутствием крупных мономинеральных агрегатов силикатного состава (родонита, граната и др.). Тонко-полосчатая (слоистая) текстура характеризуется различным чередованием слоев - оксидов марганца и кнебелита. В силикатных слоях агрегаты представлены гранобластами кнебелита, слагающими матрицу руд. Слои, выполненные оксидами марганца, меньшей мощности, и рудные агрегаты в них имеют амёбовидную и округлую форму. Тонкая правильная слоистость руд обусловлена различным минеральным составом отдельных слоёв. Вторичная текстура связана с наличием в руде разно-ориентированных прожилков мощностью от 0,001 до 0,1 мм, выполненных оксидами марганца. В свою очередь мощность окисленной прожилковой зоны, в основном, не превышает 5 мм. Вторичная вкрапленная текстура характеризуется наличием гнездовидных выделений преимущественно оксидов, гидроксидов марганца и железа и нередко сульфидов железа. Структура руды гранобластовая (участками мозаичная), пойкилобластовая.

Минеральный состав руд. Изученные руды характеризуются весьма сложным составом, что в целом типично для смешанных руд, сформированных силикатами и карбонатами марганца с подчиненным развитием оксидов и гидроксидов марганца и железа, образовавшихся при частичном окислении первичных руд.

Главные рудные минералы представлены изоморфными дискретными рядами силикатов: групп оливина (пикротефроит-тефроит-кнебелит), пирохсеноидов (пирохмангит-родонит), граната (спессартин) и карбонатов марганца: группы кальцита, родохрозита и доломита (марганцовистый кальцит-манганокальцит-манганодолomit- кутногорит-родохрозит), присутствующими в переменном количестве и тесной ассоциации друг с другом.

Из акцессорных минералов присутствуют гематит, магнетит, пирит, сфен и апатит. Апатит является более типичным минералом для руд силикатно-карбонатного состава, по парагенезису и характеру люминесценции его можно отнести к манганопатиту. При этом следует отметить, что в пробе У-3 апатит присутствует в весьма незначительном количестве (менее 0,3%).

Вторичные минералы представлены оксидами и гидроксидами марганца — псиломеланом, тодорокитом, вернадитом, присутствующими в тесных ассоциациях.

К породообразующим минералам относятся хлорит, амфибол (роговая обманка), пироксен (диопсид), кварц, слюда, содержание которых в руде значительно ниже, чем в технологических пробах в целом.

Родохрозит $MnCO_3$ - главный рудный минерал силикатно-карбонатных руд и самый распространённый минерал среди всех карбонатов, представленных на месторождении. Слагает сплошные мелкокристаллические массы серого, кремового, розовато-серого цвета и находится в тесных сростаниях с другими минералами. Родохрозит формирует матрицу руды, в которой присутствуют пойкилитовые включения граната и оксидов марганца (рис. 3). Зерна родохрозита, размер которых в среднем колеблется от 0,2 до 0,9 мм, имеют неправильную, реже изометричную полигональную форму. Следует отметить, что карбонатные зерна размером менее 0,01 мм заполняют практически все микротрещины, как в отдельно взятом раздробленном зерне или агрегате, так и в трещинах, секущих руду в целом.

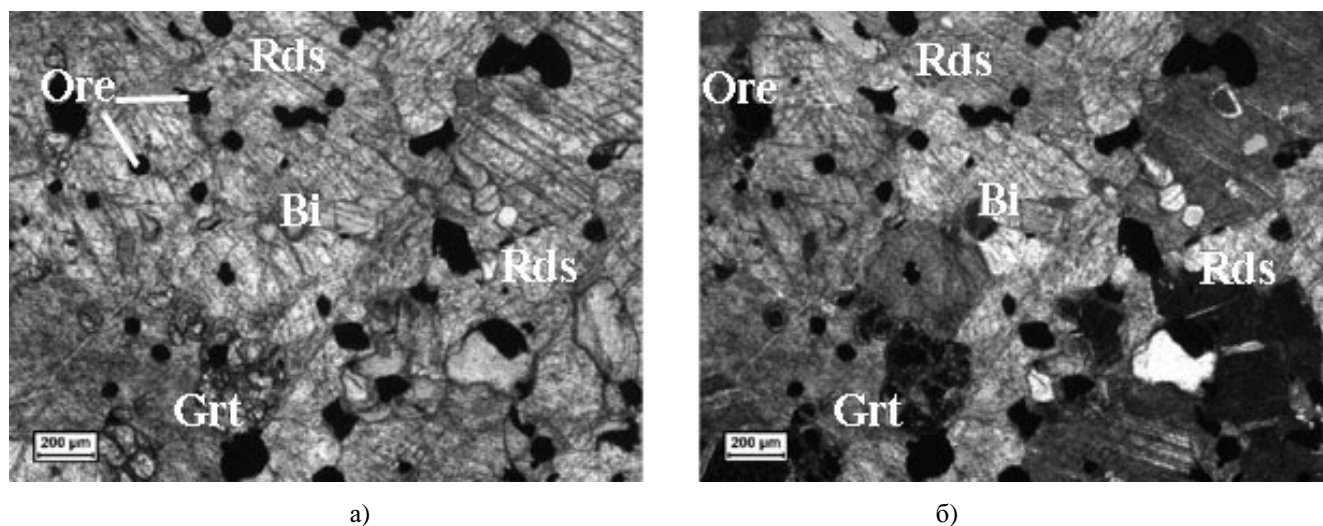


Рис. 3. Силикатно-карбонатная марганцевая руда: пойкилитовые включения оксидов марганца (Ore) в родохрозите (Rds), разбитые трещинами изометричные зерна спессартина (Grt) и светло-зелёные лейсты биотита (Bi): а) николи параллельны; б) николи скрещены

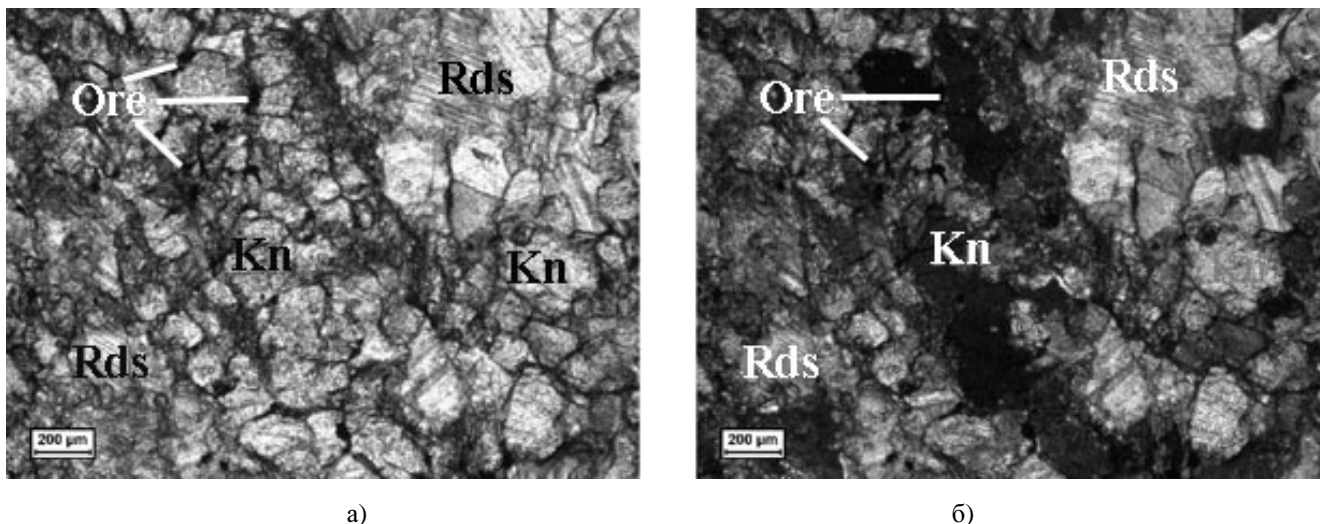
Тефроит Mn_2SiO_4 образует мелкокристаллические равномернозернистые агрегаты пепельно-серого цвета. Идиобласты тефроита размером 0,05–0,1 мм в виде мозаичных скоплений занимают довольно крупные участки руды. Зерна разбиты трещинами, а их края слегка «оплавлены». Зерна минерала размером от 0,3 мм и более (максимально до 1,1 мм) всегда ксеноморфны и образуют агрегаты в интенсивно раскристаллизованном карбонатном материале.

Пикротефроит $(Mg, Mn)SiO_4$ в шлифах практически не отличим от тефроита. Минерал определен как пикротефроит рентгенографическим анализом. Межплоскостные расстояния ($d, \text{Å}$): тефроита - 2,56_(x); 2,866₍₉₎; 1,813₍₇₎ и пикротефроита - 2,549_(x); 2,859₍₉₎; 3,61₍₇₎.

Кнебелит $(Mn, Fe)_2SiO_4$ представлен зернами неправильной формы, среди которых встречаются округлые и удлиненные с расплывчатыми очертаниями. Средний размер зёрен колеблется от 0,2 до 0,5 мм.

Тефроит и кнебелит диагностируются по оптическим константам, из числа которых наиболее характерны высокие показатели преломления, резкая шагреневая поверхность, интерференционные окраски высоких порядков (рис. 4). Присутствие этих силикатов в руде подтверждено рентгенографическим анализом. Диагностика кнебелита проведена по следующим межплоскостным расстояниям ($d, \text{Å}$): 2,86_(x), 2,53₍₈₎, 5,31₍₃₎.

Родонит $CaMn_4(Si_5O_{15})$ образует в руде мелко-, среднезернистые прослои бледно-розового цвета, часто сопряжённые с белыми полупрозрачными прослоями кварца и отдельными прослоями тефроита, содержащими равномерную вкрапленность оксидов марганца. Присутствует также родонит скрытокристаллического строения, образующий полосчатые, либо гнездовидные скопления светло-коричневых зерен. Такие скопления содержат прожилковую и пятнистую вкрапленность оксидов и гидроксидов марганца. Если в первом случае родонит свежий и его кристаллы хорошо образованы, то в последнем – значительно метаморфизован, окислен, кристаллы раздроблены и содержат оксиды марганца. В шлифах наблюдаются трещиноватые ксеноморфные зерна с неровными краями. Размер их непостоянен (0,4–0,8 мм, иногда слагает участки размером до 1,5–2,0 мм). На дифрактограммах родонит проявляется следующими межплоскостными расстояниями ($d, \text{Å}$): 2,765_(x); 2,977₍₆₎; 2,932₍₈₎.



a)

б)

Рис. 4. Карбонатно-силикатная марганцевая руда: интерсертальные выделения оксидов марганца (Ore) в матрице, сложенной гранобластами кнебелита (Kn); в подчинённом количестве присутствует родохрозит (Rds): а) николи параллельны; б) николи скрещены

Гранат $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ является одним из основных рудообразующих минералов карбонатно-силикатных руд. Рентгенографическим анализом определен как спессартин. Макроскопически зёрна имеют насыщенный оранжево-коричневый цвет. Мелкокристаллические выделения граната концентрируются в прожилках на границе с оксидами марганца. Встречаются гнездовидные и полосовидные агрегаты, сложенные кристаллами размером до 0,8-1,0 мм. В шлифах наблюдаются изометричные и полигональные кристаллы размером 0,1–0,2 мм, образующие мозаичные скопления.

Пироксмангит $MnSiO_3$ распространён неравномерно. Выделяются участки, сложенные изометричными зёрнами, как правило, ксенобластами. Размер зёрен минерала: 0,1–0,2 мм, более крупные зёрна (до 0,8 мм) крайне редки. Межплоскостные расстояния пироксмангита ($d, \text{Å}$): 2,955_(x); 2,96₍₉₎; 3,127₍₅₎.

Апатит $(Ca, Mn)_5[PO_4]_3[F, OH]$. В частично окисленных окисно-силикатно-карбонатных рудах присутствуют кристаллы апатита короткопризматической, гексагональной формы с высоким рельефом и отчетливой шагреновой поверхностью. Размер их составляет 0,05–0,1 мм, зёрна меньших размеров присутствуют в виде включений в гранате. Апатит образует агрегаты, которые макроскопически под воздействием люминесцентного излучения легко обнаруживаются в руде. В рудах преимущественно силикатного состава апатит встречается исключительно как акцессорный минерал.

Кварц SiO_2 присутствует в руде в небольших количествах в виде зерен изометричной формы, размеры которых не превышают 0,1 мм. Обычно заполняет межзерновые пространства, иногда - трещины.

Гидроксиды и оксиды марганца представлены псиломеланом, вернадитом, тодорокитом, идентификация которых проведена рентгенографическим методом. Эти минералы присутствуют в тесной ассоциации друг с другом, формируя окисленные зоны руд. Преобладающие в рудах формы выделения гидроксидов марганца – это налёты средней мощностью от 1 до 5 мм, прожилки мощностью от сотых долей до 0,1 мм, поверхностная пигментация руд. В полированных шлифах отмечаются коррозионные структуры замещения гидроксиды марганца родохрозита, манганодоломита и силикатов марганца.

Технологические свойства. Переработка рудного сырья химико-металлургическими методами включает операции вскрытия и последующей переработки продуктов разложения с получением товарной продукции. Выбор способа вскрытия (кислотного выщелачивания, прямого кислотного восстановительного выщелачивания, сульфатно-термохимического способа) основывается на установлении зависимости степени извлечения полезных компонентов от вещественного состава руды (в первую очередь, минеральной формы марганца, его содержания, количества и вида породообразующих минералов).

Для определения потенциальной извлекаемости марганца и расхода реагентов проведены исследования по вскрытию проб У-1, У-2 и У-3 с использованием сульфатно-термохимического способа и метода кислотного выщелачивания. Химический и минеральный составы технологических проб приведены в табл. 1, 2.

Проба У-1 сформирована преимущественно силикатно-карбонатной рудой, в ней отмечается максимальное содержание марганца (26,5%). Главными рудными минералами являются родохрозит (25%), кнебелит (12%) и пироксмангит (13%), второстепенными – тефроит и спессартин, содержание которых составляет 5% каждого минерала. Проба У-2 имеет карбонатно-силикатный состав, содержание марганца в ней минимальное (12,6%). Содержание родохрозита составляет 10%, на долю силикатов марганца приходится 29%. Проба У-3 – композитная, в которой на долю силикатов марганца приходится 40%, а карбонатов марганца – 11%. Особенностью данной пробы является высокое содержание спессартина (20%) и родонита (10%), а также породообразующих фаз (37%).

Таблица 1

Химический состав технологических проб

Компонент	Содержание, %		
	У-1	У-2	У-3
Mn _{общ.}	26,5	12,6	23,6
MnO ₂	<0,10	<0,1	<0,1
Fe _{общ.}	9,02	7,13	8,39
FeO	5,24	3,98	6,87
Na ₂ O	0,33	0,71	0,30
MgO	4,80	4,83	5,10
Al ₂ O ₃	4,56	7,97	5,40
SiO ₂	30,6	42,3	32,8
P ₂ O ₅	0,38	0,29	0,29
S _{общ.}	<0,05	0,10	<0,1
K ₂ O	0,65	0,75	0,28
CaO	5,87	7,21	5,35
TiO ₂	0,20	0,43	0,28
CO ₂	9,66	7,89	6,12
Cu	0,0031	0,0077	не опр.
Ba	0,13	0,13	0,12
H ₂ O ⁺	не опр.	не опр.	1,70
H ₂ O ⁻	0,28	0,35	0,40

Таблица 2

Минеральный состав технологических проб

Минерал	Содержание, %		
	У-1	У-2	У-3
Спессаргин	5	8	20
Кнебелит	12	3	6
Тефроит (Пикротефроит)	5	5	-
Пироксмангит	13	8	4
Кварц	6	21	4
Биотит	4	8	4
Диопсид	8	5	15
Амфибол	8	10	4
Хлорит	6	4	6
Родохрозит	25	10	11
Доломит	-	5	5
Родонит	-	-	10
Кутногорит	-	5	-
Псиломелан, тодорокит, вернадит	-	-	4

Сульфатно-термохимическая переработка. Вскрытие технологических проб проводилась по схеме, включающей их сульфатизацию концентрированной серной кислотой при температуре 170-220⁰С, обжиг сульфатной массы при температуре 800⁰С, водное выщелачивание огарка.

При сульфатизации происходит полное вскрытие карбоната марганца – родохрозита и силикатов марганца группы оливина. Особенностью силикатов марганца (тефроита, пикротефроита, кнебелита), представляющих собой дискретный изоморфный ряд, является присутствие в их структуре изолированных кремнекислородных тетраэдров, что, вероятно, способствует эффективному вскрытию. Менее эффективно растворяются другие кислородные соли (оксисоли). В группе пироксеноидов происходит частичное вскрытие родонита, в структуре которого катионы представлены кальцием и марганцем, и весьма слабое вскрытие пироксмангита, в структуру которого совместно с марганцем входит железо. Не исключено, что на характер вскрытия этих минералов влияет не только катионный состав, но и присутствие одинарных цепочек тетраэдров с большим перепадом повторяемости ($[Si_nO_{3n}]$ при $n > 2$). В частности, в структуре родонита тетраэдрическая цепочка $[Si_5O_{15}]$. Частичное вскрытие наблюдается у граната алмандинового ряда – спессартина, в структуре которого изолированные цепочки $[SiO_4]$ расположены вдоль винтовой оси четвертого порядка.

В табл. 3 приведены основные показатели сульфатно-термохимического вскрытия технологических проб.

Технологические показатели вскрытия проб сульфатно-термохимическим способом

Наименование показателя, размерность	Номер пробы		
	У-1	У-2	У-3
Расход H ₂ SO ₄ , г/г	1,25	1,02	1,20
Выход кека, %	67,3	82,3	75,0
Приближенно-количественное содержание марганцевых минералов в кеке, %:			
пироксмангит	10	12	10
спессартин	4	3	4
родохрозит	отсутствие	отсутствие	отсутствие
кнебелит	отсутствие	отсутствие	отсутствие
родонит	отсутствие	отсутствие	2
Содержание в кеке, %:			
Mn	8,80	4,30	10,90
Fe	10,90	7,59	10,10
SiO ₂	47,00	50,30	45,60
Al ₂ O ₃	5,37	8,80	5,48
P	0,23	0,16	0,27
MgO	2,06	1,61	1,64
CaO	8,95	9,45	7,73
Na ₂ O	0,10	0,37	0,14
K ₂ O	0,23	0,39	0,25
S	4,29	4,53	4,06
Извлечение в водный раствор, %:			
Mn	77,7	73,2	65,8
Fe	следы	следы	следы
SiO ₂	следы	следы	следы
Al ₂ O ₃	32,7	17,7	23,9
P	18,5	12,2	20,0
MgO	71,9	75,5	76,4
CaO	следы	следы	следы
Na ₂ O	38,8	52,4	51,3
K ₂ O	38,1	42,7	30,6

Показатель выхода кека коррелирует с минеральным составом проб, поскольку родохрозит и кнебелит полностью вскрываются при сульфатизации, тогда как алюмосиликат марганца (спессартин) вскрывается примерно наполовину, а силикат марганца (пироксмангит) еще меньше, поэтому извлечение марганца в водный раствор составляет, %: 77,7 для пробы У-1, 73,2 - для пробы У-2, 65,8 - для пробы У-3. Растворение марганца по отношению к железу (Fe⁺³) протекает селективно, так как оксид последнего не растворим в нейтральной среде водного раствора.

Полученные технологические показатели вскрытия исследуемых проб в графической форме приведены на рис. 5.

Кислотное вскрытие. При химической переработке сырья основная статья затрат приходится на реагенты, поэтому важной характеристикой процесса выщелачивания является определение кислотоёмкости пробы. Проведены экспериментальные исследования по определению кислотоёмкости по HCl на трех технологических пробах У-1, У-2 и У-3. Крупность проб У-1 и У-2 составляла 100% -0,074+0 мм, пробы У-3 -1+0 мм. В табл. 4 приведены основные показатели солянокислотного вскрытия технологических проб.

Обычно расход используемой кислоты на процесс растворения карбонатного сырья значительно превышает теоретически рассчитанную стехиометрическую норму по отношению к марганцу. Кислота, кроме растворения марганца, расходуется также на перевод в раствор из рудного сырья кальция, магния, алюминия, железа, кремния и некоторых других примесей. При выщелачивании проб расход используемой кислоты оказался меньше теоретически рассчитанного стехиометрического значения по отношению к марганцу, так как значительная часть марганца в руде присутствует в форме силикатов, не вскрываемых в условиях агитационного кислотного выщелачивания.

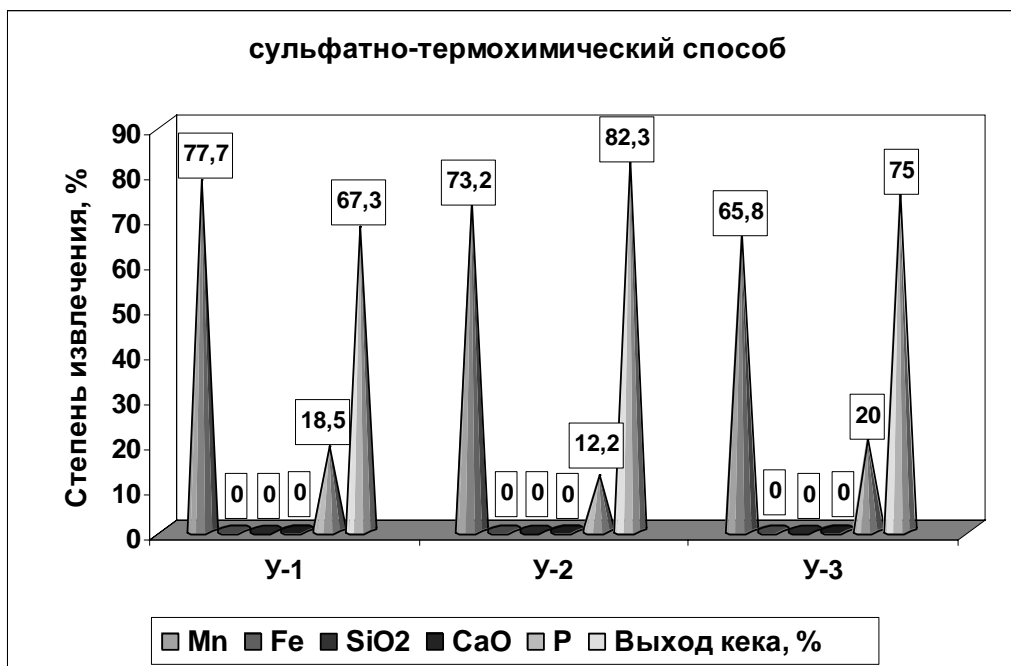


Рис. 5. Степень извлечения марганца, железа, оксида кремния, оксида кальция, фосфора и выход кека при вскрытии сульфатно-термохимическим способом

Таблица 4

Технологические показатели солянокислотного вскрытия проб

Наименование показателя, размерность	Номер пробы		
	У-1	У-2	У-3
Расход HCl, г/г пробы	0,349	0,195	0,283
Выход кека, %	50,7	72,0	58,7
Приближенно-количественное содержание марганцевых минералов в кеке, %:			
спессартин	15	13	14
пироксмангит	17	11	18
родонит	4	3	2
кварц	2	20	5
диопсид	9	6	6
амфибол	10	7	12
биотит	2	2	3
Содержание в кеке, %:			
Mn	19,6	10,2	19,0
Fe	7,03	7,36	6,71
SiO ₂	49,5	58,5	44,0
CaO	3,17	3,26	3,46
P	0,07	0,15	0,12
Извлечение в раствор, %:			
Mn	62,8	46,4	53,9
Fe	50,6	16,3	46,1
SiO ₂	3,1	0	10,6
CaO	77,0	74,0	67,4
P	81,3	28,0	64,8

Полученные технологические показатели солянокислотного вскрытия исследуемых проб в графической форме приведены на рис. 6.

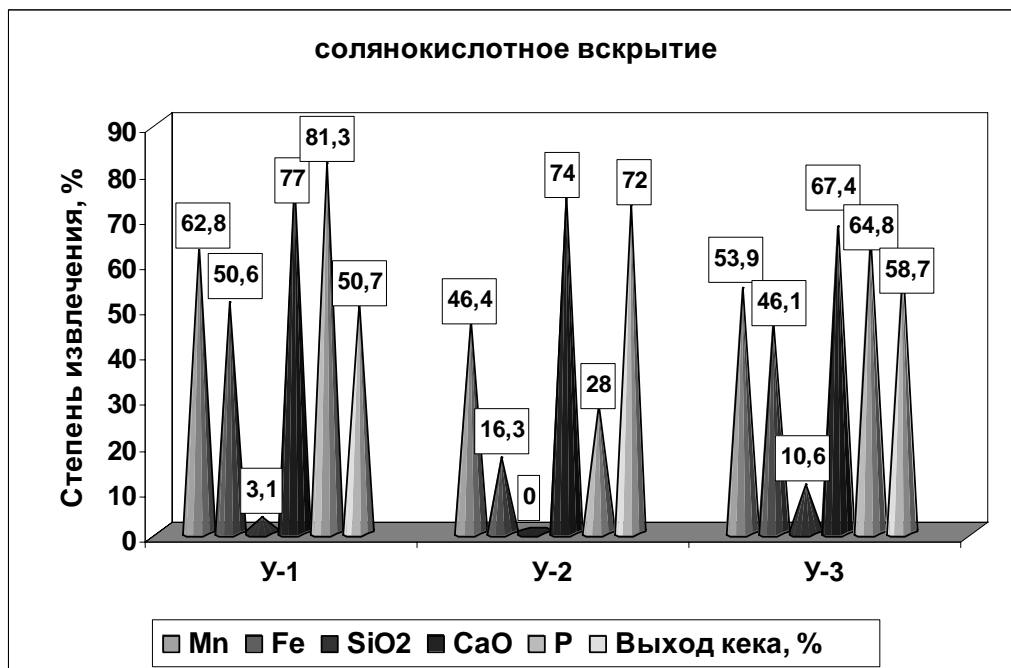


Рис. 6. Степень извлечения марганца, железа, оксида кремния, оксида кальция, фосфора и выход кека при солянокислотном вскрытии

Минералогическими исследованиями установлено полное отсутствие в кеках выщелачивания карбонатов марганца, что говорит об их полном растворении. Следует отметить, что в кеках в значительных количествах концентрируются силикаты марганца, являющиеся устойчивыми к выщелачиванию. Наиболее устойчивыми являются родонит и пирохсмангит, в структурах которых кремнекислородные радикалы, имея большой период повторяемости, приспособляются к крупным размерам катионов (Fe, Mn, Ca). Частичное растворение спессартина обусловлено его структурными особенностями.

Из силикатов марганца полностью растворяется только тефроит, являющийся членом изоморфного ряда форстерит-фаялит (группа оливина), относящийся к силикатам с изолированными тетраэдрами SiO₄. С химической точки зрения такие силикаты можно рассматривать как ортосиликаты, т.е. соли гипотетической кислоты H₄SiO₄. Вероятно, поэтому при растворении тефроита в соляной кислоте происходит выделение кремниевой кислоты.

Породообразующие минералы (амфибол и диопсид) практически не выщелачиваются в кислотах. Это связано с кристаллохимическими особенностями минералов. Диопсид, являясь моноклинным пирохсеном, представлен двойным соединением, в кристаллической структуре которого в качестве катионов участвуют Ca²⁺ и Mg²⁺, возможно Fe²⁺. Амфибол отличается еще более сложной конституцией и относится к силикатам со сдвоенными анионными цепочками.

В целом, полученные закономерности отражают зависимость показателей вскрытия марганецсодержащих руд от их минерального состава.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что сульфатно-термохимический способ вскрытия марганцевой руды Утхумского месторождения с последующим селективным водным выщелачиванием марганца эффективен для проб с преобладающим содержанием родохрозита, кнебелита, тефроита, тогда как пробы, содержащие такие минералы как пирохсмангит и спессартин, по данной технологии вскрываются значительно хуже.

Переработка силикатно-карбонатных и карбонатно-силикатных руд с использованием агитационного выщелачивания приводит к полному вскрытию карбонатных, частичному – силикатных марганцевых и породообразующих минералов и накоплению невскрытых силикатов марганца в кеках выщелачивания, тем самым снижается общее извлечение марганца в технологическом процессе (46,4-62,8%). Следовательно, основной задачей при переработке таких руд является разложение рудных и породообразующих силикатов.

Таким образом, наиболее перспективными методами переработки марганцевых руд смешанного (карбонатно-силикатного, силикатно-карбонатного) типа следует считать химико-металлургические, что обусловлено особенностями их минерального состава и строения, в т.ч. близостью физических свойств (плотности, микротвердости, удельной магнитной восприимчивости), практически исключающими возможность их обогащения традиционными физическими методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гос. баланс РФ. 2006.
2. Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Тигунов Л.П. и др. Марганец: Минерально-сырьевая база СНГ. Добыча и обогащение руд. Москва: Изд. Академии горных наук, 1999. 271 с.
3. Тигунов Л.П., Смирнов Л.А., Менаджиева Р.А. Марганец: геология, производство, использование. Екатеринбург: Изд. АМБ, 2006. 184 с.
4. Тигунов Л.П., Ожогина Е.Г., Литвинцев Э.Г. и др. Современные технологии обогащения и гидрометаллургического передела марганцевых руд // Горный Журнал. 2007. № 2. С. 78-84.

МОРФОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РУД ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОТОМОГРАФИИ

Якушина О.А., Сычева Н.А., Ожогина Е.Г.

ФГУП «ВИМС», Москва

Активный рост объемов промышленного производства, вызвавший резко возросшее потребление металлургической продукции, обусловил рост потребности в минеральном сырье. Минерально-сырьевая база России для металлургии в целом значительна, однако по целому ряду металлов, в том числе черных, руды характеризуются невысоким качеством, месторождения расположены в удаленных труднодоступных районах и чаще всего не обеспечены инфраструктурой добычи и транспортировки, перерабатывающими предприятиями. Это касается железорудных и, особенно, марганцеворудных месторождений. Для разведанных отечественных месторождений средние содержание железа в 1,5 -2 раза ниже среднемировых – 30-35%, по сравнению с 55-60%, а марганца - 20%, и менее технологичное, чем в зарубежных странах, в том числе и странах СНГ, поскольку в них содержится значительное количество фосфора и железа [1, 2, 7].

В настоящее время увеличение сырьевой базы страны по ряду металлов и обеспечение металлургических производств отечественным рентабельным сырьем черных металлов может быть достигнуто не только за счет переоценки запасов и подготовки к освоению резервных месторождений, но, прежде всего, разработкой новых схем комплексной технологической переработки руд, обеспечивающих извлечение всех полезных компонентов с минимальными потерями, без которых они не могут быть экономически рентабельно и максимально полно освоены. Это, в свою очередь, требует детального изучения вещественного состава руды в целях получения наиболее полной и достоверной информации о минеральном составе, который определяет качество и технологические характеристики руды, поведение минеральных фаз в процессах обогащения.

Рудоподготовительные процессы имеют принципиально важное значение при разработке современных технологий обогащения руд, обеспечивающих наиболее полное извлечение из них полезных фаз. Максимально возможное раскрытие минералов определяется, с одной стороны, их природными морфоструктурными характеристиками (гранулометрический состав, морфометрические параметры), с другой стороны – способами и методами дезинтеграции исходного материала [3, 8]. В современных условиях в промышленную переработку вовлекаются руды, в которых, как показывает опыт, рудные минералы имеют достаточно сложные морфоструктурные характеристики. Они отличаются не только тесным сростанием рудных фаз, как между собой (например, марганцевые руды), так и с породообразующими минералами, неравномерным, нередко достаточно тонким гранулометрическим составом, а также неоднородностью непосредственно зерен рудных минералов. Все эти факторы негативно влияют на раскрытие полезных фаз в процессе дезинтеграции руды. Поэтому сегодня вопросы определения характера раскрытия рудных минералов по-прежнему актуальны. Традиционно раскрытие минералов определяется методами оптической микроскопии и оценивается по количеству свободных зерен полезного минерала, богатых, рядовых и бедных сростков его с другими минералами. С внедрением в последней четверти прошлого века в практику минералого-технологической оценки минерального сырья автоматического оптико-геометрического анализа (автоматического анализа изображений) появилась возможность количественной оценки степени раскрытия минералов.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья (ВИМС) накоплен значительный опыт исследований руд черных металлов ряда резервных месторождений железа и марганца Центральной, Восточной Сибири и Дальнего Востока, что позволило определить рациональный комплекс физических методов минералого-технологического изучения сырья для получения данных о фазовом составе, распределении полезных минералов, их морфометрических и гранулометрических характеристиках, характере сростаний [8]. Методы оптической микроскопии, в частности, требуют изготовления специальных препаратов (искусственных полированных шлифов), что, естественно, увеличивает время анализа. Нами была предпринята попытка введения в комплекс минералогических исследований относительно нового метода стереологического анализа – *рентгеновской томографии (РТ)*. Привлекательность метода для решения прикладных минералогических задач состоит в его недеструктивности и экспрессности (длительность анализа до 10 мин), простоте процедуры съемки, отсутствии этапа предварительной подготовки объекта (распиловка, изготовление полированных шлифов, напыление и др.), что позволяет оперативно получать информацию о неоднородности/поликомпонентности состава исследуемого вещества, морфометрических и гранулометрических характеристиках индивидов в их естественной взаимориентации.