

СТРУКТУРЫ ХРОМОВЫХ РУД НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

О.А. Толканов, В.П. Чернобровин, И.Ю. Пашкеев, А.В. Сенин

Хромовые руды уральских месторождений в процессе своего формирования прошли несколько этапов, что обусловило сложность их внутреннего строения (текстуры). Изучение строения хромовых руд на уровне минеральных агрегатов представляет практический интерес, поскольку структурно-текстурные характеристики хромовых руд являются предметом выяснения их значимости в технологических процессах выплавки хромистых сплавов. Для этой цели составлена морфологическая классификация структур хромовых руд, в качестве объектов которой использованы хромовые руды уральских месторождений.

При построении классификации использованы данные минераграфического изучения минерало-технологических проб хромовых руд 12 уральских месторождений (Алапаевское, Буслаева гора, Варшавское, Верблюжьегорское, Волчегорское, Евдокия, Калкановское, Камбулатовское, Качкинское, Песчанское Южное, Песчанское Северо-Западное, Рай-Из) и опыт создания морфологических классификаций структур горных пород, руд и продуктов окускования железных руд [7,10,11].

Классификация структур хромовых руд

На строение минеральных агрегатов хромовых руд оказала влияние последовательность процессов их формирования, в результате чего в агрегате хромовой руды наблюдаются принципиально-различные характерные черты трех генетических типов структур:

- первичной структуры;
- катакластической структуры;
- метаморфогенной структуры.

Доказательство правомерности выделения генетических этапов формирования хромовых руд и соответственная принадлежность к ним генетических типов структур не является предметом рассмотрения этой статьи.

На каждом этапе формирования хромовых руд происходило образование структурных элементов данного конкретного этапа, имеющих свой, специфический набор морфологических характеристик. Последующие типы структур последовательно накладываются на предшествующие, образуя суперпозиционные структуры, в которых признаки предшествующих структур в той или иной мере замаскированы или уничтожены.

Классификация структур хромовых руд представлена в таблице. Процедура создания морфологической классификации структур хромовых руд представим поэтапно.

Этап 1. Определение элементов структуры

В качестве структурного элемента в минеральных агрегатах традиционно понимается минеральный индивид. В хромовых рудах наблюдается сосуществование до трех разновидностей минеральных индивидов главных рудообразующих минералов: хромшпинелида и «нерудной» (силикатной) составляющей. Каждая разновидность хромшпинелида и силикатов имеет свой отличительный набор морфологических характеристик, обусловленных генезисом.

В таблице представлены три генетических типа структур хромовых руд: первичный, катакластический и метаморфогенный. Сосуществуя в той или иной мере в минеральных агрегатах, они определяются различными элементами - разновидностями рудообразующих минералов.

Структура минерального агрегата, сложного зернами первичного хромшпинелида (с характерными кристалломорфологическими характеристиками кристаллизации) и цементирующей их силикатной составляющей описывается в рамках *первичного генетического типа*. Определяющим элементом первичного типа структуры являются *зерна первичного хромшпинелида*, характерные кристалломорфологические признаки которых выявляются иногда в значительной мере ретроспективно, после логической реконструкции реального минерального агрегата. Вторым структурным элементом является *силикатная составляющая*, рассматриваемая без выделения отдельных минеральных индивидов, цементирующая зерна первичного хромшпинелида.

Зерна первичного хромшпинелида в хромовых рудах всегда катаклазированы, в результате чего они приобретают закрытую и открытую трещиноватость, распадаются на отдельные обломки, сцементированные между собой силикатными минералами (серпентином или хлоритом). Индивиды хромшпинелида обломочной формы и цементирующие их силикаты составляют минеральный агрегат, строение которого описывается в рамках *катакластического генетического типа структуры*. Определяющим катакластический тип структуры структурным элементом являются *индивиды хромшпинелида обломочной формы*. Вторым структурным элементом является *силикатная составляющая*, рассматриваемая без выделения отдельных минеральных индивидов, цементирующая обломки зерен первичного хромшпинелида.

Наконец, на более или менее дробный агрегат первичного хромшпинелида накладываются

Морфологическая классификация структур хромовых руд

Этап формирования руды	Генетический тип структуры	Морфологическое основание классификации структуры	Название структуры	
Магматический + постмагматический	Первичный	Количественное соотношение зерен первичного хромшпинелида и межзерновой силикатной («нерудной») составляющей	Сплошная Густовкрапленная Среднекрапленная Редковкрапленная Убоговкрапленная	
		Форма зерен рудной фазы (первичного хромшпинелида)	Изометричнозернистая Неизометричнозернистая	
		Размер зерен первичного хромшпинелида	Крупнозернистая Среднезернистая Мелкозернистая	
		Способ сочетания зерен первичного хромшпинелида	Ориентированная зернистая Неориентированная зернистая	
Постмагматический	Катакластический	Количественное соотношение обломков зерен первичного хромшпинелида и силикатной («нерудной») составляющей в обломочном агрегате	Закрыто-трещиноватая Открыто-трещиноватая Цементированная	
		Форма обломков зерен рудной фазы (первичного хромшпинелида)	Изометричнообломочная Таблитчатобломочная	
		Размер обломков зерен первичного хромшпинелида	Грубообломочная Крупнообломочная Среднеобломочная Мелкообломочная Тонкообломочная	
		Способ сочетания обломков зерен первичного хромшпинелида	Ориентированная обломочная Неориентированная обломочная	
	Метаморфогенный	Метаморфогенный	Количественное соотношение метаморфогенных хромшпинелида и хлорита	Слабохлоритизированная метаморфогенная Сильнохлоритизированная метаморфогенная
			Форма зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита	Изометричнозернистая метаморфогенная Таблитчатозернистая метаморфогенная
			Размер зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита	Крупнозернистая метаморфогенная Среднезернистая метаморфогенная Мелкозернистая метаморфогенная Тонкозернистая метаморфогенная
			Способ сочетания зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита	Сплошная метаморфогенная Губчатая метаморфогенная Решетчатая метаморфогенная Переотложенная метаморфогенная

метаморфические' изменения с образованием индивидов метаморфогенного хромшпинелида и метаморфогенного хлорита. Метаморфогенные хромшпинелид и хлорит имеют характерные физические, химические и морфологические характери-

стики, и определяют *метаморфогенный генетический тип структуры*. Определяющими метаморфогенный тип структурными элементами являются *метаморфогенные хромшпинелид и хлорит*.

Этап 2. Определение оснований классификации структуры

При определении оснований классификации структур хромовых руд воспользуемся традиционным набором морфологических характеристик минеральных индивидов в минеральных агрегатах:

«Метаморфизм хромшпинелида хромовых руд» авторы понимают как комплекс химических и морфологических изменений хромшпинелида, то есть в широком смысле - *изменение*, без выделения отдельным термином «метасоматизм» процессов изменения, происходящих с привнесом - выносом вещества.

форма (1), размеры (2) и способ сочетания (ориентировка) (3) структурных элементов [2, 9, 10, 11].

При определении элементов различных типов структуры для первичного и кластического типов выделена силикатная составляющая без оценки ее отдельных минеральных индивидов, так как это произведено для стекла - как структурного элемента эффузивных горных пород (классификация структур ICPW - 1906 г., [9]) или железорудного агломерата [11]. Основанием классификации принято количественное соотношение рудной (хромшпинелида) и силикатной составляющих, что в сущности и делается в известных подразделениях хромовых руд на сплошные, густовкрапленные, средневкрапленные и редковкрапленные [3, 7].

Этап 3. Определение разновидностей структуры

В таблице перечислены морфологические разновидности структур хромовых руд, полученные при оценке строения минеральных агрегатов хромовых руд уральских месторождений соответственно определенным структурным элементам и отличительным свойствам - основаниям.

Первичный тип структуры хромовой руды определяется по следующим показателям.

1. По количественному соотношению зерен первичного хромшпинелида и силикатной составляющей (шкала подразделения взята из используемых в промышленности классификаций хромовых руд, преимущественно для руд Южно-Кемпирсайских месторождений [3, 7]):

- *сплошная* - хромшпинелид составляет 93-100 % хромовой руды;
- *густовкрапленная* - хромшпинелид составляет 80-93 % хромовой руды;
- *средневкрапленная* - хромшпинелид составляет 60-80 % хромовой руды;
- *редковкрапленная* - хромшпинелид составляет 40-60 % хромовой руды;
- *убоговкрапленная* - хромшпинелид составляет менее 40 % хромовой руды.

2. По форме зерен первичного хромшпинелида. Под формой зерен в данной классификации понимается соотношение трех взаимно-перпендикулярных линейных размеров (a , b , c), которые можно выделить в зерне:

- *изометричнозернистая* - $a \approx b \approx c$;
- *неизометричнозернистая* - соотношение размеров (a , b , c) неравно или трудноопределимо.

Отказ от дальнейшего подразделения неизометричнозернистой структуры (на данном этапе изучения хромовых руд) связан с преобладанием зерен хромшпинелида сложной формы, обусловленной развитием индукционных границ с силикатами и друг с другом (рис. 1).

3. По размеру зерен первичного хромшпинелида (шкала подразделения взята из используемых в промышленности классификаций хромовых руд, преимущественно для руд Южно-Кемпирсайских месторождений [3, 7]):

- *крупнозернистая* - с размером зерен первичного хромшпинелида более 5 мм ($d > 5$ мм);
- *среднезернистая* - с размером зерен первичного хромшпинелида 1-5 мм ($1 \leq d < 5$ мм);
- *мелкозернистая* - с размером зерен первичного хромшпинелида менее 1 мм ($d < 1$ мм).

4. По способу сочетания (ориентировке) зерен первичного хромшпинелида:

- *ориентированная зернистая* - теоретически возможная разновидность первичной структуры при значительном развитии в руде неизометричных зерен хромшпинелида;
- *неориентированная зернистая* - преобладающая в изученных хромовых рудах разновидность первичных структур.



Рис. 1. Первичный тип структуры хромовой руды Волчьегогорского месторождения. 1 - хромшпинелид первичный; 2 - хромшпинелид метаморфогенный; 3 - хлорит. Отраженный свет

Выделение среди первичных структур хромовых руд ориентированной структуры произведено в значительной мере лишь теоретически, в реальных агрегатах преобладают неориентированные зернистые структуры.

Катакластический тип структуры хромовой руды определяется по следующим показателям.

1. По количественному соотношению обломков зерен первичного хромшпинелида и силикатной составляющей в обломочном агрегате:

- *закрото-трещиноватая* - количество силикатных минералов в трещинах в хромшпинелиде составляет не более 1 % хромовой руды (рис. 2);
- *открыто-трещиноватая* - количество силикатных минералов в трещинах в хромшпинелиде составляет не более 1-10 % хромовой руды;

— *цементированная* - количество силикатных минералов в трещинах в хромшпинелиде составляет более 10 % хромовой руды.

2. По форме обломков зерен первичного хромшпинелида. Под формой обломков зерен первичного хромшпинелида в данной классификация понимается соотношение трех взаимно-перпендикулярных линейных размеров (a , b , c), которые можно выделить в обломке зерна:

- *изометричнообломочная* $a \approx b \approx c$;
- *таблитчатообломочная* $a \approx b > c$.

3. По размеру обломков зерен первичного хромшпинелида:

- *грубообломочная* - с размером обломков первичного хромшпинелида не менее 2 мм ($d \geq 2$ мм);
- *крупнообломочная* - с размером обломков первичного хромшпинелида 0,5–2 мм ($0,5 \leq d < 2$ мм);
- *среднеобломочная* — с размером обломков первичного хромшпинелида 0,1–0,5 мм ($0,1 \leq d < 0,5$ мм);
- *мелкообломочная* — с размером обломков первичного хромшпинелида 0,05–0,1 мм ($0,05 \leq d < 0,1$ мм);
- *тонкообломочная* - с размером обломков первичного хромшпинелида менее 0,05 мм ($d < 0,05$ мм).

4. По способу сочетания (ориентировке) обломков зерен первичного хромшпинелида:

- *ориентированная обломочная*;
- *неориентированная обломочная* (рис. 2).

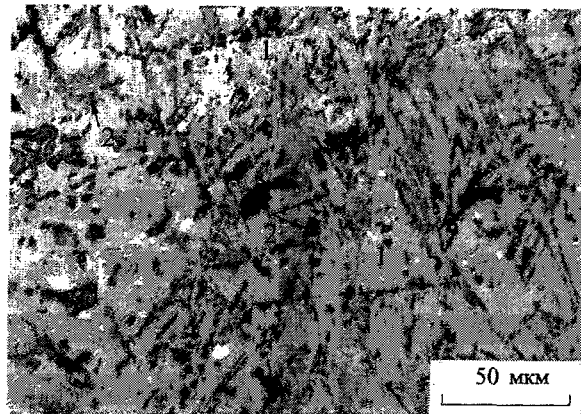


Рис. 2. Кластический тип структуры хромовой руды Качкинского месторождения. 1 - хромшпинелид первичный; 2 - трещины, частично заполненные силикатными минералами. Отраженный свет

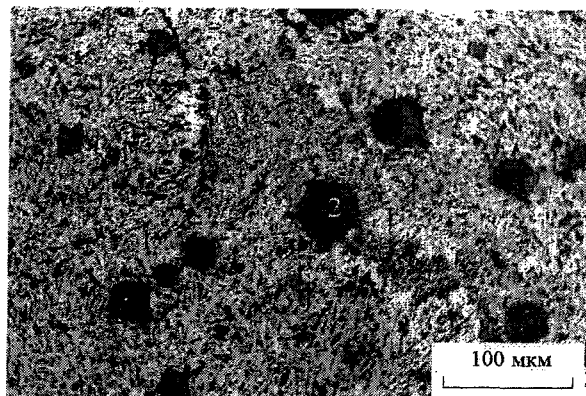
Метаморфогенный тип структуры хромовой руды определяется по следующим показателям.

1. По количественному соотношению метаморфогенных хромшпинелида и хлорита:

- *слабохлоритизированная метаморфогенная* - в которой метаморфогенного хромшпинелида больше метаморфогенного хлорита (рис. 3а, б; 5а);
- *сильнохлоритизированная метаморфогенная* - в которой метаморфогенного хромшпинелида меньше метаморфогенного хлорита (рис. 4а, б).



а)



б)

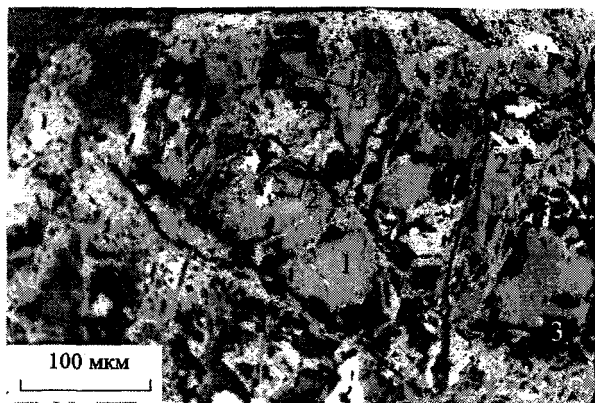
Рис. 3. Метаморфогенный тип структуры хромовой руды: а) решетчатая метаморфогенная структура хромовой руды Песчанского месторождения; б) губчатая метаморфогенная структура хромовой руды Варшавского месторождения. 1 - метаморфогенный хромшпинелид; 2 - хлорит. Отраженный свет

2. По форме зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита. Под формой зерен в данной классификации понимается соотношение трех взаимно-перпендикулярных линейных размеров (a , b , c), которые можно выделить в зерне:

- *изометричнозернистая метаморфогенная* — $a \approx b \approx c$ (рис. 5б);
- *таблитчатозернистая метаморфогенная* — $a \approx b > c$.

3. По размеру зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита:

- *крупнозернистая метаморфогенная* — с размером зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита не менее 0,05 мм ($d \geq 0,05$ мм);

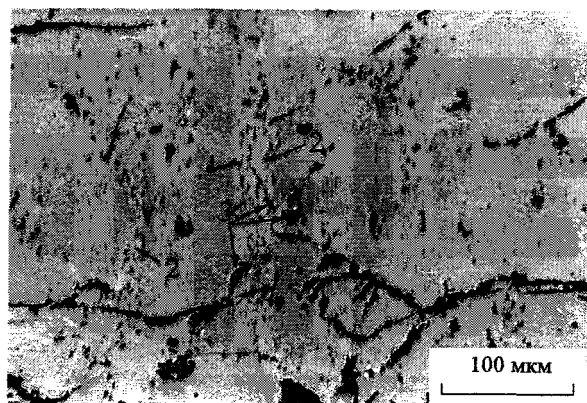


a)

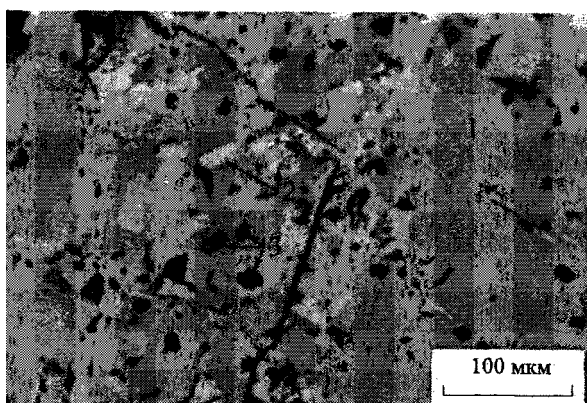


b)

Рис.4. Футляровидная метаморфогенная текстура хромовой руды: а) незавершенная футляровидная метаморфогенная текстура хромовой руды Варшавского месторождения (участок Евдокия). 1 - реликты первичного хромшпинелида; 2 - метаморфогенный хромшпинелид; 3 - хлорит; б) футляровидная метаморфогенная текстура хромовой руды Варшавского месторождения (участок Евдокия). 2 - метаморфогенный хромшпинелид; 3 - хлорит. Отраженный свет



a)



b)

Рис. 5. Прожилковая и вкрапленная метаморфогенные текстуры хромовой руды: а) прожилковая метаморфогенная текстура хромовой руды Песчанского месторождения; б) вкрапленная метаморфогенная текстура хромовой руды Верблюжьегогорского месторождения. 1 - первичный хромшпинелид; 2 - метаморфогенный хромшпинелид; 3— хлорит. Отраженный свет

— *переотложенная метаморфогенная* - метаморфогенные хромшпинелид и хлорит вместе образуют зернистый агрегат (псевдоморфозу) по первичному зерну хромшпинелида, в котором отдельные минеральные индивиды метаморфогенного хромшпинелида ясно обособлены (*структура перекристаллизации*).

О текстуре хромовых руд уральских месторождений

Рассматривая текстурные черты строения хромовых руд, обратимся к понятиям *простого* и *сложного минерального агрегата*. Простым минеральным агрегатом предлагается считать агрегат, в котором минеральные индивиды выросли синхронно [8] и с морфологической точки зрения связаны только структурно [10]. В сложном минеральном агрегате минеральные индивиды выросли синхронно и последовательно [8] и с морфологической точки зрения связаны текстурно [10]. Такая точка зрения связана с представлением обязательного присутствия морфологических различий в агрегатах минеральных индивидов, выросших не синхронно. Выделенным нами в уральских хромо-

— *среднезернистая метаморфогенная* - с размером зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита 0,01–0,05 мм ($0,01 \leq d < 0,05$ мм) (рис. 5б);

— *мелкозернистая метаморфогенная* - с размером зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита 0,005–0,01 мм ($0,005 \leq d < 0,01$ мм) (рис. 5а);

— *тонкозернистая метаморфогенная* - с размером зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита менее 0,005 мм ($d < 0,005$ мм) (рис. 3б).

4. По способу сочетания (ориентировке) зерен метаморфогенных хромшпинелида и хлорита:

— *сплошная метаморфогенная* — метаморфогенные хромшпинелид и хлорит образуют сплошной («сливной» [12]) агрегат;

— *губчатая метаморфогенная* - метаморфогенные хромшпинелид и хлорит образуют пористые (?) агрегаты губчатого облика, без видимой кристаллографической ориентировки (рис. 3б);

— *решетчатая метаморфогенная* - метаморфогенные хромшпинелид и хлорит образуют агрегаты решетчатого облика, с ясно видимой кристаллографической ориентировкой (рис. 3а);

вых рудах трех генетическим типам структур можно поставить в соответствие три генетических типа текстур, соответственно: первичный, катакластический и метаморфогенный. Относительная синхронность минеральных индивидов внутри трех генетических типов структур условно ограничена тремя (возможно, пересекающимися) временными отрезками: 1) формирование первичной структуры с характерными кристалломорфологическими признаками кристаллизации; 2) формирование катакластической структуры с индивидами хромшпинелида обломочной формы; 3) формирование метаморфогенной структуры с индивидами метаморфогенных хромшпинелида и хлорита.

Методика морфологического текстурного анализа внутри каждого из перечисленных генетических типов текстур аналогична методике морфологического структурного анализа, с той разницей что прилагается она к минеральным агрегатам, сложенным минеральными индивидами рассматриваемого генетического типа. Так во всех генетических типах текстур можно выделять *массивную текстуру* - под которой традиционно описывались либо сплошные с равномерным распределением минералов минеральные агрегаты [1, 5], либо агрегаты, в которых составные части располагаются беспорядочно, неориентированно [9] (безразличнозернистые текстуры [12]). Во всех генетических типах наблюдаются *пятнистые (вкрапленные) текстуры*, как следствие неоднородности среды формирования минеральных индивидов и (или) разновременности их формирования (в пределах выделяемого генетического типа).

Не ставя в этой статье задачу построения классификации текстур хромовых руд, отметим как характерную черту строения уральских хромовых руд развитие комбинированных текстур («текстур второго порядка»). Ф.Н. Шахов отмечал специфичность структур минеральных групп в рудах, принадлежащих к генетически разным процессам, и характеризовал строение таких сложных минеральных агрегатов как *текстуры наложения* [12]. В уральских хромовых рудах широко представлены следующие текстуры наложения:

1. *Массивная текстура наложения* - минеральные агрегаты различных структурных типов наложены («вдвинуты» [10]) один на другой. Мы под массивной текстурой хромовой руды подразумеваем равномерность (или суперпозицию - «вдвинутость») и неориентированность распределения минеральных агрегатов разных структурных типов.

2. *Пятнистая текстура наложения* — минеральные агрегаты различных структурных типов обособлены в виде пятен - скоплений. Например, агрегаты метаморфогенных хромшпинелида и хлорита образуют выделения в виде пятен в первичном хромшпинелиде, образуя пятнистую метаморфогенную текстуру наложения. Вкрапленная метаморфогенная текстура наложения (рис. 56)

представляет собой частный случай пятнистой текстуры.

3. *Прожилковая текстура наложения* - минеральные агрегаты различных структурных типов обособлены в виде прожилков. Так агрегаты метаморфогенного хромшпинелида образуют выделения в виде прожилков в первичном хромшпинелиде (рис. 5а), формируя прожилковую метаморфогенную текстуру наложения.

4. *Каемочная текстура наложения* — минеральные агрегаты одного структурного типа образуют каймы вокруг минеральных индивидов или агрегатов другого структурного типа. В уральских хромовых рудах встречается метаморфогенные разновидности каемочной текстуры наложения, когда мономинеральный метаморфогенный хромшпинелид или агрегаты метаморфогенных хромшпинелида и хлорита образуют каймы вокруг зерен или обломков первичного хромшпинелида.

5. *Футляровидная текстура наложения* - также представлена метаморфогенной разновидностью, в которой метаморфогенный хромшпинелид выполняет внешние контуры первичного зерна хромшпинелида, центральная зона которого выполнена метаморфогенным хлоритом (рис. 4а, б). Несмотря на кажущуюся принадлежность футляровидных образований к метаморфогенным структурам, мы отнесли их к текстурным формам, которые своими внешними очертаниями определяют признаки первичного и катакластического типа структур.

6. *Реликтовая текстура наложения* - характеризуется присутствием в минеральном агрегате с более поздней текстурой элементов предшествующей текстуры. Так формирование футляровидной текстуры происходит часто не до конца, с остатками - реликтами первичного хромшпинелида в центре зерен, при этом формируется реликтовая метаморфогенная текстура наложения (рис. 4а).

Обсуждение результатов и выводы

Классификация структур хромовых руд традиционно производилась лишь на уровне первичного типа структуры [3, 7], с использованием в качестве элементов - зерен первичного хромшпинелида и силикатной составляющей. Отмечаемые в хромовых рудах явления катаклаза и метаморфизма первичного хромшпинелида не находили отражения в классификациях структур хромовых руд. Детальное изучение вещественного состава хромовых руд уральских месторождений с целью их рационального использования в металлургическом переделе показало ограниченность используемых классификаций структур для описания строения хромовых руд. С целью последующего экспериментального выявления технологически значимых признаков строения хромовых руд предложена морфологическая классификация структур хромовых руд уральских месторождений.

Предлагаемая классификация структур хромовых руд использует в качестве элементов строения традиционные в геологии понятия (по определению А.Г. Жабина - исходные понятия минералогии [4]) минерального индивида и минерального агрегата, а в качестве оснований классификации традиционный набор морфологических признаков минеральных индивидов и агрегатов, которые можно реально определить в уральских хромовых рудах.

Выделение в уральских хромовых рудах трех генетических типов структур предполагает выделение в процессе формирования руды трех этапов условно-синхронного формирования минеральных индивидов. Реально внутри каждого этапа несомненно существует более или менее выраженная одновременность образования минеральных индивидов.

Некоторые характерные черты строения уральских хромовых руд не могут быть описаны в рамках структурных взаимоотношений. Их описание может быть произведено в рамках взаимоотношений минеральных агрегатов, как состоящих из элементов одного генетического типа структуры (текстура первого порядка), так и состоящих из элементов (агрегатов) разных генетических типов структуры (комбинированная текстура, текстура наложения, текстура второго порядка).

Структурно-текстурные особенности уральских хромовых руд нуждаются в оценке их влияния на поведение руд в металлургическом переделе при производстве хромистых сплавов. Важность изучения структур хромовых руд для прогнозирования технологических свойств отмечена при изучении механизма восстановления кемпирсайских кусковых руд. На основе экспериментального восстановления образцов кемпирсайских хромовых руд произведена попытка выделения микросхем восстановления, которые, как отметил Х.Н. Кадарметов: «находятся в прямой зависимости от первоначальной

структуры хромшпинелидов - от характера трещин, пор, цементов в них, а также расположения зерен хромшпинелидов» [6, стр. 94].

Литература

1. Афанфсьева Е.Л., Исаенко М.П. *Технологическая минераграфия*. — М.: Недра, 1988. — 266 с.
2. Бетехтин А.Г., Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шадлун Т.Н. *Текстуры и структуры руд*. — М.: Госгеолтехиздат, 1958. — 435 с.
3. Горланов С.С. *Требования промышленности к качеству минерального сырья: Справочник для геологов*. Изд. 2-е. Вып. 15. *Хромит*. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — 35 с.
4. Жабин А.Г. *Онтогенез минералов. Агрегаты*. — М.: Наука, 1979. — 275 с.
5. Исаенко М.П. *Определитель текстур и структур руд*. — М.: Недра, 1983. — 261 с.
6. Кадарметов Х.Н. *Восстановление окислов железа и хрома по глубине куска хромовой руды*// *Известия АН СССР, Металлы*. — 1975. — № 6. — С. 94-99.
7. Курочкин М.Г. *Обогащение хромитовых руд*. — Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1988. — 141 с.
8. Павлишин В.И., Юшкин Н.П., Попов В.А. *Онтогенетический метод в минералогии*. — Киев: Наукова думка, 1988. — 119 с.
9. Половинкина Ю.И. *Структуры и текстуры изверженных и метаморфических горных пород. Т. 1*. — М.: Недра, 1966. — 240 с.
10. Попов В.А. *К морфологическому анализу структур минеральных агрегатов*// *Проблемы онтогенеза минералов*. — Л.: Наука, 1985. — С. 46-60.
11. Толканов О.А. *Опыт построения описательной классификации структур железорудного агломерата*// *Уральский геологический журнал*. — 2000. — №5 (17). — С. 155-170.
12. Шахов Ф.Н. *Текстуры руд*. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 179 с.