

Часть 2. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

А. И. Брусницын¹, Е. В. Старикова², И. Г. Жуков^{3,4}

¹ – Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург
brusspb@yandex.ru

² – Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург

³ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

⁴ – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе

Минералогия марганцевоносных метаосадков Урала: петрологические и геологические приложения

Введение. На Урале известно несколько десятков небольших по запасам стратиформных месторождений марганца осадочного или гидротермально-осадочного генезиса (рис., табл.). В большинстве случаев марганцевоносные отложения образованы процессами регионального метаморфизма при *PT*-параметрах пренит-пумпеллиитовой или зеленосланцевой фаций. Марганцевые породы еще сохраняют реликты осадочного протолита, но вместе с тем в них уже происходит кристаллизация типично метаморфогенных минералов. Изучение таких «переходных» пород дает хорошую возможность проследить изменения фазового состава марганцевоносных отложений при постепенном повышении температуры и давления, то есть, при переходе от осадочной породы к метаморфической. Подобные генетические реконструкции стали одной из главных задач данной работы.

Результаты исследований. В составе марганцевых метаосадков Урала диагностировано 108 минералов [Брусницын, 2000; 2013; 2015; Старикова, 2014]. По набору главных минералов породы делятся на три типа: I) карбонатные, II) оксидно-карбонатно-силикатные и III) оксидно-силикатные. В первом типе главными носителями марганца являются карбонаты, во втором – разнообразные силикаты Mn^{2+} в ассоциации с оксидами и карбонатами, в третьем – силикат Mn^{3+} браунит. Каждый из трех типов объединяет несколько минералогических разновидностей пород, между которыми возможны взаимные переходы. Так, в первом типе выделяются: а) родохрозитовые, б) сидерит-родохрозитовые и в) кутнагоритовые породы. Оксидно-карбонатно-силикатные породы удобно разделить на пять групп (г–з). Породы группы (г) сложены преимущественно гаусманнитом, родохрозитом и тефроитом. Здесь же могут присутствовать пирохроит, яacobсит, гуммиты (аллеганит, риббеит, сонолит), кариопилит, кальцит, кутнагорит и др. минералы. В группу (д) включены породы, состоящие из силикатов (тефроита, родонита, пироксмангита, кариопилита и/или фриделита, минералов групп гумита, граната и эпидота и др.), кварца, родохрозита и кальцита. Породы группы (е) близки породам группы (д), но не содержат кариопилита и/или фриделита. В породах групп (ж) и (з) отсутствуют оксиды марганца и тефроит, а родохрозит наблюдается в виде редкого минерала. В группе (ж) доминирующими

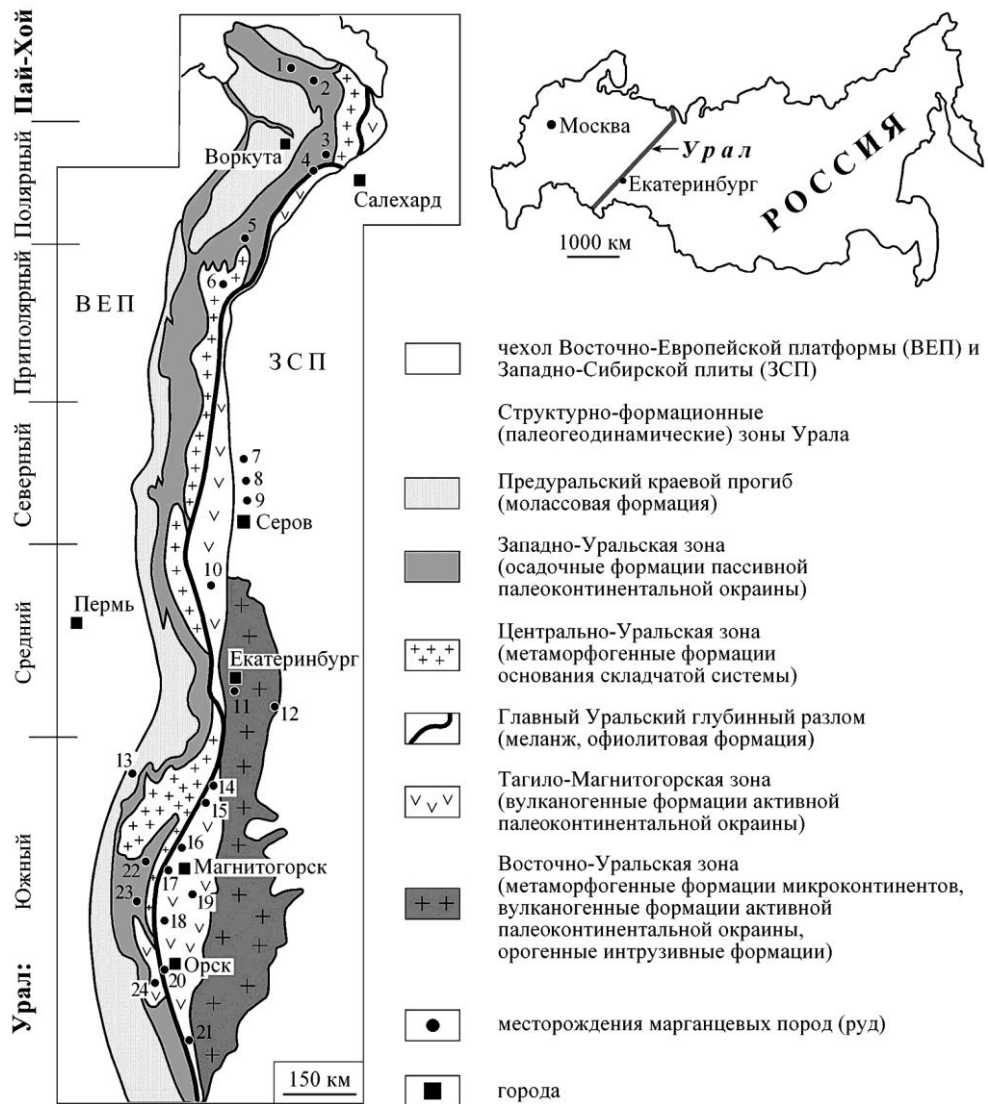


Рис. Схема размещения главных месторождений марганцевых пород Урала. Составлена по материалам [Михайлов, 2001; 2011; Контарь и др., 1999; Брусницын, Жуков, 2010; Брусницын, 2013; Старикова, 2014].

Месторождения: 1 – Хэйяхинское, Сибирчатаяхинское; 2 – Карское, Надейяхинское-1 и -2, Нижнесиловское, Силовыхинское; 3 – Собское; 4 – Верхнетышорское; 5 – Парнокское; 6 – Вэраю; 7 – Бурмантовское; 8 – Полуночное, Тыньинское, Березовское и др.; 9 – Екатеринбургское; 10 – Сапальское; 11 – Малоседельниковское, Кургановское, Бородулинское; 12 – Клевакинское; 13 – Улу-Телякское; 14 – Кожавское; 15 – Уразовское; 16 – Биккуловское, Казгант-Таш, Кусимовское, Ниязгуловское-1 и -2, Аюсазовское, Габдимовское; 17 – Кызыл-Таш; 18 – Южно-, Средне- и Северо-Файзулинское; 19 – Бахтинское, Кипчарское; 20 – Аккермановское; 21 – Шуулдакское; 22 – Шигрышское; 23 – Зилаирское; 24 – Губерлинское, Харьковское.

Т а б л и ц а

Характеристика месторождений марганцевых пород Урала

| № на карте | Месторождение | Вмещающие породы | Возраст | Мета-морфизм | Минеральный состав марганцевых пород | |
|---|-------------------------------|---|--|--------------|--------------------------------------|--|
| | | | | | Тип | Главные минералы |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <i>Локализованные в осадочных толщах пассивной палеоконтинентальной окраины (месторождения Пай-Хоя и Полярного Урала)</i> | | | | | | |
| 1 | Хяяхинское, Сибирчатаяхинское | Яшмы, углеродистые глинисто-карбонатно-кремнистые сланцы | D ₃ | PP-GS | Iв | Кварц, кутнагорит |
| 2 | Карское | Яшмы, углеродистые кремнистые сланцы | D ₃ | PP-GS | Iа | Кварц, родохрозит |
| 2 | Нижнесиловское | Яшмы, углеродистые глинисто-карбонатно-кремнистые сланцы | D ₃ | PP-GS | Iв | Кварц, кутнагорит |
| 2 | Силоваяхинское | Глинисто-кремнистые сланцы | D ₃ | PP-GS | IIд | Кварц, родонит, пироксмангит, фриделит, родохрозит |
| 2 | Надейяхинское-1 | Глинисто-карбонатно-кремнистые сланцы | D ₃ | PP-GS | | Кварц, тефроит, сонолит, пироксмангит, фриделит, родохрозит, кутнагорит |
| 2 | Надейяхинское-2 | Яшмы | D ₃ | PP-GS | IIж | Кварц, гематит, родонит, ортоклаз |
| 3 | Собское | Углеродистые кремнистые и глинисто-кремнистые сланцы | D ₃ -C ₁ | PP-GS | Iб | Кварц, родохрозит, сидерит, шамозит |
| | | | | | IIд | Кварц, спессартин, пироксмангит, фриделит, родохрозит |
| 5 | Парнокское ¹ | Углеродистые глинисто-кремнисто-карбонатные сланцы и известняки | O ₂₋₃ (D ₂ ?) | PP | Iа | Родохрозит |
| | | | | | IIз | Гаусманнит, пирохроит, тефроит, кальцит, родохрозит |
| | | | | | IIд | Тефроит, сонолит, аллеганит, риббеит, спессартин, родонит, кариопилит, фриделит, кальцит, родохрозит |

Продолжение табл.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|--------------------------|--|------------------|----|----|---|
| <i>Локализованные в вулканогенно-осадочных толщах активной палеоконтинентальной окраины (месторождения Среднего и Южного Урала)</i> | | | | | | |
| 11 | Малоседельни- ковское | Углеродистые глинисто-кремнистые сланцы, кварциты | S ₁ | GS | Пе | Кварц, тефроит, сонолит, аллеганит, спессартин, родонит, пироксмангит, родохрозит |
| 11 | Кургановское | Углеродистые глинисто-кремнистые сланцы | S ₁ | GS | | Кварц, тефроит, спессартин, родонит, родохрозит |
| 11 | Бородулинское | Углеродистые глинисто-кремнистые сланцы, кварциты | S ₁ | GS | | Кварц, тефроит, сонолит, аллеганит, спес- сартин, родонит, родохрозит, кальцит |
| 14 | Кожаевское | Джаспериты, яшмы | D ₂₋₃ | PP | Пз | Гаусманнит, тефроит, кариопилит, ро- дохрозит |
| | | | | | Пд | Гематит, тефроит, спессартин, андрадит, гроссуляр, родонит, альбит, родохрозит |
| 15 | Уразовское | Джаспериты, яшмы, вулканомиктовые породы | D ₂ | PP | Пж | Андрадит, эпидот, родонит, кариопилит, кальцит |
| | | | | | Пз | Кварц, эпидот, пьомонит |
| 16 | Казган-Таш | Джаспериты, яшмы | D ₂₋₃ | PP | Пд | Кварц, гематит, тефроит, андрадит, гроссуляр, эпидот, родонит, кариопилит, кальцит |
| 16 | Биккуловское | Джаспериты, яшмы, вулканомиктовые породы | D ₂₋₃ | PP | Пз | Гаусманнит, тефроит, кариопилит, ро- дохрозит |
| | | | | | Пд | Кварц, гематит, тефроит, андрадит, эпи- дот, пьомонит, пумпеллиит-Mg, родо- нит, кариопилит, парсеттенсит, кальцит, родохрозит |
| | | | | | Пз | Кварц, эпидот, пумпеллиит-Mg, пум- пеллиит-Mn, парсеттенсит, кальцит |

Окончание табл.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|--|-------------------------------------|------------------|----|----|--|
| 16 | Ниязгуловское-2, Аюсазовское, Габдимовское | Яшмы | D ₂ | PP | Ши | Кварц, гематит, браунит |
| 16 | Кусимовское | Яшмы | D ₂ | PP | | Кварц, гематит, браунит Браунит, пьезонтит, родонит, кариопилит, парсеттенсит, кальцит |
| 17 | Кызыл-Таш | Джаспериты, яшмы | D ₂₋₃ | PP | Пз | Гаусманнит, тефроит, кариопилит, родохрозит, кутнагорит |
| | | | | | Пд | Кварц, гематит, тефроит, спессартин, андрадит, гроссуляр, эпидот, родонит, кариопилит, кальцит, родохрозит |
| 18 | Южно-Файзулинское (южный участок) | Джаспериты, яшмы, кремнистые сланцы | D ₂ | PP | Пз | Гаусманнит, тефроит, аллеганит, риббеит, кариопилит, родохрозит |
| | | | | | Пд | Кварц, тефроит, аллеганит, риббеит, спессартин, пироксмангит, кариопилит, родохрозит |
| 18 | Средне-Файзулинское | Джаспериты, яшмы | D ₂ | PP | Пж | Кварц, гематит, андрадит, родонит |
| 18 | Южно-Файзулинское (северный участок) | Яшмы | D ₂ | PP | Ши | Кварц, гематит, браунит |
| 18 | Северо-Файзулинское | Яшмы | D ₂ | PP | | Кварц, гематит, браунит |

Примечание. Степень метаморфизма: PP – пренит-пумпеллитовая фация, GS – зеленосланцевая фация. Минералогические типы марганцевых пород: «восстановленные»: I – карбонатный, II – оксидно-карбонатно-силикатный; «окисленные»: III – оксидно-силикатный (подразделения на группы *a-i* – смотри в тексте).

¹ – для Парнокского месторождения приведены только минералы марганцевых руд, не приведены минералы тесно ассоциирующих с ними железных (магнетитовых) руд.

минералами являются кварц и родонит, а в группе (з) – кварц и марганцевый эпидот и/или пьомонтит. Оксидно-силикатные породы делятся на две группы, состоящие из (и) кварца, гематита и браунита и (к) браунита, родонита, пьомонтита, кариопилита, голландита и кальцита.

Генетическая интерпретация результатов. Марганцевоносные отложения большинства изученных месторождений преобразованы в условиях близких температур и давлений. Следовательно, разнообразие минералогии рудных залежей обусловлено не столько вариациями *PT*-условий метаморфизма, сколько различиями в составе исходного субстрата, которые закладывались еще на стадиях седиментации и диагенеза осадка. Независимо от источников марганца и механизмов его аккумуляции, накопление металла, вероятнее всего, изначально происходило преимущественно в форме оксидов Mn^{3+} и/или Mn^{4+} , как это имеет место в современном океане. При этом исходные отложения отличались по содержанию кремнистого, обломочного, карбонатного биогенного материалов, а главное – «сапропелевого» органического вещества (ОВ). Наличие или, наоборот, отсутствие ОВ контролировало окислительно-восстановительные условия минералообразования, а также концентрацию углекислоты в поровом растворе. Соединения марганца очень чувствительны к изменению этих параметров.

Образование карбонатов и силикатов Mn^{2+} происходит в восстановительных условиях на месте осадков, содержащих ОВ. Высокие концентрации углекислоты в поровом растворе способствуют кристаллизации родохрозита, а умеренные и низкие – силикатов. Измененные реликты седиментогенных оксидов наблюдаются в таких породах в виде гаусманнита, якобсита и пирохроита. Следы ОВ регистрируются по изотопному составу углерода карбонатов [Брусницын, 2013; 2015], а иногда (месторождения Полярного Урала и Пай-Хоя) по присутствию рассеянного углеродистого вещества. В отложениях, практически лишенных ОВ, марганец сохраняет высокую степень окисления, давая начало брауниту, голландиту, пьомонтиту и некоторым другим минералам. Показательно, что браунитовые породы характерны для яшм бугульгырского горизонта Южного Урала, которые маркируют глубоководные впадины открытого морского палеобассейна с низкой биологической продуктивностью водной массы и подавленным бентосом.

В составе марганцевых пород Урала широко развиты силикаты. Наблюдения показывают, что образование многих силикатов происходит путем ступенчатой трансформации обводненного Mn-Si субстрата (геля?). На стадии диагенеза Mn-Si фаза преобразовалась в неотокит (гидратированное Mn-Si стекло), затем по неотокиту развился кариопилит (Mn-серпентин) и далее при увеличении температуры кристаллизовались пироксмангит, родонит, тефроит, спессартин и другие силикаты за счет реакций с участием кариопилита. К *PT*-параметрам пренит-пумпеллиитовой фации подавляющее большинство силикатов марганца являются устойчивыми. При увеличении температуры до уровня порядка 250–300 °С кариопилит вытесняется ассоциацией пироксмангита с тефроитом (\pm родонит). Все эти процессы энергетически более выгодны, чем кристаллизация силикатов путем реакций кремнезема с оксидами и/или карбонатами марганца. Отсюда и возможность появления силикатов марганца уже на самых ранних ступенях метаморфизма или на предметаморфических стадиях литогенеза.

Таким образом, одной из главных предпосылок для массового зарождения силикатов марганца в условиях низких температур и давлений является присутствие в исходном осадке аморфной Mn-Si фазы. Химическая природа такого протолита и условия его накопления пока еще плохо изучены. Вероятнее всего, Mn-Si фаза

образуется при смешении гидротермальных растворов с холодной морской водой. Резкое изменение физико-химических параметров приводит к быстрой («лавинообразной») потере гидротермами растворенных компонентов. При этом марганец и кремний концентрируются не только в составе аморфных или плохо окристаллизованных оксидов, но и в виде метастабильной Mn-Si фазы. Если седиментация марганца и кремния происходит в более спокойной обстановке (на значительном удалении от гидротермальных источников или вообще без участия глубинных растворов), то образование Mn-Si фазы маловероятно. Вместо нее появляются более или менее обособленные минералы кремнезема (опал, кварц) и оксиды марганца. Если это верно, то масштабное появление в слабометаморфизованных породах разнообразных силикатов марганца служит одним из указаний на гидротермально-осадочный генезис исходных металлоносных отложений.

Выводы. Минеральный состав марганцевых метаосадков контролировался составом исходных отложений и, прежде всего, распределением в них органического вещества. Тип метаморфических пород (карбонатный, оксидно-карбонатно-силикатный и оксидно-силикатный) закладывался еще на стадии диагенеза. Марганец в осадке мог накапливаться не только в оксидной, но и в силикатной форме (Mn-Si гель, стекло и т. п.). В метаморфизованных марганцевых отложениях целесообразно выделять низкотемпературную кариопилитовую (или тефроит-кариопилит-пироксмангитовую ± родонит) и высокотемпературную бескариопилитовую (или тефроит-пироксмангитовую ± родонит) фации. *PT*-границы первой из них соответствуют цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фациям, второй – зеленосланцевой и более глубоким фациям. Высокие концентрации и большое видовое разнообразие в слабометаморфизованных породах силикатов марганца служит косвенным свидетельством гидротермально-осадочного происхождения металлоносных отложений.

Исследования поддержаны РФФИ (проект № 16-05-00227) и выполнены в рамках государственной бюджетной темы ИМин УрО РАН «Минералогия и геохимия рудных и рудоносных фаций как отражение геологической истории палеогидротермальных систем».

Литература

- Брусницын А. И.* Родонитовые месторождения Среднего Урала (минералогия и генезис). СПб.: СПбГУ, 2000. 200 с.
- Брусницын А. И.* Минералогия марганцевоносных метаосадков Южного Урала. СПб.: СПбГУ, ООО «ИПК КОСТА», 2013. 160 с.
- Брусницын А. И.* Парнокское марганцевое месторождение, Полярный Урал: минералогия, геохимия и генезис руд. СПбГУ: Институт наук о Земле, 2015. 116 с.
- Брусницын А. И., Жуков И. Г.* Марганцевые отложения Магнитогорского палеовулканического пояса (Южный Урал): строение залежей, состав, генезис // Литосфера. 2010. № 2. С. 77–99.
- Контарь Е. С., Савельева К. П., Сурганов А. В., Алешин Б. М., Шишкин М. А., Герасимов Н. Н., Костромин Д. А., Папулова О. Б., Сергеева В. В.* Марганцевые месторождения Урала. Екатеринбург, 1999. 120 с.
- Михайлов Б. М.* Актуальные проблемы прогнозирования марганцевых месторождений на Урале // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 1. С. 3–15.
- Михайлов Б. М.* Марганец // Геология и полезные ископаемые России. Запад России и Урал. Том 1. Книга 2. Урал. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. С. 319–332.
- Старикова Е. В.* Фаменская марганцевоносная формация Пай-Хоя // Литосфера. 2014. № 1. С. 58–80.