

## МАРГАНЦЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВУЛКАНОГЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ: МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТАМОРФИЗМ

А.И. Брусницын<sup>1</sup>, И.Г. Жуков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
e-mail: brusspb@yandex.ru

<sup>2</sup> Институт Минералогии УрО РАН, Миасс, e-mail: zhukov@ilmeny.ac.ru

Среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ различного возраста широко распространены стратиформные марганцевые залежи, которые подавляющим большинством исследователей относятся к гидротермально-осадочному генетическому типу. Условия и механизмы формирования подобных объектов нами исследованы на примере месторождений Магнитогорского палеовулканического пояса на Южном Урале.

Месторождения приурочены к вулканогенным толщам средне-верхнедевонского возраста, которые по современным представлениям сформировались в пределах активной континентальной окраины, в обстановке энсиматической островной дуги (Ирендыкской) и примыкающего к ней задугового бассейна (Сибайского) [Серавкин и др., 1992; и др.]. Залежи марганцевых пород установлены в составе вещественных комплексов обеих структур, причем везде они связаны с отложениями, завершающими циклы вулканической деятельности и аккумулирующих эдафогенные, биогенные и гидротермальные осадки. Продуктивными являются кремнистые и железо-кремнистые породы (яшмы, джаспериты, кремнистые алевролиты, яшмо-туффиты и т.п.), которые по условиям залегания, строению, значениям литохимических модулей ( $[\text{Fe}+\text{Mn}]/\text{Ti}$ ,  $\text{Al}/[\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn}]$  и т.п.) сопоставимы с металлоносными осадками современного океана.

**Таблица.** Характеристика марганцевых месторождений Южного Урала

Характеристика	Месторождения	
	Тип первый (проксимальные отложения)	Тип второй (дистальные отложения)
Вмещающие породы (возраст)	Вулканомиктовые ( $D_{2ef}$ , $D_{2zv}-D_{3fr1}$ ) и кремнистые отложения ( $D_{2ef}$ )	Кремнистые отложения ( $D_{2ef}$ )
Характер локализации марганцевых пород	Локализованы непосредственно на флангах джасперитовых <sup>1</sup> тел и образуют с ними единые геологические тела	Локализованы в стратиграфическом и/или латеральном отрыве от джасперитов
Вертикальная и/или латеральная зональность продуктивной толщи	Выражена ясно: 1) джаспериты → руды 2) джаспериты → яшмы + руды → алевролиты + руды; 3) джаспериты → Fe-туффиты + руды	Выражена слабо или отсутствует
Морфология и размеры залежей марганцевых пород	Одно или несколько массивных линзовидных или пластообразных тел протяженностью до 250 м при мощности до 3 м.	Один или несколько продуктивных горизонта, представленных пачками ритмичного переслаивания рудных слоев с яшмами. Протяженность горизонтов до 500 м при мощности 0.5 – 1.5 м.
Внутреннее строение залежей марганцевых пород	Очень неоднородное линзовидно-полосчатое, латерально-зональное: в направлении от джасперитов уменьшается минералогическое разнообразие руд	Однородное ритмично-полосчатое
Минеральный тип марганцевых пород <sup>2</sup>	Оксидно-карбонатно-силикатный	Оксидно-силикатный

Главные минералы марганцевых пород <sup>2</sup>	Родохрозит, кальцит, тефроит, андрадит, пьмонтит, родонит, пироксмангит, кариопилит, кварц, гематит, гаусманнит	Браунит, гематит, кварц
Текстуры и структуры марганцевых пород	Линзовидные, полосчатые, сферолитовые, прожилково-сетчатые, микрозернистые, колломорфные, спутанноволокнистые, органогенные	Полосчатые, микрозернистые, органогенные
Наличие морской фауны в рудах и силицитах	Макроформы в джасперитах, микроформы в яшмах, алевролитах и рудах	Микроформы в яшмах

*Примечание.* <sup>1</sup> – джасперит – мелкозернистая гематит-кварцевая порода глобулярной, колломорфной или сферолитовой структур, обычно брекчиевидной, реже, массивной текстуры [Зайков и др., 1994; Масленников, 1999; и др.]. <sup>2</sup> – без учета гипергенной минерализации.

По особенностям геологического строения, вещественного состава пород и условиям генезиса марганцевые месторождения подразделяются на два типа (см. табл.): а) проксимальные залежи, сформировавшиеся в участках просачивания гидротермальных растворов на поверхность морского дна; б) дистальные залежи, образовавшиеся на удалении от устья гидротермальных источников.

Месторождения первого типа (Биккуловское, Казган-Таш, Кожаевское, Кызыл-Таш, Казган-Таш, Уразовское, Средне- и Южно-Файзулинские, Янзигитовское и др.) представляют собой зональные по вертикали и/или латерали постройки холмообразной или линзовидной формы, размером до 450 м по протяжению и до 50 м по мощности. Их основание (ядро) сложено мелкозернистыми гематит-кварцевыми породами брекчиевидной или массивной текстур – джасперитами. По современным представлениям, джаспериты рассматриваются как литифицированные аналоги кремнисто-железистых отложений, формирующихся в местах просачивания на морское дно низкотемпературных гидротерм. Марганцевые породы залегают на флангах джасперитовых построек, где слагают одно или несколько линзовидных тел. Руды характеризуются очень неоднородными текстурами и пестрым минеральным составом, в них широко развиты карбонаты (родохрозит, кальцит, кутнагорит).

Предполагается, что формирование подобных месторождений происходит при поступлении низкотемпературных ( $T < 100$  °C) гидротермальных растворов на открытый участок морского дна. Здесь в результате резкого перепада физико-химических параметров среды создавался узко локализованный геохимический барьер и происходило интенсивное осаждение гидротермальных компонентов (Fe, Mn, Si и др.). Большая часть кремнезема и железа отлагалась непосредственно возле устья гидротермального источника, давая начало железо-кремнистым илам (протоджасперитам), а марганец, как более подвижный металл, – на небольшом удалении от него, где раствор был максимально разбавлен морской водой. Тонкодисперсная взвесь марганцевых минералов частью рассеивалась в окружающей среде, частью концентрировалась в геоморфологических ловушках на флангах гидротермального поля, где смешивалась с «фоновыми» осадками и приобретала неоднородный состав.

На месторождениях второго типа (Аюсазовское, Габдимовское, Кусимовское, Ниязгуловское-2, Рахметовское, Северо-Файзулинское и др.) марганцевые породы залегают в значительном пространственном отрыве от джасперитов. Продуктивными являются мощные (до 30 м) и протяженные (километры – десятки километров) пачки тонкополосчатых сургучно-красных яшм. Строение таких месторождений чрезвычайно просто и однообразно, четко выраженных элементов зональность здесь не наблюдается. Как правило, рудоносные уровни представляют собой маломощные (до 1.5 м), но протяженные (200–500 м) фрагменты монотонной яшмовой толщи, содержащие тонкие (до 1.5 см) линзовидные обособления браунита. Реже в яшмах наблюдаются пласты массивных браунит-кварцевых пород, мощностью около 1 м. Структуры марганцевых руд и вмещающих их яшм полностью идентичны. В составе марганцевых руд крайне редко отмечаются карбонаты (особенно родохрозит).

Подобное строение указывает на накопление рудоносного осадка в спокойной гидродинамической обстановке, на некотором удалении от гидротермальных источников и при

низкой скорости «фоновой» седиментации. Такие условия могли создаваться в крупных понижениях рельефа дна, которые служили своеобразными ловушками для привнесенного гидротермальными растворами вещества. То есть, в данном случае геохимический барьер не был сосредоточен вблизи устья гидротермального источника, а расширялся на весь объем впадины. На стадии активной гидротермальной деятельности из растворов осаждались железо и кремнезем. Рассеиваясь на значительной площади и частично перемешиваясь с «фоновыми» осадками они служили основой для протояшмовых илов. Марганец в этот период сохранялся в растворенном виде и не полностью покидал пределы впадины-ловушки. При затухании гидротермального процесса находящиеся во впадинах воды неизбежно разбавлялись морской водой и теряли способность удерживать растворенный марганец, и тот переходил в осадок. В пределах достаточно обширной впадины возможные кратковременные колебания интенсивности гидротермальной деятельности мало сказывались на флуктуациях физико-химических параметров водной массы в целом. На процесс седиментации рудного вещества основное влияние оказывали лишь длительные и масштабно выраженные изменения гидрохимического режима. Следствием этого являются простое и очень однородное строение рудоносных отложений.

В обоих типах месторождений накопление марганца изначально, скорее всего, происходило преимущественно в форме оксидов  $Mn^{3+}$  и  $Mn^{4+}$  (вернадита, тодорокита, бёрнессит и др.), как это имеет место в гидротермальных отложениях современного океана. Последующие процессы захоронения и низкоградного ( $T = 250\text{ }^{\circ}C$  и  $P = 2-3$  кбар) регионального метаморфизма сильно изменили минералогию марганцевых пород.

В настоящее время в их составе установлен 61 минеральный вид: медь, галенит, алабандин, сфалерит, молибденит, халькопирит, пентландит, пирит, арсенопирит, герсдорфит, **кварц**, **гематит**, пирофанит, **гаусманнит**, магнетит, якобит, криптомелан, голландит, **браунит-I**, **тефроит**, аллеганит, риббеит, **андрадит**, гроссуляр, спессартин, пьмонтит, **эпидот**, пумпелииты-Mg, -Fe, -Mn, манганаксинит, титанит, ильваит, йогансенит, эгирин, эгирин-авгит, **родонит**, пироксмангит, манганбабингтонит, манганотремолит, актинолит, винчит, **кариопилит**, манганпиросмалит, тальк, клинохлор, шамозит, алюмоноселадонит, флогопит, широцулит, парсеттенсит, баннистерит, кумбсит, неотокит, альбит, цельзиан, **кальцит**, **родохрозит**, кутнагорит, барит и апатит. Только 11 из них (выделены жирным шрифтом) являются породообразующими, остальные – второстепенными и аксессуарными фазами.

Изучение пространственно-возрастных взаимоотношений между минералами позволило установить ряд закономерностей их образования. Главные из них следующие.

1) Среди метаморфизованных марганцевых пород (метаманганолитов) выделяются два минералогических типа: а) оксидно-карбонатно-силикатные, сформированные при низкой  $f_{O_2}$ , но относительно высокой  $f_{CO_2}$ ; б) оксидно-силикатные, наоборот формирующиеся при относительно высокой  $f_{O_2}$  и низкой  $f_{CO_2}$ . Первые (характерны для проксимальных отложений) сложены преимущественно силикатами и карбонатами  $Mn^{2+}$  (тефроитом, родонитом, кариопилитом, родохрозитом и др.), а также андрадитом, кварцем, гематитом и гаусманнитом. Вторые (типичны для дистальных отложений) – силикатом  $Mn^{3+}$  браунитом, а также кварцем и гематитом, в качестве второстепенных минералов в них присутствуют родонит, андрадит, эгирин, винчит и некоторые другие минералы, карбонаты для данных пород не характерны.

Вероятнее всего, баланс  $f_{O_2}$  и  $f_{CO_2}$  контролировался наличием или отсутствием в исходных осадках органического вещества (ОВ). Микробиальная деструкция ОВ создавала анаэробную среду с повышенными концентрациями углекислоты. Такая среда благоприятна для восстановления марганца исходно-осадочных оксидов и кристаллизации родохрозита. Скорее всего, карбонатизация осадка осуществлялась уже на самых ранних стадиях литогенеза. Об этом свидетельствуют сохранение в агрегатах родохрозита, кальцита и кутнагорита реликтов седименто-диагенетических структур (пелитовой, колломорфной, комковатой, сферолитовой и т.п.). Органическое происхождение углерода карбонатов подтверждается низкими значениями  $\delta^{13}C$  (PDB). На большинстве месторождений величины  $\delta^{13}C$  в карбонатах варьируют от  $-10.8$  до  $-29.3$  ‰, что характерно для углерода ОВ. На Южно-Файзулинском месторождении  $\delta^{13}C$  в родохрозитах снижается до отметок от  $-28.9$  до  $-51.4$  ‰. Такие цифры фиксируют участие в образовании родохрозита углерода биогенного метана. По всей видимости, распределение ОВ в осадках определялось расстоянием от гидротермальных источников. Как хорошо известно [Биология..., 2002; и др.], близки гидротерм наблюдаются «оазисы» жизни, а на удалении – «биологическая пустыня». Неодинаковое содержание ОВ способствовало тому, что при

метаморфизме проксимальных отложений формировались оксидно-карбонатно-силикатные породы, а за счет дистальных – оксидно-силикатные.

2) Образование многих силикатов марганца (тефроита, родонита, спессартина и др.) возможно уже на самых ранних ступенях метаморфизма, при температурах порядка 200–250 °С. Типоморфными минералами марганцевых пород, испытавших метаморфизм низких температур является кариопилит (силикат марганца, структурно близкий к серпентинам), а также тесно ассоциирующие с ним водосодержащие слоистые силикаты (парсеттенсит, баннистерит, манганпиромалит, фриделит, бементит и др.). Благоприятной предпосылкой для низкотемпературной кристаллизации силикатов (родонита, пироксмангита, тефроита, гранатов и др.) служит присутствие в исходных отложениях Mn–Si геля. Преобразование Mn–Si протолита по мере увеличения температуры происходит ступенчато в следующей генеральной последовательности: гель → неотокит → кариопилит + кварц → кариопилит + пироксмангит (± родонит) + тефроит → пироксмангит (± родонит) + тефроит. Вытеснение кариопилита парагенезисом пироксмангита (± родонита) с тефроитом осуществляется в температурном интервале пренит-пумпеллиитовой фаций. При более высоких температурах стабильна ассоциация пироксмангит (и/или родонит) + тефроит.

Таким образом, для марганцевых отложений можно выделить низкотемпературную кариопилитовую и высокотемпературную пироксмангит (родонит)-тефроитовую фации метаморфизма.

Исследования поддержаны РФФИ (проект № 08-05-00415).

### Список литературы

Биология гидротермальных систем. Отв. Ред. А.В. Гебрук. М.: Изд-во ИО РАН, 2002. 544 с.

**Зайков В.В., Зайкова Е.В., Масленников В.В.** Строение, рудоносность и методика геологического картирования островодужных комплексов Южного Урала // Геологическое картирование вулканоплутонических поясов. Под ред. Н.В. Межеловского. М.: Роскомнедра, 1994. С. 191–264.

**Масленников В.В.** Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс. Геотур, 1999. 348 с.

**Серавкин И.Б., Косарев А.М., Салихов Д.Н.,** и др. Вулканизм Южного Урала. М.: Наука, 1992. 195 с.