

Часть 3. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

А. И. Брусницын¹, Е. Ф. Летникова², И. Г. Жуков³, Е. В. Старикова¹

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

² – Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

³ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

Геохимия редкоземельных элементов в марганцевоносных отложениях Уральского палеоокеана

Введение. В современном океане железо-марганцевые отложения различного генезиса (гидротермальные, гидрогенные, диагенетические) характеризуются разными типами спектров распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) [Дубинин, 2006]. Используя эти сведения, мы оценили условия и механизмы образования марганцевых метаосадков Уральского палеоокеана.

Объекты исследования. В качестве эталонных выбраны две группы объектов, хорошо изученных в геологическом и минералогическом отношении: 1) месторождения, приуроченные к железо-кремнистым и кремнистым отложениям девонских вулканогенных комплексов Южного Урала (Кызыл-Таш, Казган-Таш, Биккуловское, Северо- и Южно-Файзулинское) и 2) месторождения, локализованные в кремнисто-карбонатных толщах палеозойских осадочных формаций Полярного Урала (Парнокское) и Пай-Хоя (Силовояхинская группа рудопроявлений). Во всех случаях минеральный состав марганцевых отложений преобразован процессами регионального метаморфизма. Однако, судя по петрографическим наблюдениям, химический состав исходных отложений не претерпел существенных изменений и отражает важнейшие черты состава исходного осадка.

По современным представлениям, рудоносные осадки всех месторождений образовывались при участии гидротермальных растворов, которые выносили на поверхность морского дна марганец и некоторые другие элементы. Однако, степень взаимосвязи рудогенеза с гидротермальными процессами в каждом случае разная. Самый простой сценарий реализовался на месторождениях Южного Урала: марганцевые залежи формировались либо непосредственно вблизи устья гидротермальных источников, либо на некотором (незначительном) удалении от них [Брусницын, Жуков, 2010]. В более сложной «двухступенчатой» модели, предложенной для Парнокского месторождения [Брусницын, Кулешов, 2011], растворы просачивались в относительно замкнутый участок морского бассейна, где периодически возникала стагнированная обстановка. В пределах данной впадины-ловушки марганец и другие гидротермальные элементы сначала концентрировались в растворенном состоянии, а затем при смене восстановительного режима на окислительный, переходили в осадок. Связь «гидротерма → рудные отложения» в данном варианте не столь непосредственна, как для месторождений Южного Урала. Наконец, рудопроявления Силовояхинской группы Пай-Хоя образовались в значительном пространственном отрыве от гипотетического гидротермального источника [Старикова, Завилейский, 2010].

Результаты изучения распределения РЗЭ в марганцевых породах (рудах) показали следующее.

Южный Урал. Спектры РЗЭ марганцевых пород из месторождений Южного Урала имеют однотипную конфигурацию (рис. а). Для них типичны невысокие содержания РЗЭ, отрицательная цериевая аномалия ($\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0.18\text{--}0.86$) и, как правило, небольшой дефицит легких лантаноидов. Такой тип спектров РЗЭ является индикаторным для металлоносных осадков и железо-марганцевых корок, формирующихся путем осаждения вещества гидротермальных растворов [Maunard, 2003; Дубинин, 2006]. Образующаяся при разгрузке гидротерм взвесь тонкодисперсных минералов железа и марганца активно сорбирует РЗЭ из окружающих придонных вод, и за счет этого наследует свойственный окисленной морской воде профиль распределения РЗЭ, главная черта которого – дефицит церия и легких РЗЭ. Это же соотношение РЗЭ сохраняется и в осадках, аккумулирующих гидротермальное вещество.

Концентрации РЗЭ связаны положительными корреляциями с концентрациями элементов-индикаторов литогенного вещества (Al, Ti, Zr, Nb, Hf, Th), т.е. помимо сорбции из морской воды еще одним источником РЗЭ в осадке был обломочный материал. Кроме того, концентрации РЗЭ обычно увеличиваются с ростом содержания железа (а также Ni, V и Cr) и фосфора, что в целом характерно для морских осадков.

Полярный Урал. Спектр РЗЭ марганцевых руд Парнокского месторождения (рис. б) содержит положительную цериевую аномалию ($\text{Ce}/\text{Ce}^* = 1.76\text{--}1.80$). Такая аномалия характерна для гидrogenных железо-марганцевых корок и конкреций, образующихся в окислительных условиях открытого океана на большом расстоянии от активных гидротермальных полей [Дубинин, 2006]. Появление положительной цериевой аномалии обусловлено тем, что растворенный в морской воде церий окисляется $\text{Ce}^{3+} \rightarrow \text{Ce}^{4+}$, катионы Ce^{4+} сорбируются минералами железа и марганца быстрее, чем катионы остальных (трехвалентных) лантаноидов.

Наличие цериевой аномалии в рудах Парнокского месторождения может интерпретироваться двояко. Во-первых, возможно, что седиментация тонкодисперсных марганцевых минералов здесь происходила относительно медленно и вне областей прямого влияния гидротермальных процессов: на большом удалении от гидротермального источника и/или в периоды затухания его активности. Но этому объяснению противоречит низкое содержание в рудах РЗЭ, что не свойственно гидrogenным железо-марганцевым скоплениям. Во-вторых, наличие цериевой аномалии может быть обусловлено не столько медленной скоростью накопления и/или захоронения марганцевых минералов, сколько спецификой состава рудогенерирующей морской воды.

Положительная цериевая аномалия и, одновременно, обогащение марганцем характерны для вод замкнутых стагнированных бассейнов [Дубинин, 2006]. Разгрузка таких вод при их попадании в окислительные условия приводит к осаждению оксидов марганца, которые могут наследовать спектр РЗЭ исходных бескислородных вод. Если этот сценарий справедлив, то положительная цериевая аномалия может проявляться даже при относительно скоротечном образовании марганцевых отложений. Кроме того, она будет указывать на изначальное накопление растворенного марганца в анаэробных условиях. Концентрации РЗЭ в рудах Парнокского месторождения положительно коррелируют с содержаниями кремния и элементов-индикаторов литогенного вещества (Al, Ti, Hf, Nb, Th и Zr).

Пай-Хой. По содержанию РЗЭ карбонатные руды Пай-Хоя существенно отличаются от марганцевых пород остальных изученных месторождений (рис. б). В их спектрах

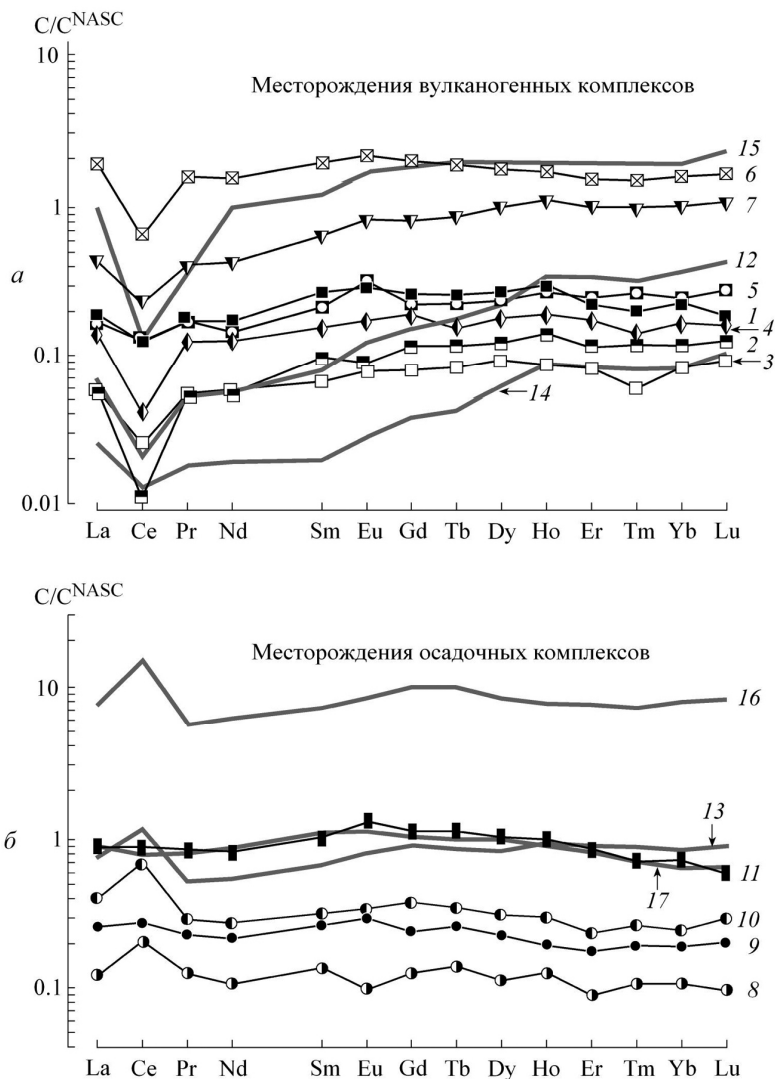


Рис. Нормализованные на сланец NASC средние составы РЗЭ в марганцевых породах Урала, в морской воде и железо-марганцевых скоплениях современного океана.

1–11 – месторождения Урала (в скобках – число анализов): 1 – Кызыл-Таш (17), 2 – Казган-Таш (6), 3 – Южно-Файзулинское (18), 4 – Северо-Файзулинское (2), 5–7 – Биккуловское (5 – южный участок (12), 6 – северный участок (3), 7 – марганцовистые туффиты южного участка (3)), 8–10 – Парнокское (8 – карбонатные руды западной зоны (5), 9 – карбонатные руды восточной зоны (6), 10 – карбонатно-силикатные руды западной зоны (21)), 11 – Силоваяхинское (11); 12–17 – современные морские бассейны по [Дубинин, 2006]: 12 и 13 – морская вода бассейна Тиро, Средиземное море (12 – окисленная, 13 – восстановленная), 14 – гидротермальная железо-марганцевая корка поля ТАГ, Атлантический океан, 15 – гидротермальная железо-марганцевая корка Галапагосского центра спрединга, Тихий океан, 16 – средний состав гидротенных железо-марганцевых корок Тихого океана; 17 – железо-марганцевые стяжения шельфа Баренцева моря.

РЗЭ отсутствует цериевая аномалия ($\text{Ce}/\text{Ce}^* = 1.05$), а по общей концентрации лантаноидов эти породы сопоставимы с эталонным сланцем NASC. Иными словами, распределение РЗЭ в данном случае не несет прямых свидетельств участия гидротермальных или гидрогенных процессов в формировании рудоносного осадка. Близкую конфигурацию имеют спектры РЗЭ марганцевых скоплений Балтийского, Баренцева, Белого морей. Предполагается [Дубинин, 2006], что подобные спектры отражают процессы диагенетического перераспределения вещества в поверхностном слое осадка.

С другой стороны, геологическая обстановка указывает на то, что для отложений Пай-Хоя нельзя полностью исключать возможность поставки гидротермального вещества (железа, марганца и др.). Но, в таком случае гидротермальный источник должен находиться на значительном расстоянии от области седиментации вещества, и рудоносный осадок должен накапливаться и/или захораниваться относительно медленно. Поэтому состав РЗЭ марганцевых отложений носит промежуточный характер между типичными гидротермальными и гидрогенными образованиями.

Закключение. Впервые для большой группы месторождений Урала получены данные о содержании в марганцевых породах (рудах) редкоземельных элементов. Эти данные, в целом, не противоречат предложенным ранее геологическим моделям образования изученных объектов и дополнительно подтверждают их независимыми аргументами. Наиболее полное соответствие геологической и геохимической информации установлено для месторождений, связанных с вулканогенными комплексами Южного Урала. Залежи этих месторождений однозначно являются продуктами развития субмаринных гидротермальных систем. В то же время спектры РЗЭ в марганцевых породах осадочных формаций допускают разную интерпретацию. Взятые сами по себе они могут служить обоснованием не только гидротермально-осадочной, но и иных моделей генезиса марганцевых отложений. В рудах Парнокского месторождения состав РЗЭ согласуется с представлениями о стагнированном бассейне, как промежуточном коллекторе марганца. Но изначально гидротермальный источник марганца здесь удается подтвердить лишь дополнительными геологическими и геохимическими данными [Брусницын, Кулешов, 2011]. Для рудопроявлений Пай-Хоя ситуация более неопределенная, и условия образования этих объектов требуют дальнейшего изучения. Все это, с одной стороны, стимулирует поиск новых аргументов в пользу гидротермально-осадочной гипотезы, а с другой, заставляет внимательно рассмотреть альтернативные варианты.

Литература

Брусницын А. И., Жуков И. Г. Марганцевоносные породы Магнитогорского палеовулканического пояса (Южный Урал): строение залежей, состав, генезис // Литосфера. 2010. № 2. С. 77–99.

Брусницын А. И., Кулешов В. Н. Геохимия рудоносных отложений Парнокского железомарганцевого месторождения (Полярный Урал) // Металлогения древних и современных океанов–2011. Рудоносность осадочно-вулканогенных и гипербазитовых комплексов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. С. 97–104.

Дубинин А. В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 359 с.

Старикова Е. В., Завилейский Д. И. Геологическая позиция и вещественный состав фанерных марганцевых руд лемвинской зоны Пай-Хоя (на примере рудопроявлений Нижнесиловояхинской группы) // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 4. С. 383–400.

Maynard J. B. Manganiferous sediments, rocks and ores // Treatise on Geochemistry. Vol. 7. Sediments, diagenesis, and sedimentary rocks, 2003. P. 289–308.