



УДК 550.4

ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ГЕОХИМИЯ МАРГАНЦА. ОБЗОР

Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

yudovich@geo.komisc.ru

В первой части статьи рассмотрена проблема типизации гидротермальных проявлений марганца. Рассмотрены три варианта типизации: классическая минералого-геохимическая [Cregar et al., 1980], современная геологическая [Казаченко, 2002] и чисто тектоническая (разделение всех гидротермальных проявлений марганца по генезису на субмаринные и континентальные). Подчеркивается большая сложность гидротермальной геохимии Mn, в связи с чем ни одна из типизаций не охватывает всего разнообразия известных гидротермальных проявлений марганца.

Ключевые слова: гидротермы, марганцевые месторождения, типизация

HYDROTHERMAL GEOCHEMISTRY OF MANGANESE

Ya. E. Yudovich, M. P. Ketris

Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of RAS, Syktывkar, Russia

This is the first part of entire article. Three variants of the typification of the Mn-hydrothermalites are discussed in details: classical mineralogical-geochemical, modern geological and tectonic. As is pointed, these variants do not cover all the natural Mn-concentrations.

Keywords: hydrotherms, manganese deposits, typification

В предыдущей работе была рассмотрена геохимия марганца в магматическом процессе [20]. Хотя часть гидротерм тесно связана с магматизмом и водный флюид в них эндогенный, во многих гидротермах вода «вадозная» — проникающая в зону повышенных температур из гидросферы или даже из атмосферы; последнее типично для вулканических областей континентов. Поэтому, например, вулканолог С. И. Набоко [15] разделяла гидротермы на первичные (магматические и магматогенные) и вторичные. Кроме того, в зонах глубинного катагенеза и метаморфизма гидротермы могут рождаться и безо всякой связи с магматизмом или вулканизмом.

Процесс отделения Mn от Fe, отчетливо проявленный на поздних (пегматитовых) стадиях магматической дифференциации, продолжается и в постмагматических хлоридных флюидах, что доказывается широким распространением эндогенных гидротермальных проявлений и месторождений марганца, иногда достигающих промышленных кондиций. При этом нередко проявленная минеральная зональность гидротермальных месторождений Mn отражает температуру флюида и фуигитивность кислорода.

Как заключил Г. Н. Батуринов в своей сводке по геохимии марганца [2,

с. 26], «гидротермальные растворы на континентах, на островах и на дне океана, как правило, обогащены марганцем относительно морской воды <...>». Действительно, если среднее содержание Mn в морской воде в настоящее время оценивают цифрой порядка 0.0n мкг/л (n = 1—5), то в вулкано-генных гидротермах оно может достигать 41 мг/л, а в уникальных рассолах оз. Солтон Си в Калифорнии (с минерализацией 219—259 г/л) содержание Mn доходит до фантастической величины — 1370 мг/л!

Проблема типизации гидротермальных концентраций марганца

Гидротермальные проявления марганцевой минерализации — как в самостоятельных месторождениях марганца, железа и марганца, так и в виде примесей в месторождениях других металлов — отличаются большим разнообразием, что объясняется многофакторностью системы «марганец в гидротермах». Эта многофакторность допускает разные подходы при типизации гидротермальных концентраций марганца. Можно выделить три основания и соответственно три схемы такой типизации.

Минералого-геохимическая типизация. При разгрузке гидротерм в средах с высоким содержанием карбонат-

ного и сульфидного ионов растворенный марганец может зафиксироваться в виде Mn-карбонатов или сульфида-алабандина, а при наличии растворенного кремнезема — осесть в форме родонита. Все три названных фазы (карбонат, алабандин и родонит) присутствуют в гидротермальных месторождениях марганца; в известном обзоре Д. Крерар и др. [21] выделяли три крупные минералого-геохимических группы.

1. **Высокотемпературные полиметалльные**, в которых Mn ассоциируется с цветными металлами (Cu, Pb, Zn, а также с Ag). Типовым примером считают Pb—Zn—Ag—Mn-месторождение Бьюнт в Монтане. В таких месторождениях резко доминирует Mn(II) в форме родохрозита с возможными примесями алабандина и родонита. В одних только США месторождений и проявлений этого типа известно более 200.

2. **Низкотемпературные барит-флюоритовые**. В них присутствуют минералы, содержащие как Mn(II), так и Mn(IV).

3. **Мелкие проявления марганцевистых травертинов**. В них преобладают оксиды Mn(IV).

Считают, что эти группы представляют собой как бы части идеальной зональности гидротермальной системы, в которой от ранней стадии



к поздней последовательно снижается температура и возрастает Eh рудно-флюида.

Геологическая типизация. Как утверждает В. Т. Казаченко [9, с. 4], месторождения с гидротермальной марганцевой минерализацией (в основном силикатной и карбонатной) «являются характерной особенностью определенных геологических структур земной коры, и в частности таких, как Тихоокеанский подвижный пояс. Можно полагать, что эта особенность является следствием проявления в определенных условиях неких фундаментальных закономерностей функционирования гидротермальных палеосистем». При этом собственно марганцевые или железо-марганцевые проявления (например, в Прибрежной зоне Приморья) — это лишь малая доля гидротермальной марганцевой минерализации, сопровождающей формирование других типов рудных месторождений: золото-серебряных, серебро-свинцово-цинковых, оловянно-полиметаллических, скарновых железорудных, молибденовых и вольфрамовых. Такие месторождения формируются в весьма различной геологической обстановке (табл. 1). В большинстве случаев источником марганца являются подвергшиеся кислотному выщелачиванию вмещающие породы, и реже можно предполагать привнос марганца глубинными гидротермами.

Тектоническая типизация. К типизации гидротермальных концентраций марганца можно подойти, положив в основание тип земной коры — континентальный или океанический. При таком подходе выделяются концентрации *континентальные* и *субмаринные*. В терминах Б. А. Лебедева и Э. М. Пинского [13] первые формировались в основном по *компрессионному* механизму (что требует обязательного наличия мощного осадочного чехла [1]), а вторые — по *конвективному*. Разумеется, это типы *сугубо генетические*, а отнюдь не *современные*, *географические*. После того как в концепции тектоники литосферных плит офиолитовые комплексы в складчатых зонах были проинтерпретированы как реликты былой океанической коры, проявления марганца в некоторых гидротермалитах, ныне находящиеся на континентах, приходится трактовать как древние субмаринные образования. Как правило, такие месторождения размещаются в тектонически активных зонах, например, в зонах былой суб-

дукции или в районах спрединговых центров.

Точно так же и самый распространенный на Земле тип гидротермальных Mn-руд — *вулканогенно-осадочный*, представленный на современных континентах сотнями месторождений и рудопоявлений разного возраста, в настоящее время трактуют как несомненно субмаринный, что в деталях показано, например, уральскими и петербургскими геологами, изучавшими Южно-Уральские колчеданосные месторождения («палеогидротермальные поля» на дне Уральского океана) [4; 5; 14; 19]. В пределах Магнитогорского палеовулканического пояса Южного Урала известно несколько десятков марганцевых месторождений (рудопоявлений). Некоторые из них (Кожаевское, Уразовское, Кызыл-Таш, Казган-Таш, Южно-Файзулинское) рассматриваются как низкотемпературные гидротермальные постройки, сходные с железо-марганцевыми холмами бассейна Вудларк и других активных районов современного океана. Считают [5], что рудоносные осадки сформировались непосредственно в зоне разгрузки на морское дно низкотемпературных ($T \leq 100^\circ\text{C}$) гидротермальных растворов, вероятно, термоконвекционной природы. Следуя тектонической типизации, также и в схеме В. Т. Казаченко большую часть вулканогенных месторождений нужно аттестовать как субмаринные, а месторождения в ореолах гранитных интрузий — как континентальные.

Трудные случаи типизации. Тем не менее ни одна из предложенных схем пока, по-видимому, не охватывает всего разнообразия гидротермальных проявлений марганца.

Так, не очень понятно, куда следует поместить проявления марганца в низкоградных априолитовых сланцах на хр. Малдындыр (район золото-палладиевых месторождений Чудное и Нестеровское [7]). Там выявлена метаморфогенно-гидротермальная минерализация, представленная широким спектром минералов, содержащих марганец: оксидов (браунит, пиролюзит), карбонатов (родохрозит), арсенатов (скородит и черновит), силикатов (хлоритоид, спессартин, пьомонит, манган-алланит, арденнит) и алюмосиликатов (хлорит). В их числе как минералы-концентраторы, так и минералы — носители марганца [7, 11, 12]. В *скородите* $\text{Fe}[\text{AsO}_4] \times 2\text{H}_2\text{O}$ содержится от 2.12 до 3.26 мас. % MnO, в *арсениоскородите*

$\text{Ca}_3\text{Fe}_4[(\text{As}_4\text{O}_4)_4(\text{OH})_6] \times 3\text{H}_2\text{O}$ — от 0.64 до 3.55% MnO. *Черновит* — редкий арсенат иттрия $\text{Y}[\text{AsO}_4]$ — отнесен нами к марганецсодержащим минералам вследствие присутствия примеси MnO, достигающей 3.03 %. Присутствующий в априолитовых сланцах хлоритоид имеет эмпирическую формулу $(\text{Fe}^{2+}_{0.75}\text{Mg}_{0.16}\text{Mn}_{0.09})_{1.00}(\text{Al}_{1.91}\text{Fe}^{3+}_{0.16})_{2.07}[\text{SiO}_{9.2}\text{O}_5](\text{OH})_2$, а в минерале из хлоритоид-пирофиллитового стяжения найдено 8.67 % MnO, т. е. данный хлоритоид является переходной разновидностью к *оттрелиту*. Микронзондовые анализы зерен *спессартина* из эпидот-кварцевого стяжения показали определенную зональность с обогащением центра марганцем, а периферии — алюминием и железом: центр — $(\text{Mn}_{2.89}\text{Ca}_{0.11})_3(\text{Al}_{1.68}\text{Mn}_{0.32})_2(\text{Si}_{2.81}\text{Al}_{0.19})_3\text{O}_{12}$; периферия — $(\text{Mn}_{2.82}\text{Ca}_{0.11}\text{Mg}_{0.04}\text{Fe}_{0.01})_3(\text{Al}_{1.91}\text{Fe}_{0.08}\text{Ti}_{0.01})_2(\text{Si}_{2.97}\text{Fe}_{0.03})_3\text{O}_{12}$. Присутствующий в этом парагенезисе *низкомарганцевый пьомонит* с эмпирической формулой $(\text{Ca}_{1.56}\text{Mn}_{0.44})_{2.00}(\text{Al}_{2.25}\text{Mn}_{0.42}\text{Fe}_{0.38})_{3.05}\text{Si}_{2.95}\text{O}_{12}\text{OH}$, по мнению сыктывкарского минералога В. И. Силаева, следует относить к манганклинозоизиту, который предлагается рассматривать в ранге отдельного минерального вида. *Манган-алланит* со структурой эпидота является La-Nd-минералом, содержащим 13.9% MnO. Этот минерал является, по-видимому, членом изоморфного ряда алланит-пьомонит, в котором Ca частично замещается на Mn и P3Э. *Арденнит* — мышьяково-марганцевый силикат $\text{Mn}_5\text{Al}_5(\text{As}, \text{V})\text{O}_4(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2(\text{OH})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ — в данном районе впервые обнаружен в 2002 г. И. В. Козыревой и И. В. Швецовою [10] в весьма необычных спессартин-эпидот-кварцевых конкрециевидных обособлениях (в парагенезисе с лейкоксеном, рутилом, сфеном, турмалином, хлоритоидом, цирконом, эпидотом, монацитом и спессартином). В *хлорите* из марганцовистого эпидот-кварцевого стяжения содержание MnO достигает 4.19 %.

Из перечисленных марганецсодержащих минералов по крайней мере скородит, арсениоскородит, хлорит, браунит и арденнит можно уверенно считать гидротермальными, поскольку они находятся в жилах и пегматоидных стяжениях с турмалином и уникальными гигантокристаллическими хлоритоидом, пирофиллитом и гематитом [7, 11, 12]. Сыктывкарские геохимики и минералоги предполагают, что «*метаморфические породы в зоне Озерного разлома подверглись в герцин-*



Гидротермальные месторождения, содержащие марганцевую минерализацию*

Геологическая позиция	В вулканических постройках	В фундаменте вулканических сооружений	В температурных полях гранитоидных интрузий (вне связи с вулканическими постройками)					
			Алюмосиликатные		Кремнистые	Карбонатные		
Основные структурные элементы ореолов или их фрагментов	Зоны окварцевания, жилы выполнения полостей трещин, брекчиевые тела	Грейзеновые поля и штокверки или зоны окварцевания и серицитизации, жилы выполнения полостей трещин		Линейно вытянутые штокверкоподобные метасоматические зоны в кремнистых породах	Контактово-реакционные (скарновые) залежи в известняках			
Вещственный состав оруденения	Золото-серебряный	Полиметаллический (с оловом и серебром)		Молибденовый	Марганцевый	Железо-рудный	Полиметаллический	Вольфрамовый
Месторождения, рудоносные структуры, зоны	Дукат (Магаданская область, Многовершинное (Нижнее Приамурье), Костомак (СПА), Гуанаоата (Мексика), Югашима (Япония), Розарио (Гондурас, Касапалка (Перу), Лос Мангиллес (Аргентина), Хаураки (Новая Зеландия), Моробе и Риброастер (Папуа-Новая Гвинея) и др.	Арсеньевское (Приморье)	Южное, Темногорское (Приморье) и др.	Клаймекс, Биг Бен, Хендерсон, Маунт Геммонс, Маунт Хоуц, Лайн Гроув, Редвелл (США) и др.	Широкопаднская, Юго-Восточная, Северо-Западная марганцевые структуры, Еркинская зона (Приморье), Нода Тамагава, Касо, Тагути, Кинко, Кусуги, Ренге (Япония) и др.	Белогорское, Мраморный мыс (Приморье) и др.	Маданское рудное поле (Болгария), Монте Цивилина, Валле дель Темперино (Италия), Эмпайр (США), Йонхва II, Ульчин (Корея)	Куга, Кивала, Фулжигатани (Япония) и др.

* Взято у В. Т. Казаченко, 2002 г. [9, с. 9]

скую эпоху гидротермальной проработке с мобилизацией вещества в растворе и последующим переотложением его отчасти в открытых полостях (в виде гигантокристаллических пегматоидных образований), отчасти путем метасоматического замещения вмещающих гематит-серицит-пирофиллитовых сланцев» [11, с. 82]. Согласно термодинамическим расчетам А. В. Борисова [3], гидротермальный хлоридный флюид был очень кислым (рН 1.7—4.5), а минерализация формировалась в окислительной среде ($fO_2 = 10^{-(34-41)}$) при температуре около 150 °С.

В схему Д. Крерара и др. [21] не укладывается не только Малдинский феномен, но и такой замечательный объект, как гигантское нижнемеловое месторождение серебра Дукат в Охотско-Чукотском вулканическом поясе [8]. Здесь основная рудная стадия — кварц-родохрозитовая с самородным серебром, но и вмещающие риолиты, преобразованные вулканогенными гидротермами, содержат много спессартинового граната, присутствуют манганит и родонит. По $\delta^{13}C = 18-20\%$ в сосуществующем кальците и графитистом веществе оценена температура гидротермального процесса, составляющая 180—220 °С, что согласуется с данными по газовой-жидким включениям и не позволяет причислить вулканогенный Дукат к группе высокотемпературных полиметаллических месторождений по схеме Д. Крерара и др. [21].

Весьма своеобразна (если не уникальна) и марганцевая минерализация, описанная В. В. Серединым на Павловском бурогольном месторож-

дении Приморья, разрез которого сложен лежащей на палеозойских гранитах и эоценовых базальтах континентальной эоцен-олигоценовой угленосной толщей, перекрытой плиоцен-четвертичным аллювием. Здесь на трех стратиграфических уровнях проявлена секущая и стратиформная Fe—Mn-минерализация. Она представлена вернадит-бейделлит-кремнистыми микроконкрециями в глинах (верхний — плейстоценовый уровень), стратиформными голландитовыми рудами (средний — миоцен-плиоценовый уровень), и кварц-Al-литифоритовыми жилами и прожилками с примесями ярозита и криптомелана в породах фундамента (нижний — эоценовый уровень). Поразительной особенностью руд оказались мощные накопления Се (до 3.18 %) и рекордно высокие отношения Се/La, достигающие 160 как в микроконкрециях [17], так и в секущих прожилках в фундаменте впадин [23]. При этом в отличие от сорбированной формы Се в ЖМК океана [2] здесь Се образует собственные минералы: оксиды, силикаты, фосфаты и даже титанаты! [16, 18]. Природа этого «парадокса Середина» пока неясна; вероятно, он порожден очень специфическим составом вулканогенных гидротерм кайнозойских континентальных рифтогенных впадин.

Наконец, трудный для тектонической типизации «промежуточный» случай представляет и давно известное громадное месторождение обогащенных Ва, Pb, Zn, As, Sb и W оксидных марганцевых руд Вани в верхнеплиоценовых туфах на греческом о-ве Милос [22]. Дело в том, что здесь при-

сутствуют как типично жильные руды (характерные для континентальных «эпитептермальных» гидротермалитов), так и мощные стратиформные рудные тела. И хотя туфы первоначально откладывались в мелководном морском бассейне возле активной Эгейской вулканической дуги, в дальнейшем остров был поднят над уровнем моря и минерализация, несомненно, происходила в уже литифицированных породах суши. Тем не менее марганцевые гидротермы были субмаринными — они поднимались (из зоны субдукции?) по зонам разломов, формируя жильные тела, и затем растекались по плоскостям наложения, проникая в поровое пространство туфов, образуя стратиформные тела. Таким образом, в отличие от типично субмаринных гидротерм (которые разгружаются прямо на морское дно), здесь рудные флюиды проходили через трещиновато-пористую среду литифицированных туфов, производя мощное выщелачивание вмещающих пород (характерна, в частности, адуляризация); поэтому по минералого-геохимическим признакам руды все же ближе к континентальным, чем к субмаринным.

Может быть, еще большую проблему для тектонической типизации представляет и наше Парнокское Fe—Mn-месторождение на Полярном Урале, где стратиформные рудные залежи представляют собой чередование пластов марганцевых и железных руд, с пропластками известняков и сланцев. Железные руды почти целиком сложены магнетитом. Марганцевые руды имеют карбонатный или карбонатно-силикатный состав (глав-



ные минералы — родохрозит, тефроит, сонолит, риббит, карнопилит, спессартин и др.), они сохраняют реликты типичных для осадочных пород текстур. Для парнокских руд характерны четыре особенности: а) черносланцевая природа вмещающих толщ верхнего ордовика; б) пространственное разделение железа и марганца; в) отсутствие связи с магматизмом; г) признаки пространственной ассоциации со свинцово-цинковым оруднением. Эти факты допускают разные толкования. Один из вариантов генетической трактовки парнокских руд предложен А. И. Брусницыным [4], попытавшимся модернизировать ранее высказанные генетические представления [6]. Ассоциацию гидротермально-осадочных руд с черными сланцами он трактует традиционно, но делает попытку увязать фазы развития гидротермальной системы с фазами развития аноксического морского бассейна, что могло бы объяснить разделение железа и марганца. Развитие гидротермальной системы в пределах осадочного бассейна вне явной связи с какими-либо магматическими процессами, а также ассоциацию Fe—Mn-руд с Pb—Zn-минерализацией А. И. Брусницын считает возможным истолковать в рамках концепции катагенетической природы марганцевых растворов: «...рудноносные растворы могли продуцироваться и в пределах самих осадочных толщ за счет преобразования погребенных седиментационных вод, а также фазовых трансформаций (дегидратации) минералов глины» [4, с. 21]. При этом предложенная гидротермально-осадочная концепция рассматривается как синтетическая, а не альтернативная концепции глубинных гидротерм, зарождавшихся в фундаменте осадочного бассейна: «Не исключено, что гидротермальная система была активизирована обновлением тектонических и магматических процессов в фундаменте осадочных формаций» [4, с. 21].

Представленные в обзоре материалы позволяют сделать несколько выводов.

1. Поведение марганца в гидротермальных системах характеризуется большой сложностью вследствие влияния на эти системы нескольких факторов. Поэтому при типизации гидротермальных проявлений марганца возможны разные подходы — с выделением разных признаков в качестве главных.

2. Рассмотрены три типизации: классическая минералого-геохимическая [21], современная геологическая [9] и чисто тектоническая.

3. Хотя нам ближе именно последняя (с выделением двух крупнейших генотипов Mn-минерализации — *субмаринного* и *континентального*), подчеркивается наличие целого ряда марганцевых руд, плохо совместимых с любой из этих типизаций. Эта «классификационная проблема» может быть, в частности, следствием многостадийности (полихронности) минерализации, вызванной геологической эволюцией гидротермальной системы.

Авторы признательны В. В. Середину (ИГЕМ РАН) за консультации по вопросам рудогенеза марганца.

Литература

1. Аглонов С. В., Лебедев Б. А. Нафторудогенез: пространственные и временные соотношения гигантских месторождений. М.: Научный мир, 2010. 224 с. 2. Батурич Г. Н. Геохимия железомарганцевых конкреций океана. М.: Наука, 1986. 328 с. 3. Борисов А. В. Геолого-генетические особенности Au—Pd—REE рудопроявлений хр. Малдындырл: Приполярный Урал: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Москва, 2005. 20 с. 4. Брусницын А. И. Геохимическая модель формирования марганцевоносных осадков в черносланцевых толщах Полярного Урала // Приоритетные и инновационные направления литологических исследований: Материалы 9 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 19—22. 5. Брусницын А. И., Жуков И. Г., Кулешов В. Н., Летникова Е. Ф. Реконструкция марганцевоносных палеогидротермальных построек: литологические и геохимические данные // Ленинградская школа литологии: Матер. Всерос. литол. совещ., посвящ. 100-летию со дня рождения Л. Б. Рухина (Санкт-Петербург, 25—29 сентября 2012 г.). Т. 2. СПб.: СПбГУ, 2012. С. 69—70. 6. Геохимия и рудогенез черных сланцев Лемвинской зоны Севера Урала / Я. Э. Юдович, М. А. Шишкин, Н. В. Лютиков, М. П. Кетрис, А. А. Беляев. Сыктывкар: Пролог, 1998. 340 с. 7. Зона межформационного контакта в каре оз. Грубепендита / Я. Э. Юдович, Л. И. Ефанова, И. В. Швецова, И. В. Козырева, Е. А. Котельникова. Сыктывкар: Геопринт, 1998. 96 с. 8. Изотопно-геохимические исследования уникального золото-серебряного месторождения Дукат как ключ к пониманию процессов вулканогенного рудообразования / О. В. Петров, Б. К. Михайлов, С. С. Шевченко и др. // Региональная геология и металлогения, 2006. № 27. С. 60—76. 9. Казаченко В. Т. Петрология и минералогия гидротермальных марганцевых пород востока России. Владивосток: Дальнаука,

2002. 250 с. 10. Козырева И. В., Швецова И. В. Арденнит в метаморфитах Приполярного Урала // Вестник Института геологии. Сыктывкар: Геопринт, 2002. № 10. С. 7—8. 11. Козырева И. В., Швецова И. В., Юдович Я. Э. Гигантокристаллический хлоритоид Приполярного Урала // Зап. Всерос. минералог. об-ва, 2005. № 4. С. 71—82. 12. Козырева И. В., Швецова И. В., Юдович Я. Э. Марганцевая минерализация в метаморфических породах Приполярного Урала // Уральская минералогическая школа-2007: Материалы Всерос. научн. конф. Екатеринбург, 2007. С. 189—192. 13. Лебедев Б. А., Пинский Э. М. Механизмы формирования эпигенетических месторождений и их эволюция в истории Земли // Отечественная геология, 2000. № 2. С. 13—17. 14. Масленников В. В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 1999. 348 с. 15. Набоко С. И. Металлоносность современных гидротерм в областях тектоно-магматической активности. М.: Наука, 1980. 199 с. 16. Середин В. В. Редкоземельная минерализация в позднекайнозойских эксплозивных структурах (Ханкайский массив, Приморье) // Геология рудных месторождений, 1998. Т. 40. № 5. С. 403—418. 17. Середин В. В., Томсон И. Н. Металлоносные железо-марганцевые конкреции кайнозойских континентальных впадин: пример уникально высоких накопленных церия в природных объектах // Докл. РАН, 2000. Т. 372. № 5. С. 668—772. 18. Середин В. В., Чекрыжов И. Ю. Оксигидроксидная Fe—Mn минерализация Павловского угольного месторождения, Приморье // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах: Матер. рос. совещ. с междунар. участием (Сыктывкар: 20—22 марта 2012 г.). Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 159—162. 19. Старикова Е. В., Брусницын А. И., Жуков И. Г. Палеогидротермальная постройка марганцевого месторождения Кызыл-Таш, Южный Урал. СПб.: Наука, 2004. 230 с. 20. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Магматическая геохимия марганца // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2012. № 12. С. 9—13. 21. Crerar D. A., Cormick R. K., Barnes H. L. Geochemistry of manganese: an overview // Geol. Geochem. Manganese. Vol. 1. (Eds. I. M. Varentsov, Gy. Grasselly). Budapest, 1980. P. 293—334. 22. Glasby G. P., Paravassiliou C. T., Mitsis J., Valsami-Jones E., Liakopoulos A., Renner R. M. The Vani manganese deposit, Milos Island, Greece: A fossil stratabound Mn—Ba—Pb—Zn—As—Sb—W-rich hydrothermal deposit / The South Aegean Active Volcanic Arc — Elsevier, 2005. P. 255—291. 23. Seredin V. V., Dai S. Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium // Int. J. Coal Geol., 2012. V. 94, № 1. May 2012. P. 67—93.

Окончание следует

Рецензент к. г.- м. н. Г. Н. Лысюк