

## ЧАСТЬ 4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРНЫХ, РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ МЕТАЛЛОВ

---

*Е.В. Белозуб<sup>1</sup>, К.А. Новоселов<sup>1</sup>, А.И. Брусницын<sup>2</sup>,  
Е.Н. Перова<sup>2</sup>, К.А. Филиппова<sup>1</sup>, И.Г. Жуков<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Южно-Уральский федеральный научный центр  
минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия  
belogub@mineralogy.ru*

*<sup>2</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

### Геохимия железных и марганцевых руд месторождений Северного Урала

*E.V. Belogub<sup>1</sup>, K.A. Novoselov<sup>1</sup>, A.I. Brusnitsyn<sup>2</sup>,  
E.N. Perova<sup>2</sup>, K.A. Filippova<sup>1</sup>, I.G. Zhukov<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – South Urals Federal Research Center of Mineralogy and  
Geoecology UB RAS, Miass, Russia*

*<sup>2</sup> – St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

### Geochemistry of iron and manganese ores of the North Urals deposits

**Abstract.** New data on geochemistry of sedimentary ores of Fe and Mn from the North Urals deposits are presented. Geochemical indicators show that Fe accumulated under conditions of dynamic movement of water masses, apparently at shallow depths in a coastal zone. Manganese deposits, on the contrary, formed in a calm hydrodynamic regime or at a greater distance from the coastline, or during sea transgression.

*Введение.* На восточном склоне Северного Урала в узкой меридиональной полосе от пос. Бурмантово на севере до г. Серов на юге с конца XIX в. известно почти два десятка осадочных месторождений и рудопроявлений марганца и железа [Рабинович, 1971; Конгарь и др., 1999]. Геологическое строение и петрография руд этих месторождений изучены достаточно полно, но информация о геохимии руд, особенно в отношении редких элементов, крайне отрывочна. Проведенные исследования призваны отчасти восполнить этот пробел. Работы выполнены на материале Тыньинского, Полуночного и Марсятского месторождений.

*Геологические условия залегания руд.* Изученные месторождения приурочены к осадочным породам чехла Западно-Сибирской плиты, перекрывающим структуры Уральской складчатой системы. Рудовмещающими являются морские глинисто-песчаные отложения верхнего мела и нижнего палеогена, сформированные в обстановке мелководного шельфа. Руды слагают пласты протяженностью от несколько сотен метров до первых километров и мощностью от 0.5 до 19 м (в среднем, 1–2 м). Тыньинское месторождение представлено двумя субпараллельными пластами марганцевых руд, Полуночное месторождение – одним, а на Марсятском месторождении в основании марганцевого рудного горизонта, после небольшого перерыва, зафиксированного гравийными отложениями, залегает мощный пласт железных руд.

*Петрография руд.* Железные руды Марсятского месторождения являются типичными представителями оолитовых бурых железняков. Это слабосцементированные мелкозернистые породы насыщенного коричневого цвета, преимущественно, с оолитовыми текстурами. Плохо сортированный обломочный материал и ооиды цементируются тонкозернистой железистой пелит-алевролитовой массой. Обломочный материал представлен, преимущественно, кварцем, меньше – калиевыми полевыми шпатами, минерализованными растительными остатками и редкими детритовыми минералами – монацитом, ксенотимом, цирконом, ильменитом и эпидотом. Среди аутигенных минералов преобладают гетит, сидерит, второстепенные и акцессорные – глауконит, родохрозит, доломит, гиббсит, бёмит, каолинит, шамозит, апатит, крандаллит, ксенотим, рабдофан, анатаз, пирит, сфалерит и галенит.

Марганцевые руды представлены двумя типами: исходно-осадочными карбонатными и продуктами их приповерхностного изменения – гипергенными оксидными. В данной работе изучены карбонатные руды. Они представляют собой мелкозернистые серые, бежевые, коричневые, зеленоватые породы. Текстуры руд разнообразны: ритмично-слоистые, неравномерно пятнистые, концентрически-зональные конкреционные, волнисто-слоистые (строматолитовые) и т.п. В составе руд резко преобладает родохрозит. В заметно меньшем количестве присутствуют кварц, тридимит, глауконит, мусковит, шамозит, альбит, калиевый полевой шпат, титанит, ильменит, рутил, апатит, пирит, сфалерит и галенит.

*Геохимия руд.* Анализ полученных данных (табл.) показывает следующее. В железных и марганцевых рудах четко обособливается группа элементов-индикаторов присутствия в осадках обломочного материала – Al, Ti, K, Sc, Rb, Zr, Nd, Sn, Cs, Hf, Ta и Th. Судя по их содержанию, доля обломочного вещества в железных рудах в три раза выше, чем в марганцевых. То есть, накопление Fe по сравнению с Mn происходило ближе к береговой зоне, на меньших глубинах и в менее спокойной гидродинамической обстановке, что подтверждается текстурами руд.

Железные руды характеризуются высокими содержаниями Mn. Значение отношения Mn/Fe в них такое же, как в среднем в земной коре: 0.018 и 0.019, соответственно. То есть накопление Fe сопровождалось эквивалентным накоплением Mn без дифференциации этих элементов. Обычно разделение Fe и Mn происходит за счет вариаций окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий. По сравнению с Fe, осаждение Mn требует более окислительных и/или более щелочных обстановок. Совмещение геохимических барьеров для Fe и Mn возможно при активном гидродинамическом режиме в результате механического перемешивания водных масс. Такой режим характерен для прибрежных частей морского бассейна.

Содержание Fe в марганцевых рудах ниже, чем в среднем в земной коре, и почти на порядок меньше, чем в железных рудах. Значение Mn/Fe в марганцевых рудах составляет 9.5, что характеризует высокую степень разделения этих элементов. Обычно это реализуется в спокойной гидродинамической обстановке, ниже базиса штормовых или приливных волн.

Характерной особенностью и железных, и марганцевых руд являются высокие концентрации P. На это обращали внимание и предыдущие исследователи [Контарь и др., 1999]. Наши данные свидетельствуют о том, что P накапливается преимущественно в железных рудах, где его содержания почти в 10 раз превышают средние значения для земной коры. Нормирование на Al дает цифру  $[C_i/C_{Al}]_n = 41$ , которая даже выше, чем для Mn и Fe  $[C_i/C_{Al}]_n = 26$ . В марганцевых рудах концентрация P примерно в два раза выше средней для земной коры. Нормированные на Al значения для P  $[C_i/C_{Al}]_n = 31$  в марганцевых рудах уступают только самому Mn  $[C_i/C_{Al}]_n = 54$ . Скорее всего, обогащение рудоносных отложений фосфором обусловлено активными биохимическими процессами, возможно, инициированными поступлением P из глубинных частей бассейна в результате апвеллинга.

**Средние содержания элементов в земной коре,  
железных и марганцевых рудах месторождений Северного Урала**

Элемент	Земная кора*	Железные руды			Марганцевые руды			C <sub>Mn</sub> /C <sub>Fe</sub>
		Me	[C] <sub>i</sub> <sub>n</sub>	[C] <sub>i</sub> /[C] <sub>Al</sub> <sub>n</sub>	Me	[C] <sub>i</sub> <sub>n</sub>	[C] <sub>i</sub> /[C] <sub>Al</sub> <sub>n</sub>	
%		n = 10			n = 10			
Na	2.54	0.03	0.01	0.04	0.06	0.02	0.31	2.00
Mg	1.64	0.26	0.16	0.58	0.75	0.46	5.85	2.88
Al	7.83	2.15	0.27	1.00	0.61	0.08	1.00	0.28
Si	30	12.95	0.44	1.60	6.53	0.22	2.80	0.50
P	0.09	0.88	9.78	40.93	0.19	2.11	31.15	0.22
K	2.56	0.16	0.06	0.23	0.26	0.10	1.24	1.56
Ca	3.15	1.85	0.59	2.15	3.06	0.97	12.57	1.65
Ti	0.33	0.16	0.42	1.63	0.05	0.18	2.46	0.43
Mn	0.08	0.56	7.00	26.05	32.68	409	5358	58.36
Fe	4.17	30.29	7.26	26.58	3.45	0.73	10.70	0.11
г/т								
Li	23	10.4	0.45	1.64	6.1	0.27	3.42	0.59
Be	3.2	6.6	2.07	7.52	0.41	0.13	1.64	0.06
Sc	14	9.5	0.68	2.47	1.43	0.10	1.31	0.15
V	140	323	2.31	8.40	201	1.44	18.43	0.62
Cr	69	124	1.80	6.55	12.7	0.18	2.35	0.10
Co	17	25.4	1.49	5.43	36.3	2.13	27.39	1.43
Ni	55	94	1.71	6.22	83	1.51	19.36	0.88
Cu	39	32.5	0.83	3.03	7.9	0.20	2.60	0.24
Zn	67	149	2.22	8.10	146	2.18	27.96	0.98
Ga	18	10.2	0.57	2.06	8.2	0.46	5.87	0.81
Ge	1.5	10.1	6.73	24.72	2.0	1.36	17.60	0.20
As	1.6	20.5	12.78	47.56	9.4	5.89	77.30	0.46
Rb	110	8.3	0.08	0.28	11.6	0.11	1.35	1.39
Sr	350	255	0.73	2.65	127	0.36	4.66	0.50
Y	22	23.3	1.06	3.86	9.8	0.45	5.72	0.42
Zr	170	20.9	0.12	0.45	5.69	0.03	0.43	
Nb	15	1.8	0.12	0.42	0.7	0.05	0.62	0.42
Mo	1.6	3.3	2.04	7.60	3.7	2.31	30.33	1.13
Cd	0.1	0.36	3.60	16.74	0.51	5.10	83.61	1.42
Sn	3.3	0.47	0.14	0.52	0.24	0.07	0.94	0.51
Sb	0.2	2.04	10.20	31.53	1.80	9.00	98.36	0.88
Cs	3.7	0.54	0.15	0.53	0.84	0.23	2.93	1.56
Ba	570	172	0.30	1.10	97.2	0.17	2.19	0.56
Hf	4	0.63	0.16	0.57	0.22	0.06	0.71	0.35
Ta	1.5	0.13	0.09	0.32	0.08	0.05	0.69	0.62
W	1.3	1.10	0.85	3.01	1.39	1.07	13.40	1.26
Tl	0.53	0.02	0.06	0.20	1.34	2.53	31.38	44.67
Pb	17	36.7	2.16	7.86	9.0	0.53	6.79	0.25
Bi	0.05	0.26	4.81	12.09	0.10	1.85	16.39	0.38
Th	11	3.8	0.34	1.26	0.9	0.08	1.07	0.24
U	2.8	3.7	1.80	4.84	1.5	0.71	6.69	0.39

Элемент	Земная кора*	Железные руды			Марганцевые руды			$C_{Mn}/C_{Fe}$
		Me	$[C_i]_n$	$[C_i/C_{Al}]_n$	Me	$[C_i]_n$	$[C_i/C_{Al}]_n$	
%		$n = 10$			$n = 10$			
ΣREE	139.58	120.12	0.86	3.13	58.98	0.42	5.42	0.49
Ce/Ce*	1	1.06			1.04			
Eu/Eu*	1	0.97			0.88			
(La/Lu) <sub>n</sub>	1	0.47			0.95			

*Примечание.* Анализы выполнены в Южно-Уральском федеральном научном центре минералогии и геоэкологии УрО РАН, аттестат аккредитации ААС.А.00330. \* – средние концентрации элементов в верхней части континентальной земной коры по [Li, Schoonmaker, 2003]. Me – медиана,  $[C_i]_n$  – нормированные концентрации элементов:  $[C_i]_n = Me_{образец}/C_i^{Upper crust}$ ,  $[C_i/C_{Al}]_n$  – нормированные на алюминий концентрации элементов:  $[C_i/C_{Al}]_n = [Me/Me_{Al}]_{образец}/[C_i/C_{Al}]^{Upper crust}$ ;  $C_{Mn}/C_{Fe}$  – отношение медиан концентраций элементов в марганцевых и железных рудах.  $n$  – число анализов. ΣREE – суммарное содержание РЗЭ. Ce/Ce\* и Eu/Eu\* – аномалии Ce и Eu, соответственно, рассчитанные по формулам  $Ce/Ce^* = Ce/Ce^{Upper crust}/0.5(La/La^{Upper crust} + Nd/Nd^{Upper crust})$  и  $Eu/Eu^* = Eu/Eu^{Upper crust}/0.5(Sm/Sm^{Upper crust} + Gd/Gd^{Upper crust})$ .

Железные руды обогащены Ge, As и Sb, концентрации которых в 6–12 раз выше соответствующих показателей для земной коры. Нормирование на Al показывает, что концентрации V, Cr, Co, Ni, Zn, Y, Mo, Cd, Pb, Bi и U существенно выше ( $[C_i/C_{Al}]_n > 1$ ), чем в обломочном материале исходного осадка. Дополнительными источниками этих элементов могли служить морская вода (водородная сорбция элементов), биогенное вещество (карбонатное, кремнистое, фосфорное, углеродистое), диагенетические поровые воды и гидротермальные растворы (любого происхождения). Какие из этих источников были реализованы сказать трудно, но очевидно, что седиментация Fe сопровождалась концентрацией ряда микроэлементов. Аналогичные закономерности установлены и в марганцевых рудах.

Содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в железных и марганцевых рудах ниже, чем в среднем в земной коре. Однако при нормировании на Al избыточные (относительно обломочного материала осадков) количества РЗЭ выявляются в обоих типах руд:  $[C_i/C_{Al}]_n$  равно 3.1 и 5.4 для железных и марганцевых руд, соответственно. Дополнительным источником РЗЭ в данном случае, вероятно всего, служила морская вода. В составе РЗЭ отсутствуют аномалии Ce и Eu, что характерно для мелководных осадков.

*Выводы.* Для месторождений Северного Урала получена новая информация о химическом составе железных и марганцевых руд. Она помогает понять условия накопления железо- и марганценосных отложений. Источники Fe и Mn могли быть разными. Металлы могли поставляться в область седиментации в составе речного стока, при подъеме к поверхности глубинных бескислородных вод или при просачивании на поверхность морского дна элизонных растворов, связанных с развитием Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Очевидно, что накопление Fe происходило в условиях динамического движения водных масс, видимо, на небольшой глубине в прибрежной зоне. Марганценозные же отложения, напротив, сформировались в спокойном гидродинамическом режиме, реализованном либо на большем удалении от береговой линии, либо при трансгрессии моря.

## Литература

- 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.
- Рабинович С.Д. Северо-Уральский марганцеворудный бассейн. М.: Недра, 1971. 264 с.
- Li Y.-H., Schoonmaker J.E. Chemical composition and mineralogy of marine sediments // In: Treatise on Geochemistry. Vol. 7. Sediments, diagenesis, and sedimentary rocks. Elsevier, 2003. P. 1–35.