

Дискуссия об образовании крупнейших из рассмотренных объектов – Удоканского и Чинейских месторождений – продолжается уже на протяжении нескольких десятилетий [Архангельская и др., 2004]. Одним из главных является вопрос об источнике главного металла в рудах – меди, а также серебра и золота, которыми обогащены руды всех месторождений Удокан-Чинейского района [Гонгальский, 1993]. Многократные внедрения магм, из которых кристаллизовались породы расслоенных массивов чинейского комплекса, и их фракционирование приводило к формированию остаточных флюидонасыщенных расплавов и гидротермальных систем. Закономерное распределение в пространстве месторождений в осадочных и магматических породах позволяет рассматривать их в рамках единой Удокан-Чинейской рудно-магматической системы. Ее вертикальный размах по геофизическим данным составляет не менее 4.5–5 км [Архангельская и др., 2004]. В ней последовательный ряд месторождений и рудопроявлений от магматического генезиса (вкрапленные и сплошные сульфидные руды в центральных и эндоконтактных частях расслоенных ультрабазит-базитовых массивов) сменяется гидротермально-осадочными месторождениями в осадочных породах в обрамлении габброидных массивов и далее месторождениями в осадочных породах.

Литература

- Архангельская В. В., Быков Ю. В., Володин Р. Н. и др. Удоканское медное и Катугинское редкометальное месторождения Читинской области России. Чита, 2004. 520 с.
- Геологическое строение и полезные ископаемые Читинского участка БАМ. Чита, 2002. 63 с.
- Гонгальский Б. И. Палеопротерозойская металлогения Удокан-Чинейского рудного района (Северное Забайкалье). Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. 2012. 43 с.
- Гонгальский Б. И. О происхождении медных руд в осадочных и магматических (Чинейский массив) горных породах // Недра Востока. Чита, 1993. № 2. С. 2–4.
- Поляков Г. В., Изох А. Э., Кривенко А. П. Платиноносные ультрамафит-мафитовые формации подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 12. С. 1227–1241.
- Попов Н. В., Котов А. Б., Постников А.А. и др. Возраст и тектоническое положение Чинейского расслоенного массива (Алданский щит) // ДАН. 2009. Т. 242. № 4. С. 517–521.
- Ernst R. E. Large igneous provinces in Canada through time and their metallogenic potential // W. D. Goodfellow (ed.) Mineral Deposits Division, Special Publication. 2007. № 5. P. 929–937.

А. И. Брусницын¹, Е. Ф. Летникова², И. Г. Жуков^{3,4}

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

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

³ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

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

Геохимия марганцевоносных отложений Южного Урала

Введение. На Южном Урале среди палеовулканогенных комплексов девонского возраста широко развиты небольшие по запасам месторождения марганцевых пород. На основании геологических и петрографических данных большинство иссле-

дователей рассматривают эти объекты как метаморфизованные аналоги гидротермальных отложений активных вулканических областей современного океана [Херасков, 1951; Гаврилов, 1972; Калинин, 1978; Брусницын, Жуков, 2010]. Этот вывод подтверждается также характером распределения в марганцевых породах главных петрогенных и редкоземельных элементов [Брусницын, Жуков, 2010; Брусницын и др., 2012]. Известно, что гидротермальные процессы обогащают морские осадки не только марганцем и железом, но и нередко целым спектром микроэлементов (As, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Zn и др.). Мы попытались выяснить, в какой степени такое обогащение реализовано в марганцевоносных метаосадках Южного Урала. В качестве эталонных выбраны пять хорошо изученных в геологическом и минералогическом отношении месторождений: Кызыл-Таш, Казган-Таш, Биккуловское, Южно- и Северо-Файзулинское.

Результаты исследований. Содержания микроэлементов в марганцевых породах изученных месторождений приведены в таблице. В пределах каждого из месторождений установлен широкий разброс концентраций микроэлементов: разница между минимальными и максимальными значениями может достигать двух–трех порядков. «Средние» содержания (оцененные по величине медианы) большинства элементов ниже их кларков в осадочных породах. Исключение составляют лишь мышьяк, германий и молибден. Но, и в этих случаях, превышения над кларком по абсолютным значениям невелики: для мышьяка – в 2.5–6.5 раз, для германия – в 2–8 раз, для молибдена – менее, чем в 2 раза.

Таким образом, не наблюдается резкое обогащение марганцевых метаосадков Южного Урала большим набором специфических «гидротермальных» микроэлементов. Одна из причин этого заключается в существенном разбавлении рудного вещества осадка фоновым литогенным и биогенным материалом, а также поставляемым гидротермами кремнеземом. В результате концентрации индикаторных микроэлементов в породах снижаются, и прямое сравнение их с кларками становится не эффективным. В данном случае корректней сопоставлять нормированные на алюминий концентрации элементов: $[C_i/C_{Al}]_{\text{образец}}/[C_i/C_{Al}]_{\text{кларк}}$. Если допустить, что источником алюминия в осадках был только обломочный материал, то таким путем можно оценить степень обогащения марганцевоносных отложений теми или иными элементами относительно фоновое литогенного вещества.

Сопоставление нормированных на алюминий концентраций элементов приведено на диаграмме (рис. а). Элементы, фигуративные точки которых располагаются на единичной линии или ниже нее, поступают в осадок преимущественно в составе обломочного материала. На всех месторождениях к ним относятся Ti, K, Cr, Hf, Li, Nb, Rb, Th и Zr. Элементы, фигуративные точки которых находятся выше единичной линии, поступают в осадок в избыточном, относительно фоновое литогенного материала, количестве. Дополнительными источниками этих элементов могли служить морская вода (водородная сорбция элементов), биогенное вещество (карбонатное, кремнистое, фосфатное, углеродистое) и гидротермальные растворы. С учетом геологической обстановки вклад последних двух источников представляется более очевидным, чем первого. К числу однозначно «избыточных» элементов в изученных породах относятся Si, Fe, Mn, Ca, P, As, Ge, Mo, Ni, V и Y. Точки остальных элементов занимают промежуточные положения – эти вещества поступали в осадок как в составе литогенного материала, так и из других источников. Среди таких элементов особо отметим Ba, Co, Cu, Ga, Sn, Sr, Tl, U, Zn и La. Расположение фигуративных точек указывает на то, что чаще всего данные элементы являются «избыточными»:

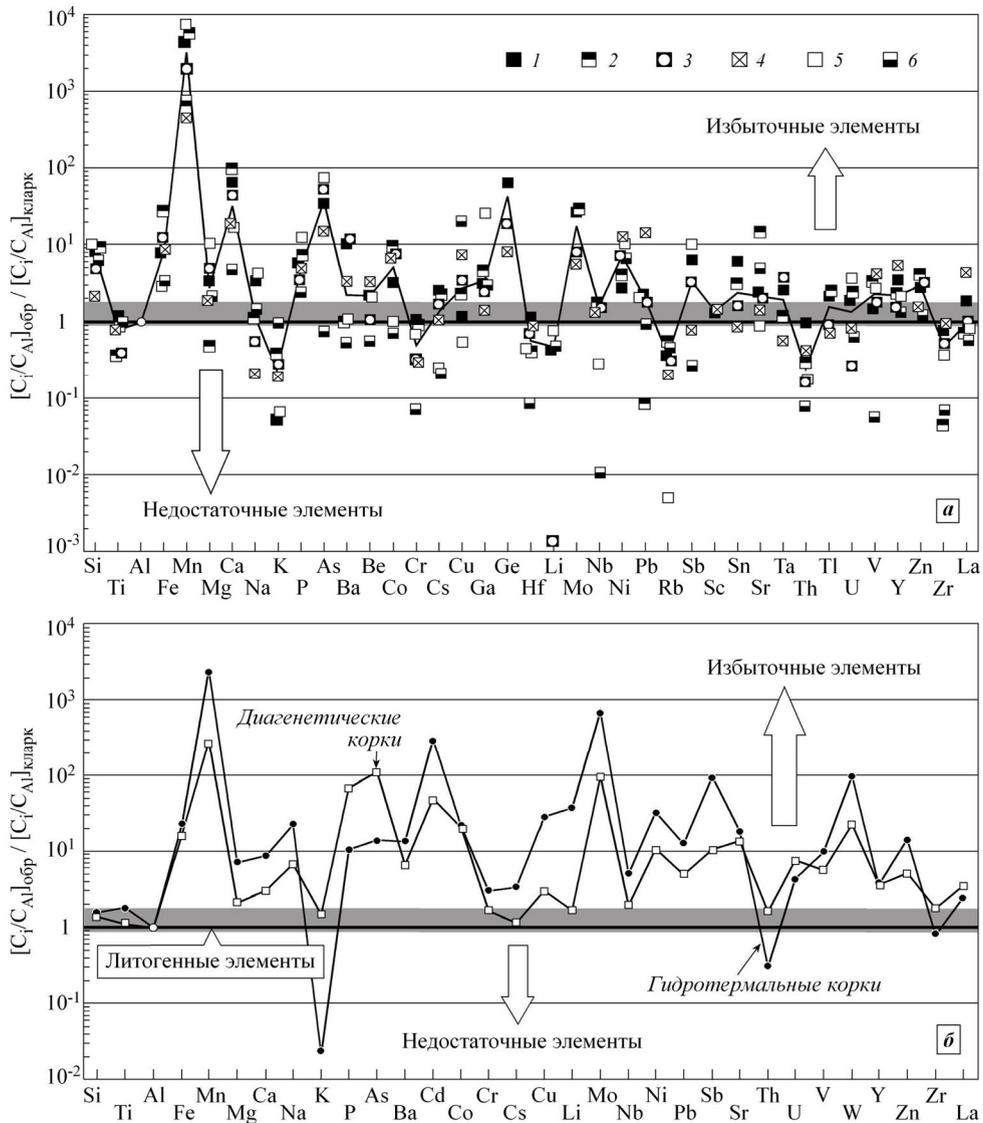


Рис. Геохимические спектры марганцевоносных отложений.

а) нормированные на алюминий средние содержания элементов в марганцевых породах Южного Урала. Месторождения: 1 – Кызыл-Таш, 2 – Казган-Таш, 3 и 4 – Биккуловское (3 – южный участок, 4 – северный участок), 5 – Южно-Файзулинское, 6 – Северо-Файзулинское. Ломаной линией показано среднее содержание элементов для всех месторождений. Жирная горизонтальная линия – уровень содержаний литогенных элементов.

б) нормированные на алюминий средние содержания элементов в гидротермальных корках и конкрециях Тихого Океана и диagenетических конкрециях шельфовых зон Балтийского, Белого, Карского и Черного морей. Построено по данным [Батурин, 2000; Школьник и др., 2012].

Таблица

Содержание микроэлементов в марганцевых породах Южного Урала (г/т)

Элемент	Месторождения																
	Кызыл-Таш			Казган-Таш			Биккуловское южный участок			Биккуловское северный участок			Южно-Файзулинское			Северо-Файзулинское	
	<i>Me</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Me</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Me</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Me</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Me</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
As	33.2	2.8	812	–	–	–	86.8	10.3	133.7	63.1	33.3	92.8	52.2	0.1	718	0.1	3.3
Ba	451	4.1	6540	35.3	21.8	147.9	815	70	4253	478	201	1176	32.5	3.4	292	37.2	69.1
Be	0.5	0.1	5.8	–	–	–	0.4	0.1	0.86	3.2	3.2	3.3	0.4	0.04	2	0.2	0.4
Co	4.5	0.5	179	10.5	4	18	17.4	9.5	240	26.1	21.9	70.2	1.1	0.4	5.5	2.4	2.5
Cr	7	0.1	21.6	4.7	1.9	6.7	3.5	1.5	44.2	8.8	4	11.5	3.5	1.2	16.1	0.4	1.8
Cs	0.9	0.1	29.6	0.7	0.2	7	1	0.1	4.5	1.7	1	2.2	0.1	0.01	7.9	0.03	0.3
Cu	3.8	0.1	13.2	5.9	1	57.1	18.1	9	454	61.8	23.4	327	1.4	0.2	7.5	125	206
Ga	4.4	2.4	9	5	4.3	8.5	5.4	2.5	25.2	8.8	7.7	9.6	28.9	14.5	35.9	11.1	11.7
Ge	7.6	1.6	29.5	13.4	7.4	18.9	3.8	2.3	11.8	4.3	3.6	4.8	–	–	–	–	–
Hf	0.4	0.1	2.9	0.1	0.01	0.2	0.4	0.2	1.3	1.4	0.8	1.9	0.1	0.01	0.5	0.02	0.1
Li	2	0.1	24.1	–	–	–	0.01	0.01	1.1	–	–	–	3	0.1	203	3.7	7
Mo	5.1	2.7	8.2	4.6	4.1	6.1	2.6	0.9	33.7	4.3	2.3	8.1	–	–	–	–	–
Nb	1.2	0.1	9.2	1	0.5	3.1	2.1	1.7	5.6	5.2	4.9	7.4	0.2	0.1	1	0.01	0.02
Ni	10.6	6	23.4	12	9.1	43	43.9	24.1	224	201	153	252	30.5	16.5	57	55.9	67.9
Pb	3.4	0.1	7.7	0.05	0.03	6	4.5	0.04	24	95.5	73.3	117.7	2.6	0.2	11.9	1.2	5
Rb	3.6	3.1	34.5	4.5	3.3	11	5.1	3.6	10.7	9	8.1	10.4	0.04	0.01	8.3	3	19.1
Sb	0.7	0.1	3.8	–	–	–	0.6	0.03	7.2	0.4	0.3	0.5	0.9	0.1	16.7	0.03	0.1
Sc	1	0.1	4.4	–	–	–	–	–	–	6.1	6	6.2	–	–	–	–	–
Sn	1.4	0.9	2.2	0.6	0.4	1.3	0.6	0.07	5.1	0.9	0.5	1.2	–	–	–	–	–
Sr	28.8	2.3	186	143	16.1	65.1	39.7	13.7	149	79.3	43.9	113.8	8.7	1.5	64.3	34.9	257
Ta	0.3	0.1	1.2	0.1	0.01	0.8	0.6	0.01	3.5	0.1	0.03	0.6	–	–	–	–	–
Th	0.8	0.2	5.7	0.2	0.1	0.5	0.2	0.1	1.2	1.3	1.2	2.6	0.1	0.01	1.1	0.1	0.2
Tl	0.1	0.03	0.5	0.1	0.02	0.16	0.1	0.01	0.3	0.2	0.2	0.2	–	–	–	–	–
U	0.4	0.03	1.1	0.4	0.05	1.7	0.1	0.01	2.4	0.7	0.3	1.3	0.6	0.2	0.9	0.3	0.4
V	13.8	0.7	45.3	25.9	14.1	41.2	28.5	13.3	59	178	95.2	266	20.4	2.8	80.4	0.1	2.3
Y	6.8	0.5	22.6	3.6	2.5	10.1	5.4	1.5	24	36.1	34	63.3	3.1	1.9	10.7	7.1	7.5
Zn	19.9	0.1	138	23.6	17	46.3	41.5	32.3	199	49.5	38.9	50.3	–	–	–	0.1	44.2
Zr	9.2	0.2	93.3	0.4	0.2	3.9	10.9	3.7	50.5	38.5	35.3	65.6	3.5	0.2	12.7	1.1	2.7
La	5.8	0.5	19.5	1.9	1.5	8.9	5.2	2.3	17.1	68.8	40.1	73.3	1.9	0.7	9.2	4.3	4.9

Примечание. Анализы выполнены методом ИСП-МС. Статистические характеристики: *Me* – медиана, *Min* и *Max* – минимальное и максимальное значение соответственно; прочерк – отсутствие данных. Максимальное число анализов: месторождение Кызыл-Таш – 36, Казган-Таш – 6, Биккуловское, южный участок – 21, северный участок – 5, Южно-Файзулинское – 18, Северо-Файзулинское – 2.

их общая концентрация, как правило, превышает соответствующую величину в литогенной части осадка. Особенно отчетливо «избыточные» концентрации проявлены для кобальта.

Набор «избыточных» элементов, а также степень превышения их концентраций над уровнем «фоновой» литогенной компоненты осадка индивидуальны для каждого из изученных месторождений. Разброс средних содержаний микроэлементов достаточно велик. Но конфигурация усредненного геохимического спектра (на диаграмме он показан ломаной линией) близка к аналогичным данным для гидротермальных железо-марганцевых отложений Тихого океана [Батулин, 2000; Maynard, 2003]. Данный факт свидетельствует в пользу гидротермально-осадочной модели генезиса марганцевых пород Южного Урала. Однако этот вывод справедлив только с учетом имеющихся геологических наблюдений.

Обсуждение. Как известно, химический состав рудоносных отложений контролируется множеством независимых факторов: температурой растворов, составом взаимодействующих с ними пород, физико-химическими и геологическими условиями разгрузки гидротерм и др. При этом далеко не всегда даже явно гидротермальные марганцевоносные осадки (как современные, так и древние) интенсивно обогащаются микроэлементами. С другой стороны, повышенные концентрации микроэлементов характерны для железо-марганцевых отложений не только гидротермального происхождения. Так, особенно высокие (до первых процентов от массы) содержания Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb и REE свойственны гидрогенным конкрециям и коркам абиссальных котловин океана и гайотов. Резкий рост концентрации цветных металлов в данном случае обусловлен процессами сорбции их гидроксидами марганца из морской воды. Но в древних геологических разрезах аналоги гидрогенных конкреций и корок редки.

Существенное накопление многих микроэлементов установлено также в диагенетических конкрециях, образующихся на осадках мелководного шельфа эпиконтинентальных морей. Например, по своей геохимии конкреции Балтийского, Белого, Карского и Черного морей близки к типичным гидротермальным коркам вулканогенных областей Тихого океана. Аналогично, много общего имеется между собственно осадочными и гидротермально-осадочными марганцевыми отложениями палеоокеанов. Особенности химического состава пород указывают на то, что физико-химические и литологические условия образования марганцевых осадков благоприятны также для накопления в них и целого ряда микроэлементов. Но источники как марганца, так и микроэлементов и способы поступления вещества в область седиментации могут быть принципиально разными.

Отсюда возникают трудности в использовании геохимических данных при реконструкции условий генезиса марганцевых месторождений. Особенно большие неопределенности возникают с учетом больших дисперсий концентраций микроэлементов. Тем не менее, сопоставление нормированных на алюминий значений показывает (рис. б), что гидротермальные железо-марганцевые скопления, по сравнению с аналогичными образованиями осадочного (не гидротермального) генезиса, в среднем, содержат примерно на порядок больше Cd, Cu, Li, Mo, Sb и W. В тоже время осадочные породы обогащены P и As. Кроме того, железо-марганцевые отложения гидротермального и негидротермального генезиса различаются концентрациями Th и Zr. В осадочных породах нормированные на алюминий содержания данных элементов больше единицы, а в гидротермальных – ниже. Геохимия марганцевоносных метаосадков Южного Урала носит двойственные черты. С гидротермальными отложе-

ниями эти породы сближают низкие концентрации Р, Th и Zr, а с осадочными – низкие концентрации Cu, Li и Sb.

Заключение. Впервые для месторождений Южного Урала получены данные о содержании в марганцевых породах микроэлементов. Эти данные, в целом, не противоречат предложенной ранее гидротермально-осадочной модели образования изученных объектов. Вместе с тем, взятые сами по себе, вне геологического контекста, геохимические данные не могут являться независимыми аргументами в генетических построениях. В этом плане намного более информативными оказываются геологические наблюдения и сведения о распределении в марганцевых породах редкоземельных элементов.

Исследования поддержаны РФФИ (проекты 12-05-00308 и 12-05-00140).

Литература

Батулин Г. Н. Рудные ресурсы океана // Литология и полезные ископаемые. 2000. № 5. С. 451–477.

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

Гаврилов А. А. Экстазиционно-осадочное рудонакопление марганца. М.: Недра, 1972. 215 с.

Калинин В. В. Марганцевые и железо-марганцевые месторождения восточного склона Южного Урала // Марганцевые месторождения складчатых областей СССР / отв. ред. *И. В. Витовская*. М.: Наука, 1978. С. 55–90.

Херасков Н. П. Геология и генезис Восточно-Башкирских марганцевых месторождений // Вопросы литологии и стратиграфии СССР. Памяти академика А. Д. Архангельского. М.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 47–65.

Школьник Э. Л., Жегалло Е. А., Батулин Г. Н. и др. Исследование марганцевой и железомарганцевой минерализации в разных природных обстановках методами сканирующей электронной микроскопии. М.: Эслан, 2012. 471 с.

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

С. Е. Знаменский¹, С. В. Мичурин¹, Н. Н. Анкушева²

¹ – *Институт геологии УНЦ РАН, г. Уфа*

Znamensky_Sergey@mail.ru, s_michurin@mail.ru

² – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*
ankusheva@ilmeny.ac.ru

Геолого-генетические модели месторождений золота в осадочных и вулканогенно-осадочных комплексах зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале

Авторами проведены комплексные структурно-тектонифизические, петрофизические, изотопно-геохимические и термобарогеохимические исследования на месторождениях и рудопроявлениях золота, залегающих в осадочных и вулканогенно-осадочных комплексах зоны Главного Уральского разлома (ГУР) на Южном Урале.