

Раздел 2

ГЕОЛОГИЯ

Section 2

GEOLOGY

УДК 553.3/4:553.2:550.4

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ВЕЩЕСТВЕННОМУ СОСТАВУ РУД
И МИНЕРАЛОВ МУРЗИНСКОГО МЕДНО-ЗОЛОТОРУДНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)**

А.И. Гусев¹, Н.И. Гусев²

¹Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукинина, Бийск
E-mail: anzerg@mail.ru

²Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург
E-mail: Nikolay_Gusev@vsegei.ru

Приведены данные о составе и строении впервые обнаруженных марганцевых руд Мурзинского месторождения, которые характеризуются повышенными концентрациями редких земель цериевой и иттриевой групп. Марганцевое оруденение представлено кварцит-псиломелан-манганитовым составом. В минералах марганцевых руд проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа. В сульфидных минералах золото-медно-скарнового типа отмечены тетрадный эффект фракционирования М- и W-типов, что указывает на комплексность состава летучих компонентов при формировании оруденения: H₂O, CO₂, HF, HCl, возможно, и SO₂ и HS⁻.

Ключевые слова: кварциты, скарны, жилы, марганцевые минералы, золото, серебро, редкие земли, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М- и W-типа, летучие компоненты.

DOI 10.24411/2410-1192-2018-10003

Дата поступления 12.11.2018

Включение в комплекс лабораторных исследований высокоточных методов эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ОРТИМА-4300» ICP-MS и ISP-AES на большой спектр элементов позволил при повторном изучении вещественного состава некоторых месторождений выявить значительные концентрации элементов новых типов оруденения помимо традиционных на месторождениях: Уландрыкском [1], Каракульском [2], Кумирском [3]. Не стало исключением из этого правила и Мурзинское золото-медно-скарновое место-

рождение, руды которого анализировались ранее в основном на золото и медь, а также на серебро, свинец и цинк.

Многие месторождения на Алтае являются мультиэтапными с наложенными рудами многих этапов тектономагматического развития региона, что предопределило их комплексность. Последний фактор нередко значительно увеличивает ценность руд таких месторождений. Особенно актуальными и востребованными в последнее время являются редкометалльные и редкоземельные руды с высокими концентрациями Y, Ce, Gd, Re и других элемен-

тов, которые входят в разряд стратегического сырья России.

Цель исследования – провести комплексный анализ различных типов руд и минералов Мурзинского месторождения на расширенный спектр элементов, включая редкие и редкоземельные элементы. Актуальность проведенных исследований не вызывает сомнений, т.к. в настоящее время на месторождении ведутся эксплуатационные работы на значительную глубину, созданы громадные отвалы пород коры выветрива-

ния, которые требуют опробования и анализов на комплекс редкоземельных элементов.

Строение и состав основных типов руд

Мурзинское рудное поле расположено в Курьинском районе Алтайского края в 70 км от железнодорожной станции и связано с ней асфальтированной (50 км) и грунтовыми дорогами. Площадь рудного поля – 42 км². В его пределах известны три месторождения, эксплуатировавшихся в XIX в. (рис. 1).

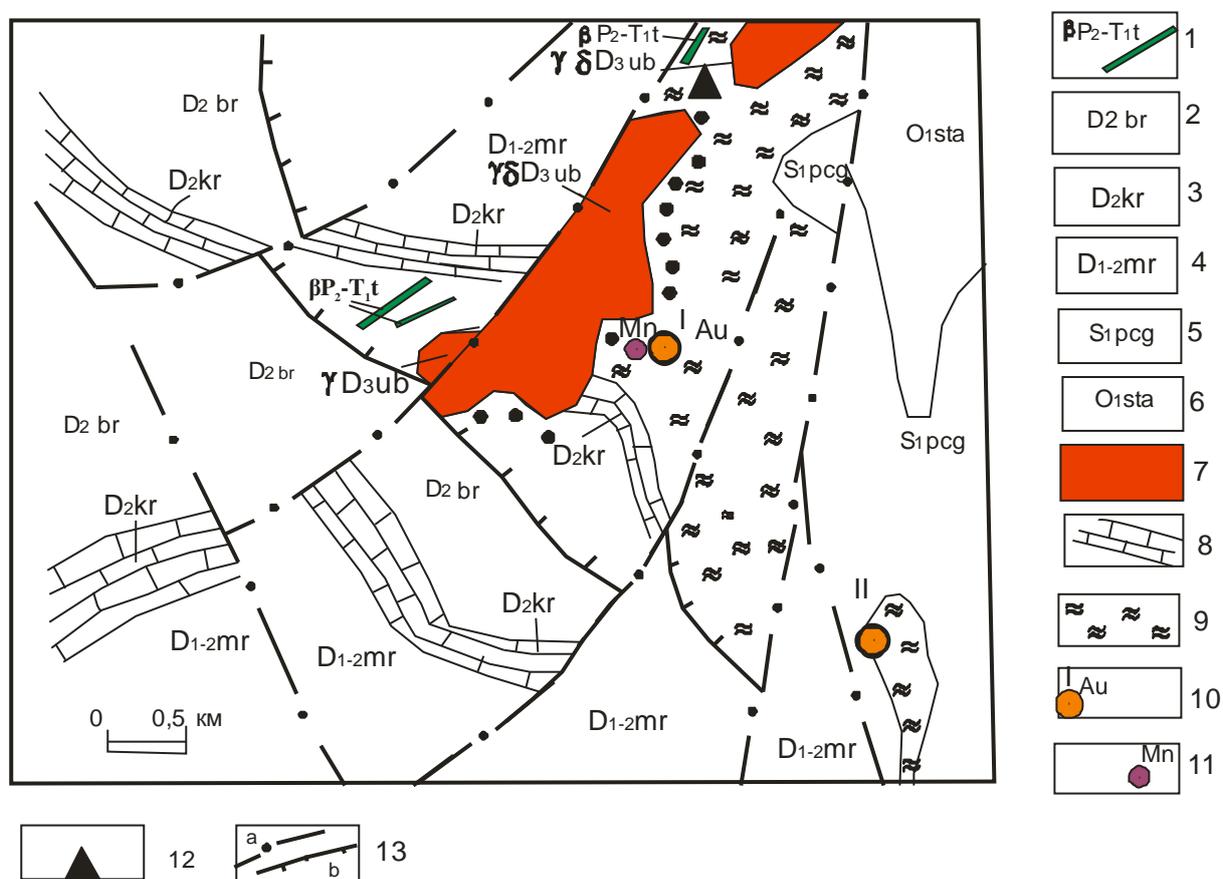


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Мурзинского рудного поля

(составлена авторами с учетом данных Б.В. Сорокина):

- 1 – дайки долеритов терехтинского комплекса; 2 – барагайская свита – желтовато-серые песчаники, алевролиты, аргиллиты; 3 – курьинская свита – известняки, желтовато-серые алевролиты, песчаники; 4 – мурзинская свита – конгломераты, известняки, песчаники, алевролиты, аргиллиты; 5 – известково-глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, конгломераты подчагырской свиты; 6 – зеленовато-серые, серые, лиловые песчаники, конгломераты, глинистые сланцы суеткинской свиты; 7 – гранодиориты, кварцевые диориты, меланограниты усть-беловского комплекса; 8 – известняки курьинской свиты; 9 – скарны гранатовые, гранат-пироксеновые; 10 – Мурзинские месторождения (Мурзинское I, Мурзинское II); 11 – Марганцевое проявление; 12 – Надеждинское проявление железа; 13 – разломы: а – сбросы, сбросо-сдвиги; б – надвиги.

Кварцит-псиломелан-манганитовый тип оруденения. Старательской артелью ООО «Поиск» за период 2000-2018 гг. на участках Рудный Лог и Южном пройдены карьеры глубиной до 100 м. Вскрыты значительные интервалы руд, ранее не известных. Так в западной части участка Рудный Лог обнаружен этот новый тип оруденения, сформировавшийся в зоне роговиков по метапесчанникам и метаалевролитам. Марганцевая минерализация наложена на кварциты в виде прожилков, гнезд и жил. Мощность жил достигает 10-25 см. В местах дробления кварцитов с образованием брекчий сформировались брекчиевые марганцевые руды, где обломки кварцитов сцементированы оксидами марганца. Ширина выхода кварцит-марганцевых руд варьирует от 5 до 20 м, протяженность – до 650 м. Марганцевая минерализация тяготеет к лежащему боку минерализованной зоны ближе к экзоконтакту Мурзинского массива. Основные рудные минералы – манганит, псиломелан, пиролюзит, гаусманит, криптомелан и голландит. Реже отмечаются тодорокит, вернадит, литиофторит, пирит, пирротин, магнетит, гематит, апатит, самородное золото. Главные нерудные минералы – кварц, барит, кальцит. В пробах-протоколках обнаружены кроме марганцевых минералов монацит и циркон. Содержания элементов в рудах (%): марганца – от 5 до 19,1 (среднее 13,52), железа – от 1,8 до 3,2 (среднее 2,65), кремнезема – от 52,5 до 81,0 (среднее 64,5), бария – от 0,5 до 5,8, фосфора – от 0,02 до 0,07 (среднее 0,03), иттрия – от 0,1 до 0,65, церия – от 0,3 до 1,5. Отмечаются повышенные концентрации: меди – 0,34 %, кобальта – 0,2, никеля – 0,2 %.

Медно-золото-скарновый и золото-ртутный типы оруденения представлены линейными минерализованными зонами дробления с золотосодержащей медной минерализацией, наложенной на скарны. В составе скарнов выделяются ранние проградирующие существенно-

гранат-пироксеновые и пироксен-гранатовые разности, а также поздние ретроградные ассоциации полевошпат-эпидотовые. Минералы, составляющие основу гранат-пироксенового агрегата весьма детально изучены в стенках карьера и под микроскопом. Нами здесь будет обращено внимание лишь на факты относительной роли разных по составу гранатов и пироксенов, а также порядке кристаллизации. Постоянно отмечается одна и та же закономерность – пироксен заканчивал кристаллизацию чуть позже граната с преобладанием гранитового минала, что подтверждается коррозией пироксеном граната. В целом в составе минерального агрегата отмечены различные соотношения граната и пироксена. Чаще пироксен преобладает над гранатом.

Проградирующие скарны в пределах таких зон хлоритизированы, эпидотизированы и окварцованы, они содержат прожилки, вкрапленность и массивные выделения сульфидов. Характерной особенностью рудных скарновых зон является широкое развитие ретроградных скарновых изменений, среди которых преобладают полевошпат-эпидотовые ассоциации. Чаще всего встречаются ортоклаз-эпидотовые разности. В них эпидот кристаллизовался раньше полевого шпата. Ортоклаз отмечается в виде прожилков, жил и гнезд в матрице эпидота. Реже встречается альбит. Жилы ортоклаза варьируют по мощности от 0,3 до 0,7 м, альбита – от 0,1 до 0,3 м. Нередко ортоклаз – эпидотовые ретроградные ассоциации переходят в сплошные эпидозиты темно-зеленой окраски с наложенными на них жилами кварца с горным хрусталем, а также сложные по составу и строению кварц-халькопиритовые, кварц-борнит-халькозиновые, кварц-адуляровые, кварц-спекуляритовые с адуляром, кварц-гематитовые прожилки и жилы. Мощность последних варьирует от 5 до 26 см. Реже среди ретроградных скарновых ассоциаций отмечаются актино-

лит-тремолитовые выделения в виде гнезд и жилков, пересекающих эпидотовые разности.

Характерной особенностью минерализованных зон Рудного Лога (Мурзинское 1 месторождение) являются часто встречающиеся полости, «занорыши», жилы «альпийского типа», выполненные щеточками и друзами горного хрусталя, правильными кристаллами адуляра призматического габитуса размерами до 1-1,5 см, вкрапленностью и гнездами спекулярита. Размеры индивидуальных горного хрусталя в друзах варьируют от 3,5 до 7 см. Во многих случаях такие жилы альпийского типа имеют крустификационную и гребенчатую текстуры, характерные для эпитермальных близповерхностных месторождений.

На месторождении сильно проявлена зона окисления с образованием мощной коры выветривания, где обнаруживаются великолепные натёки хризоколлы, малахита, азурита. Поразительные оттенки цветов всех этих минералов. Отмечаются редкие щеточки кристаллического малахита и азурита. Плоскости с натёками достигают 0,5×0,6 м. Хризоколла, азурит и малахит представляют несомненный интерес и их можно использовать не только как коллекционный материал, но и для изготовления ювелирных изделий.

Основные рудные минералы представлены халькопиритом, пиритом, халькозином, борнитом, галенитом, сфалеритом, редко – пирротинном, арсенипиритом. В таких существенно сульфидных образованиях содержания золота варьируют от 0,1 до 60 г/т. Золото относительно крупное (до 1-2 мм), образует проволочковидные, чешуйчатые, редко зернистые выделения.

А.С. Борисенко (2001) считает, что к золото-скарновому типу можно отнести только часть руд, в виде слабо проявленной постскарновой высокотемпературной сульфидной минерализации (халькопирит, пирит). Основные руды

месторождения связаны с минерализованными зонами дробления и сопровождающимися их метасоматитами. Они являются низкотемпературными и проявлены не только в скарнах, но и в сланцах, алевролитах и известняках. Здесь золото ассоциирует с киноварью, баритом, шеелитом, адуляром и другими низкотемпературными минералами. Все это позволяет отнести золотое рудообразование Мурзинского месторождения к комплексному золото-скарновому и наложенному золото-ртутному типам.

Золото-сульфидно-кварцевый тип представлен жилами и жильными зонами среди роговиков и скарнов, наиболее интенсивно проявлено на участке Лога Рудного. В вершине лога вскрыта мощная, более 30 м, кварцево-жильная зона, представленная несколькими кварцевыми жилами мощностью до 1,5 м и сопровождающим их кварцевым штокверком. Рудная минерализация представлена крупнозернистым пиритом, халькопиритом и галенитом. Содержание золота колеблется в значительных пределах от 0,1 г/т до ураганных (1500 г/т). На юг от этого участка прослежено шесть золоторудных кварцевых жил меридионального простирания. Протяженность жил – до 800 м, падение – СВ-В под углом 45-80°, мощность колеблется в широких пределах 0,2-3,0 м. В окисленных кварцево-жильных рудах участка Южного, по архивным данным, отмечались содержания: золота – до 1,5 кг/т, серебра – 5,2 кг/т, меди – до 15 %. По материалам разных лет в рудных телах присутствует медь в количестве до 1,8 %, серебро – до 31 г/т, цинк – до 0,16 %, свинец – до 0,1 %. Средние содержания золота при подсчете запасов принимались: по кварцевым жилам – 3,9...4,9 г/т; по скарновым телам – 3,6...3,8 г/т. Пробность золота – от 850 до 908 ‰.

Впервые запасы утверждались в 1998 г. в количестве 860 кг золота и 1,7 т серебра по категории С₂. В 2007 г. произведена доразведка и переоценка

запасов. Запасы, утвержденные в 2007 г. составили: C_1 – 1668 тыс. т руды, 2902 кг золота, C_2 – 1207 тыс. т руды, 1484 кг золота. На госбалансе 2008 г. числятся запасы категории C_1 – 1645 тыс. т руды, 2863 кг золота, 3006 кг серебра, C_2 – 1204 тыс. т руды, 1480 кг золота и 1554 кг серебра. Забалансовые запасы 413 тыс. т руды, 533 кг золота, 600 кг серебра. Прогнозные ресурсы оцениваются в 25 т золота до глубины 200 м. Годовая добыча золота здесь может составить 400-500 кг. Руды месторождения комплексные и содержат 4 г/т золота, до 26 г/т серебра, 0,1-0,24 % свинца и 0,5-1,59 % цинка. Попутная добыча указанных полезных ископаемых может дать увеличение товарной стоимости руды на 25-30 %.

Химический состав минералов

Состав элементов-примесей некоторых марганцевых минералов Мурзинского месторождения представлен в таблице 1. Марганцевые минералы, за исключением вернадита, характеризуются высокими концентрациями Y, Ce, Gd и суммой редкоземельных элементов. Вариации нормированных к хондриту отношений $(La/Yb)_N$ в минералах колеблются от 2 до 33,3, указывая на различную степень дифференцированности легких относительно тяжелых редкоземельных элементов (РЗЭ). Значения Eu/Eu^* также дают широкий разброс от значений ниже хондритовых до выше хондритовых. В минералах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа (пороговое значение – 1,1), указывающий на значительную роль и активность фтора во флюидах. Состав элементов-примесей в сульфиде сведен в таблице 2.

В отличие от марганцевых минералов в сульфиде Мурзинского месторождения наблюдаются очень низкие концентрации суммы РЗЭ: от 2,6 до 42,3, за исключением галенита, в кото-

ром сумма РЗЭ составляет 901,11 г/т. В некоторых минералах установлено превышение ферсмов по содержанию ряда элементов. Так в галените отмечается превышение минерального кларка по теллуру (ферсм 20 г/т) и индию (ферсм 4 г/т) в галените, а в пирите – по теллуру (ферсм 34 г/т) по [6].

Уровни варьирования отношений $(La/Yb)_N$ значительно уже, чем в марганцевых минералах (от 0,33 до 11,2). Отношение Eu/Eu^* в основном ниже хондритовых и только в одной пробе халькопирита оно имеет позитивную аномалию (1,35). Наибольшие концентрации золота характерны для халькозина (105,8-176,8 г/т). В сульфидах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ как М-, так и W-типа. Последнее обстоятельство свидетельствует о важной роли в составе гидротермальных растворов комплекса летучих компонентов, принимавших участие в переносе золота и других металлов: H_2O , CO_2 , HF, HCl, возможно, и SO_2 и HS^- .

Обсуждение результатов исследований

Марганцевые минералы характеризуются повышенными концентрациями лантанидов цериевой и иттриевой групп. Для некоторых минералов первичных марганцевых руд построена диаграмма зависимости содержаний церия (наиболее высокие концентрации) и тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ (рис. 2).

На диаграмме видно, что содержания церия в марганцевых минералах превышают хондритовые и значительной части изверженных пород. Выявляется тренд увеличения значений ТЭФ РЗЭ М-типа с увеличением содержаний церия в минералах (рис. 2). Такая зависимость свидетельствует о том, что кристаллизация марганцевых минералов происходила при значительной активности фтор-комплексов в растворах.

Таблица 1

Микроэлементный состав марганцевых минералов Мурзинского месторождения, г/т

Компоненты	Марганцевые минералы						
	1	2	3	4	5	6	7
Be	5,1	1,8	3,5	4,6	5,3	3,8	2,2
Ti	207	110	178	346	432	71	107
V	80,5	45,2	55,1	87,8	98,1	88,4	98,6
Rb	27,4	24,5	25,5	21,8	22,4	5,7	4,8
Sr	479	1820	1670	760	897	403	328
Y	139	33	163	54,7	65,2	39,8	40,5
Zr	42,3	73,3	39,6	34,1	32,1	7,8	8,2
Nb	4,1	3,09	4,4	4,0	5,2	1,4	2,2
Mo	1,04	1,01	1,2	1,7	2,6	2,4	1,9
Ba	7670	2620	8650	3670	4230	3540	3630
La	60,3	231	76,7	88,2	91,3	78,2	32,7
Ce	539	679	551	564	572	703	36,2
Pr	26,4	29,6	28,5	31,6	33,2	12,7	5,3
Nd	123	85,4	145	67,1	69,2	37,2	13,2
Sm	3,52	15,2	5,7	7,2	6,8	10,6	5,0
Eu	10,5	3,79	7,4	4,6	4,1	2,8	0,8
Gd	38,8	12,73	40,5	16,8	18,4	11,3	7,9
Tb	6,71	2,15	7,2	3,1	4,2	1,9	0,95
Dy	38,8	9,89	40,1	10,4	9,7	10,6	5,1
Ho	7,3	1,74	8,1	2,1	2,4	1,95	0,9
Er	21,1	4,97	22,4	5,7	6,2	4,9	1,5
Tm	3,23	0,71	3,21	0,9	1,1	0,8	0,7
Yb	19,8	4,57	21,6	6,8	7,1	5,5	2,7
Lu	2,91	0,67	3,06	0,96	1,2	0,8	0,3
Hf	2,66	1,91	3,1	2,1	2,6	1,4	1,7
Ta	0,75	1,49	0,9	1,2	1,6	0,2	0,26
W	2,64	0,5	3,2	3,1	3,0	2,5	2,1
Th	4,51	4,03	5,2	5,2	6,1	1,6	1,9
U	3,87	2,66	3,9	4,1	3,8	3,3	4,7
Ni	–	–	13,8	18,2	19,2	12,5	16,1
Co	–	–	32,1	27,1	26,1	9,6	22,1
Pb	–	–	13,9	22,1	26,7	12,8	15,2
Zn	–	–	43,6	54,7	62,4	67,9	87,1
Ag	–	–	10,5	11,6	12,5	9,5	10,2
Bi	–	–	8,6	8,1	9,5	5,3	4,7
Sn	–	–	3,1	2,7	3,0	3,0	3,4
As	–	–	6,9	5,2	6,5	7,2	7,1
Cd	–	–	3,3	1,8	1,5	1,5	1,3
Ga	22,5	30	26,4	32,1	34,6	18,9	22,6
Ge	3,81	2,56	4,2	5,8	6,8	4,4	6,1
Sb	–	–	4,1	5,3	6,2	5,1	5,7
Au	–	–	2,6	3,1	4,2	4,2	3,8
Cr	25,1	33,9	31,8	45,8	47,1	41,8	56,1
Sc	–	–	12,7	17,1	19,2	14,7	17,8
Te	–	–	2,7	2,2	0,8	0,9	0,3
In	–	–	1,7	2,0	2,2	2,3	1,6
Cs	2,16	2,86	3,6	3,8	0,76	0,7	0,8
B	–	–	4,7	5,1	4,1	5,7	5,1
∑REE	1040,4	1114,4	1123,5	864,2	892,1	922,1	153,7
(La/Yb) _N	2,01	33,3	2,3	8,6	8,5	9,4	7,9
Eu/Eu*	1,73	0,82	1,1	1,25	1,07	0,79	0,39
TE _{1,3}	1,5	1,24	1,35	1,75	1,75	1,76	0,92
Y/Ho	19,0	1,3	20,1	26,0	27,2	20,4	45,0
Zr/Hf	15,9	38,4	12,8	16,2	12,3	5,6	4,8

Примечание. Марганцевые минералы¹: 1-3 – псиломелан; 4-5 – пиролюзит; 6 – гаусманит; 7 – вернадит. Анализы выполнены методами эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS и ISP-AES на спектрометре «ОПТИМА-4300 в Лабораториях ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (Москва). Нормализация относительно хондрита проведена по [4]. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по В. Ирбер [5];

$$Eu^* = (Sm_N + Gd_N) / 2. \text{ «-» – анализ не проводился.}$$

Таблица 2

Микроэлементный состав сульфидов Мурзинского месторождения, г/т

Компоненты	Сульфиды руд месторождения ¹							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Be	1,44	1,36	1,0	2,89	1,87	3,38	4,21	2,5
Ti	30,6	110,6	37,0	7,8	6,1	7,1	2,7	39,6
V	2,5	3,76	2,5	17,4	18,4	86,3	64,6	123,8
Rb	2	2	2	2,1	2,6	4,75	2,2	2,6
Sr	1,66	5,76	3,29	54,8	55,1	394	32,9	9,6
Y	0,9	1,36	0,16	3,97	14,2	35,6	18,4	3,98
Zr	13,2	14,3	1,9	2,95	3,1	7,47	45,9	9,9
Nb	0,5	0,5	0,5	0,52	0,7	1,28	3,83	0,7
Mo	1,13	30,4	3,25	2,06	3,1	2,05	1,44	3,9
Ba	8,87	19,9	9,41	10,2	11,5	34,98	36,7	7,7
La	0,27	0,67	0,41	1,04	1,89	75,1	2,91	0,84
Ce	1,44	3,89	1,49	1,83	2,98	698	7,48	1,67
Pr	0,06	0,14	0,067	0,26	0,65	10,5	0,63	0,17
Nd	0,29	0,56	0,23	1,07	1,45	34,9	2,16	0,6
Sm	0,058	0,17	0,049	0,25	0,67	9,96	0,52	0,1
Eu	0,025	0,036	0,016	0,069	0,12	2,93	0,15	0,033
Gd	0,057	0,16	0,055	0,32	0,89	10,2	0,95	0,21
Tb	0,0087	0,027	0,0086	0,047	0,13	1,82	0,27	0,047
Dy	0,096	0,14	0,041	0,43	1,85	9,68	1,89	0,29
Ho	0,027	0,044	0,011	0,12	0,45	1,81	0,53	0,068
Er	0,057	0,11	0,019	0,31	0,95	4,81	2,47	0,21
Tm	0,012	0,024	0,0094	0,053	0,14	0,71	0,41	0,034
Yb	0,031	0,074	0,027	0,26	3,8	4,44	2,8	0,15
Lu	0,01	0,017	0,005	0,088	0,45	0,65	0,46	0,025
Hf	0,01	0,012	0,01	0,32	0,45	1,03	1,25	0,27
Ta	0,1	0,1	0,52	0,11	0,56	0,1	0,57	0,12
W	1,17	1,73	0,73	0,53	0,76	1,88	8,93	2,3
Th	0,1	0,1	0,1	0,16	0,45	1,48	0,52	0,12
U	1,66	18,1	1,34	8,66	9,3	3,07	2,14	0,45
Mn	320,7	930,6	540	390	843	1567	1452	987
Ni	12,8	13,5	10,6	12,6	27,4	12,8	11,2	17,8
Co	11,9	12,3	9,5	10,4	22,1	21,8	19,3	22,7
Pb	4,7	5,4	4,2	7,5	5,3	–	27,1	8,5
Zn	23,1	18,9	15,3	19,5	19,2	34,7	–	23,7
Ag	98,4	87,6	86,3	91,6	107,5	435,8	88,5	8,1
Bi	87,3	90,4	88,4	103,6	176,8	189,6	76,1	10,3
Sn	2,1	3,6	4,0	3,8	4,1	3,1	2,9	1,8
As	87,1	88,3	83,6	87,4	98,4	32,8	16,2	19,5
Cd	4,2	4,5	4,4	5,1	6,4	10,7	1768,9	8,9
Ga	0,28	0,5	0,12	0,49	1,7	18,1	7,89	5,6
Ge	1,07	1,2	0,75	0,36	0,87	3,13	2,66	3,8
Sb	0,55	0,62	0,66	0,5	0,32	4,7	5,3	3,1
Au	4,2	4,4	4,2	105,8	176,8	9,7	10,5	8,6
Cr	4,01	8,39	1,0	22,5	26,9	38,3	32,6	33,8
Sc	3,5	4,1	4,3	6,4	7,1	9,3	11,6	12,8
Te	32,7	33,2	34,7	37,2	48,4	52,1	65,1	45,2
In	4,3	4,4	4,5	5,1	8,4	7,2	87,4	2,8
Cs	0,1	0,13	0,1	0,12	0,11	0,13	0,22	0,34
B	8,6	9,4	10,4	11,5	18,5	15,8	18,6	19,2
∑REE	3,34	7,51	2,6	10,12	30,62	901,11	42,03	8,43
(La/Yb) _N	5,7	5,9	10,0	2,64	0,33	11,2	0,8	3,7
Eu/Eu*	1,35	0,67	0,96	0,76	0,48	0,89	0,65	0,7
TE _{1,3}	1,24	1,25	1,14	0,86	1,02	1,72	1,17	1,06
Y/Ho	33,3	30,9	14,5	33,1	31,6	19,7	34,7	58,5
Zr/Hf	1320	1191	190	9,2	6,9	7,25	36,7	36,7

Примечание. Сульфиды руд месторождения¹: 1-3 – халькопирит; 4-5 – халькозин; 6 – галенит; 7 – сфалерит (клеюфан); 8 – пирит. Анализы выполнены методами эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS и ISP-AES на спектрометре «ОПТИМА-4300» в Лабораториях ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Нормализация относительно хондрита проведена по [4].
TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ – по В. Ирбер [5]; Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2.

На такой же диаграмме, отражающей зависимость концентраций золота и величин ТЭФ РЗЭ, построенной для сульфидов золото-медно-скарнового оруденения, видны два тренда. Один для сульфидов, в которых проявлен ТЭФ РЗЭ М-типа, показывает слабое увеличение концентраций золота с увеличением значений ТЭФ РЗЭ (рис. 3).

Другой тренд наблюдается для халькозина, в котором отмечены наиболее высокие концентрации золота, характеризуется резким увеличением концентраций Au с увеличением значений ТЭФ РЗЭ W-типа, указывая на значительную роль в переносе золота водно-углекислыми с хлором растворами, т.к. проявление ТЭФ РЗЭ W-типа обусловлено обилием и активностью H_2O , CO_2 , HCl .

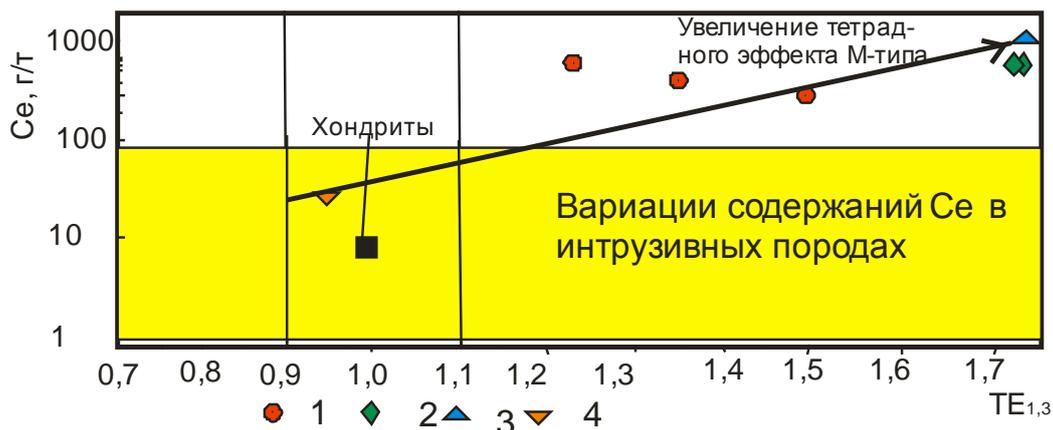


Рис. 2. Диаграмма Се- $TE_{1,3}$ для марганцевых минералов Мурзинского месторождения. Содержание скандия в хондритах – по [7]. Концентрации скандия в магматических породах – по [8]. 1 – псиломелан; 2 – пиролюзит; 3 – гаусманит; 4 – вернадит (составлено авторами).

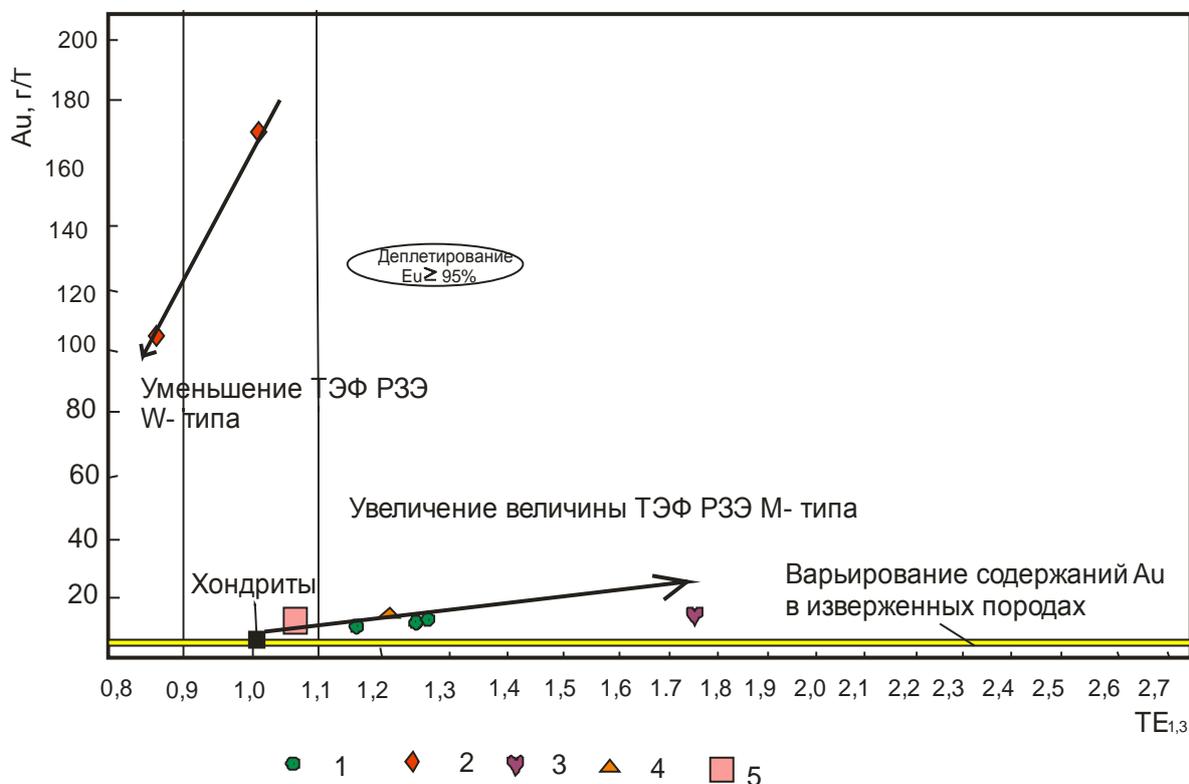


Рис. 3. Диаграмма Au- $TE_{1,3}$ для сульфидов Мурзинского месторождения. Содержание скандия в хондритах – по [7]. Концентрации скандия в магматических породах – по [8]. 1 – халькопирит; 2 – халькозин; 3 – галенит; 4 – сфалерит; 5 – пирит.

Приведенные результаты показывают, что выявленное марганцевое оруденение на Мурзинском месторождении характеризуется повышенными концентрациями редких земель. По взаимоотношениям скарнового и золото-сульфидного оруденения с марганцевым, последнее формировалось раньше всех. Высокие концентрации редких земель в первичных марганцевых рудах и наличие фосфора в составе апатита позволяют предположить возможность образования богатых редкоземельных руд в корках выветривания по аналогии с корками выветривания латеритного типа (месторождения ионно-адсорбированного типа редких земель), развивающихся по лонгнанским гранитам (Лонгнан в провинции Янгси, месторождения в провинциях Гуандонг, Фиджиан, Гуанкси, Китай), по карбонатам и другим породам, характеризующимся повышенными концентрациями редких земель [9]. Известно, что иттриевые и цериевые земли, обладавшие промежуточными значениями потенциалов ионизации, характеризуются двойственностью черт концентраций в экзогенном процессе. Они, подобно элементам с низкими потенциалами ионизации, образуют в гипергенных условиях собственные новые минералы. У иттриевых земель известно пять таких минералов (10%), у цериевых земель Ю (13%). При этом ряд гипергенных минералов представляет промышленный

интерес: редкоземельный апатит, крандаллит, рабдофанит, черчит, бастнезит.

Следовательно, для Мурзинского месторождения с его мощной корой выветривания (более 100 м) следует опробовать и проанализировать глинистые образования коры выветривания на редко-земельные элементы, которые обладают наибольшей ионной адсорбционной способностью и концентрацией редких земель.

Заключение

Мурзинское месторождение может быть отнесено к комплексным полиэтапным объектам, в котором по временному признаку можно представить последовательность формирования: 1 – кварцит-псиломелан-манганитовый тип с повышенными концентрациями редких земель; 2 – золото-медно-скарновый тип; 3 – золото-ртутный тип; 4 – золотоносных кор выветривания с возможным редкоземельным оруденением ионно-адсорбированных редких земель. Минералы марганца характеризуются повышенными концентрациями лантанидов цериевой и иттриевой групп (La, Ce, Pr, Gd, Y). Концентрации теллура превышают минеральные кларки по теллуру в галените и пирите, и по теллуру – в пирите. Существенно глинистые разрезы коры выветривания месторождения необходимо опробовать и проанализировать на редкоземельные элементы.

Список литературы

1. Гусев Н.И., Гусев А.И., Крупчатников В.И., Пономарев В.Л. Предварительные данные по редкоземельному оруденению Уландрыкского рудного узла // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтая (Горно-Алтайск). – 2008. – № 1. – С. 5-9.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Полихронное комплексное Cu-Bi-Co-Ni-W месторождение Каракуль Горного Алтая // Руды и металлы. – 2012. – № 1. – С. 33-41.
3. Гусев А.И., Гусев Н.И., Ефимова И.В. Магматизм и оруденение Кумирского рудного поля (Горный Алтай) // Природные ресурсы Горного Алтая (Горно-Алтайск). – 2013. – № 1. – С. 4-13.
4. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – P. 197-214.
5. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta. – 1999. – V. 63. – № 3/4. – P. 489-508.

6. Иванов В.В., Белевитин В.В., Борисенко Л.Ф. др. Средние содержания элементов-примесей в минералах. – М.: Недра, 1973. – 208 с.
7. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. Mean composition of the chondrite groups // Phil. Trans. R. Soc. – 1988. – Vol. 5. – P. 535-544.
8. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555-572.
9. Chi R., Tian J. Weathered Crust Elution-deposited Rare Earth Ores. – USA: Nova Science Publishers, 2008. – 288 p.

References

1. Gusev N.I., Gusev A.I., Krupchatnikov V.I., Ponomarev V.L. Predvaritelnye dannye po redkozemelnomu orudneniyu Ulandrykskogo rudnogo uzla // Prirodnye resursy Gornogo Altaya: geologiya, geofizika, ekologiya, mineralnye, vodnye i lesnye resursy Altaya (Gorno-Altaysk). – 2008. – № 1. – С. 5-9.
2. Gusev A.I., Gusev N.I. Polikhronnoye kompleksnoye Su-Bi-Co-Ni-W mestorozhdeniye Karakul Gornogo Altaya // Rudy i metally. – 2012. – № 1. – С. 33-41.
3. Gusev A.I., Gusev N.I., Yefimova I.V. Magmatizm i orudneniye Kumirskogo rudnogo polya (Gorny Altay) // Prirodnye resursy Gornogo Altaya ((Gorno-Altaysk). – 2013. – № 1. – С. 4-13.
4. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – P. 197-214.
5. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta. – 1999. – V. 63. – № 3/4. – P. 489-508.
6. Ivanov V.V., Belevitin V.V., Borisenko L.F. dr. Sredniye sodержaniya elementov-primesev v mineralakh. – М.: Nedra, 1973. – 208 с.
7. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. Mean composition of the chondrite groups // Phil. Trans. R. Soc. – 1988. – Vol. 5. – P. 535-544.
8. Vinogradov A.P. Sredniye sodержaniya khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh porod zemnoy kory // Geokhimiya. – 1962. – № 7. – С. 555-572.
9. Chi R., Tian J. Weathered Crust Elution-deposited Rare Earth Ores. – USA: Nova Science Publishers, 2008. – 288 p.

NEW DATA ON SUBSTANTIAL COMPOSITION ORES AND MINERALS OF MURZINSKOE COPPER-GOLD DEPOSIT (ALTAI KRAI)

A.I. Gusev¹, N.I. Gusev²

¹The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, E-mail: anzerg@mail.ru

²A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, E-mail: Nicolay_Gusev@mail.ru

Data about composition and structure at the first time founding of manganese ores of Murzinskoe deposit lead that it characterized increased concentrations rare earth elements cerium and yttrium groups. Manganese ore mineralization presented quartzite-psilomelane-manganite composition. The tetradic effect fractionation of REE M-type display in manganese mineral of ores. The tetradic effect fractionation of REE M-type and W-type display in sulfide minerals of gold-copper skarn type marked that it point out on the complex composition of volatile components at forming ore mineralization: H₂O, CO₂, HF, HCl, possibly SO₂ and HS⁻.

Key words: quartzite, skarns, lodes, manganese minerals, gold, silver, copper, rare earth elements, tetradic effect fractionation of REE M-type, and W-type, volatile components.

DOI 10.24411/2410-1192-2018-10003

Received November 12, 2018