

РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОРОДАХ И РУДАХ ЗОЛОТО-РУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЛОМЫР

Н.В. Моисеенко¹, канд. геол.-минерал. наук, н.с.

С.М. Авраменко², старший преподаватель

Н.М. Сафина¹, инженер

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН

²Амурский государственный университет
(Россия, г. Благовещенск)

DOI:10.24412/2500-1000-2024-4-4-127-131

Аннотация. В процессе образования рудных метасоматитов на месторождении Маломыр происходила концентрация кадмия, сурьмы, вольфрама, висмута, селена, лития и рассеивание редких (Ti, Zr, Hf, Be, Sc, V, Rb, Cs, Ga, Y, Nb, Ta) и редкоземельных (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu) элементов. Во вмещающих сланцах установлены повышенные содержания рудных (Sb, W, Se) и редких (Ti, Be, Rb, Zr, Cs) элементов. Содержания редкоземельных элементов в сланцах месторождения соответствуют средним содержаниям в сланцах верхней континентальной коры. На месторождении Маломыр благородные металлы (золото) имеют отрицательную связь с редкими (Ti, Zr, Hf, Sc, Be, Ga, Y, V, Nb, Ta) и редкоземельными (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu) элементами. Положительные корреляции отмечены для лития, селена, кадмия и висмута в рудах, а также рублидия, цезия сурьмы и вольфрама для вмещающих сланцев.

Ключевые слова: редкие элементы, редкоземельные элементы, коэффициент корреляции, благородные металлы, золоторудное месторождение, рудные метасоматиты.

Редкие элементы, или элементы-примеси несут важную информацию о генезисе и условиях образования разных типов месторождений, в том числе – золоторудных. Геологи, занимающиеся изучением и разработкой золоторудных месторождений, изучают формы нахождения редких элементов и их связь с благородными металлами. Дополнительная информация по этому вопросу была нами получена при изучении месторождения Маломыр (Приамурье).

Пробы с месторождения отбирались с двух рудных зон. Вес проб составлял 20-25 кг. С целью получения рудных концентратов геологический материал дробился до фракции -1 и обогащался. Минералогическим анализом был определен минеральный состав руд и сланцев. Содержания редких и редкоземельных элементов были установлены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Пороодообразующие элементы определялись рентгено-флуоресцентным методом. Атомно-абсорбционный анализ использовался для определения содержаний

золота и серебра. Корреляционные связи между, редкими, благородными и редкоземельными элементами были установлены с использованием программы STATISTICA 10.

Месторождение Маломыр находится на Дальнем Востоке России, на западной границе Селемджино-Кербинской металлогенической зоны Джагдинской провинции Монголо-Охотского золотоносного пояса. В геологическом плане – это западная граница Ниланского террейна аккреционного клина Монголо-Охотского орогенного пояса. Месторождение приурочено к Маломырской антиклинали [1]. Структура рудного поля определяется напряженной складчатостью сжатия преимущественно субширотного простирания и пересекающимися разломами различных порядков. Южнее рудного поля проходит Южно-Тукурингский региональный разлом первого порядка запад-северо-западного простирания. На западном фланге вдоль р. Нижняя Стойба проходит крупный Улигдинский разлом первого порядка субмери-

дионального до север-северо-восточного простирания.

Рудное поле месторождения слагают породы среднего карбона, которые относят к златоустовской свите. Они прорваны позднепалеозойскими (?) гранитоидами и раннемеловыми дайками. Породы златоустовской свиты слагают антиклиналь близширотной ориентировки и представлены рассланцованными песчаниками, черными графитистыми сланцами с мало-мощными прослоями и линзами метакремнистых, карбонатных и зеленокаменных пород. Месторождение относится к жильково-вкрапленному промышленному типу золото-сульфидной формации, развитой в черносланцевых толщах. На

месторождении отмечены также золотоносные кварцевые жилы, которые играют подчиненную роль в общем балансе запасов и в возрастном отношении являются более молодыми, чем золото-сульфидное оруденение [2]. Золотоносные метасоматиты приурочены к разрывным нарушениям. Среди них выделены метасоматические кварциты, кварц-альбитовые, серицит-кварцевые и серицит-карбонат-кварцевые, кварц-адуляровые метасоматиты [3].

Для установления процентного содержания породообразующих и рудных минералов был проведен минералогический анализ (табл. 1).

Таблица 1. Содержание минералов (%) в рудных метасоматитах и вмещающих сланцах месторождения Маломыр

Минерал	Метасоматит	Сланец	Минерал	Метасоматит	Сланец
Магнетит	ед.зн	зн	Кварц	10.6	2.4
Гематит	зн	ед.зн	Полевой шпат	35.6	5.2
Гидроксиды Fe	зн	ед.зн	Кальцит	2.2	3
Пирит	2.7	0.3	Карбонат	31.3	-
Арсенопирит	8.1	0.2	Слюда	2.5	22.9
Сфалерит	зн	-	Серицит	7	66
Галенит	ед.зн	-	Циркон	ед.зн	ед.зн
Ильменит	ед.зн	-	Сфен	ед.зн	ед.зн
Амфибол	зн	-	Золото самородное	зн	-

Примечание: ед.зн – содержание зерен от 1 до 10 знаков; зн – от 11 до 100 знаков

По данным минералогического анализа основными жильными минералами руд являются: кварц, полевые шпаты, карбонаты и слюды. Рудные минералы представлены главным образом арсенопиритом и пиритом. В подчиненном количестве встречается сфалерит, галенит, ильменит, вольфрамит, магнетит, гематит, самородное золото и др.

При пересчете содержаний редких и редкоземельных элементов в рудных метасоматитах к содержанию этих элементов в верхней континентальной коре [4] было установлено (табл. 2), что повышенные

содержания характерны для рудных элементов Se, Cd, Sb, W, Bi и литофильного лития. В свою очередь в этих же метасоматитах рассеиваются молибден (коэффициент концентрации <1) остальные редкие и редкоземельные элементы. Во вмещающих сланцах происходит концентрация Se, Sb, и W по отношению к сланцам верхней континентальной коры. Содержания редкоземельных элементов идентичны содержаниям в сланцах верхней континентальной коры, а литофильные титан, бериллий, рубидий, цирконий и цезий имеют повышенные значения.

Таблица 2. Коэффициенты концентраций редких и редкоземельных элементов в метасоматитах и сланцах золоторудного месторождения Маломыр

Элемент	Метасоматиты (Кк)	Сланцы (Кк)	Элемент	Метасоматиты (Кк)	Сланцы (Кк)
Ti	0.26	1.41	Pr	0.23	0.77
Li	1.42	0.81	Nd	0.32	0.90
Be	0.47	1.34	Sm	0.38	1.00
Sc	0.26	0.87	Eu	0.22	0.88
V	0.15	0.74	Gd	0.23	0.74
Ga	0.32	1.43	Tb	0.18	0.85
Se	10.43	4.75	Dy	0.17	0.87
Rb	0.45	1.16	Ho	0.14	0.60
Sr	0.38	0.52	Er	0.36	0.98
Y	0.20	1.16	Tm	0.16	0.89
Zr	0.16	1.50	Yb	0.26	1.22
Nb	0.21	0.95	Lu	0.17	0.84
Mo	0.61	1.00	Σ REE	0.26	0.94
Cd	3.63	0.05	Hf	0.18	1.13
Sb	28.64	12.53	Ta	0.10	0.88
Cs	0.30	1.59	W	3.75	7.61
La	0.25	1.06	Tl	0.52	1.19
Ce	0.26	0.96	Bi	1.75	0.29

Примечание: метасоматиты (Кк) – медианное содержание элементов в метасоматитах к среднему содержанию элементов в верхней континентальной коре; сланцы (Кк) – медианное содержание элементов в сланцах к среднему содержанию элементов в сланцах верхней континентальной коры; Σ REE – сумма редкоземельных элементов

Для оценки корреляции редких и редкоземельных элементов между собой и с породообразующими элементами данные анализов (ICP – MS) были пересчитаны в программе STATISTICA – 10.

В метасоматитах Ti, Zr, Hf, Be, Sc, V, Rb, Cs, Ga, Y, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu, Ta и Tl имеют близкие к положительным или положительные коэффициенты корреляций между собой и со всеми породообразующими элементами кроме Si. Кремний и литий показывают ярко выраженную отрицательную корреляцию не только с породообразующими элементами, но и со всеми редкими, редкоземельными и радиоактивными элементами. В сланцах наблюдается несколько иная картина – у Ti, Zr, Hf, Sc, Be, Ga, Sr, Y, V, Nb, Ta и редкоземельных элементов – положительная корреляция с Na, Al, P, Ti, Fe и отрицательная с Si, S, Mn, Rb, Cs и Tl. В свою очередь Rb, Cs и Tl имеют положительную корреляцию с кремнием и калием, отрицательную с Al, Ti, Fe и такими редкими элементами как Y, Zr, Nb, Hf и редкие земли. Практически у всех редких и редкоземельных элементов отсутствует выраженная корреляция с Mg и Ca.

Рудные элементы метасоматитов, характеризуются как отрицательной, так и

положительной корреляцией с редкими и редкоземельными элементами. Например, Cu, As, Mo, Sn, Sb, W имеют положительную, или близкую к ней корреляцию, а Zn, Se, Ag, Cd, Au, Pb и Bi – отрицательную. В сланцах установлена положительная связь с Cu, Zn, Pb и отрицательная с As, Ag, Sn, Sb, W, Au, Bi. Селен и молибден не имеют в сланцах ярко выраженной корреляции с большинством редких элементов, за исключением отрицательной с Cs и Tl у селена и положительной с Be и Ga у Mo.

По результатам пересчетов были построены корреляционные кривые золота с редкими и редкоземельными элементами для сланцев и руд месторождения (рис. 1).

Из графика видно, что в рудах золото имеет положительную корреляцию с селеном, кадмием, висмутом и тенденцию к положительной связи с сурьмой. Отрицательная корреляция установлена для молибдена, вольфрама и всех редких, и редкоземельных за исключением Sc и V, последние имеют коэффициенты близкие к отрицательным. Для сланцев характерны отрицательные корреляции с титаном, литием, скандием, иттрием, цирконием, ниобием, гафнием и танталом, отмечается положительная связь с рубидием, цезием, сурьмой и вольфрамом.

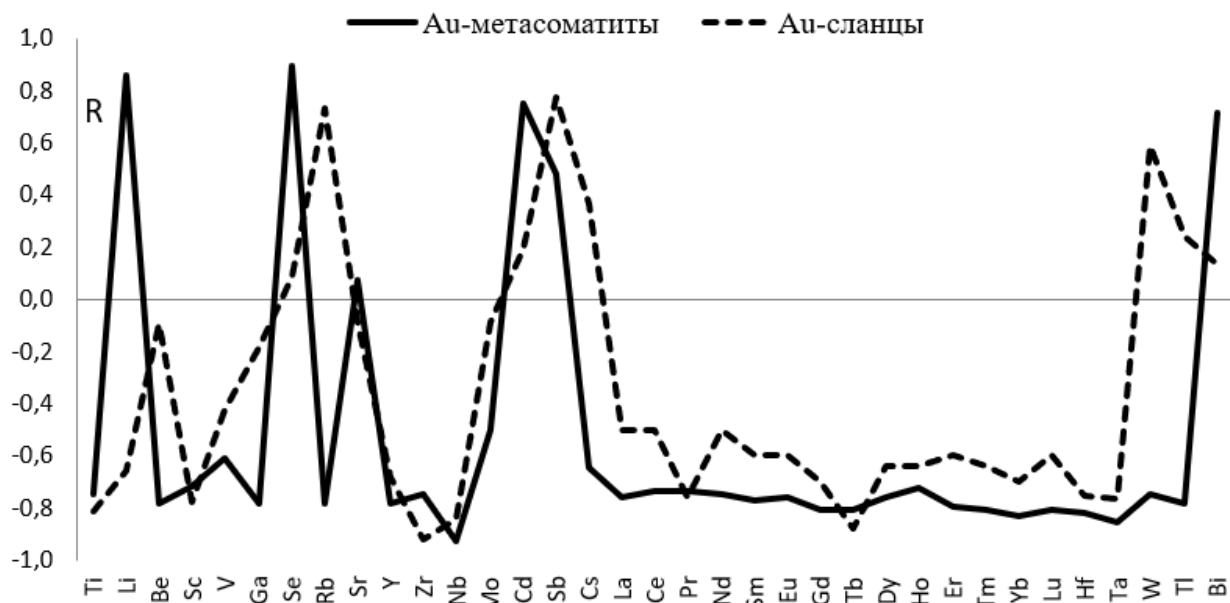


Рис. 1. График корреляции золота с редкими и редкоземельными элементами

Примечание: R – коэффициент корреляции.

На месторождении Маломыр благородные металлы (золото) имеют отрицательную связь с редкими (Ti, Zr, Hf, Sc, Be, Ga, Y, V, Nb, Ta) и редкоземельными (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu) элемен-

тами. Положительные корреляции отмечены для лития, селена, кадмия и висмута в рудах, а также рубидия, цезия сурьмы и вольфрама для вмещающих сланцев.

Библиографический список

1. Золоторудные месторождения России / под ред. М.М. Константинова. – М.: Акварель, 2010. – 349 с.
2. Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков. – Благовещенск: КИПР, 2000. – 168 с.
3. Степанов В.И., Мельников А.В., Вах А.С., Вьюнов Д.Л., Дементенко А.И., Пересторонин А.Е. Приамурская золоторудная провинция. – Благовещенск: АмГУ; НИГТЦ ДВО РАН, 2008. – 231 с.
4. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 382 с.

RARE AND RARE EARTH ELEMENTS IN ROCKS AND ORES OF THE MALOMYR GOLD DEPOSIT

N.V. Moiseenko¹, *Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Researcher*

S.M. Avramenko², *Senior Lecturer*

N.M. Safina¹, *Engineer*

¹**Institute of Geology and Nature Management of Far East Branch Russian Academy of Sciences**

²**Amur State University**

(Russia, Blagoveshchensk)

Abstract. *During the formation of ore metasomatites at the Malomyr deposit, the concentration of cadmium, antimony, tungsten, bismuth, selenium, lithium and the dispersion of rare (Ti, Zr, Hf, Be, Sc, V, Rb, Cs, Ga, Y, Nb, Ta) and rare earth (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu) elements. The host shales contain elevated contents of ore (Sb, W Se) and rare (Ti, Be, Rb, Zr, Cs) elements. The contents of rare earth elements in the shales of the deposit correspond to the average contents in the shales of the upper continental crust. At the Malomyr deposit, noble metals (gold) have a negative relationship with rare (Ti, Zr, Hf, Sc, Be, Ga, Y, V, Nb, Ta) and rare earth (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu) elements. Positive correlations were noted for lithium, selenium, cadmium and bismuth in the ores, as well as rubidium, cesium, antimony and tungsten for the host shales*

Keywords: *rare elements, rare earth elements, correlation coefficient, noble metals, gold deposit, ore metasomatites.*