
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**ГЕОХИМИЯ ТАЛЛИЯ В РУДАХ
ВОРОНЦОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

© 2017 г. М. Ю. Ровнушкин, О. Б. Азовскова

Воронцовское золоторудное месторождение, расположенное вблизи г. Краснотурьинск на севере Свердловской области, относится к золото-сурьмяно-ртутному геохимическому типу золото-мышьяковисто-сульфидной формации [Константинов, 2006; Сазонов и др., 1991, 1998]. По ряду геолого-геохимических параметров большинство исследователей относят его к месторождениям так называемого карлинского типа. Одной из характерных отличительных черт таких месторождений являются повышенные и высокие концентрации таллия в рудах. В некоторых случаях таллий даже может быть одним из основных промышленных компонентов (например, месторождение Алшар в Македонии).

Таллий – рассеянный элемент группы тяжелых металлов. Большинство минералов таллия относятся к халкогенидам, содержащим в основном одновалентный таллий. Лучшими минералами-концентраторами таллия являются слоистые силикаты, а его главными промышленными источниками – сульфиды, халькосоли и другие халкогениды. У сульфидов наиболее высокое содержание таллия характерно для галенита, сфалерита и вюртцита, что, как правило, связано с присутствием микрофаз таллиевых минералов; концентрация таллия в отдельных случаях может достигать здесь тысяч граммов на тонну. В дисульфидах железа отмечаются сопоставимые содержания таллия и его прямая связь с мышьяком [Иванов, 1996]. В настоящее время известно более 70 таллийсодержащих минералов, но все они встречаются крайне редко.

Для всех протипов руд месторождений этого типа характерно присутствие таллия в ассоциации с мышьяком, золотом, ртутью, сурьмой [Волков, Сидоров, 2016]. Силикатным рудам таких месторождений свойственны минеральные парагенезисы пирита (в том числе мышьяковистого), арсенипирита, халькопирита, а существенно карбонатным рудам – также аурипигмент-реальгар-пирит-сфалеритовая ассоциация. Большинство из перечисленных минералов могут быть минералами-концентраторами таллия. На многих объектах выявлены и собственные минералы таллия, обычно в виде редких находок. На Воронцовском месторождении также обнаружены минералы, содержащие таллий в качестве основного компонента, – пьерро-

тит $Tl_2(Sb, As)_{10}S_{16}$ [Сазонов и др., 1991; Vikent'eva, Vikent'ev, 2016], роутерит $CuTlHg_2As_2S_6$ [Vikent'eva, Vikent'ev, 2016] и воронцовит $(Hg_5Cu)_{\Sigma 6}TlAs_4S_{12}$ [Касаткин и др., 2016].

Для определения геохимических параметров и закономерностей распределения таллия в рудных зонах Воронцовского месторождения использованы данные ICP-MS анализов 45 проб, отобранных в северной части месторождения (центральная часть карьера “Северный”) на горизонтах +120 и +85 м в пределах контуров рудных блоков.

Установлено (табл. 1), что наибольшими значениями концентрации таллия характеризуются силикатные руды ($C_{cp}Tl = 29.82$ ppm при $\sigma = 61.9$), в карбонатных рудах содержание этого компонента существенно ниже ($C_{cp}Tl = 7.9$ ppm при $\sigma = 15.8$). По результатам были составлены две выборки, по которым проведен корреляционный анализ распределения компонентов с использованием ПО Statistica 10.0.

Первая выборка, представленная полностью всеми пробами из двух геохимических профилей, состоит из вулканогенно-осадочных образований (туфоалевролит-туфопесчаников, псаммоалевролитов зеленовато-серого, грязно-зеленого цветов, в разной степени измененными), материала дайкового комплекса (диоритов, диоритовых порфириров, кварцевых диоритов), а также из карбонатных пород и руд (известковистых брекчий с вулканогенно-осадочным цементом, часто пиритизированным, трещиноватых мраморизованных известняков с темно-серым материалом заполнения). Статистически выявлены значимые корреляционные связи: тесные – таллия с цезием ($r = 0.54$), золотом (0.73) и железом (0.50), менее сильные – с титаном (0.41), гафнием (0.46), барием (0.48), цирконием (0.46), палладием (0.41) и фосфором (0.30) (рис. 1). Обращает на себя внимание тесная связь таллия с рядом редкоземельных элементов (церием, ниодимом, гадолинием, эрбием, диспрозием) со значимыми коэффициентами корреляции ($r \geq 0.50$).

Во вторую выборку включены лишь пробы ($n = 21$), содержание золота в которых достигало 0.1 г/т и выше. Корреляционный анализ позволил выявить наличие здесь значимых связей: тесных – таллия с золотом ($r = 0.81$), железом (0.54) и цезием (0.62), менее сильных – с бором (0.45), титаном

Таблица 1. Распределение основных элементов в породах рудных блоков Воронцовского месторождения (Северный карьер, гор. +120 и +85 м, n = 45)

Характеристика пород	Содержание основных компонентов, ppm, верхнее значение – среднее по выборке, нижнее – стандартное отклонение																			
	Tl	Au	Ag	Hg	As	Sb	Sn	Pb	Zn	B	Be	Cs	Ba	Co	Ni	V	Zr	Nb	Ti	
Дайки и аподайковые метасоматиты, n = 12	8.53	0.10	3.96	0.47	388.55	12.53	2.25	46.39	94.32	12.87	0.87	0.79	171.03	37514	37.76	2966.10	23.22	46.03	459.56	
Силикатные руды: туфоалевролит-туфопесчаники массивные, n = 13	20.78	0.18	6.35	1.12	1323.78	33.84	5.90	43.36	78.68	16.99	0.92	1.24	394.40	31106	20.88	1917.20	10.60	34.61	1019.60	
Кarbonateные руды: известняки и известковистые брекчи с вулканогенно-осадочным цементом, n = 20	29.82	0.96	2.43	1.77	1177.20	43.26	0.41	25.45	82.98	5.17	0.34	1.07	642.77	7387	25.79	942.34	26.52	0.91	929.31	
	61.90	1.04	2.63	4.90	1868.05	54.85	0.26	23.21	93.26	3.70	0.23	1.09	643.74	15706	18.47	1132.90	16.78	0.53	1132.90	
	7.90	0.37	1.75	1.81	236.33	17.19	0.25	53.16	80.48	1.59	0.08	0.95	266.02	5774	14.27	150.74	12.62	3.33	264.06	
	15.80	0.52	2.83	6.50	586.41	25.34	1.18	125.89	186.1	2.74	0.07	0.83	519.62	9066	10.34	299.68	12.36	4.96	470.12	

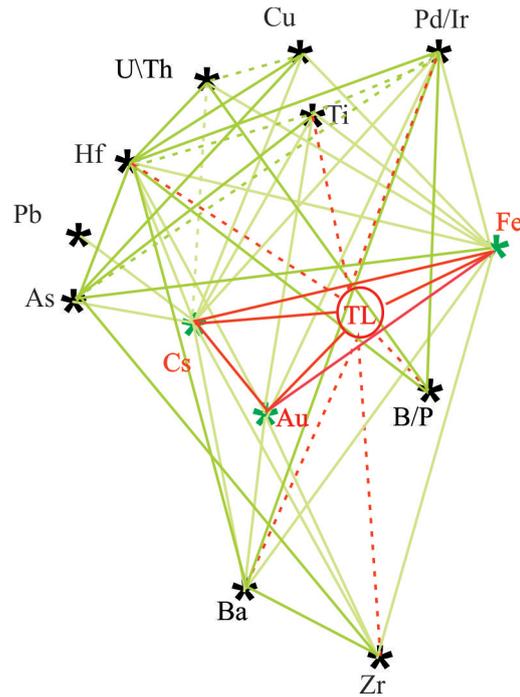


Рис. 1. Корреляционная диаграмма распределения основных компонентов в рудах Воронцовского месторождения по результатам ИСП-МС.

Северный карьер, центральная часть, гор. +120 и +85 м. Красным показаны связи таллия, зеленым – прочих элементов, сплошными линиями – значимые связи с теснотой более 0.5, штриховыми – значимые связи с теснотой менее 0.5. n = 21, p = 0.05.

(0.46), цирконием (0.45), барием (0.48), гафнием (0.48) и иридием (0.44), значимых связей с лантаноидами в этой выборке не установлено.

Из результатов статистических наблюдений следует, что, несмотря на присутствие в рудах как минералов-носителей таллия, так и минералов-концентраторов, ожидаемых значимых корреляционных связей этого элемента с традиционными компонентами руд (As, Sb, Pb, Hg) не выявлено и связь таллия с рудной халькогенидной минерализацией не очевидна. Тем не менее, обращает на себя внимание весьма тесная корреляция таллия с золотом как в рудах со значимыми содержаниями золота, так и в относительно бедных. Обнаружена высокая корреляция таллия в обеих выборках с цезием, бором, цирконием, барием, железом, титаном, гафнием, а также повышенная его концентрация в вулканогенно-осадочных породах. Это может быть связано с перераспределением “породного” таллия под воздействием рудно-метасоматических процессов либо с привнесением таллия в одну из стадий рудного процесса и концентрированием в нерудных метасоматических силикатных минералах (хлорите, серицит-гидрослюде, полевых шпатах), которые также могут содержать этот элемент до сотен граммов на тонну [Иванов, 1996].

Выявленную закономерность можно объяснить проявлением преимущественно литофильных (трехвалентных) свойств таллия. Это нехарактерно для большинства известных месторождений карлинского типа, но обычно для некоторых колчеданных и медно-порфировых месторождений, а также для редкометалльных гранит-пегматитовых объектов [Иванов, 1996].

Таким образом, имеются предпосылки считать таллиеносность руд Воронцовского месторождения связанной не только с традиционной халькогенидной минерализацией, но и с проявлением нетипичных для таких условий халькофильных свойств этого элемента. Полученные данные нуждаются в проверке большим массивом наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волков А.В., Сидоров А.А.* Геолого-генетическая модель месторождений золота карлинского типа // Литосфера. 2016. № 6. С. 145–165.
- Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. Кн. 3. Редкие элементы. М.: Недра, 1996.
- Касаткин А.В., Нестола Ф., Агаханов А.А., Шкода Р., Карпенко Ю.В., Цыганко М.В.* Воронцовит. Vorontsovite, ИМА 2016-076. CNMNC // Минералогический журнал. 2016. Т. 80. С. 1315–1321; Информ. бюлл. № 34. С. 1319.
- Константинов М.М.* Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 358 с.
- Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Григорьев Н.А.* Воронцовское золоторудное месторождение – пример минерализации карлинского типа на Урале, Россия // Геология рудных месторождений. 1998. № 2. С. 157–170.
- Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Григорьев Н.А., Гладковский Б.А.* Эндогенное оруденение девонского андезитовидного вулканоплутонического комплекса (Урал). Свердловск: УрО АН СССР, 1991.
- Vikent'eva O., Vikent'ev I.* Occurrence modes of As, Sb, Te, Bi, Ag in sulfide assemblages of gold deposits of the Urals // 3rd Int. Conf. **Competitive Materials and Technology Processes (IC-CMTP3)**. IOP Publishing, Conf. Series: Mat. Sci. Eng. 2016.