

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ И РЕНИЙ В СУЛЬФИДАХ ИЗ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

© 2013 г. А. И. Грабежев, А. Ф. Коробейников*, А. Я. Пшеничкин*

Уровень концентрации благородных металлов и рения играет существенную роль при оценке промышленной значимости рудных месторождений. Настоящая статья дополняет имеющуюся информацию по распространению Au, Pt, Pd и Re в медно-порфировых месторождениях Урала [1–6, 8 и др.]. Значительный объем данных, полученных в предшествующие годы, имеется по Томинскому медно-порфировому и Березняковскому золото-эпитермальному месторождениям Томинско-Березовского рудного узла (Южный Урал), детально охарактеризованным в ряде работ [7, 9 и др.]. Указанные два месторождения отвечают соответственно мезогипабиссальному и субвулканическому срезам единой медно-порфировой колонны. Содержания элементов в рудах этих месторождений, по данным инверсионно-вольтамперометрического метода, составляют соответственно (мг/т): Pt – 1–40 и 20–60 (до 100–500), Pd – 20–60 (до 100–140) и 30–120 (до 250), Au – 50–600 (до 1000) и 100–5000 (до 10000 и более) [8 и др.]. Достаточно хорошо видно накопление Pt, Pd и Au на субвулканическом срезе рудно-магматической колонны по сравнению с мезо-гипабиссальным уровнем. По данным нейтронно-активационных анализов, пиритовые и пирит-халькопиритовые концентраты из **Си-Ау-порфировых месторождений** (Юбилейное, Жалтыркольское) содержат 1–11 г/т Au [5]. В халькопирит-пиритовых и пиритовых концентратах из (Au)-Си-порфировых и (Au,Mo)-Си-порфировых месторождений (Салаватское, Вознесенское, Зеленодольское, Бенкалинское, Верхнеуральское) средние содержания Au варьируют обычно в интервале 0.03–0.37 г/т. Однако в пиритах из кварцевых прожилков, находящихся в верхних частях рудных зон, концентрация Au может составлять 1–6 г/т (Вознесенское, Зеленодольское месторождения). В сульфидах из кварцевых прожилков наиболее крупного на Урале Михеевского месторождения содержание Au редко опускается ниже 0.1–0.2 г/т: в среднем в пирите из рудных тел в вулканитах оно составляет 0.28 г/т (29 проб), а в халькопирите – 0.88 г/т (6 проб). В отдельных участках количество Au достигает соответственно 1.2–3.5 и 3.9–12.1 г/т. Имеется также ограниченная информация [1] по содер-

жаниям платиноидов в сульфидных концентратах из Гумешевского скарново-медно-порфирового месторождения, находящегося на Среднем Урале [3]. Содержания элементов составляют (мг/т): Pt – 5–15 (до 60–330), Pd – 10–60. В халькопиритовых рудах Промежуточного медно-скарнового месторождения (Турьинские медные рудники на Северном Урале) Pt содержится на уровне следов, количество Pd составляет 3–18 мг/т.

В этом году получены новые данные по содержаниям Pt, Pd, Au и Re в сульфидах медно-порфировых месторождений Урала (инверсионно-вольтамперометрический метод), представленные в усредненном виде в табл. 1. Высокие содержания золота установлены в сульфидных концентратах Михеевского (0.3–1.8 г/т), Томинского (1.9, 5.4 г/т), Миасского (5.0 г/т) месторождений, а также в некоторых пробах из других объектов. Наибольшие содержания Pt выявлены в рудах Михеевского (10–37 мг/т), Тарутинского (18 мг/т), Вознесенского (18 мг/т) месторождений. В остальных объектах количество платины в пробах не превышает 4–9 мг/т. Высокое содержание Pd зафиксировано только в четырех пробах (39–99 мг/т), в остальных оно составляет 2–11 мг/т.

Максимальное содержание Re установлено в концентратах из Михеевского месторождения (43–97, 412, 421 мг/т, табл. 1), что, вероятно, обусловлено присутствием микропримеси обогащенного рением молибденита (главный концентратоноситель Re). **То же можно сказать о пробах из Томинского, Вознесенского (20–77 мг/т), а также из некоторых других месторождений.** В семи пробах (из 17) содержание Re составляет 4–7 мг/т. Уровень содержания Re в сульфидах, полученный с помощью кинетического метода (табл. 2), существенно не отличается от вышеизложенных результатов. Содержание Re составляет обычно <2–6 мг/т, достигая в трех пробах 19–29 мг/т. Подчеркнем, что в рудах Турьинских медно-скарновых месторождений, Гумешевского и Березняковского месторождений молибденит обнаружен в единичных случаях (и только при минералогических исследованиях). Низкие содержания Re в пирите и халькопирите (2–7 мг/т), полученные с помощью прецизионных методов, приведены в ряде зарубежных работ [10, 12 и др.]. В Си-Ау-порфировом месторождении Болкана

* Томский политехнический университет, г. Томск

Таблица 1. Содержания благородных металлов и рения (мг/т) в сульфидных концентратах

Характеристика сульфидных ассоциаций	Au	Pt	Pd	Re
Михеевское (Mo)-Cu-порфировое месторождение				
Пирит из сегрегации в диоритовом порфирите*	416	14	2.0	80
То же	335	10	2.0	97
Пирит из вкрапленности в диоритовом порфирите*	1100	20	99	43
Халькопирит из кварцевого прожилка*	526	37	1.4	421
То же	1860	4	11	412
Томинское Cu-порфировое месторождение				
Пирит с подчиненным халькопиритом из вкрапленности, объединенные пробы*	5405	6.7	12	77
	1900	8.5	10	20
Тарутинское Mo-Cu-порфировое месторождение				
Халькопирит-пиритовый концентрат из кварцевой жилы	56	18	6	7
Вознесенское (Mo)-Cu-порфировое месторождение				
Халькопирит-пиритовая сегрегация в диоритовом порфирите*	40	18	9	44
Восточно-Артемовское (Mo)-Cu-порфировое рудопроявление				
Пирит с примесью халькопирита из вкрапленности*	42	4.0	39	20
То же	963	5.8	8	12
Артемовско-Алтынайские (Mo)-Cu-порфировые проявления				
Пирит с примесью халькопирита из вкрапленности	160	8.6	–	3.7
То же	237	5.2	–	3.6
То же	25	–	–	6.6
То же	34	–	1.5	20
Миасское (Cu)-Au порфировое месторождение				
Халькопирит из сульфидной жилы	4960	1.2	99	22
Куросанское Zn-Au эпитеpмальное месторождение				
Пирит-сфалеритовая ассоциация из жилы	710	3.8	41	4

Примечание. *Возможна микропримесь молибденита. Прочерк – элемент не определялся. Анализы выполнены в Томском политехническом университете инверсионно-вольтамперометрическим методом на анализаторе Т-4 (Pt, Re) и атомно-абсорбционным методом на приборе VARIAN AA 240 Z (Au, Pd).

(Румыния) содержание Re в пирите сильно варьирует (3–867 мг/т), высокое содержание Re обусловлено концентрацией хлоридов этого элемента во флюиде купольной части порфирового штока [11]. Подобные данные приводятся и во многих других зарубежных публикациях. Низкое значение $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ в пирите месторождения Болкана свидетельствует о существенном мантийном источнике вещества. На это же указывают и низкая величина $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$ отношения (0.7038–0.7051), высокое значение $(\epsilon\text{Nd})_t = 3-7$ в рудоносных гранитоидах и жильных карбонатах уральских медно-порфировых месторождений.

В целом аналитические данные по уральским объектам, полученные в разных лабораториях и в разные годы, принципиально не отличаются. На фоне относительно низких содержаний рассматриваемых элементов в ряде месторождений установлены пробы с довольно высоким их содержанием. Особенно в этом плане выделяется наиболее крупное на Урале Михеевское месторождение. Достаточно четко выражено накопление Au в апикальной части медно-порфировых месторождений и максимальная его концентрация на субвулканическом уровне медно-порфировых колонн, где формируется эпитеpмальное (Zn, Pb)-Au оруденение.

Таблица 2. Содержание рения в сульфидных концентратах из месторождений Урала

Месторождение, ассоциация сульфидов	Re, мг/т
Гумешевское скарново-медно-порфировое, халькопирит	<2
То же, пирит	6.0
То же, пирротин	<2
Михеевское (Mo)-Cu-порфировое, пирит-халькопиритовая	3.8
Томинское Cu-порфировое, пирротин-халькопиритовая	15.8
Березняковское Au-эпитеpмальное, тетраэдрит-сфалеритовая	<2
Турьинское Cu-скарново, халькопирит-пиритовая	29.1
То же, пирит-халькопиритовая	<2
То же, пирротин-пирит-магнетит-халькопиритовая	3.8
То же, халькопирит-пирит-пирротиновая	19.4

Примечание. Анализы выполнены кинетическим методом в лаборатории ИМГРЭ Министерства природных ресурсов, аналитики Г.Г. Лебедева и Л.Б. Александрова.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 12-05-00103а), а также по программе Президиума РАН № 27 (проект 12-П-5-2015, финансируется УрО РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викентьев И.В., Грабежев А.И., Молошаг В.П. и др. Платиноиды в рудах магнетит-медно-скарновых месторождений Урала // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 328–331.
2. Грабежев А.И. Re в рудах медно-порфировых месторождений Урала // Докл. АН. 2007. Т. 413. № 1. С. 78–81.
3. Грабежев А.И. Гумешевское скарново-медно-порфировое месторождение (Средний Урал, Россия): рудоносные диориты, метасоматиты и жилы (с использованием изотопной геохимии SR, ND, S, O, H) // Геол. рудн. месторожд. 2009. № 2. С. 153–170.
4. Грабежев А.И. Рениеносные медно-порфировые рудно-магматические системы Урала: геологическое положение, изотопно-петрогеохимическая и возрастная латеральная зональность // Литосфера. 2012. № 4. С. 190–207.
5. Грабежев А.И., Коробейников А.Ф., Молошаг В.П. Золото в медно-золото-порфировых месторождениях Урала // Геохимия. 1995. № 10. С. 1465–1471.
6. Грабежев А.И., Белгородский Е.А. Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений. Екатеринбург: УФАН, 1992. 199 с.
7. Грабежев А.И., Сазонов В.Н., Мурзин В.В. и др. Березняковское золоторудное месторождение (Южный Урал, Россия) // Геол. рудн. месторожд. 2000. № 1. С. 38–52.
8. Коробейников А.Ф., Грабежев А.И., Молошаг В.П. Поведение Pt, Pd и Au при формировании золото-медно-порфировой системы (Томинско-Мичуринский рудный узел, Южный Урал) // Докл. АН. 2002. № 5. С. 668–671.
9. Плотинская О.Ю., Грознова Е.О., Коваленкер В.А. и др. Минералогия и условия образования руд Березняковского рудного поля (Южный Урал, Россия) // Геол. рудн. месторожд. 2009. № 5. С. 414–443.
10. Barra F., Ruiz J., Mathur R., Titley S. A Re-Os study of sulfide minerals from the Bagdad porphyry Cu-Mo deposit, Northern Arizona, USA // Mineralium Deposita. 2003. V. 38. P. 585–596.
11. Cardon O., Reisberg L., Andre-Mayer A.S. et al. Re-Os systematics of pyrite from the Bolcana porphyry copper deposit, Apuseni mountains, Pomania // Econ. Geol. 2008. V. 103, № 8. P. 1695–1702.
12. Mathur R., Ruiz J., Munizaga F. Relationship between copper tonnage of Chilean base-metal porphyry deposits and Os isotope ratios // Geology. 2000. V. 28. P. 555–558.