

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУЛЬФИДОВ ИЗ РУД РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ

Ю.А.Полтавец, З.И.Полтавец

Сульфиды (пирит, халькопирит, борнит, пирротин) являются наиболее широко распространенными минералами руд и окорудных пород в месторождениях различных рудно-формационных типов. Поэтому внимание исследователей всегда привлекала возможность использования особенностей состава этих минералов как индикаторов оруденения и их генетической принадлежности [Овчинников, 1960; Прохоров, 1970; Цамбел, Ярковский, 1971 и др.]. Так, например, отличительными признаками золото-скарновых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений Кузнецкого Алатау [Алабин, 1998] являются отношение Co/Ni в пирите: 8,0 и 1,6 соответственно, а также изотопный состав сульфидных минералов: $d^{34}S_{sp} = +1,6 \text{ ‰}$ и $d^{34}S_{sp} = +4,5 \text{ ‰}$. Отношение Co/Ni нередко рассматривается в качестве индикатора температуры образования и степени метаморфизма сульфидов. Пириты кварц-касситеритовых и вольфрамитовых месторождений Забайкалья характеризуются повышенными содержаниями олова (до 1 %), тогда как в пирите колчеданных месторождений он практически отсутствует [Прохоров, 1970]. Повышенные содержания Co (до 0,3 % и более) характерны для пиритов скарново-магнетитовых месторождений Урала [Овчинников, 1960] и более 1 % для месторождений этого типа на Кавказе [Кашкай, 1965 и др.]. Общей закономерностью для сульфидов, в частности пирита, рудных месторождений

различных генетических типов, является возрастание содержаний элементов-примесей по мере приближения к рудному телу [Овчинников, 1960, Полтавец, 1978 и др.] Таким образом, состав сульфидов можно рассматривать в качестве объективного критерия условий и особенностей формирования, а также и их генетической принадлежности.

В последнее время нами были изучены состав и закономерности распределения благородных металлов (платиноидов и золота) в сульфидах (пирите, халькопирите, борните) из руд и окорудных пород месторождений скарновой и титаномагнетитовой формации [Полтавец и др., 2004, 2006; Poltavets et. al., 2006]. С целью выявления возможности их использования в качестве индикатора принадлежности оруденения к какому-либо генетическому типу был проведен сравнительный анализ состава сульфидов в отношении платиноидов из руд ряда месторождений Урала и других регионов (табл. 1).

Приведенные табличные данные вполне отчетливо свидетельствуют о заметных различиях в содержаниях платиноидов и золота в сульфидах из месторождений разных генетических типов. Так, наименьшими концентрациями платины и палладия характеризуются месторождения медно-порфировой формации, а наибольшими – месторождения магматического генезиса. Сульфиды скарново-магнетитовых

месторождений Среднего и Северного Урала по содержанию благородных металлов занимают промежуточное положение. Как и следовало ожидать, наибольшей золотоносностью характеризуются медно-порфировые месторождения; при этом месторождения, сформированные по данным В. Stribny et al. [2000] в островодужной обстановке (Mamut, Santo Tomas, Elatsite), имеют в целом более высокие значения содержания платины и палладия по сравнению с месторождениями окраинно-континен-

тальных обстановок. Так, средние содержания Pd и Pt для «островодужных» месторождений составляют (г/т) 0,599 и 0,121 соответственно, для месторождений окраинно-континентальных обстановок – 0,051 и 0,027 соответственно. Отдельным медно-порфировым месторождениям [Tarkian M., 2003], как и изученным нами уральским месторождениям, свойственна довольно высокая корреляция между содержанием Au и Cu ($r=0,77$, месторождение Elatsite). Кроме того, судя по литературным данным

Таблица 1

Среднее содержание благородных металлов в сульфидах и сульфидных концентратах из руд разных генетических типов, г/т

Месторождение (количество анализов), регион	Pd	Pt	Au
Магматические месторождения			
Волковское (26), Ср. Урал	7,94	0,330	1,42
Серебрянский Камень (4), Сев. Урал.*	10,82	1,850	2,17
Скарново-магнетитовые месторождения			
Вадимо-Александровское (12), Сев. Урал	0,11	0,046	1,27
Лебяжинское (21), Ср. Урал	0,87	0,030	1,16
Естюнинское месторождение (6), Ср. Урал	1,73	0,253	0,25
Осокино-Александровское (6), Ср.Урал	1,50	0,055	0,14
Гороблагодатское (7), Ср. Урал	0,24	0,028	1,07
Валуевское (6), Ср. Урал	0,05	0,016	0,05
Медно-порфировые месторождения**			
Ryabinovoje(1), Russia	0,032	0,088	0,720
Chuquicamata (1), Chile, C	0,036	0,004	0,470
Escondida (1), Chile, C	0,044	0,008	2,050
El Salvador (1), Chile, C	0,016	0,008	1,250
Alumbrera (1), Argentina, C	0,035	0,008	31,00
Skouries (1), Greece, C	0,160	0,008	7,300
Kadzharan (1), Armenia, C	0,024	0,084	3,400
Grasberg (1), Indonesia, C	0,058	0,015	18,00
Ok Tedi (2), P. New Guinea, IA	0,980	0,024	28,00
Panguna (2), P. New Guinea, IA	0,040	0,008	0,520
Bor (1), Serbia, IA	0,040	0,019	1,700
Majdanpek (9), Serbia, IA	0,195	0,019	6,390
Veliki Krively (1), Serbia, IA	0,070	0,016	2,250
Assarel (5), Bulgaria, IA	0,049	0,012	5,360
Elacite (9), Bulgaria, IA	1,175	0,130	16,911
Mamut (5), Malaysia, IA	1,348	0,460	14,900
Santo Tomas (1), Philippines, IA	1,500	0,400	40,000

Примечание. Сульфиды и сульфидные концентрации Волковского месторождения и Серебрянского Камня представлены преимущественно борнит-халькопиритовой ассоциацией, скарново-магнетитовых месторождений – халькопирит-пиритовой, меднопорфировых месторождений – также халькопирит-пиритовой ассоциацией с резко подчиненным количеством других сульфидов (галенита, сфалерита, арсенопирита). C – месторождения окраинно-континентальных обстановок, IA – то же островодужных обстановок. Цифры в скобках – количество проб.

*по данным А.А. Ефимова и др. [2002], **по данным В. Stribny et al. [2000]. Авторские анализы выполнены в Центральной лаборатории ПГ «Невскгеология», в Институте испытаний и сертификации минерального сырья при Уральской Государственной Горно-Геологической Академии, а также в Институте геологии и геохимии УрО РАН (последнее относится к данным по Вадимо-Александровскому месторождению, аналитики: И.И. Неустроева, Ю.П. Любимцева).

[Economou-Eliopoulos, Eliopoulos, 2000], намечается определенная зависимость между составом рудоносных интрузий и ассоциирующими с ними сульфидными рудами; так более высокой концентрацией рассматриваемых металлов, особенно золота, характеризуются руды, ассоциирующие с интрузиями повышенной щелочности. Особенности состава сульфидных руд разных по генезису месторождений достаточно отчетливо проявляются по соотношению рассматриваемых металлов (рис. 1). Как видно на диаграмме, месторождения, принадлежащие к определенной генетической группе, образуют достаточно обособленные поля. Так, сульфиды магматического генезиса на диаграмме расположены вдоль стороны Pt – Pd треугольника, образуя узкое вытянутое поле (IV). В пределах этого поля, непосредственно вблизи Pd угла треугольника, расположены и средние составы сульфидов Волковского месторождения и Серебрянского Камня. По сравнению со средним составом сульфидсодержащих пород Номгонского и Скергаардского массивов, сульфидные руды этих месторождений являются менее платиноносными. Следует заметить, что природа сульфидного оруденения Серебрянского Камня, равно как и самих габбро, дискуссионна. Как известно, С.А. Кашин [1948] относил их к магматическому типу и считал аналогом Волковского месторождения. Однако, А.А. Ефимов считает [Ефимов и др., 2002], что генезис сульфидного оруденения и вмещающих их габбро – метасоматический.

Сульфиды руд меднопорфировых месторождений, наоборот, тяготеют на диаграмме к

Au углу, причем месторождения окраинно-континентальных обстановок непосредственно примыкают к вершине Au треугольника. Скарново-магнетитовые же месторождения занимают в целом промежуточное положение. Кстати, здесь же располагается средний состав сульфидов Гумешевского месторождения, ранее относившееся к типично магнетит-медно-скарновому типу. Сейчас, оно рассматривается некоторыми исследователями (А.И. Грабежвым) в качестве представителя скарново-медно-порфирового типа [Викентьев и др., 2004].

Такая направленность в изменении соотношения рассматриваемых металлов представляется вполне закономерной, отражающей как характер продуктивного магматизма (от основных магм к более кислым), так и степень зрелости земной коры: по мере роста сиаличности коры в составе продуктивных комплексов и ассоциирующих с ними сульфидных руд возрастает роль Au и уменьшается роль Pt и Pd.

Выводы

Таким образом, на основании сравнительного анализа данных по содержанию и закономерностям распределения платиноидов и других элементов в сульфидах из месторождений железа и меди на Урале и других регионов, можно сделать следующие выводы:

- 1) для месторождений каждого генетического типа, как и для отдельных металлогенетических зон, в целом характерны свои определенные содержания платиноидов и золота;
- 2) соотношение содержаний рассмотрен-

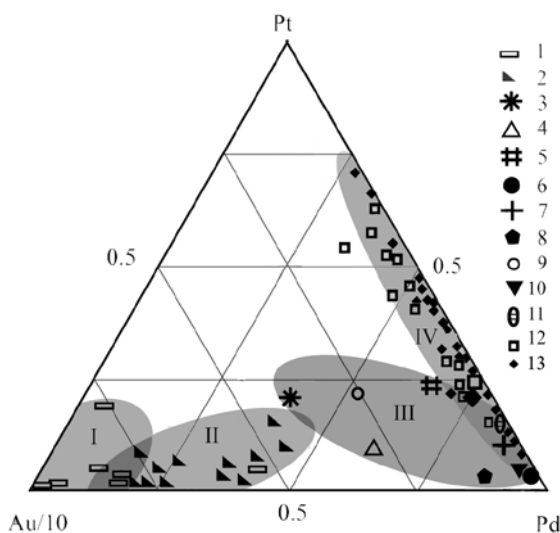


Рис. 1. Соотношение Pt, Pd, Au в сульфидах из руд различного генезиса.

1-2 – медно-порфировые месторождения: 1 – в окраинно-континентальных обстановках (I), 2 – в островодужных обстановках (II); 3-9 – скарновые месторождения Fe и Cu на Урале (III): 3 – Вадимо-Александровское (12 ан.), 4 – Гороблагодатское (7 ан.), 5 – Валуевское (6 ан.), 6 – Осокино-Александровское (6 ан.), 7 – Естюнинское (7 ан.), 8 – Лебяжинское (9 ан.), 9 – Гумешевское (3 ан.), по данным [Викентьев и др., 2005]; 10-13 – магматические месторождения и рудопроявления (IV): 10 – Волковское (26 ан.), 11 – Серебрянский Камень (4 ан.), 12 – Номгонский массив, по данным [Изох и др., 1991], более крупным знаком показан средний состав, 13 – Скергаардский массив по данным [Nielsen et al, 2005], более крупным знаком показан средний состав.

ных элементов, равно как и других сопутствующих элементов-примесей в сульфидных рудах, объективно отражает как особенности формирования месторождений, так и региональные геохимические особенности;

3) вполне вероятно, что при достаточном (в статистическом смысле) количестве данных по содержанию в сульфидах платиноидов и золота (как и других элементов-примесей) возможна разработка критериев на принадлежность оруденения к тому или иному рудно-формационному типу и палеогеодинамической обстановке его формирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ – «Урал» (проект № 07-05-96057).

Список литературы

Алабин Л.В. Металлогения золота Кузнецкого Алатау // Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1998. 37 с.

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.

Ефимов А.А., Ефимова Л.П., Волченко Ю.А. О платиноносности медносульфидных руд Серебрянского Камня (Платиноносный пояс Урала) // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 219-222.

Изох А.Э., Поляков Г.В., Аношин Г.Н. и др. Геохимия платиновых металлов, золота и серебра в Номгонском троктолит-анортозит-габбровом массиве (МНР) // Геохимия. 1991. № 10. С. 1398-1405.

Кашкай М.А. Петрология и металлогения Дашкесана и других железорудных месторождений Азербайджана. М.: Недра, 1965. 890 с.

Кашин С.А. Медно-титаномагнетитовое оруденение в основных интрузивных породах Урала. Тр. ГИН АН СССР. Вып. 91. Серия рудных месторождений. 1948. № 9. 132 с.

Овчинников Л.Н. Контактково-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. Тр. Горно-геологического Ин-та. Вып. 39. Свердловск, 1960. 495 с.

Полтавец З.И. О различной природе сульфидной минерализации в железорудных месторождениях скарновой формации // Скарново-магнетитовые месторождения Урала. Геология и металлогения. Сб. статей. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 64-72.

Полтавец Ю.А., Сазонов В.Н., Нечкин Г.С., и др. Благородные металлы в железоносных рудно-магматических системах Урала // Сборник аннотационных отчетов по проектам регионального конкурса РФФИ «Урал» по Свердловской области за 2003 год. Екатеринбург, 2004. С. 563-569.

Полтавец Ю.А., Сазонов В.Н., Полтавец З.И., и др. Закономерности распределения благородных металлов в рудных парагенезисах Волковского габбрового массива (Средний Урал) // Геохимия. 2006. № 2. С. 167-190.

Прохоров В.Г. Пирит. Красноярск, 1970. 188 с.

Цамбел Б., Ярковский И. Геохимия никеля и кобальта в пирротинах различных генетических типов // Геология и геохимия рудных месторождений. М.: Мир, 1971. С. 237-248.

Economou-Eliopoulos M., Eliopoulos D.G. Palladium, platinum and gold concentration in porphyry copper systems of Greece and their genetic significance // Ore Geol Rev. 2000. V. 16. P. 59-70.

Nielsen T.F.D., Andersen J.C. & Brooks C.K. The Platinoval Reef of the Skaergaard Intrusion // Mineralogical Association of Canada Short Course 35. 2005. P. 431-455

Poltavets Yu.A., Sazonov V.N., Poltavets Z.I. Behaviour of PGE at magmatic and postmagmatic stages of development of ferruginous basaltiform ore-magmatic systems // Extended abstracts of 12th IAGOD Symp. «Understanding the genesis of ore deposits to meet the demands of the 21st Century». Moscow, 2006. P. 1-4.

Stribny B, Wellmer F.-W., Burguth K.-P., et al. Unconventional PGE occurrences and PGE mineralization in the Great Dyke: metallogenic and economic aspects // Mineralium Deposita. 2000. V. 35. P. 260-281.

Tarkian M., Tokmakchieva M., Bogdanov K. Precious-metal distribution and fluid-inclusion petrography of the Elatsite porphyry copper deposit, Bulgaria // Miner. Deposita. 2003. V. 38. P. 261-281.