

К ВОПРОСУ ОБ ИСТОЧНИКЕ И ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ВОЛКОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ МЕДНОСУЛЬФИДНЫХ РУД (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Ю.А. Полтавец, В.Н. Сазонов, Г.С. Нечкин

К настоящему времени закономерности распределения и поведения благородных металлов (Au, Ag, Pd и Pt) в породах и рудах Волковского габброидного массива достаточно полно освещены в литературе [Мурзин и др., 1988; Молошаг и др., 2000; Волченко и др., 2001; Полтавец и др., 2002]. Однако, в этих работах недостаточно отражена роль оксидов железа в концентрировании Au, Ag, Pd и Pt. А между тем, на наш взгляд, оксиды железа имеют немало важное значение в образовании благороднометальной минерализации. Такой вывод следует как из анализа геохимических особенностей главных рудообразующих минералов (титаномагнетита, борнита, халькопирита), в которых зафиксированы в заметных количествах Pd (до 13 г/т), Au (до 8 г/т) и Ag (до нескольких десятков г/т), так и из данных по содержанию этих металлов в промышленно-технологических пробах (табл.1.).

При анализе магнетитовых концентратов обычно считается, что находящиеся в них в незначительных количествах благородные металлы связаны с содержаниями в них сульфидов меди. Но более детальный анализ показывает, что, если исходить из пропорций серы, меди и благородных металлов в медном концентрате, то расчетные концентрации благородных металлов в магнетитовом концентрате окажутся на много меньше их фактических содержаний,

даже с учетом селена и теллура. Так, например, при одних и тех же значениях отношений $(S+Se+Te)/(Au+Ag)$ или $(S+Se+Te)/(Pd+Pt)$ для медного и магнетитового концентратов (поскольку они выделяются из одной и той же технологической пробы), расчетные содержания в магнетитовом концентрате (Au+Ag) будут равны (в г/т) 0.159 вместо 0.853 (табл.1.) и (Pd+Pt) 0.011 вместо 0.160 (там же). Подобные подсчеты с использованием меди приводят к аналогичным результатам: содержание (Au+Ag) окажется равным 0.092 и (Pd+Pt) соответственно 0.006 г/т. Из приведенных данных видно, что "медные" концентрации (Au+Ag) и (Pd+Pt) оказываются ниже "серных", что может быть связано, отчасти, с изоморфным замещением этих металлов медью. Эти данные вполне определенно указывают на то, что весьма значительная часть содержаний благородных металлов в магнетитовом концентрате не связана с сульфидами меди. В пользу этого вывода свидетельствуют заметно различающиеся отношения Ag / Au и Pd / Pt в магнетитовом и медном концентратах, значения которых в противном случае (при связи их с сульфидами меди) были бы одинаковыми. Не имея возможности более подробно рассмотреть вопрос о формах нахождения благородных металлов в титаномагнетите, мы можем лишь предполагать о рассеянной тонкодисперсной форме их нахождения в оксидах желе-

Среднее содержание благородных металлов (в г/т) в медном и магнетитовом концентратах, выделенных из промышленно-технологических проб на Волковском месторождении (по данным Красноуральской ГРП)

| Компоненты | Медный концентрат | Магнетитовый концентрат |
|------------|-------------------|-------------------------|
| Cu | 25.86(3) | 0.07(3) |
| | 19.10 – 30.88 | 0.033 – 0.14 |
| S | 10.80(3) | 0.05(3) |
| | 3.03 – 18.18 | 0.02 – 0.09 |
| Au | 2.63(2) | 0.053(3) |
| | 1.86 – 4.16 | 0.05 – 0.06 |
| Ag | 31.42(2) | 0.80 (2) |
| | 6.23 – 56.60 | |
| Pd | 2.0(2) | 0.146(2) |
| | | 0.031 – 0.260 |
| Pt | 0.26 (2) | 0.014 (2) |
| | 0.129 – 0.400 | 0.012 – 0.015 |
| Sc | 244.0(3) | 3.0 (3) |
| | 145.0 – 360.0 | 2.0 – 4.0 |
| Te | 59.0 (3) | 2.0 (2) |
| | 7.0 – 62.0 | |
| Ag/Au | 11.95 | 15.10 |
| Pd/Pt | 7.69 | 10.43 |

Примечание. В числителе – среднее арифметическое, в знаменателе – интервал колебаний содержаний элементов; в скобках – число анализов. Содержания S и Cu в мас.%, остальные – в г/т; Определение благородных металлов проведено атомно -абсорбционным методом.

за (возможно также и силикатах) в виде твердых растворов типа $(Pd_{1-x}Pt_x)Fe$ или изоморфной примеси.

Изложенные данные позволяют предполагать, что обогащение пород и руд благородными металлами на Волковском месторождении связано, с одной стороны, с их концентрацией на ранней стадии магматической дифференциации расплава за счет кристаллизации оксидов (титаномагнетита, возможно, и темноцветных силикатов), с другой – с безусловным накоплением Cu и S в ходе эволюции рудно-магматической системы. То есть, источником, как собственно рудообразующих элементов (Fe и Cu), так и значительной части сопутствующих им благородных металлов, являлась первичная “габброидная” магма как производная плавящегося мантийного субстрата. Обогащенность бессульфидных габброидов благородными металлами, за исключением платины, превышающая на порядок и более их кларки в базитах [Интерпретация..., 2001], подтверждает этот вывод.

Поступление флюидных компонентов из плавящегося мантийного субстрата подтверждается изотопным составом серы, который характеризуется близостью среднего значения $\delta^{34}S$ (-0.15%) в медно-железо-ванадиевых рудах к мантийному [Николайченков, 1981], что свидетельствует о гомогенном и магматическом источнике. В результате анализа геохимических данных по штучным пробам, а также магнетитовых и сульфидных концентратов, установлена тесная корреляционная связь ($r = 0.7 - 0.9$) содержаний благородных металлов как между собой, так и с медью, и серой. Это также свидетельствует в пользу представления о том, что источником благородных металлов и рудообразующих флюидов (H_2O , P, Cl и др.) являлись производные плавящегося мантийного субстрата.

Соотношение между содержаниями благородных металлов и Cu (и S) в различных по составу породах (рудах) и концентратах отражено на диаграмме (см. рис.).

На диаграмме “просматривается” геохи-

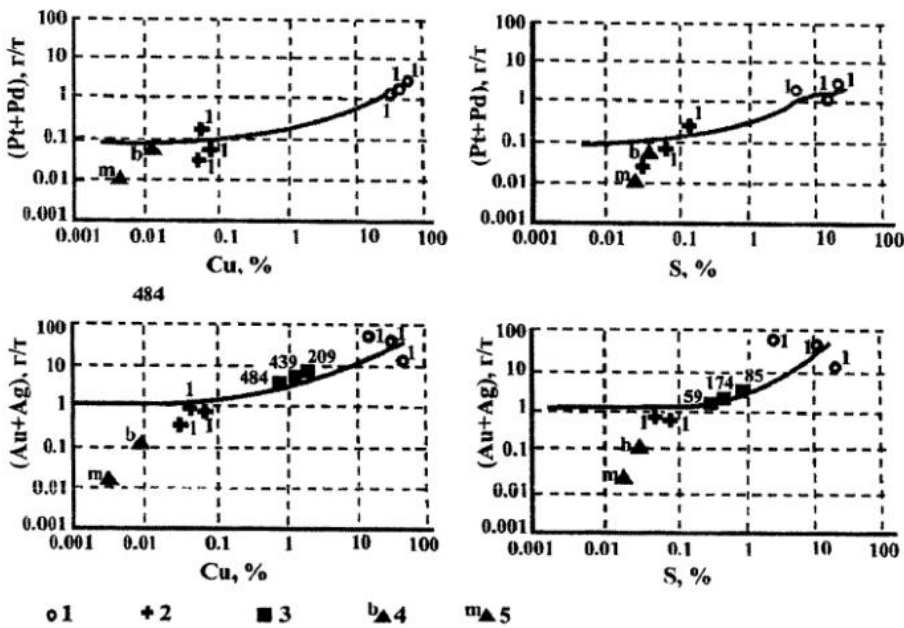


Рис. Соотношение содержаний благородных металлов с Cu и S на Волковском месторождении медносульфидных руд.

1 – сульфидный концентрат, 2 – магнетитовый концентрат, 3 – штуфные проб медносульфидных руд, 4 – кларки благородных металлов в базитах, 5 – тоже в мантии. Цифры – количество проб

мическая специфика рудных габброидов месторождения: они обогащены (Au+Ag) в значительно большей степени чем (Pd+Pt) относительно их кларков в базитах (или мантии), то есть в этом отношении они в большей мере являются “золотоносными” образованиями, чем “платиноносными”. Это вывод является несколько неожиданным, поскольку в литературе Волковский массив габброидов традиционно относится к Платиноносному поясу.

Таким образом, на ранней высокотемпературной стадии эволюции рудно-магматической системы, в процессе кристаллизации маг-

матического расплава, обедненного серой и медью, концентрирование благородных металлов происходит, вероятнее всего, в виде твердых растворов с оксидами железа (титаномагнетита). На несколько более поздних этапах магматической дифференциации, по мере накопления в магматическом расплаве меди и серы с одновременным обогащением его благородными металлами, последние осаждаются в сульфидах меди с выделением в виде собственных минеральных фаз как в самородной форме (Au), так и виде теллуридов палладия с примесью других металлов (Pt, Au, Ag). В связи с этим

Таблица 2

Среднее содержание рудообразующих элементов и петрохимических характеристик в габброидах Волковского месторождения в зависимости от интенсивности оруденения

| КОМПОНЕНТЫ | Содержание FeO* в габброидах (мас.%), в скобках – число анализов | | | | |
|------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 11.17(25) | 14.60(53) | 17.36(51) | 25.11(18) | 32.77(13) |
| Cu | 0.06(5) | 0.31(25) | 0.47(26) | 0.63(10) | 1.22(5) |
| S | 0.03(5) | 0.17(25) | 0.34(26) | 0.19(10) | 0.29(5) |
| P | 0.34 | 0.76 | 0.99 | 1.72 | 3.59 |
| TiO ₂ | 0.89 | 1.17 | 1.41 | 2.09 | 2.70 |
| Fem | 30.09 | 35.02 | 37.11 | 34.60 | 25.78 |
| Pl ^{An} | 0.73 | 0.78 | 0.80 | 0.84 | 0.91 |
| Q ^{Mt} | 5.21 | 8.59 | 11.45 | 19.45 | 27.38 |
| (Fem+Q ^{Mt}) | 35.3 | 43.61 | 48.56 | 54.05 | 53.16 |
| Fem / (Fem+Pl) | 0.38 | 0.46 | 0.49 | 0.60 | 0.70 |

Примечание. FeO* = (0.9Fe₂O₃ + FeO), Fem = Di+Hy+Ol – нормы по CIPW. Q^{Mt} – количество магнетита; расчет произведен с использованием уравнения связи Fe^{Mt} = 0.963 * Fe_{вал} – 4.708 (по данным Красноуральской ГРП).

следует особо подчеркнуть, что титаномагнетитовое и медносульфидное оруденение образуются на ранних этапах эволюции рудно-магматической системы; об этом свидетельствуют сопряженность в изменении содержаний как рудообразующих элементов (Fe, Ti, Cu, S и P), так и целого ряда петрохимических характеристик (табл.2.). Как видно из таблицы, наибольшие содержания всех рудообразующих элементов наблюдаются в наиболее фемических породах с более основным плагиоклазом. Указанные закономерности не согласуются с высказанным ранее мнением некоторых исследователей [Штейнберг, Еремина, 1963] о метасоматической природе титаномагнетитового оруденения Волковского месторождения, утверждавших, в частности, что ... " *пониженное против эвтектики содержание темноцветных минералов (32,4%) может быть объяснено только замещением их титаномагнетитом. Такое предположение подтверждается тем, что в габбро сумма рудных и темноцветных минералов очень близка к содержанию пироксена в габброидной эвтектике (стр. 432)*". В этом случае следовало бы ожидать обратную зависимость между содержанием рудных минералов и темноцветными. И в связи с этим, габброиды, обогащенные рудными минералами, должны характеризоваться меньшими содержаниями темноцветных силикатов по сравнению с безрудными. Это являлось бы с петрологической точки зрения весьма серьезным обоснованием метасоматического генезиса руд, и тогда с этим доводом нельзя было бы не считаться. Но, как видно из приведенных данных (табл.2.), картина, в целом, как раз обратная: по мере возрастания рудной составляющей (Q^{M1}) в рудных габброидах увеличивается в целом как сумма темноцветных и рудных минералов ($Fem+Q^{M1}$), так и фемического индекса $Fem / (Fem+Pl)$.

Указанные закономерности, судя по имеющимся в литературе экспериментальным данным [Meen, 1990] и природным наблюдениям за явлениями рудно-силикатной ликвации на дне океанов [Шарапов и др. 1999], находят вполне удовлетворительное объяснение в рамках ликвационно-кумулятивной модели образования руд. Эта модель предполагает как частичное выделение рудных капель на ликвидусе формирующегося базальтового расплава с последующей их кристаллизацией в виде гнезд и мелких шпировых выделений в породах ранней стадии

дифференциации, так и формирование руд из остаточного относительно слабо дифференцированного "габбрового" расплава [Тимохов, 1963].

Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ "Урал" (проект 02-05-96426)

Список литературы

Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Неустроева И.И. и др. Основные минералого-геохимические черты нового Баронского типа золото-палладиевых руд Урала // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 148-157.

Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.

Молошаг В.П., Коробейников А.Ф. Новые данные о платиноидной минерализации медно-железо-ванадиевых руд // Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 90-101.

Мурзин В.В., Молошаг В.П., Волченко Ю.А. Парагенезис минералов благородных металлов в медно-железо-ванадиевых рудах волковского типа на Урале // Докл. АН СССР, 1988. Т. 300. N 5. С. 1200-1202.

Николайченков Ю.С. Условия размещения природных типов руд на Волковском месторождении // Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Свердловск: 1981. 21 с.

Полтавец Ю.А., Нечкин Г.С., Полтавец З.И. О характере распределения Pd и Pt в рудных парагенезисах Волковского месторождения титаномагнетитовых и медносульфидных руд (Средний Урал) // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 258-262

Тимохов К.Д. Связь медносульфидного и титаномагнетитового оруденения с вмещающими породами на Волковском месторождении // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Тр-ды первого уральского петрографического совещания. Т.1. Свердловск, 1963. С. 439-443

Шарапов В.Н., Павлов А.Л., Акимцев В.А. Физико-химические параметры формирования рудных расплавов и флюидной фазы в магматических очагах срединно-океанических хребтов // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. N 3. С. 278-291.

Штейнберг Д.С., Еремина М.В. Новые данные по петрологии Волковского месторождения // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. (Тр-ды первого уральского петрографического совещания. Т.1). Свердловск: УФАН СССР, 1963. С. 431-438.

Meen James K. Elevation of potassium content of basaltic magma by fractional crystallization: the effect of pressure // Contrib., Miner. Petrol. 1990. V. 104. N3. P. 309-321.