

УДК 553.411

НОВЫЕ ПУТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕНЕЗИСА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© 2002 г. Член-корреспондент РАН В. И. Гончаров,
член-корреспондент РАН А. А. Сидоров, А. В. Волков

Поступило 27.06.2002 г.

Среди рудных образований наиболее изучены жильные месторождения золота. Разнообразие этих месторождений представляется не столь значительным; их одинаковость в самых различных геологических провинциях многократно охарактеризована. Мобилизация и концентрация в гидротермальных растворах золота и его обычных элементов-спутников (свинца, серебра, меди, ртути, сурьмы и др.) достаточно хорошо изучены, так же как их сродство к сере, склонность к комплексообразованию и особенно стабильность средне-, низкотемпературных условий накопления в рудах (50–250°C при давлениях от 50 до 550–750 атм). При этом Н.В. Петровская [1], проанализировавшая условия образования парагенезисов золотых руд на весьма представительном материале, делает вывод, что “главные продуктивные ассоциации золотых руд на всех глубинах возникали в удивительно сходных температурных условиях (150–220°C)”. Нижний предел температуры золотоносных гидротерм гигантского месторождения Карлин (США) определяется в 150°C [2]. Иными словами, стабильные длительные средне-низкотемпературные условия представляются весьма благоприятными для концентрации золота в жилах и вмещающих породах.

Приемы рудноформационного (ore association) анализа позволяют выявлять иерархические ряды рудных месторождений (от сложных комплексных к простым) в конкретных геологических структурах. При этом в минерально-геохимических ассоциациях каждого рудного месторождения в той или иной форме отражен вещественный состав месторождений всего ряда. Наиболее полно он отражен в рудах полихронных комплексных (сульфидно-полиметаллических) и фрагментарно в

простых монометалльных (сурьмяных, ртутных) месторождениях [3].

Источники рудного вещества для месторождений каждого ряда представляются единичными или, по крайней мере, родственными. Элементы родства минеральных парагенезисов золоторудных месторождений с другими рудными образованиями своих рядов (комплексов) улавливаются только при достаточно хорошей изученности их минерало-геохимических особенностей. При этом все-таки значительная часть жил из разных рудноформационных рядов (комплексов), а также несопоставимо огромная часть безрудных или слабо рудоносных жил представляются квазитожественными по текстурам, структурам и минеральному составу, если их *PT*-условия образования близки.

Золото-кварцевые жилы Колымы и Чукотки по данным изотопии и термобарогеохимических исследований формировались унаследованно в более ранних зонах золотоносной сульфидизации осадочных толщ в различных *PT*-условиях. Давление в системах варьирует от 1 до 3 кбар. Соленость рудообразующих растворов (%NaCl) в газовой-жидких включениях в кварце изменяется от 5 до 17 [4]. Эти же *PT*-условия характерны и для образования золото-сульфидно-кварцевых жил, отличающихся повышенным содержанием пирита, арсенопирита, халькопирита, галенита, сфалерита и некоторых других сульфидов и сульфосолей. Однако в золото-сульфидно-кварцевых жилах отмечаются также трехфазные включения (с кристалликами галита), и соленость растворов несколько возрастает.

Эпитермальные золото-серебряные месторождения связаны с крупнейшими вулканогенными поясами и зонами тектоно-магматической активизации. Очевидный контроль этих месторождений тихоокеанским и средиземноморским кайнозойским вулканизмом породил иллюзию глубинных (подкоровых, нижнекоровых) источников рудного вещества в адуляр-халцедон-кварцевых жилах, определенная степень конвергентности которых полностью связана с близповерхностными физико-химическими условиями отложения минеральных агрегатов. Наши исследования показали, что

Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Магадан
Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва

Таблица 1. Золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые месторождения различных рудноформационных рядов

Рудноформационный ряд	Минеральный тип жильно-кварцевых руд	Связь с минерализацией базовых месторождений	Типы террейнов и кроющие структуры	Примеры месторождений
Золото-сульфидный вкрапленный руд	Золото-арсенопирит-пиритовый, сфалерит-галенитовый, антимонитовый	Генетическая и парагенетическая	Турбидитных бассейнов пассивных континентальных окраин	Центрально-Колымский район (россыпеобразующие жилы)
Железистых кварцитов	Золото-арсенопирит-пиритовый, сульфидный редкометалльный (Bi, Co, Te, W и редкие земли)	Эпигенетическая и парагенетическая	Кратонные	Омолонский район (Северо-Восток России), Йилгарн (Австралия)
Медно-(молибден)-порфировый и допорфировый (гипабиссальный ярус)	Золото-арсенопирит-пирит-молибденит-халькопиритовый	Парагенетическая	Островодужные, вулканические пояса и перивулканические зоны	Охотско-Чукотский пояс, различные монзонитоидные комплексы
Олово-серебропорфировый и допорфировый (гипабиссальный ярус)	Золото-висмутин-галенит-сфалерит-пирит-леленгитовый	Парагенетическая	Пассивных континентальных окраин, перивулканические зоны	Омсукчанский и Центрально-Чукотский районы, Потоси (Боливия)

эти месторождения не менее широко были распространены в более древние эпохи, начиная с докембрия. Разумеется, сохранность приповерхностных образований была обратно пропорциональна их возрасту. И, что особенно важно, была установлена тесная парагенетическая связь золото-серебряных месторождений с различными рудноформационными рядами: с золото-сульфидными, с колчеданными, с железистокварцевыми, ураннометалльными, медно-молибден-порфировыми и олово-серебро-порфировыми, а также с золоторудными образованиями базит-ультрабазитовых комплексов [3]. Источники рудного вещества столь разнородных рядов со всей очевидностью не могут быть родственными. Температуры образования золото-серебряных руд на основе изучения газовой-жидких включений в кварце варьируют в широких пределах (от 50 до 420°C) при межстадийных инверсиях, достигающих 100–150°C; соответственно давление в гидротермальных системах изменялось от 5 до 250 кбар [4].

Положение различных золоторудных и других месторождений Северо-Востока России, унаследованно сформировавшихся в зонах золотоносной сульфидизации вмещающих пород, показаны в табл. 1. Из общего количества кварцевых и сульфидно-кварцевых жил даже в хорошо изученных золоторудных районах золотоносными обычно являются 1–2% и менее; за пределами же этих районов (особенно вне зон дожилной золотоносной сульфидизации) совершенно аналогичные жилы не несут золота, хотя сульфидные минералы в кварце остаются неизменными или почти неизменными. В пермских черносланцевых свитах Колымы участки разновозрастной эпигенетической золотоносности локализованы

преимущественно в поздних (наложенных) гидротермально-магматических системах (рис. 1). Доаккреционные зоны пиритизации обычно слабо золотоносны. Изотопный состав свинца золото-кварцевых и эпигенетических золото-серебряных руд Центрально-Колымских террейнов обычно сопоставим и резко различен в пределах Омолонского кратона (месторождение Кубака) и Чукотских террейнов (месторождение Майское). Эти данные объективно подтверждают наши представления о различных источниках рудного вещества золото-серебряных месторождений даже в одном регионе [5].

Золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые месторождения в гранитоидах отличаются грейзенизацией рудоносных зон и ранними высокотемпературными минеральными ассоциациями (молибденит-кварцевой, арсенопирит-шеелит-кварцевой, касситерит-арсенопирит-висмутиновые и др.), температура рудоотложения которых ограничена пределами 200–500°C. Собственно золотые минеральные ассоциации этих, равно как и охарактеризованных выше, месторождений формировались преимущественно в средне-, низкотемпературных условиях.

Изотопные анализы свинца в рудах могут подтвердить или опровергнуть общность источников рудного вещества для месторождений всего рудноформационного ряда. Вместе с тем *PT*-условия образования месторождений совершенно не отражают характера источника рудного вещества. Состав жильных нерудных минералов (кварц, альбит, адуляр, хлорит, гидрослюда, глинистые минералы) обычно тесно связан с составом вмещающих пород; предполагается также, что процессы кислотного выщелачивания этих же пород

Таблица 2. Золото-серебряные месторождения различных рудноформационных рядов

Рудноформационный ряд	Минеральный тип золото-серебряных руд	Связь с минерализацией базовых месторождений	Типы террейнов	Примеры месторождений
Медно-никелевый и хромитовый (базит-ультрабазитовый)	Золото-серебро-теллуридный	Эпигенетическая	Океанической коры, островодужные	Агинское (Камчатка), Зод (Армения), Калгурли (Австралия)
Медно-порфиновый	Электрум-халькопирит-пиритовый, сфалерит-галенитовый	Парагенетическая с поздними минеральными ассоциациями	Островодужные, континентальных рифтов, пассивных континентальных окраин	Песчанка (Чукотка), Бингем, Сан-Джуан (США)
Олово-серебро-порфиновый	Электрум-аргентитовый, сфалерит-галенитовый	Парагенетическая допорфировая и с поздними минеральными ассоциациями	Турбидитных бассейнов пассивных континентальных окраин (перивулканические зоны)	Дукат (Северо-Восток России), Потоси (Боливия)
Золото-сульфидный вкрапленных руд	Электрум-арсенипирит-пиритовый, сульф-антимонитовый	Парагенетическая с поздними минеральными ассоциациями	Турбидитных бассейнов пассивных континентальных окраин (перивулканические зоны)	Майский рудный район (Чукотка)
Колчеданный полиметаллический	Электрум-халькопирит-сфалерит-галенитовый	Парагенетическая с поздними минеральными ассоциациями	Островодужные	Провинция “зеленых туфов” (Япония)
Железистых кварцитов	Электрум-пиритовый	Эпигенетическая	Кратонные	Кубака (Северо-Восток России)
Пятиэлементный	Электрум(кюстелит)-уранинит-сульфидный, золото-сульфидный	Эпигенетическая	Кратонные, рифтогенные	Рудные горы (Европа), Олимпик-Дам (Австралия)

рованных рудных жил по отношению к своим источникам – крупным сульфидным образованиям. При этом Г. Шнейдерхён [6] подчеркивал обычную обедненность регенерированных жил рудными минералами по сравнению с месторождением-источником. Однако регенерированные рудные образования легко диагностируемы, так как встречаются в виде незначительных поздних жил на верхних горизонтах крупных месторождений (например, миоценовые золото-серебряные проявления на докембрийском месторождении Хомстейк). Что же касается подавляющего большинства жильных месторождений, то их источники рудного вещества могут быть расшифрованы только при изучении рудноформационных рядов, в которые эти месторождения входят.

Минералого-геохимические ассоциации генетически различных золоторудных месторождений, формировавшихся при близких *PT*-условиях, обладают определенной степенью конвергентности, и нередко их можно отнести к квазитожественным образованиям; современные методы исследований позволяют их различать по ряду минералов-индикаторов, свойственных тому или иному рудноформационному ряду: повышенное количество Pb–Zn-сульфидов и сульфосолей для колчеданно-полиметаллического ряда, Cu–Pb-сульфидов для

медно-порфинового ряда, Sb–Hg-сульфидов для некоторых золото-сульфидных рядов, теллуридов для медно-никелевых рядов [7]. Однако эти индикаторы, равно как и элементы-примеси в золоте и других минералах, сравнительно эффективны для расшифровки конвергентности при высокой изученности месторождений всего рудноформационного ряда в конкретном рудном районе.

В табл. 1 и 2 показаны золотые и золото-серебряные месторождения разных рудноформационных рядов; типизация руд этих месторождений установлена благодаря упомянутым выше минералам-индикаторам, роль которых в общей жильной массе не превышает 1–5%. Однако при отсутствии или незначительном проявлении последних в жилах эти месторождения приобретают высокую степень конвергентности.

При сравнительном изучении рудноформационных рядов не получено достоверных данных о преимущественной золотоносности того или иного ряда, хотя в конкретных рудных провинциях почти всегда отдается предпочтение какому-нибудь одному ряду. Выдающимся по золотоносности могли бы быть названы уран-многометалльные ряды, но, во-первых, эти ряды все еще плохо изучены и, во-вторых, в них пока известны лишь

два золоторудных гиганта – Витватерсранд и Олимпик-Дам. Слабозолотоносными представлялись олово-серебро-сульфидный и олово-серебро-порфиновый ряды, но в пределах этих рядов или в тесной парагенетической связи с ними обнаружены Майское золото-сульфидное месторождение на Чукотке и золото-сурьмяные месторождения в Боливии. Однако руды эпитермальных золото-серебряных месторождений оловорудных рядов всегда преимущественно серебряные (Au : Ag = 1 : 300 и меньше).

В полихронных рядах рудных формаций обычно хорошо проявлена унаследованность оруденения поздними тектоно-магматическими эпохами от ранних. Унаследованность, таким образом, представляется одним из важных критериев промышленной золотоносности и достаточно эффективно выявляется при анализе важнейших рядов рудных формаций региона. В теоретическом плане изучение унаследованности оруденения открывает большие возможности для выявления разно-

образия источников рудного вещества в конкретных геологических структурах, что, в свою очередь, позволяет распознавать природу конвергентных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петровская Н.В.* Самородное золото. М.: Наука, 1973. С. 348.
2. *Radtke A.S., Rey R.O., Dickson F.W.* // *Econ. Geol.* 1980. V. 41. P. 641–672.
3. *Сидоров А.А.* Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометалльного оруденения. М.: Магадан, 1998. С. 246.
4. *Гончаров В.И., Сидоров А.А.* Термобарогеохимия вулканогенного образования. М.: Наука, 1979. С. 208.
5. *Сидоров А.А., Волков А.В.* // *ДАН.* 2001. Т. 376. № 5. С. 658–661.
6. *Шнейдерхён Г.* Рудные регенерированные месторождения. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 63–82.
7. *Сидоров А.А.* // *ДАН.* 1992. Т. 323. № 1. С. 129–132.