

УДК 550.84: 553.411 (571.54/55)

© А.Г.Секисов, Е.Е.Барабашева, Д.В.Манзырев, 2011

ЯДЕРНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОБИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОИСКОВ ОРУДЕНЕНИЯ С ДИСПЕРСНЫМ ЗОЛОТОМ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

А.Г.Секисов (ЧФ ИГД СО РАН), Е.Е.Барабашева, Д.В.Манзырев (ЧитГУ)

Рассмотрена общая направленность ядерно-геохимических и палеобиогеохимических процессов рудообразования на месторождениях с проявлениями дисперсного золота. На основании полученных результатов выработаны критерии прогноза оруденения с дисперсным золотом на территории Забайкальского края.

Ключевые слова: ядерно-геохимическая ассоциируемость, дисперсное золото, металлоорганические комплексы, рудогенетическая зональность.

Секисов Артур Геннадиевич, Барабашева Елена Евгеньевна, Sekisovag@mail.ru, Манзырев Дмитрий Владимирович, Geo21vek@mail.ru

NUCLEAR-GEOCHEMICAL AND PALEOBIOGEOCHEMICAL PRECONDITIONS OF ORE SEARCHES WITH DISPERSE GOLD IN TERRITORY OF TRANSBAIKALIAN EDGE

A.G.Sekisov, E.E.Barabasheva, D.V.Manzyrev

In article the general orientation nuclear-geochemical and paleo-geochemical processes ore formation in deposits with disperse gold is considered. On the basis of the received results the forecast of ore searches with disperse gold in territory of Transbaikalian edge is offered.

Key words: nuclear-geochemical association, disperse gold, metalloorganic complexes, ore forming zones.

Забайкалье — одна из золоторудных провинций России, где, помимо крупнейших Дарасунского, Балейского, Ключевского, Апрельковского и других месторождений, имеется много средних и мелких объектов. На территории Забайкальского края распространены в основном месторождения золото-сульфидно-кварцевой, реже малосульфидной формаций. К золото-содержащим относятся также месторождения медно-молибден-порфировой и сульфидной полиметаллической формаций. В последнее время в крае начались поиски месторождений золото-углеродисто-кварцевого типа.

Примером крупнейшего месторождения золото-кварцевой формации является уникальное Балейско-Тасеевское, залегающее в меловых отложениях Ундино-Даинской депрессии и гранодиоритах ундинского интрузивного комплекса. На восточном фланге депрессии в зоне развития пострудных вулканических процессов, сформировавших значительный объем эруптивных золото-содержащих брекчий, эксплуатируется золотороссыпное месторождение Каменских конгломератов.

Типичный объект золото-сульфидно-кварцевой формации — Дарасунское месторождение — представлено системой кварц-сульфидных жил в палеозойских габброидах, диоритах, горнблендитах, сиенитах и средне-позднеюрских интрузиях кислого и среднего составов. Генетически оруденение связано с позднеюрским комплексом гипабиссальных и субвулканических интрузий.

Ключевское месторождение золото-сульфидно-кварцевой формации, расположенное на востоке Забайкальского края, относится к штокверковому типу. Месторождение залегает в кварцевых диоритах, гранитах амананского интрузивного комплекса и генетически связано с дайками и малыми интрузиями кварцевых диоритов, гранодиорит-порфиров амуджиканского интрузивного комплекса.

Месторождения Забайкальского края приурочены к основной рудоконтролирующей структуре района — Монголо-Охотскому глубинному разлому северо-восточного простирания. Рудные месторождения локализуются в основном на участках пересечения северо-восточных и северо-западных структур.

Руды большинства месторождений, особенно крупных — Удоканского, Бугдаинского, Чинейского, Катугинского, Новоширокинского и др., являются комплексными. На территории Забайкальского края по составу руд выделены рудоносные районы, провинции и зоны. Здесь расположены части трех крупных рудных провинций Сибири — Алданской, Яблоново-Становой и Монголо-Забайкальской. Все рудные провинции согласно ориентации контролируемых их структурных швов глубинного заложения имеют северо-восточное простирание.

В распределении рудных месторождений на территории Забайкальского края с севера на юг выделяются пояса северо-восточного простирания:

докембрийский железо-редкометалльно-меднорудный в пределах Кодаро-Удоканского мегаблока; позднепалеозойско-юрский редкометалльно-молибденово-вольфрамовый в Привитимье и на севере Витимо-Олекминского междуречья; юрский молибденово-золотой Пришилкинский, переходящий на юго-западном фланге в пределы Хэнтэй-Даурского мегаблока; юрский олово-вольфрамово-редкометалльный на юге области; юрский уран-золото-полиметаллический в пределах юго-восточного Забайкалья. Главная особенность выделяемых поясов — присутствие в них рудных зон с флюоритовыми, золото-серебряными, ртутно-сурьмяными и другими рудами.

В последние 10–15 лет на юго-востоке Забайкальского края выявлен новый медно-порфировый Газимурский пояс, включающий Быстринское, Лугоканское, Култуминское и другие месторождения, ресурсный потенциал которых соответствует общим запасам меди Удокана.

Каларский железо-редкометалльно-меднорудный пояс входит в состав окраинно-платформенного мантийно-корового Саяно-Байкало-Станового металлогенического пояса. На две трети протяженности он прослеживается вдоль Северного Забайкалья. Проявлен в виде зеленокаменных пород основного, ультраосновного, щелочно-ультраосновного и щелочного составов, связанных с подкоровыми ультраосновными, щелочно-ультраосновными, щелочно-габброидными, нефелиносиенитовыми магмами. Геохимическая ассоциируемость рудообразующих элементов для этих комплексов пород определяется протонной кратностью зарядов ядер атомов элементов, сопутствующих железу на внутриминеральном уровне, — $Fe_{26} - Co_{27} - Ni_{28} - Cu_{29} - Zn_{30} (+1)$; $Fe_{26} - Mn_{25} - Cr_{24} - V_{23} - Ti_{22} (-1)$ [1, 2]. Это, вероятно, обусловлено определенным набором в основном черных и цветных элементов (Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti). Дисперсное золото и платиноиды ассоциируют с первой группой элементов, характеризующихся более сложной структурой атомных ядер, промышленные концентрации которых пространственно и генетически связаны с интрузивами диорит-габбро-норитовой формации чинейского комплекса. С этапом позднепалеозойско-мезозойской тектономагматической активизации региона связаны рудопроявления золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой, медно-молибденовой, медно-сульфидной жильной рудных формаций, а также внедрение щелочных гранитов с редкометалльной минерализацией.

Для остальных минерагенических поясов основными рудовмещающими или рудоконтролирующими породами служат главным образом гранитоиды. С группой интрузивных пород кислото-среднего состава ассоциируют следующие рудные элементы: Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, W, Pb, U, Th, Ag, Au, S, Se, Te, Sb, Hg, Bi, Ba, которые входят в состав руд так называемых плутогенных гидротермальных месторождений, представленных жилами и штокверками. Для пород характерна «кислородная» кратность зарядов ядер атомов элементов, образующих основные рудные минералы и формирующих ореолы рассеяния вокруг рудных тел: $Fe_{26} - Se_{34} - Mo_{42} - Sn_{50} - 2Cu_{29} (58) - 2As_{33} (66) - W_{74} - Pb_{82} - 3Zn_{30} (90) (+8)$ [1–3].

Полиметаллические свинцово-цинковые руды связаны с проявлениями золота и молибдена, образуют комплексные месторождения (Дарасунское, Новоширокинское золото-полиметаллические, Бугдаинское золото-молибден-вольфрам-полиметаллическое и др.), обусловленные мезозойским гранитоидным магматизмом и субвулканическими и вулканическими интрузиями [4]. Важно отметить, что для вышеприведенного ряда элементов характерны локальные геохимические комплексы, характеризующиеся протонной кратностью зарядов атомных ядер: $Pb_{82} - Tl_{81} - Hg_{80} - Au_{79} - Sn_{50} - In_{49} - Cd_{48} - Ag_{47}$.

Для выделенных металлогенических поясов просматривается геохимическое родство золота с другими рудными элементами. Так, для месторождений докембрийского железо-редкометалльно-меднорудного пояса в пределах Кодаро-Удоканского мегаблока это ассоциация Au с Cu и Ag, для позднепалеозойско-юрского редкометалльно-молибденово-вольфрамового в Привитимье и на севере Витимо-Олекминского междуречья — Au с W и Mo, для Пришилкинско-Хэнтэй-Даурского мегаблока — Au с Mo, для юрского олово-вольфрамово-редкометалльного на юге области — Au с W, для юрского уран-золото-полиметаллического в пределах Юго-Восточного Забайкалья — Au с U и Ag.

Определенным геохимическим антиподом золота на уровне минералообразующих ассоциаций является лишь олово, поскольку не только в оловосодержащих минералах количество примесного золота очень мало, но не встречены парагенезисы касситерит (станнин) — самородное золото. Даже арсенопирит, халькопирит и пирит, которые обычно концентрируют золото в месторождениях сульфидных формаций, на оловорудных объектах не золотоносны. Олово ассоциирует с золотом только в областях сопряжения металлогенических провинций или россыпных месторождений.

В собственных минералах молибдена и вольфрама золото не накапливается, но могут формироваться минеральные парагенезисы как в комплексных месторождениях (шеелит – самородное золото, молибденит – самородное золото или молибденит – золотосодержащий пирит), так и в совместных рудных полях. Молибден, как и уран, имеет с золотом биогеохимическую связь. Примерами служат провинция Витватерсранд и золото-урановые рудные поля с повышенным содержанием Мо в Кызылкумах. В Забайкалье месторождения урана Стрельцовского рудного поля непосредственно связаны с незначительными проявлениями золота и, кроме того, находятся в непосредственной близости к месторождениям — золото-полиметаллическому Новоширокинскому, молибденовому с сопутствующим дисперсным золотом в сульфидах Шахтаминскому и молибден-золото-вольфрамовому Бугдаинскому.

На месторождении Железный кряж, расположенном в юго-восточном золото-полиметаллическом поясе, золото ассоциирует с железом.

В углях Сибири значительная часть золота связана с органическим веществом. Исследования ранних стадий углеобразовательного процесса показали, что преобладающей органической формой нахождения золота являются комплексные гуматы. В дальнейшем процессы углефикации и угольного метаморфизма приводят к перестройке структуры органического вещества, высвобождению золота и формированию собственных минеральных фаз нанометровой или микронной размерности. Такая форма нахождения золота требует разработки специальных методов его извлечения из углей и углеотходов.

В настоящее время остается неясным вопрос, в какой форме золото сконцентрировано в органической массе угля: в виде металлоорганических комплексов или в тонкодисперсной минеральной форме, не извлекаемой при обогащении угля. Микроминеральные формы самородного золота обнаружены как в углефицированной древесине, так и в угольных пластах в молодых кайнозойских углях Приморья и палеогеновых на Аляске.

В опубликованных материалах о промышленно значимых концентрациях золота в углях и золошлаковых отходах на Дальнем Востоке, отмечено преобладание самородной формы золота субмикронной размерности. Такие же данные получены для углей Иркутского и Минусинского бассейнов

Процессы твердо- и жидкофазной миграции и накопления рассеянных элементов, в частности золота, с нашей точки зрения, осуществляются с

участием продуктов диссоциации микротрещинных, капиллярных и связанных вод, а также продуктов трансформации органического вещества в областях медленно растущих тектонических напряжений [3]. Органическое вещество при этом может выполнять функции продуцента лигандов для золотосодержащих комплексов и их сорбента. В зонах повышенных тектонических напряжений сорбция золота продуктами трансформации органического вещества и, в первую очередь, керогеном происходит как в жидкой, так и в твердой фазах.

Подобные процессы, где наряду с пиритом и арсенопиритом концентраторами золота является золотосодержащее углистое вещество, известны в рудах месторождений Карлинской и севера Кызылкумской провинций. При этом большая часть углистого вещества, как правило, менее трансформированная при метаморфизме, не содержит золота, т.е. является «пустой».

Геохимические особенности массивов интрузивных пород правомерно рассматривать в связи со структурными преобразованиями различных масштабных уровней, определяемыми контрастностью структурной организации минерального вещества, начиная от субатомного (ядерного) уровня до уровня минеральных систем, а также с подразделением на их составляющие особенности — петрохимические, петро-органохимические и рудогеохимические.

В большинстве случаев рудные тела окружены вмещающими породами с интенсивной метасоматической проработкой (альбитизацией, серицитизацией, хлоритизацией, серпентинизацией, окварцеванием, сульфидизацией и т.д.), сопровождающейся образованием минералов, содержащих гидроксильные группы и конституционную воду — структуры с повышенным содержанием водорода — элемента с максимально простой ядерной структурой. В то же время, эти породы характеризуются повышенной контрастностью содержаний элементов-примесей с относительно сложной структурой атомного ядра, начиная от Со и Ni и заканчивая Вi.

Петрохимическая контрастность проявляется в том, что на уровне рудных узлов наблюдается повышенная изменчивость минерального состава интрузивных, вулканогенных и метаморфических пород [2]. Например, на сравнительно небольшой площади гранитоиды могут быть представлены как лейкократовыми щелочными разностями, так и плагиогранитами, меланократовыми гранодиоритами, здесь же могут быть встречены габбро, т.е. элементный состав пород достаточно широко варьиру-

ет. При этом пары петрогенных элементов, обычно не ассоциирующих на уровне минеральных парагенезисов ($\text{Na}_{11} - \text{Mg}_{12}, \text{K}_{19} - \text{Ca}_{20}$), присутствуют в переходных разностях пород в сопоставимых концентрациях.

В метаморфических породах и метасоматитах также возрастает минералого-геохимическая контрастность — во входящих в их состав хлоритах существенно меняется соотношение железистых и магнезиальных разностей.

Для прогнозирования месторождений золота, кроме известных его ассоциатов, к числу элементов, выполняющих как роль спутников на уровне ореолов рассеяния, так и альтернативных минералообразующих компонентов в самих рудах, можно отнести Ni, Co, Mo, W и Sn.

Для всех золоторудных месторождений характерно разнообразие форм нахождения золота в минеральном веществе: самородная, собственные минералы, рассеянная дисперсная в тесной связи с сульфидами, сульфоарсенидами, углистым веществом, оксидами и гидроксидами железа, кварцем.

Наиболее распространенными золотоконцентрирующими минералами являются игольчатый арсенопирит, пирит, халькопирит, галенит, висмутин. В большинстве золото-сульфидных месторождений вкрапленных руд золото в арсенопирите химически связано в его структуре или присутствует в металлическом состоянии с размером частиц в 3–5 мкм.

Основная черта всех крупных месторождений золота — преобладание в рудах микроскопического и тонкодисперсного золота.

Исторически термин «дисперсное золото» стал использоваться при изучении сульфидно-кварцевой формации, когда было установлено, что, кроме видимых в микроскоп выделений самородного золота, оно может находиться в рассеянной форме в пирите, арсенопирите, стибните, сульфосолях, в меньшей степени халькопирите, висмутине, галените, сфалерите и очень редко в пирротине. Причем содержание золота в этих минералах нередко выше, чем в среднем в руде, и составляет десятки–сотни граммов на 1 т.

Главным критерием отличия дисперсного золота от микроскопического и субмикроскопического, в том числе и коллоидного, по нашему мнению, является преобладание его межатомных связей с другими химическими элементами в минераленосителе над моноэлементными связями типа золото – золото [1]. В минеральном веществе наноразмерные включения благородных металлов могут быть двух принципиально разных типов: условно моноэлементные кластеры, свойства которых опре-

деляются металлическими связями, и кластеры с преобладанием связей с атомами кристаллической решетки и (или) атомами других примесных элементов. Можно выделить отдельные формы дисперсного золота по характеру межэлементных связей в содержащей его минеральной матрице: золото – металл, золото – металлоид, золото – неметалл, золото – органическое соединение, в состав которого входят функциональные группы CN, CNS, CONH и др.

Дисперсное золото может встречаться в трех принципиально различных по характеру связей с минералообразующими элементами видах: простые соединения (с металлами, Te, Sb, C); сложные комбинированные соединения (с металлами и Te и (или) Sb, металлами и Se); комплексные соединения с несколькими элементами, образующими своеобразные лиганды (с Fe или Al, As, S и (или) O, например, в арсенопирите, скородите, алуните, с молекулами органических веществ).

Формы дисперсного золота можно систематизировать следующим образом: простые соединения с одним из элементов: — металлами (Cu, Ag, платиноиды, Hg, Pb, Bi), неметаллами (Te, Se), металлоидами (C, Sb); комбинированные соединения с выделенными металлами, неметаллами и металлоидами (селениды Au и Ag, теллуриды Au и Ag, Au и Cu, сурьмяные соединения (стибниты) Au и Ag, сурьмяно-теллуридные).

Наличие в рудах дисперсного золота можно объяснить на основе гипотезы об иницирующих его твердофазную миграцию протонах, формирующихся в результате радиолитической и механохимической диссоциации пленочных вод в зонах тектономагматической активизации [3]. Протоны, появляющиеся в пленочной воде в результате этих процессов, обладают повышенной энергией и могут проникать в кристаллическую решетку минералов, образуя при взаимодействии с электронами возбужденные участки. При этом атомы элементов, изоморфно входящих в кристаллическую решетку или находящихся в междоузлиях на границе с возбужденным участком, с большей вероятностью разрывают относительно непрочные связи с атомами основных минералообразующих элементов и мигрируют к участкам с повышенной концентрацией дефектов, формируя наноразмерные скопления.

Дальнейшее укрупнение золота может быть связано с его растворением и жидкофазной миграцией, участием различных комплексообразователей неорганической или органической природы и накоплением на тектонофизическом или биогеохимическом барьере. Биота, синтезируемые ею

органические соединения и продукты их последующей трансформации в этих процессах могут выполнять ряд функций — концентратора элементов в живых клетках, биоокисления, биовыщелачивания, сорбции или биосорбции, компонента органометаллических комплексов. В целом же роль биоты в формировании месторождений сводится к следующему: прижизненное накопление металлов, сорбция их продуктами микробиологического разложения органики, транспортирующая (металлоорганические комплексы) и концентрирующая функция, участие в создании восстановительных барьеров и источников серы для сульфидообразования (сульфат-редукция), маркировка геологических тел в пространстве (в составе цианобактериальных скоплений, растительных остатков, биогермов, битумов и др.).

На основе систематизации ядерно-биогеохимической ассоциируемости рудообразующих элементов предлагается методика прогнозирования эндогенных месторождений черносланцевой формации, в которой основными критериями потенциальной рудоносности территорий является не только тектономагматическая активизация (наличие интрузивных тел соответствующего вещественного состава, разломов, зон складчатости, будинажа и метасома-

тических изменений пород), но и их палеобиогеохимические особенности.

Наиболее вероятными районами для локализации месторождений такого типа являются Балейский, Дарасунский, Могочинский. Наиболее перспективными площадями для поисков месторождений руд с дисперсным золотом, исходя из комплекса рассмотренных выше критериев, можно считать площадь к юго-юго-западу от Александровского и Ключевского золоторудных месторождений Могочинского района до Новоширокского месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Секисов А.Г., Зыков Н.В., Королев В.С.* Дисперсное золото. Геологический и технологический аспекты. — Чита: ЧитГУ, 2007.
2. *Секисов А.Г.* Ядерно-физическая концепция эндогенного рудообразования // Горная промышленность. 1997. № 3. С. 32–35.
3. *Секисов А.Г.* Модель образования месторождений с дисперсным золотом // Вест. ЗабГК. Чита, 2009. № 2. С. 30–37.
4. *Фаворская М.А., Томсон И.Н.* Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений. — М.: Недра, 1974.