

## ПРОБЛЕМЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА

Т.М. Жаутиков, В.И.Фомичев

Минералообразование на рудных (в т.ч. золоторудных) месторождениях является результатом взаимодействия полигенных геологических процессов, определяющих в конечном счете состав, морфологию, параметры, глубину формирования и вертикальный размах оруденения на конкретных месторождениях. Ввиду этих причин экспериментальные исследования (даже организованные на самом высоком уровне) не могут воссоздать в полном объеме условия природной лаборатории. Поэтому авторы предпочли применение методики пересчета термодинамических констант с учетом почти всех результатов ранее проведенных экспериментов. Главные результаты исследований:

**1. Выяснены особенности поведения разнотипных соединений золота и серебра, зависимость их миграционной способности от Eh– pH эволюционирующих гидротермальных систем и устойчивость их галоидных форм в кислотно-окислительных, а халькогенидных – в щелочно-восстановительных условиях.**

Обобщены данные термодинамических, экспериментальных и минералого-геохимических исследований и обоснована значительная роль в миграции золота йодидных, тиосульфатных, бромидных, амиачных, золотоорганических, полиядерных золото-мышьяковых и золото-сульфидных комплексных соединений, наряду с общепринятыми хлоридной, гидросульфидной, сульфидной и гидроксокомплексными формами.

**2. Электрохимическими исследованиями окислительно-восстановительных реакций образования самородного золота на различных промышленно-генетических типах месторождений обоснована прямая зависимость его пробности от Eh – pH условий эволюционирующих гидротермальных систем.**

Особенно наглядно влияние изменяющихся окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий эволюционирующих рудообразующих систем на состав благородного метал-

ла проявляется на золото-серебряных и золоторудных месторождениях алунит-кварцевого (кислотно-сольфатарного), адуляр-кварцевого, углеродисто-черносланцевого и карлинского типов.

**3. Золото-серебряные месторождения адуляр-кварцевого типа** отличаются многоэтапностью и многостадийностью рудообразования, проходившего в существенно изменяющихся по Eh-pH растворах, что приводило к регенерации минерализации, в том числе самородного серебра и широкой вариации пробности золота. Так, на месторождении Таскора (Республика Казахстан), золото первой – кварц-адуляровой – стадии минералообразования изменяет свой состав в широком диапазоне от высокопробного до электрума и кюстелита, в среднем составляя 783. Средняя пробность аурума второй, барит-сфалерит-кварцевой, ассоциации чуть ниже – 804, значительно повышаясь и понижаясь в сростках с теллуридами (941) и сульфидами (759) соответственно. Она в завершающей молибденит-кварцевой стадии чуть ниже – 752, немного увеличиваясь (772) в мономинеральных выделениях кварца и уменьшаясь (607) в сульфидных обособлениях. Кислотность-щелочность рудолокализующих гидротермальных систем кварц-адуляровых месторождений оценена, по данным многочисленных исследований, в пределах pH = 3–8

**4. Пробность золота** на промышленно важных месторождениях углеродисто-черносланцевого типа (Олимпиада, Бакырчик, Неждинское и др.) варьирует в пределах 1000–850, понижаясь в более поздних ассоциациях до 650. Так она на их представительном суперобъекте Кумторе достаточно высокая (960–935) в ранних продуктивных золото-карбонатной и золото-пирит-доломитовой ассоциациях, а в поздней барит-сульфидно-полиметаллической – более низкая (716–705). Напротив, преобладающие тонкодисперсная и наноформы самородного золота на важнейшем в Казахстане Бакырчикском рудном поле отличается повсеместной высокой проб-

ностью (990–975), лишь слегка снижающейся до уровня 925–822 в субмикроскопических его выделениях в арсенопирите и пирите.

Анализ физико-химических условий отложения минеральных парагенезисов свидетельствует, что развитие золотого оруденения на углеродисто-черносланцевых месторождениях проходило в эволюционирующих по Eh–pH режимах гидротермальных растворов от высоко- и умеренноокислительных условий до слабо- и повышенновосстановительной обстановки, со сменой форм миграции благородных металлов от их хлоридных комплексов до сульфидных.

**5.** Анализ влияния физико-химического состояния эволюционирующей гидротермальной системы на формы миграции золота и их устойчивость, а также анализ редокс-реакций его восстановления в изменяющейся обстановке при резкой смене Eh–pH условий, температур и давлений позволило впервые в мировой практике идентифицировать разнотипные **геохимические барьеры – концентраторы Au** и провести их классификацию.

Разрушение комплексов золота, его осаждение и концентрация происходят на участках резкой смены окислительно-восстановительного потенциала, кислотности-щелочности рудообразующей системы, её температуры и давления, являющихся геохимическими барьерами на пути движения гидротермальных растворов.

**6.** Типоморфизм самородного золота (формы и размеры выделений, состав и содержание элементов-примесей, неоднородности внутреннего строения, рентгено-структурные особенности и пр.) наряду с другими геологическими данными является одним из высоко информативных признаков для обоснования генетических построений формирования месторождений, а также решения практических задач (формационная принадлежность месторождений, их промышленная значимость, определение эрозионного среза объектов и др.), в том числе технологических вопросов извлечения золота из руд.

Типоморфные признаки **самородного золота коренных месторождений** находятся в прямой зависимости от их генезиса и принадлежности к определенным геолого-промышленным типам.

Для золото-сульфидных месторождений характерны: 1) скопления спутанно-волокнистых

(войлокных), тонкогубчатых и микрокоралловых форм в виде агрегатов с массивной центральной частью; 2) большое количество занорышей, представленных хорошо образованными микрокристаллами различного габитуса и строения, 3) повышенные концентрации сидерофильных элементов-примесей.

Для золото-сульфидно-кварцевых месторождений характерны комковатые (изометричные и вытянутые), пластинчатые, пленчатые, петельчатые, коралловидные, губчатые, дендритоидные и дендритовые, шарообразные и скорлуповидные золотины, а также кристаллические агрегаты (октаэдры, гексаэдры, тетраэдры, ромбододекаэдры и их комбинации).

Для малоглубинных (эпигермальных) золото-серебряных месторождений характерно широкое развитие тонкодисперсного золота и золотосодержащих минералов (электрума, кюстелита, золотистого серебра) и самородного серебра.

**Гипергенное золото** зоны окисления месторождений (гидрослюдисто-каолинитовые и «железные шляпы») представлено преимущественно пленочными, пластинчатыми, игольчатыми, дендритовидными и удлиненными (палочковидными) формами. Впервые выявлены тонкодисперсное (пылевидное) золото, отложившееся в гелевой среде в виде колломорфных концентрически-зональных образований. Отмечается ассоциация веточковидных дендритов и пылевидных золотин с лимонитом, гидрогематитом и ярозитом. Золото «железных шляп» имеет тесные парагенетические взаимоотношения с бурым железняком, ярозитом, галогенидами серебра и серой. В формировании некоторых дендритов усматриваются признаки процессов полимеризации и влияние электрохимических полей.

**Самородное золото россыпных месторождений** унаследует все характерные особенности гранулометрического состава и морфологии золотин, образовавшихся в коренных источниках и в корах выветривания. Поэтому для каждой россыпи характерны свой средний размер золотин и морфопризнаки, унаследованные от первичных источников, а также зависящие от типа континентального литогенеза и гидродинамических условий образования россыпей.

Одним из важнейших морфопризнаков самородного золота являются внутренние неоднородности с зональным строением золотин, свиде-

тельствующие о квантованной кристаллизации «разнoprобных» (по количеству Au и Ag, а также элементов-примесей) по составу рудоносных растворов, что выражается в наличии различных по интенсивности полос.

Результаты рентгено-структурного анализа (использованы данные предыдущих лет) самородного золота из руд различных геолого-промышленных типов, сопровождавшегося различными экспериментами по нагреванию золота и медленному остыванию в муфелях, показывают, что характер кристаллизационных структур самородного золота совместно с данными внутреннего строения золотин также несут большую информативность как генетического плана, так и для решения конкретных практических задач.

**7. Комплексное изучениеrudовмещающих отложений и магматизма, окорудных метасоматитов и вещественного состава руд, геодинамических моделей формирования этих месторождений, а также эволюции морфопризнаков самородного золота, состава кремнезема и углеродистого вещества позволили обосновать характер последовательно проявленных полигенных физико-химических и термодинамических процессов, при которых происходит отчетливо выраженное эволюционно-направленное преобразование метастабильных миграционно-способных седиментогенных форм золота в самородную его фазу.** На основании полученных данных поrudогенезу разработана единая стилизованная геодинамическая модель формирования золоторудных месторождений и сформулировано представление о степени организации золоторудного процесса, о литогеохимической формации как основном источнике рудного вещества, а также сделаны выводы о существенной роли геля кремнекислоты в неоднократном переотложении кремнезема при формированиирудовмещающей матрицы. В большинстве изученных объектов отмечается пространственная совмещенность в рудных залежах предрудного и собственно золоторудного процессов, которые разорваны во времени. Степень их завершенности оценивается масштабом проявления самородной фазы золота (максимальная) или отношением суммы ионного и коллоидного золота к количеству его свободной формы (промежуточная).

Наиболее полно золоторудный процесс с образованием преобладающих количеств самородной фазы золота и его интерметаллических соединений развит на золото-сульфидно-кварцевых (90-95%) и эпимеральных золото-серебряных (до 45-60%) месторождениях с крайне неравномерным пространственным размещением оруденения (рудные столбы, богатые бонанцы, отдельные «струи», ленты и т.д.) и резкими колебаниями содержаний Au (+Ag) от следов до нескольких килограммов на тонну.

**8. Эволюционная направленность рудного процесса** по схеме: седиментация – ранний диагенез – поздний диагенез – эпизона – динамометаморфизм – мезозона (+катаэона) – интрузивный (эффузивный) магматизм, благодаря чему происходит постепенное преобразование изначально миграционно способных форм золота (ионной и коллоидной) в самородную. На его завершающей стадии под воздействием интрузивного (эффузивного) магматизма и тектонометаморфических процессов происходит резкое увеличение в рудах самородной фазы с уменьшением миграционно способных форм золота, вплоть до образования компактных золото-кварцевых рудных тел с ограниченным количеством сульфидов.

Концентрация свободного золота, главным образом, на жильных и штокверковых месторождениях золото-сульфидно-кварцевой и золото-серебряной формаций в виде бонанцевых рудных столбов является одной из закономерностей его распределения на этих объектах.

Изучение положения тесной пространственно-генетической или парагенетической ассоциации золотого оруденения на разных стратоуровнях выявило целый ряд важнейших металлогенических закономерностей, играющих большую роль в поисковой практике. Это, прежде всего, наличие сингенетического накопления золота, часто обусловливающее первичную металлогеническую специализацию рудных районов, таких как Акбакайский, Степнянский, Бакырчикский и др. При этом устанавливается большое разнообразие условий и способов накопления золота (биогенное, хемогенное, адсорбционное, захоронение в виде металлоорганических и тиосульфатных соединений и т.п.), сопутствующее самым различным по возрасту и формационному

типу осадкам. В этом отношении весьма показательны данные по всемирно известной группе месторождений Витватерсранд (общие запасы бассейна более 50000т Au), которые получены зарубежными геологами с применением точной электронной аппаратуры и других современных методов. Не исключая дегритовое происхождение некоторой части золота они пришли к выводу о том, что основная масса его накопилась в этап формирования отложений надсерий Доминион-Риф, Витватерсранд, Вентесдорп и Трансваль с возрастом 2,48-2,37 млрд. лет в виде высокомиграционных метастабильных форм. В ряде этих месторождений Д.К. Халбауэр (1978) установил биохимическую (органогенную) минерализацию, представленную нитевидным (диаметром 1-2мкм) золотом в массе углеродистого вещества. На активную фиксацию рудных компонентов микроорганизмами в биотах некоторых раннепротерозойских прибрежно-морских зон указывает Мортон Р.Д. и Хангакоти А. (1987).

Признаки биогенного накопления золота в Казахстане впервые были установлены Т.М. Жаутиковым (1977) при специальном изучении пород из фаунистических горизонтов ордовикских отложений хр. Чингиз. Здесь, наряду с обычными фоновыми содержаниями (3,92-6,0 мг/т) золота, выявлены отдельные горизонты известковистых пород с концентрацией золота до 0,2-0,43г/т. Эти данные в известной мере сопоставимы с резуль-

татами исследований осадков Карибского моря, где отмечается высокая корреляция между содержаниями Au и CaCO<sub>3</sub>, определенных в составе известковистого ила.

При изучении последовательно проявленных геолого-металлогенических процессов роль **диагенеза и совмещенных с ним ранних этапов динамометаморфизма** до последнего времени практически полностью была исключена из поля зрения специалистов. Наблюдая пространственную ассоциацию золотого оруденения и сульфидов с органическим углеродистым веществом, исследователи зачастую приходили к выводу об их отрицательной корреляции друг с другом, что противоречило представлению об их сингенетичности. Многочисленные формы диагенетической и динамометаморфической трансформации петро- и рудогенных компонентов слабо литифицированной седиментогенной среды принимались за признаки эпигенетичности руд. Все это приводило к ошибке в классификации и оценке признаков металлогенической специализации стратиформных образований за пределами рудных полей, где якобы было исключено влияние эпигенетических (в том числе и гидротермальных) процессов. При этом исследователи не учитывали не только специфику формирования литогеохимических формаций, но и характер эволюции рудоносных слабо литифицированных осадков.