

## ЗОЛОТО-ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ РУДООБРАЗОВАНИЕ ПРИ СТАНОВЛЕНИИ РУДОНОСНЫХ СИСТЕМ (ОБЩИЙ ОБЗОР И ПРИМЕРЫ ПО ГРУЗИИ)

Буадзе В.И., Циклаური Н.Ш

*Институт минерального сырья, Тбилиси, ул. Палиашвили, 85.*

### Предварительные замечания

По В. Линдгрёну (1935) к эпитеpмальным относятся низкотемпературные месторождения, сформированные на малых глубинах и при невысоких давлениях. Этот исследователь впервые показал: принадлежность к эпитеpмальной группе широкого спектра месторождений (золота и серебра, золото-серебро-полисульфидных, золото-аргентитовых, аргентитовых, теллуридов золота, теллурид-алуиновых, селенидов золота, ртути, стибнума и др.), возникших в системе – «глубинный флюид – метеорная вода»; связь оруденений с риолитовым, трахитовым и андезитовым вулканизмами; преимущественно кислотную природу гидротермальных метасоматитов, при подчинённой роли щелочных фаций.

### Ведущие факторы золото-эпитеpмального рудообразования

В качестве ведущих факторов в эпитеpмальном рудообразовании должны быть рассмотрены: позднеальпийская активизация древних гранит-метаморфических блоков земной коры и возникновение в нижних их частях магматических очагов риолитового, андезитового и щелочного профилей; формирование островодужных систем, сосредоточивающих магматические комплексы мантийно-корового содержания; образование интрадуговых рифтов с внутренними андезито-базальтовыми и андезитовыми зонами и периферическими позициями щелочных магматитов.

В соответствующих геоструктурах просматриваются обстановки верхних магматических очагов, генерировавших рудообразующие флюиды расплавно-растворного и растворного типов. Они засасывались до приповерхностных условий (уровень просачивания метеорных вод). Внутренней геодинамикой подобных обстановок создавались «... условия для активной массовой гидротермальной деятельности с участием как ювенильных газов и вод, так и океанических и литосферных вод различного происхождения» (Овчинников, 1988).

Примером рудообразования, связанного с активизацией докембрийского гранит-метаморфического блока и с активностью щелочного вулканизма служит жильное месторождение Sprytle Creep (США, штат Колорадо). По данным В.Линдгрёна (1935) жилы сосредоточивают кварц (≈60%), флюорит (≈20%), доломит (≈20%) и калавернт (ведущий рудный минерал). В малых количествах присутствуют пирит, тетраэдрит, антимонит, гюбнерит. К нижним горизонтам месторождения уменьшается количество жил и падает степень их рудной нагрузки. На верхних горизонтах развиты многочисленные короткие жилы, сосредоточивающие крупные объёмы руд. Режим формирования месторождения сочетает: членение флюида с приближением к поверхности Земли и рассредоточение его порций по трещинам; смешение флюида с нисходящими метеорными водами и быстрое падение его температуры; формирование среды рудообразования и её эволюция со становлением инфраструктуры оруденения.

Для познания генетической природы эпитермального рудообразования наиболее показательными являются месторождения Хишикарского рудного района (Южная Япония) – Маин (Main), Санжен (Sonjin) и Ямада (Yamada). Они приурочены к осадочной формации верхнего палеогена – нижнего неогена (Main, Sonjin) и к толще андезитовых туфобрекчии плистоцена (Yamada).

В работах японских геологов (Ibaraki, Suzuki, 1993; Nagayama, 1993<sub>1,2</sub>; Htnley, 1996 и др.) систематизированы нижеприведённые особенности месторождений: каждое из них (совокупность жил золото-серебро-кварц-адуляр-алунитового состава) сформировано в автономном режиме рудообразующего процесса; в вертикальных сечениях жил (снизу вверх) отмечается снижение количества адуляра и рост количества глинистых минералов, алунита, низкотемпературных разновидностей кремнезёма, марказита и гематита, минерование малых количеств сульфидов и нарастание содержания золота и серебра; верхние окончания жил сопряжены с накоплениями силицитов, возникших из  $\text{SiO}_2$ -тепловых потоков, излившихся на поверхности.

Концентрации золота и серебра в жилах приурочены к перифериям смектитовых (монтмориллонитовых) зон – в рамках кварц-адулярных, мелкозернисто-кварцевых и кварцево-глинистых участков. Отложение золота регулировалось щелочной (адуляризация) и кислотной (аргиллизация) природой флюида. Уменьшением степеней адуляризации маркируется регрессия щелочности флюида и постадулярная ступень золотонакопления. Вместе с тем ослаблением аргиллизации подчёркивается регрессия кислотности флюида и постаргиллизитовая позиция садки золота.

Рассматриваемые месторождения характеризуются чёткими показателями внутренней геодинамики рудообразования. Таковыми являются (Nagayama, 1993): условия оформления полосчатой природы жил, приведшие к возникновению периферической (адулярной) – промежуточной (кварцевой) – и осевой (смектитовой) зон; дифференциация стационарного флюида, приведшей к формированию многоосевых (множество смектитовых осей) и одноосевых (одна смектитовая зона) жил; связь содержания золота с эволюцией химизма флюида и его отложение на постадулярной, посткварцевой и постсмектитовой ступенях гидротермального процесса.

Ступенчатое развитие рудообразования увязывается с эффектом вскипания флюида. С ослаблением вскипания связана: стабилизация температурного режима ( $200^\circ\text{C}$  и ниже); повторяемость золотонакопления в полусековых жилах; связь процесса отложения золота с обогащением флюида тяжёлым изотопом кислорода; регрессия щелочности флюида (уменьшение количества адуляра до полного его исчезновения); регрессия кислотного потенциала флюида и т.д. (Nagayama, 1993, Henley, 1996).

В интерпретациях эпитермального рудообразования существенными являются данные по месторождениям Келиан (Kelian) в Индонезии и Ладолом (Ladolam) в Папуа, Новой Гвинее (Htnley, 1996).

Месторождение Келиан связано с вулканическим поясом, сосредоточивающем позднезоеновые андезиты и риолиты и плиоцен-плистоценовые базальты. Оруденения сосредоточены в зоеновых андезитовых туфах и флюидных брекчиях. Маркирующими рудного процесса являются серицит-пиритовые – кварц-адуляр-пиритовые – и карбонат-сульфидные (пирит, сфалерит, галенит, теннит, тетраэдрит, киноварь, иногда арсенопирит) ассоциации. В верхах рудоносной среды развита каолинит-железо-марганцевая минерализация. Золото, в виде включений в минералах, либо вдоль границ минералов, связано с карбонат-сульфидными ассоциациями. Преобладающая часть этого металла локализована в пиритах (субмикроскопические зёрна).

Месторождение Ладолом, расположенное на острове Лихир (составная часть вулканической дуги Табер-Бен, Новая Ирландия), в рамках Луисской кальдеры, характеризуется: щелочной природой рудовмещающей вулканической среды (продукт частичного плавления мантийной литосферы); примыканием оруденелых зон к полосе горячих источников; размещением золотосодержащих аргиллизитовых метасоматитов над

метасоматитами порфиrowого уровня; растянутостью рудного процесса от 0,9 до 0,15 млн. лет; 0,9 млн. лет (по биотиту, порфиrowый уровень) → 0,33 млн. лет (по биотиту из биотит-ангидритовых жил) → 0,15 млн. лет (по алуниту, аргиллизитовый уровень); вписываемость процессов рудообразования в систему современной термальной активности. На месторождении вырисовывается близкородственный ряд процессов (снизу вверх): порфиrowое рудообразование → эпитермальное рудообразование (пирит, марказит, сульфиды основных металлов арсенопирит, сульфосоли, теллуриды золота и серебра, самородное золото) → сольфатарная активность. Таким образом, рудообразующая система реставрируется в качестве единого флюидного потока – начиная от порфиrowого уровня и до эпитермального рудообразования. Последнее замыкается областью современной сольфатарной активности.

#### Примеры по Грузии

Эпитермальное рудообразование на территории Грузии отчётливо выражено в Болнисской и Аджаро-Триалетской рудоносных системах.

**В Болнисской системе** (составная часть региональной Грузинско-Турецко-Болгарско-Югославкой рудоносной системы островодужного стиля, верхний мел) рудоносные ячейки, локализирующие месторождения, члениятся на ядра и их обволакивающие оболочки.

Ядра сосредоточивают сравнительно высокотемпературные рудные совокупности, тогда, как оболочки сложены метасоматитами кварцево-серицитового, кварцево-адулярового, кварцитового, кварцево-глинисто-алунит-баритового (аргиллизитового),  $\text{SiO}_2$ -сульфид-гелевого и других стилей. Рудно-метасоматические совокупности верхов оболочек соответствуют эпитермальному уровню гидротермального процесса. Эта общая модель строения рудоносных ячеек иллюстрируется особенностями формирования соответствующих месторождений.

**На Маднеульском месторождении** реставрируется развитие рудного процесса в стратифицированной рудообразующей среде. Её функционирование выразилось такими явлениями, как (Буадзе и др., 2009): девитрификация витрориолитов с образованием повсеместно развитых мелкозернистых кремнистых масс, а также разновидностей пород с ложными пирокластическими текстурами\*; господствующее участие в формировании минеральных агрегатов  $\text{SiO}_2$ -гелей, в т.ч. гелей с рудными минералами; образование перлитово-трещинных структур в потоках витрориолитов, а также веерообразных и полусферических стяжений в микрокварцитах, возникших в результате старения  $\text{SiO}_2$ -гелей; возникновение псевдобрекчий – результат девитрификации стекла и старения гелевых накоплений.

$\text{SiO}_2$ -гелевая активность характерна для всей продолжительности функционирования рудообразующей среды. Наиболее интенсивно она проявлена в прикровлевой области среды.  $\text{SiO}_2$ -гелевые накопления (кварциты) следуют за медно-сульфидным оруденением и трансформированы барит-полиметаллической фазой рудного процесса. В этих кварцитах отчётливо реставрируется старение геля с образованием трещин синерезиса, залеченных малосульфидными золото-кварцевыми жилками.

При формировании Маднеульского месторождения, пользуясь результатами минералогических и физико-химических исследований (В.Гогошвили, 1969; Аревадзе, 1989), первые симптомы кислотного потенциала выразились в процессе образования медно-сульфидных руд (слабое развитие алунита, алунит-ярозита, пиррофилита, гидрслюды, гипса, гидробазалуминита, барита), а эпитермальному соответствует барит-полиметаллический

\* Обусловленность образования ложных пирокластических текстур девитрификацией витропорол детально изучена А.Аленом (Аллен, 1988).

уровень (кроме барита широкого распространение алунита, гидрослюда, каолинита, опала, халцедона, гипса). Промежуточную (надмедносульфидную) позицию занимают  $\text{SiO}_2$ -железные золотоносные накопления. Данная смена типов руд является латеральной (с юго-востока на северо-запад, Буадзе, неопубликованные интерпретации). Она сопровождается облегчением серы сульфидов к эпитермальному барит-полиметаллическому и баритовому отсекам и её утяжелением в барнтах. Этот ряд маркируется также температурами рудообразующего процесса – от 280-345<sup>o</sup>C (медносульфидные руды) до 60-180<sup>o</sup>C (баритовые руды).

Охарактеризованные показатели Маднеульского месторождения вписываются в эпитермальный режим рудообразования. Он реализовывался при полиячейности рудообразующей среды. В рамках каждой ячейки рудообразование развивалось автономно – без связи ячеек между собой. Лучшим примером, при этом является запад-северо-западная ячейка месторождения, где развиты барит-полиметаллические и баритовые руды (один из многочисленных векторов эпитермального рудообразования).

*На Сакдрисском месторождении* также предполагается сопряжение ядра и оболочки в рудообразующей среде. Поток тепла, идущий из расплавно-растворного ядра, вызвал объёмное изменение пород оболочки с образованием стратифицированного тела метасоматитов эпитермального уровня (кварц, гидрослюда, хлорит, алунит, барит). В дальнейшем, после определённого перерыва и накопления энергии в ядре, произошли прорывы в стратифицированной среде и образовались зоны флюидных брекчий с золото-кварцево-малосульфидными минерализациями. В них развиты также барит, низкотемпературные разновидности кремнезёма, гидрослюда и барит. Последний большей частью маркирует головки зон флюидных брекчий.

*На Цителсепельском месторождении*, иллюстрирующем вертикальный ряд от медносульфидного золотоносного прожилково-вкрапленного основания (возможно порфировый тип) до золотоносного  $\text{SiO}_2$ -железного накопления (эпитермальный уровень), реставрируется функционирование вертикально-растянутого единого рудообразующего флюидного потока. Последний претерпел дифференциацию на сравнительно глубокий и эпитермальный (приповерхностный) уровни.

В Болнисской рудоносной системе, по сравнению с месторождениями Хишикарской группы (Япония), несколько иную позицию занимает адуляровая минерализация. Так, на Давид-Гареджском барит-полиметаллическом месторождении, по данным Т.Зулиашвили (1983), кварц-адуляровый уровень перекрывается эпитермальной субстратифицированной баритовой залежью (с каолинитом, халцедоном, опалом, ярозитом) и подпирается кварц-полиметаллическими жилами. В этой совокупности просматривается нарастание эпитермального стиля рудообразования.

Приведённые интерпретации по Маднеульскому, Сакдрисскому и Цителсепельскому месторождениям правомерны и для других рудных объектов Болнисской рудоносной системы.

*В Аджаро-Триалетской рудоносной системе*, подогнанной к одноимённому палеогеновому интрадуговому рифту (Юго-Западная Грузия), отчётливо выражена вертикальная последовательность металлогенических ступеней (Буадзе, 2004): нижняя, представленная оруденениями интрузивного стиля – с медно-порфировым, скарново-магнетитовым, скарново-медным, пегматитовым с магнетитом минерализациями → нижняя переходная – малосульфидная золото-кварцево-жильная (в экзоконтактовых зонах субвулканических тел) → промежуточная золото-кварц-полиметаллическая в совокупности с малосульфидными золото-кварцевыми жилами и межжильными золотоносными метасоматитами → верхняя переходная – рассредоточенные на больших площадях кварцево-малосульфидные и кварц-полиметаллические оруденения → верхняя – аргиллизитовая (стратифицированная).

В качестве перспективных на золото чётко выступают нижняя, промежуточная и верхняя ступени. В рамках первой осаждение золота происходило вслед за постскарновым медно-сульфидным оруденением (Гартское месторождение) и постмагнетитовой минерализации

(магнетитовое месторождение Дзама). На промежуточной ступени отложение золота имело место вслед за формированием кварцево-полиметаллических жил. На верхней ступени садка золота происходит вслед за формированием кислотных метасоматитов (аргиллизитов).

В приведённых случаях выпадение золота из флюида контролировалось: истощением потенциала серы в флюиде и, следовательно, прекращением растворимости в нём комплексов золота; погашением кислотного потенциала флюида – сдерживателя комплексов золота в флюиде.

Указанная последовательность ступеней рудообразования представляет собой результат эволюции единой рудообразующей системы, начавшей функционирование на интрузивном (порфировом) уровне и завершившей активность в приповерхностных условиях (эпитермальный уровень).

Переход от сравнительно глубинного оруденения в эпитермальное устанавливается на промежуточной ступени, маркируемой кварцево-золото-медно-полиметаллическими жилами и с ними ассоциированными низкотемпературными минеральными образованиями (гидрослюда с хлоритом, кальцит с марказитом и др.). Наиболее интенсивно эпитермальные превращения выражены на верхней (аргиллизитовой) ступени – с масштабными накоплениями алунита, глинистых минералов, монтмориллонита, пирита, марказита, иногда барита и каолинита.

Результаты детального изучения метасоматических превращений в Аджаро-Триалетской рудоносной системе (Гугушвили, 1980) находятся в соответствии с изложенными показателями по рудоносным ступеням.

Ступенчатая последовательность рудообразования подчёркивается также температурными его режимами и изотопным составом серы сульфидов. Так, температуры рудного процесса маркируются следующими показателями:  $260^{\circ}\text{C}$  и выше  $\rightarrow 200\text{-}260^{\circ}\text{C} \rightarrow 60\text{-}230^{\circ}\text{C}$  (Долидзе, 2002). Последний интервал характерен для эпитермального уровня. Ступени рудообразования отличаются и изотопным составом серы сульфидов. Концентрации значений  $\delta^{34}\text{S}$  при этом выстраиваются по следующей последовательности (Буадзе, неопубликованные данные): от +1 до -2‰ (первая ступень, золото-медно-порфировое месторождение Гарта)  $\rightarrow$  от +3 до -6‰ (вторая ступень, околотинтрузивная – рудопроявления Гуджарети, Реха, Тусреби и др.)  $\rightarrow$  от +1 до -4‰ (третья ступень, начало эпитермального процесса – медно-полиметаллические месторождения Марисского рудного узла)  $\rightarrow$  от -5 до -15‰ (эпитермальная ступень, рудопроявления Цаблана, Гудна, Усахело, Гагви, Хуло).

## Послесловие

Позиции эпитермального оруденения, как это показано многими исследователями (Sillitoe, 1996, 2000; Henley, 1996; Ibaraki, Suzuki, 1993; Nagayama, 1993<sub>1,2</sub> и др.), определились сопряжением сравнительно глубинных и приповерхностных рудообразующих процессов. Связи между ними осуществлялись в рамках единых флюидных потоков. Для месторождений характерны: смещение нисходящих метеорных- и глубинных магматогенных вод; смена по вертикали адуляр-серицитового и алунит-каолинитового уровней метасоматических превращений; фракционирование глубинной (стандартной) серы с обогащением флюида её лёгким изотопом; утяжеление кислорода; падение температуры до  $200^{\circ}\text{C}$  на адуляр-серицитовом уровне и до  $100^{\circ}\text{C}$  на алунит-каолинитовом уровне.

Сходными показателями эпитермального процесса характеризуются месторождения Болнисской и Аджаро-Триалетской рудоносных систем Грузии.

В Болнисской системе Маднеульское медно-золото-барит-полиметаллическое месторождение образовалось в стратифицированной рудообразующей среде с нарастанием эпитермальных обстановок в сторону её верхнего ограничения (к подошве надрудной слоистой толщ). Существенные доказательства в пользу эпитермальной природы рудно-метасоматических образований верхов Маднеульского месторождения приводит

Р.Мигинейшвили (2004). На Цителсопельском месторождении реставрируется растяжение единого рудообразующего флюида, образующего сравнительно глубинное прожилково-вкрапленное золото-медно-сульфидное основание и приповерхностное (поверхностное) SiO<sub>2</sub>-гелевое накопление с золотом. Сакдрисское месторождение иллюстрирует два уровня эпitherмального процесса – кварц-гидрослюда-хлоритовый (стратифицированный) и его рассекающий флюидно-брекчиевый золото-кварц-малосульфидный с баритом, алунитом, гидрослюдой.

В Аджаро-Триалетской системе эпitherмальный уровень выражен широким площадным развитием аргиллизитов (с крупными накоплениями алунита). С ними ассоциируются постаргиллизитовые проявления золота.

Приведённые интерпретации по месторождениям Грузии кладутся в основу расшифровки вертикальных и латеральных рядов проявлений золота. Сменой сравнительно глубинных обстановок рудного процесса эпitherмальными определены условия формирования ячеек с золотым оруденением. Они рассредоточены в спиновых частях и на фоне эпitherмальных мегапаратенезисов. Эти показатели используются при разработке прогнозно-поисковых комплексов.

#### Литература

1. Аревадзе Д.В. Физико-химические условия формирования эндогенных месторождений Закавказья. Автореферат докт. диссертации. КИМС. Тбилиси. 1989. 65 с.
2. Буадзе В.И. Общие геодинамические обстановки и внутренняя геодинамика золотого рудообразования (на примере Грузии и ряда других регионов). Труды ГИН АН Грузии. Нов.сер. 2004. Вып.119. С.728-737.
3. Буадзе В.И., Вашикидзе И.Г., Зулиашвили Т.Г., Циклаури Н.Ш., Буадзе М.З. Болнисская рудоносная система: инфраструктура и интерпретации рудообразования. Труды КИМС. 2009. В печати.
4. Гогитшвили В.Г. Гидротермально изменённые породы северо-западной части Сомхито-Карабахской зоны (Малый Кавказ). Формирование месторождений малых глубин. Автореферат докт. диссертации. Тбилиси. КИМС. 1969. 74 с.
5. Доллидзе И.Д. К вопросу об эволюции поствагматических растворов при формировании медно-полиметаллических месторождений Мерисского рудного поля (Западная Грузия). Труды ГИН АН Грузии. Нов.сер. 2002. Вып.117. С.420-423.
6. Зулиашвили Т.Г. Геологические особенности строения и условия формирования золото-барит-полиметаллических месторождений Давид-Гареджи и Абульмульк (Болнисский рудный район, Южная Грузия). Автореферат канд. диссертации. Тбилиси. КИМС. 1983. 54 с.
7. Линдгрэн В. Минеральные месторождения. ОНТИ НКТП. Москва-Ленинград. 1935. 383с. с.
8. Мигинейшвили Р.Р. Характеристика и типизация Маднеульского медно-золотого месторождения (Грузия). Труды ГИН АН Грузии. Нов.сер. 2004. Вып.119. С.755-769.
9. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. Москва, Недра. 1988. 255 с.
10. Allen R.L. Fals pyroclastic textures in altered silicic lavas, with implications for volcanic-associated mineralization. *Economic Geology*. 1988. Vol. 83. PP.1424-1446.
11. Gugushvili V. Two types of gold mineralization in the Bolnisi mining district related to cretaceous volcanism. *A.Janelidze Geological instute Georgian Academy of Sciences. New series*. 2004. Vol 119. PP.749-754.
12. Henley R.W. Epithermal gold deposits in volcanic terranes//Gold metallogeny and exploration. L.N.Y. Chapman and Hall. 1996. PP.133-164.
13. Ibaraki K., Suzuki R. Gold-silver quartz-adularia veins of the Main, Yamada and Sanjin deposits, Hishikazi mine; a comparative study of their geologi and ore deposits. *Resource Geology Special Issue*. 1993. № 14. PP.1-11.

14. Nagayama T. 1. Precipitation sequence of Veins at the Hishikazi deposits, Kyushu, Japan. Resource Geology special issue. 1993. № 14. PP.13-27.

15. Nagayama T. 2. Pressure Loss, boiling and vein formation an example model for the mineral precipitation in the Hishikari vein deposits. Resource Geology special issue. 1993. № 14. PP.29-36.

16. Sillitoe R.H. Intrusion-related gold deposits. Gold metallogeny and exploration. L.N.-Y. Chapman and Hall. 1996. PP.165-209.

17. Sillitoe R.H. Gold in 2000. Reviews in Economic Geology. 2000. Vol. 13. PP. -345.

**ოქრო-ეპითერმალური მადანწარმოშობა მადანმატარებელი სისტემების ფორმირებაში (საერთო მიმოხილვა და საქართველოს მაგალითები).**

**ბუაძე ვ., წიკლაური ნ.**

**რეზიუმე**

დახასიათებულია ოქრო-ეპითერმალური მადანწარმოშობის თავისებურებები მსოფლიოს რიგი ეტალონური ეპითერმალური საბადოების მიმართებაში არსებული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე. მოცემულია მათი შეკირისირება საქართველოს მადანმატარებელი სისტემების ეპითერმალური დონეებისადმი. ზოტანიდია მადანწარმოშობი პროცესების ინტერპრეტაციები და ეპითერმალური სტილის ახალი საბადოების პროგნოზირების წინამძღვრები.

**ЗОЛОТО-ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ РУДООБРАЗОВАНИЕ ПРИ СТАНОВЛЕНИИ РУДОНОСНЫХ СИСТЕМ (ОБЩИЙ ОБЗОР И ПРИМЕРЫ ПО ГРУЗИИ)**

**Буадзе В. И., Циклаური Н.Ш.**

**Реферат**

Вследствие анализа существующего материала охарактеризованы особенности рудообразования золото-эпитермальных месторождений.

Дано соприкосновенное рудообразующих систем эпитермальным уровням.

Представлены интерпретации рудообразующих процессов и предсказаны предпосылки новых месторождений.

**GOLD-EPITHERMAL ORE-FORMATION IN THE MAKING OF GOLD DEARING SYSTEMS (OVERALL REVIEW AND EXAMPLE CONCERNING GEORGIA)**

**Buadze V., Tsiklauri N.**

**Abstract**

The peculiarities of gold epithermal ore formation are described on the bases of analyses data of some world standard epithermal deposits. The results of their comparison with epithermal levels of ore-bearing the interpretations of ore process and the pre-requisites for prognostication of new epithermal auriferous deposits.