

В.Н.ОГОРОДНИКОВ, В.Н.САЗОНОВ

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ГЕРЦИНСКИХ ЗОЛОТОЙ И ХРУСТАЛЕННОСНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЙ  
НА УРАЛЕ (НА БАЗЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

Давно сложилось представление об антагонизме, во всяком случае пространственном, золотооруденения и кварц-жильной хрусталеносной минерализации. В последнее время нами получены материалы (при сопоставлении указанных образований герцинского возраста на Среднем и Южном Урале), свидетельствующие о сопряженном формировании первого и последней. Вскрытие причин такой сопряженности и характеристика вытекающих из нее следствий – цель настоящей информации.

Герцинский цикл на Урале подразделяется на два этапа: ранний (390 – 320 млн лет) и поздний (320–230 млн лет). В ранний этап в вулканогенно-осадочных комплексах, обрамляющих гнейсовые ядра, проявляется плагииогранитизация горных пород. Ею обусловлено образование метасоматических и магматических (породы прошли стадию плавления) гранитоидов с возрастом 360–320 млн лет (рис. 1). Последние сопровождалась активной гидротермальной деятельностью. Продукты ранней щелочной стадии (прослеживаются далеко не всегда) представлены биотитизированными и хлоритизированными породами, нередко золотоносными (5/, рис. 2). Кислотное выщелачивание – более позднее и низкотемпературное – привело к образованию кварцевых жил, сопровождающихся березит-лиственитовыми оторочками. Растворы, обусловившие метасоматоз, были водными, хлоритигными,  $\text{CO}_2$ -содержащими; натрий в них существенно преобладал над калием. При падении температуры раствора в нем возрастала роль бикарбонат-иона, увеличивалась активность  $\text{CO}_2$  и сероводорода. Рудная минерализация в жилах и метасоматитах отложилась в позднюю щелочную стадию. Щелочность раствора определялась падением температуры и взаимодействием его с боковыми породами и, очевидно, связыванием  $\text{CO}_2$  в составе карбонатов в метасоматитах. Кварцевые жилы концентрируют золото в сульфидах, реже оно встречается в самородной форме. Температура образования березитов-лиственитов 395–250°C (см. рис. 2), кварцевых жил 360 – 250°C, а продуктивных минеральных ассоциаций 290–250 и 195–140°C. Горный хрусталь образовался в кварцевых жилах в остаточных полостях (их количество с удалением от поверхности резко снижается) в кислотную стадию развития гидротермального процесса 5, 6/. В позднюю щелочную стадию на щетках горного

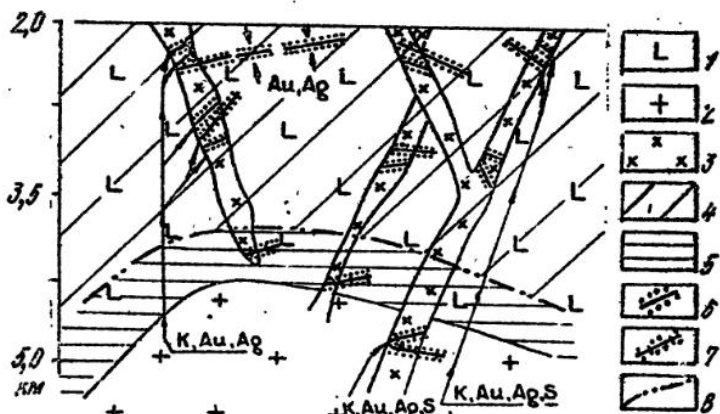


Рис. 1. Геолого-генетическая модель раннегерцинской золотой минерализации кварц-жильного типа, сопряженной с гранитоидами и (тоналит-гранодиоритовой формации) и дайками гранитоид-порфиров:

1 - базальты, кремнистые осадки, габ - бро, ультрабазиты; 2 - гранитоиды тоналит-гранодиоритовой формации; 3 - дайки гранит- и плагиигранит-порфиров; 4, 5 - фации метаморфизма: 4 - зелено-сланцевая, 5 - амфиболитовая; 6 - кварцевые жилы с березит-лиственитовыми и оторочками; 7 - альбит- или калишпатсодержащие кварцевые жилы с оторочками и (соответственно) эйситов или гумбеитов; 8 - граница, разделяющая площади развития кварцевых и кварц-полевошпатовых жил. Указано расстояние от палео-поверхности

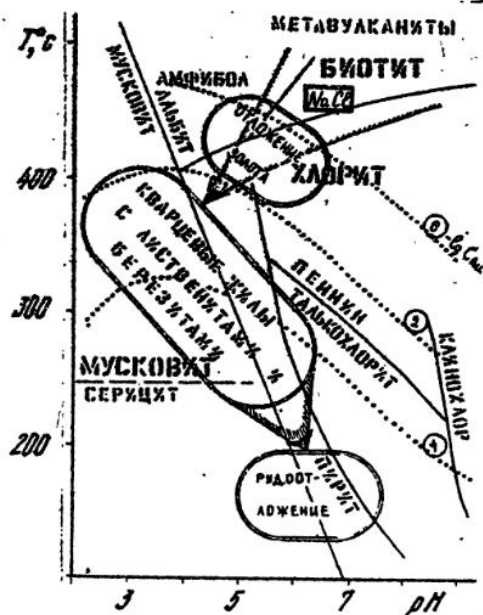


Рис. 2. Зависимость состава минеральных парагенезисов раннегерцинских золоторудных месторождений кварц-жильного типа Урала от  $T$  и  $pH$  среды минералообразования. Кривые устойчивости минералов - по /2/, на рис. 4 - то же

хрусталя отлагались сначала кальцит, затем минералы продуктивной минеральной ассоциации (пирит, галенит, сфалерит, блеклые руды и др.). В связи со сказанным самостоятельная стадия хрусталеобразования на рис. 2 не выделена.

В позднегерцинское время в гнейсовых блоках проявился зональный метаморфизм на уровне амфиболитовой фации и гранитизации /3/. При этом золото экстрагировалось из эдуктов (в гнейсах этого элемента 4 мг/т, в гранитизированных их разностях 2,3 мг/т) и переотлагалось (с концентрацией до 100 мг/т) в метавулканитах зеленосланцевой фации гнейсового обрамления. Состав гидротерм (по результатам изучения ГЭВ в минералах метасоматитов) хлоридно-натриевый, т.е. хлоритный, как и в рассмотренном случае. Если рудоподводящая структура на нижних горизонтах рудовмещающего блока проходит через толщу карбонатных пород (рис. 3), то указанный раствор будет содержать значительное количество  $CO_2$  и  $HCO_3^-$  (рис. 4). Геологические наблюдения за взаимоотношениями и тел метасоматитов и составом слагающих их минеральных парагенезисов отражены

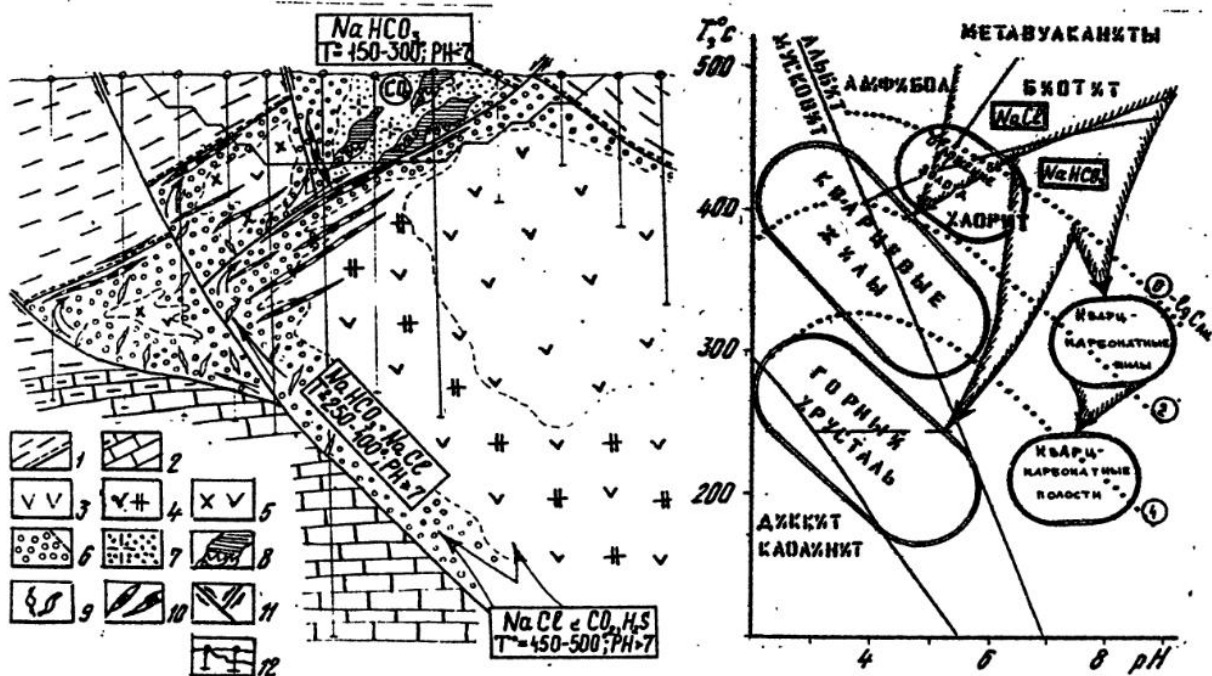


Рис. 3. Геолого-генетическая модель сопряженного формирования золото-рудной прожилково-вкрапленной и хрусталеносной кварц-жильной минерализации и позднегерцинского возраста:

1 - углистые филлиты ( $\text{C}_1$ ); 2 - известняки мраморизованные ( $\text{C}_1$ ); 3 - метавулканисты (0-S); 4 - метавулканисты плагиофельдшпатизированные; 5 - метавулканисты биотитизированные и хлоритизированные с прожилково-вкрапленной золотой минерализацией; 6 - доломит-кварц-альбитовые метасоматиты, в приподнятом блоке обычно безальбитовые; 7 - зоны хрусталеносной аргиллизации; 8 - кварцевые жилы хрусталеносные; 9 - кварц-карбонатные гнезда с хрустальными и гнездами; 10 - зоны развития золотой минерализации; 11 - разрывные нарушения раствороподводящие; 12 - контур эксплуатационного карьера и колонковые скважины

Рис. 4. Зависимость состава минеральных парагенезисов позднегерцинских комплексных (золото+горный хрусталь) месторождений от  $T$  и  $\text{pH}$  среды минералообразования

на рис. 4 в виде физико-химической модели, показывающей возможность развития гидротермального процесса двумя путями в зависимости от содержания в растворе  $\text{CO}_2$ . Начальная температура последнего не менее  $500^\circ\text{C}$  (может достигать  $600-620^\circ\text{C}$  /7/),  $\text{pH}$  больше 7. Такой раствор, воздействуя на породы, приводил к выносу из них кремнезема, образованию парагенезиса синезеленой роговой обманки с биотитом (бурый, мелкочешуйчатый). Концентрацией золота это не сопровождалось. При понижении температуры (до  $450^\circ\text{C}$  /3/) раствора амфибол и биотит хлоритизируются. При этом происходит концентрация золота (от 1 до 10 г/т и больше), что вполне согласуется с результатами изучения растворимости золота в этих условиях /1, 6/. Нижняя граница золотоносности хлоритизи-

рованных метавулканитов проводится по появлению пирротина (свидетельство повышения температуры и изменения ОВН среды).

Раствор, поднимаясь к поверхности, охлаждается и подкисляется. Здесь в зонах катаклаза он вызывает интенсивную серицитизацию и окварцевание крупных блоков пород. Внутренняя зона метасоматитов представлена двумя парагенезисами: 1) кварц+серицит+кальцит, 2) кварц+серицит+доломит+анкерит+кальцит. С некоторым отставанием от указанных метасоматитов формируются кварцевые жилы. Указанные парагенезисы типоморфны (соответственно) для кварц-серицитовой и березит-лиственитовой формаций /5/ и образуются при одинаковых PT-параметрах раствора, но при различном содержании в нем  $CO_2$ . Последнее реализуется на исследованном эталонном объекте (см. рис. 3) благодаря неравномерности катаклаза, обусловившей дифференциальное выкипание  $CO_2$  из раствора. Теперь, если сопоставить рис. 2 и 4 с учетом всего приведенного материала, то можно заключить, что гидротермальный процесс на золоторудных жильных и хрусталеносных кварц-жильных объектах развивался принципиально одинаково.

Рассмотрим специфику развития гидротермального процесса в нижней части геологического блока, представленного на рис. 3. Здесь подвижки по зонам надвигов приводят к образованию трещин отрыва. При раскрытии трещин раствор дегасируется, давление резко падает, уменьшается растворимость кремнезема. Последний вместе с доломит-анкеритом, иногда и с альбитом, отлагается в этих структурах. Околосильные метасоматиты представлены эйситами (кварц+доломит - анкерит+альбит). Золото концентрируется главным образом в зальбандах жил (до 0,9 г/т).

Хрусталеносная стадия проявилась на верхних горизонтах объекта-эталона (см. рис. 3). Она наложена на зоны концентрации кварцевых жил и связана с дальнейшим понижением температуры раствора. Последнее обусловило нарастание активности бикарбонат-иона, а через это - повышение щелочности раствора, что способствовало выщелачиванию кремнезема из кварцевых жил и вмещающих пород, а также золота. Постепенное накопление  $CO_2$  под экраном резко повышает кислотность раствора в полостях выщелачивания; в пространстве, примыкающем к гнездам с хрустальной минерализацией, образовались гидротермальные глины. В гнездах и околосильных пространствах развил слабозолотоносный (до 0,2 г/т) пирит. Образование хрусталеносных кварцевых жил сопровождается перераспределением ранее сформированных золоторудных концентраций /3, 4/. При этом в обрамлении хрусталеносных зон возникают рудные столбы.

С-характеризованная структурная сопряженность золотого оруденения и кварц-жильной хрусталеносной минерализации обусловлена геохимической, температурной и кислотно-щелочной эволюцией гидротерм в пространстве и времени. Важен при этом и путь эволюции (рис. 3). Необходимость использования этого факта при металлогенических исследованиях и прогнозировании очевидна.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

И. Б е л е в а н ц е в В.И., К о л о н и н Г.Р., В а с и л ь е в а Н.Г. и др. Возможные формы нахождения и растворимости золота в рудообразующих растворах // Гидротермальное низкотемпературное рудообразование и метасоматоз. М., 1982. С.83-117.

2. Г о в о р о в И.Н. Термодинамика ионно-минеральных равновесий. М.: Наука, 1977.

3. О г о р о д н и к о в В.Н. Метаморфиты джабык-карагайского комплекса // Геология метаморфических комплексов. Свердловск, 1980. С.110-116.

4. О г о р о д н и к о в В.Н. Закономерности размещения золоторудных и хрусталеносных месторождений на Южном Урале // Метаморфогенная металлогения Урала. Свердловск, 1988. С.117-119.

5. С а з о н о в В.Н. Березит-лиственитовая формация и сопутствующее ей оруденение (на примере Урала). Свердловск, 1984.

6. С а з о н о в В.Н. Золото в гидротермальном процессе. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1985.

7. С а з о н о в В.Н., П о п о в Б.А., Г р и г о р ь е в Н.А. и др. Корово-мантийное оруденение в салических блоках эвгеосинклинали. Свердловск: УрО АН СССР, 1989.