

УДК—546.59. 546.57 (479.25)

МИНЕРАЛОГИЯ

Г. С. Авакян, Э. Г. Малхасян

### О парагенезисе золото—серебро—пирит на одном из рудопроявлений Армянской ССР

(Представлено академиком АН Армянской ССР К. П. Паффенгольцем 21/IV 1980)

На юго-восточной части Армении в нижнеэоценовых вулканогенных образованиях, представленных пропилитизированными базальтовыми, диабазовыми и андезитовыми порфиритами и их туфами, выявлен новый формационный золото-пиритовый тип оруденения, который метасоматически частично замещен безрудным кварцем.

Пропилитовая ассоциация представлена альбитом, эпидотом, актинолитом, триоктаэдрическим хлоритом, пиритом и в небольшом количестве кварцем, карбонатом и монтмориллонитом. Данный парагенезис главных минералов пропилитовой ассоциации (первые пять минералов) наряду с тем, что золото приурочено исключительно к пириту, являющемуся единственным сульфидом на участке, свидетельствует о гипотермальных условиях образования золото-пиритового оруденения.

Полевыми и лабораторными исследованиями установлено, что а) благородные металлы (золото и серебро) локально тесно приурочены к пиритам; б) содержание золота в пиритах колеблется от 10 до 1516,1 г/т, серебра—от 8,8 до 681,2 г/т; в) кварц в отношении минерализации золота и серебра совершенно стерилен; г) самородное золото представлено в виде чешуек субмикроскопических размеров (от 0,2 мкм до <1 микрона); д) в лимоните и гетите—продуктах окисления пиритов химическими анализами установлено значительно высокое содержание золота—401,8—405,5 г/т и серебра—290,9—305,4 г/т; е) физическими методами анализов (оптическим, рентгеноструктурным, рентгеновским микроанализатором) в преобладающем большинстве образцов самородное золото не было обнаружено.

Вышеприведенный материал приводит нас к предположению о возможности существования золота и серебра в виде изоморфных примесей в пирите. При этом, на наш взгляд, два иона двухвалентного железа в решетке кристаллической структуры пирита замещены одним ионом трехвалентного золота и одним—одновалентного серебра с

полной компенсацией зарядов железа. Это предположение с некоторой приближенностью доказывается также содержаниями золота и серебра в монофракциях пиритов образцов № VI ( $Au=91,5$ ;  $Ag=48,0$  г/т), X ( $Au=29,3$ ;  $Ag=15,2$  г/т), XI ( $Au=154$ ;  $Ag=108$  г/т), 177<sub>I</sub> ( $Au=1393,4$ ;  $Ag=681,2$  г/т); 177<sub>II</sub> ( $Au=405,5$ ,  $Ag=290,9$  г/т). Средние содержания золота и серебра по этим образцам составляют:  $Au=414,74$ ;  $Ag=228,66$  г/т.

Отношение атомного веса золота к серебру равно 1,82. Приблизительно такое же отношение золота к серебру обнаруживается в вышеприведенных образцах (414,74:228,66), что косвенно подтверждает наше предположение о существовании изоморфной примеси золота и серебра в пирите—по одному иону золота и серебра взамен двух ионов железа.

Такая закономерность наблюдается не только в монофракциях пиритов, но и в некоторых случаях в рядовых бороздовых пробах.

А. Г. Миронов и др. (1) экспериментально доказали сродство золота с железом и серой. Им установлено, что независимо от степени раскристаллизации базальтового расплава золото концентрируется в сульфидных фазах и металлическом железе. При отсутствии железа почти все золото входит в сульфиды. Эти авторы пришли к выводу, что «при стекловании золото выходит из расплава вместе с фазами-концентраторами, образуя возможно неустойчивое соединение типа сульфида золота», который разлагается при понижении температуры и давления.

Тесная пространственная связь золота с пиритом, широкое развитие в рудном поле эпидотизированных, актинолитизированных и хлоритизированных (хлорит триоктаэдрической модификации) вмещающих пород, ороговикование последних в виде полос и прослоек (развитых вдоль слонности вулканогенно-осадочных образований) и др. говорят о том, что золото-пиритовая формация рудного поля принадлежит к высокотемпературному генетическому типу, образовавшемуся на глубине от 1,5 до 3,0 км. Здесь в высокотемпературных условиях ( $\sim 400-550^\circ\text{C}$ ), при избытке серы, по-видимому, первоначально в тесном сродстве образовались пирит и сульфиды золота и серебра: либо в виде  $Au_2S_3$  и  $Ag_2S$ , либо  $AgAuS_2$  или  $Ag_4Au_2S_5$  (в зависимости от концентрации и соотношения ионов золота и серебра в растворе). Потом, после прекращения поступления высокотемпературных газогидротерм и понижения температуры среды, сульфиды золота и серебра как неустойчивые соединения разлагались на элементарные составляющие. При этом разложенные на ионы золото и серебро частично входили в кристаллическую решетку пирита, замещая при этом железо, а часть их образовала самородные выделения в дефектах пирита.

Такую метаморфозу сульфиды золота и серебра могли претерпеть не только вследствие прекращения поступления высокотемпературных рудообразующих растворов, но и при непрерывном поступлении пос-

ледных, в условиях постепенного их охлаждения вследствие удаления летучих—основных рудонесущих компонентов.

Не отрицается также первоначальное образование золото- и серебро-содержащегося (в виде изоморфной примеси) пирита непосредственно из растворов в условиях избытка серы и некоторого дефицита железа, вместо которого в решетку пирита вошли трехвалентные ионы золота и одновалентные ионы серебра.

Изоморфное замещение железа золотом в минералах железа теоретически допускается также Ю. Г. Щербаковым (2).

Кроме того, что ионные радиусы двухвалентного железа и трехвалентного золота близки друг другу ( $Fe^{2+} = 0,80\text{Å}$ ;  $Au^{3+} = 0,85\text{Å}$ ) и изоморфное их замещение не отрицается с позиции классического правила Гольдшмидта, Ю. Г. Щербаков отмечает, что «орбитальный радиус золота в направлениях связи на 13% меньше радиуса железа, что, как показано на многочисленных примерах В. И. Лебедевым, позволяет объяснить многие случаи изоморфизма между элементами, не объяснимые с классических позиций».

По Г. Н. Аношину (3), «ковалентный характер химических связей золота с кислородом затрудняет вхождение золота в химически связанной форме в кристаллические решетки породообразующих силикатов и, наоборот, способствует концентрации его в решетках сульфидных минералов. Поэтому можно констатировать большее химическое сродство золота к сере, чем к кислороду, что также подчеркивает его халькофильные свойства». А «халькофильная тенденция золота, относительно большое сродство к сере, высокая степень ковалентности химической связи с ней хорошо объясняют значительное концентрирование золота в магматических и гидротермальных сульфидах. Однако исследователи, как уже отмечалось, золото в химически связанной форме в сульфидах не обнаружили».

М. Н. Годлевский и др. (4), проведя фазовый анализ золотосульфидных и магнетитовых руд Талнахского месторождения, пришли к выводу, что в сульфидах существуют изоморфные микропримеси золота.

Г. Н. Аношин (3) находит, что возможный изоморфизм между золотом и железом полностью не противоречит фактору взаимной химической индифферентности.

На описанном рудном поле других минералов (сульфидных или силикатных) железа, могущих быть первоисточниками образования гетита, кроме пирита нами пока еще не обнаружено. Следовательно, тесная взаимосвязь гетита и лимонита с пиритом и обнаружение первых двух минералов только лишь на поверхности (в зоне окисления) говорит о том, что гетит и лимонит образовались исключительно за счет окисления пирита. В этом случае, если в пирите золото существовало только лишь в виде самородков, то при окислении пирита эти самородки должны были выпадать, поскольку в процессе замещения анионов серы анионами кислорода и гидроксила имеет место полное разрушение кристаллической структуры пирита. И так как золото не

проявляет магнитных свойств, то в электромагнитных фракциях его не должно было быть. Однако электромагнитные фракции, в 75% состоящие из гетита и лимонита (обр. 177<sub>II</sub>), содержат очень большое количество золота и серебра ( $Au=405,5$  г/т;  $Ag=305,4$  г/т). Все это говорит о том, что золото и серебро на описанном рудном поле распространены также в виде изоморфной примеси и при окислении пирита, при метасоматическом замещении анионов серы анионами кислорода и гидроксила золото и серебро совместно с железом составляют основу структур гетита и лимонита.

Рентгеноструктурное исследование пиритов на дифрактометре «Дрон-2» (аналитик А. А. Налбандян) не выявило отклонения их параметров от стандарта даже в тех пиритах, в которых золота обнаружено 1,5 кг/т, а серебра—681,2 г/т. Это объясняется, во-первых, низким содержанием (в процентах) золота и серебра в пирите (от 0,01 до 0,22%), а во-вторых, близостью ионных радиусов золота (трехвалентного) и железа (двухвалентного).

Разница ионных радиусов золота (трехвалентного) и железа (двухвалентного) при приведении радиусов этих ионов к одному координационному числу (4) по данным Г. Н. Аношина составляет около 9%, следовательно близость ионных радиусов, по классической теории Гольдшмидта, тоже не противоречит в известных пределах возможному изоморфизму между ними.

Интересно отметить, что по наблюдениям А. Г. Мидяна и сотрудников, основанным на результатах шлиховой съемки, золото и серебро на описанном рудном поле приурочены исключительно к пириту пентагондодекаэдрической кристаллографической формы. Пириты же кубической формы в отношении благородных металлов стерильны.

В заключение можно отметить, что среди золоторудных месторождений и проявлений Армении впервые описывается проявление золота, связанное исключительно с пиритом.

Управление геологии Армянской ССР,  
Кавказский институт минерального сырья

Հ. Ս. ԱՎԱԳՅԱՆ, Է. Գ. ՄԱԿԱՍՅԱՆ

Ոսկի—արծաթ—պիրիտ պարագենեզիսի մասին Հայկական ՍՍՀ  
ճանապարհորդ մեկույն

Հոդվածում նկարագրվում է ոսկու և արծաթի գոյության փաստը պիրիտում ոչ միայն որպես մեխանիկական խառնուրդ նրա խոռոչներում, այլ նաև որպես իզոմորֆ խառնուրդների հետևանք:

Ոսկին և արծաթը, որոնք հանրանյութերում ֆիզիկական եղանակով հանդես չեն գալիս, հայտնաբերվում են քիմիական ճանապարհով, ինչպես պիրիտում, այնպես էլ նրանից օքսիդացած նյութերում՝ լիմոնիտում և գեթիտում:

1 А. Г. Миронов, А. И. Альмухамедов и др., Геохимия, № 11, 1978. 2 Ю. Г. Щербаков, Геохимия золоторудных месторождений в Кузнецком Алатау и Горном Алтае, «Наука», Новосибирск, 1974. 3 Г. Н. Аношин, Золото в магматических горных породах, «Наука», Новосибирск, 1977. 4 М. Н. Годлевский и др., Труды ЦНИГРИ, вып. 87 (1970).