

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

А. И. КАРАПЕТЯН

ХАРАКТЕР ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТА НА ОДНОМ  
МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

О присутствии золота в рудах медно-молибденовых месторождений известно давно, об этом упоминается во многих работах, посвященных минералогии медно-молибденовых руд.

В настоящей статье вкратце обобщены данные о характере оруденения золота на одном медно-молибденовом месторождении.

Оруденение локально тесно связано с кварцевыми диоритами и гранит-порфирами третичного возраста. В контакте кварцевых диоритов с метаморфическими сланцами развиты гранат-эпидот-магнетитовые скарны. В рудном поле широкое развитие имеют также жильные породы, представленные аплитами, пегматитами, гранодиорит-порфирами, граносиенит-порфирами и лампрофирами. Структурным контролем оруденения служили крутопадающие субширотные тектонические нарушения.

По морфологии рудных тел оруденение на месторождении представлено прожилково-вкрапленным типом; подчиненное значение имеют жилы и линзообразные тела.

Структурно-текстурные взаимоотношения различных парагенетических ассоциаций минералов, наблюдаемые в забоях, полированных штуфах и шлифах позволяют в пределах рудного поля выделить ряд стадий минерализации, среди которых самым широким распространением пользуются кварц-молибденитовая и кварц-халькопирит-молибденитовая стадии минерализации. Более поздними являются руды медно-мышьяковой стадии, которые в отличие от предыдущих двух стадий, имеют локальное развитие и приурочены к приконтактной части кварцевых диоритов и метаморфических сланцев, контролируясь субширотными тектоническими нарушениями. Процесс рудообразования на месторождении завершается полиметаллической стадией, которая развита сравнительно слабо и локализована на отдельных участках месторождения.

В результате детальных микроскопических исследований (при больших увеличениях до 1000 раз, в иммерсии), проведенных автором в течение 1959—1960 гг. было установлено, что руды последних стадий минерализации обогащены золотом. Выяснилось, что кроме самородного «крупнозернистого» золота присутствуют также тонкодисперсное золото и ряд теллуридов золота (петцит, сальванит, калаверит, нагиагит), которые тесно ассоциируют с теллуридами серебра, висмута и свинца (гессит,

теллуровисмутит, тетрадимит, алтаит)\*. В зоне окисления в полях вторичных минералов в значительном количестве было встречено супергенное золото.

Полученные результаты минераграфических исследований хорошо согласуются с данными спектральных анализов, которыми (в 50 пробах из 100) было установлено золото в количестве от 1 до 30 г/т, изредка 100 г/т. Химические анализы руд, произведенные в химической лаборатории Алавердского медно-химического комбината, в основном, подтвердили данные спектральных анализов.

Таким образом устанавливаются следующие формы нахождения золота в рудах:

1. Самородное крупнозернистое золото размером больше 1 микрона в интерстициях зерен сульфидных и жильных минералов.

2. Тонкодисперсное и субмикроскопическое золото в полях ранних сульфидов.

3. Теллуриды золота.

4. Супергенное золото (за счет окисления сульфидов и теллуридов).

Из рудоносных растворов золото отлагалось, в основном, в две стадии минерализации: медно-мышьяковую (с теллуридами) и полиметаллическую (с теллуридами) (фиг. 1), которые в общей схеме последовательности минерализации месторождения являются наиболее поздними и образуют маломощные жилы, прожилки, линзообразные, гнездообразные и неправильные по форме выделения. Нерудный минерал представлен молочно-белым и халцедоновым кварцем.

Самородное крупнозернистое золото образует комковидные, скелетовидные, дендритовидные и пластинчатые выделения размером от сотых долей мм до 0,5 мм (фиг. 2); изредка величина отдельных золотинок доходит до 4 мм и больше. Формы и размеры отдельных золотинок, в основном, обусловлены теми пустотами, в которых отлагалось золото.

Под микроскопом крупнозернистое золото заполняет трещинки и межзерновые пространства сульфидных минералов. Отчасти золото образует ангидральные выделения в полях халькопирита и энаргита (фиг. 3).

Структурные взаимоотношения самородного золота с сульфидами и теллуридами, наблюдаемые под микроскопом, свидетельствуют о том, что образование золота имело место, главным образом, после отложения основной части сульфидов и теллуридов.

Небольшая часть золота под микроскопом имеет тонкодисперсный характер и развита в полях более ранних сульфидов. Формы выделения тонкодисперсного золота — каплевидные, округлые, изредка овальные. Обычно при микроскопических исследованиях такое золото пропускается из-за незначительных размеров (обычно в пределах десятых долей микрона).

Образование тонкодисперсного золота значительно опережает обра-

\* Минералы определены методами минераграфии с применением микроспектральных, микрохимических, спектральных, отчасти химических и рентгенометрических анализов.

зование крупнозернистого. Многими исследователями временем образования тонкодисперсного золота считается момент кристаллизации более ранних сульфидов (пирита, марказита и др.), которые в некотором количестве «захватывают» золото из растворов. Дальнейшее понижение температуры, по-видимому, обуславливает распад части «захваченного» золота в виде тонкодисперсных выделений, оставшая же часть его остается в сульфидах в виде субмикроскопического золота с размером частиц меньше 0,01 мкр и твердого раствора (частицы мельче 0,001 мкр).

## С Х Е М А

последовательности выделения минералов медно-мышьяковой и полиметаллической стадий минерализации

Минералы	Медно-мышьяковая стадия	Полиметаллическая стадия	Гипергенный этап
<i>Кварц</i>	—	—	—
<i>Пирит</i>	—	—	—
<i>Марказит</i>	—	—	—
<i>Золото (тонкодиспер)</i>	—	—	Лимонит, супергенное золото
<i>Зигенит</i>	—	—	—
<i>Лимонит</i>	—	—	—
<i>Халькопирит</i>	—	—	—
<i>Борнит</i>	—	—	—
<i>Ковеллин (гипог)</i>	—	—	—
<i>Халькозин (гипог)</i>	—	—	—
<i>Герсдорфит</i>	—	—	—
<i>Эмплектит</i>	—	—	—
<i>Виттихенит</i>	—	—	—
<i>Висмутин</i>	—	—	—
<i>Эмарцит</i>	—	—	—
<i>Люцит</i>	—	—	—
<i>Теннантит</i>	—	—	—
<i>Тетраэдрит</i>	—	—	—
<i>Сфалерит</i>	—	—	—
<i>Галенит</i>	—	—	—
<i>Аргентит</i>	—	—	—
<i>Тетрадимит</i>	—	—	—
<i>Теллуrowисмутит</i>	—	—	—
<i>Алтаит</i>	—	—	—
<i>Калаверит</i>	—	—	—
<i>Сильванит</i>	—	—	—
<i>Нагиагит</i>	—	—	—
<i>Петцит</i>	—	—	—
<i>Гессит</i>	—	—	—
<i>Золото самородн.</i>	—	—	—
			Малахит, азурит, лимонит
			Скородит, фармакосидерит, лейкохальцит, малахит, азурит.
			Церуссит, смитсонит
			Теллуриды, вторичное золото

Фиг. 1.

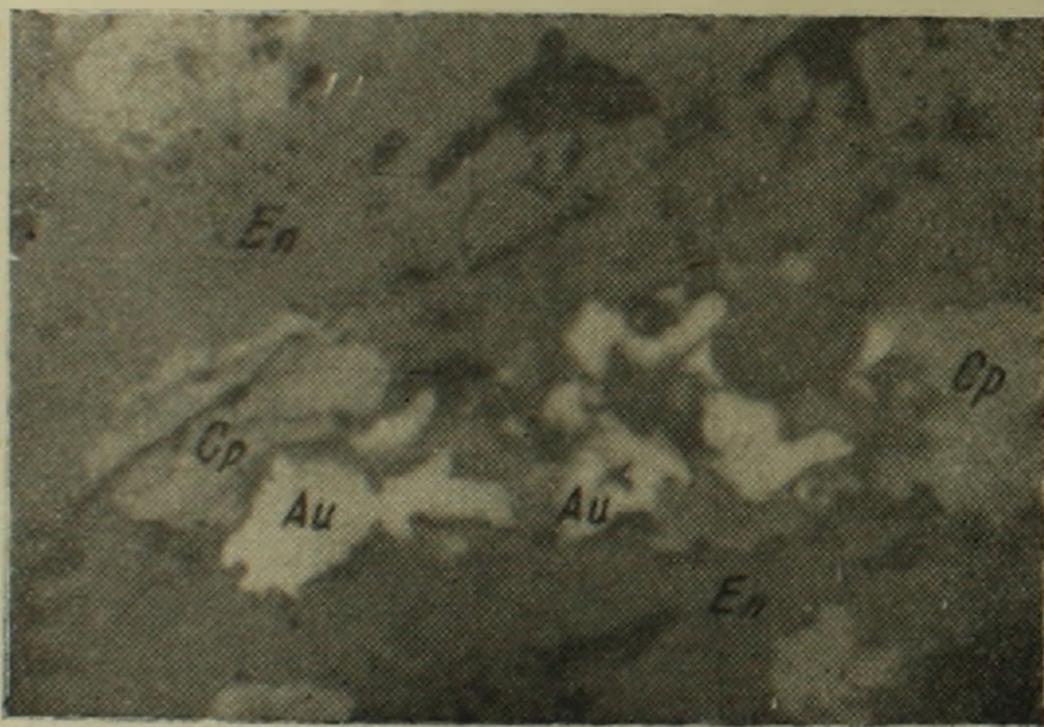
Значительная часть золота в рудах представлена в виде теллуридов золота (петцит, сильванит, нагиагит и др.), которые с теллуридами висмута, серебра и свинца образуют структуры замещения в полях сульфидов. Петцит  $(Au, Ag)_2Te$  совместно с гесситом  $Ag_2Te$  и сильванитом меньше 0,01 мк и твердого раствора (частицы мельче 0,001 мк).

Нередко теллуриды золота пространственно тесно ассоциируют с самородным золотом. Ассоциация самородного свободного золота с теллуридами золота, серебра и висмута свидетельствует о том, что в процессах

образования теллуридов решающее значение принадлежит не только «сродству» отдельных элементов с теллуrom, но также и физико-химическим условиям образования этих минералов и в первую очередь отно-



Фиг. 2. Формы самородного золота.  
× 10 (под биноккулярной лупой).

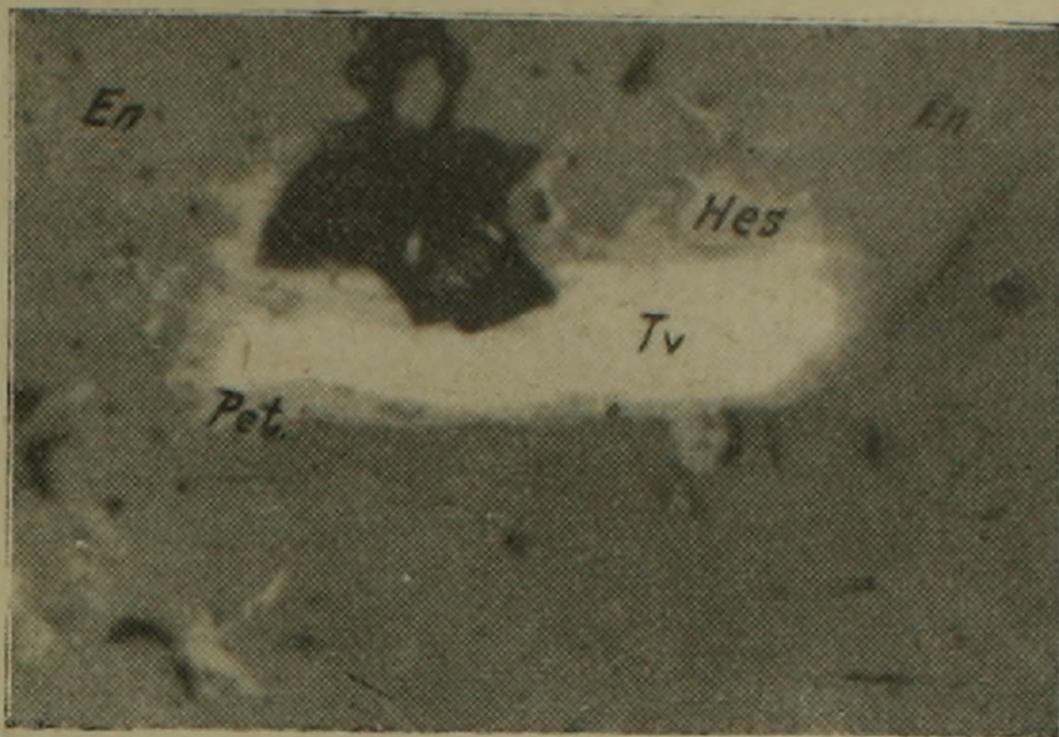


Фиг. 3. Самородное золото (Au) образует ангедральные выделения в полях халькопирита (Cp) и энаргита (En).  
Полированный шлиф. × 353.

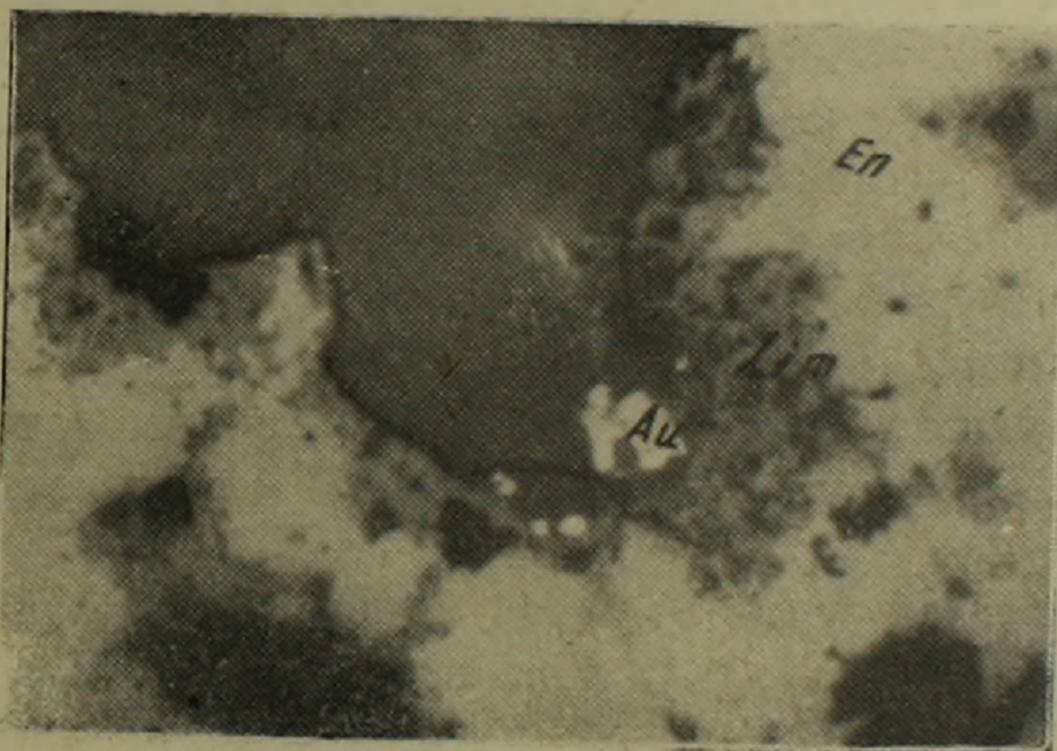
сительным концентрациям золота и теллура. Действительно, трудно иначе представить образование самородного свободного золота совместно или несколько позже теллуридов висмута и серебра, «сродство» которых с теллуrom по сравнению с золотом выражено значительно слабее.

В зоне окисления и вторичного сульфидного обогащения, теллуриды золота окисляются, а золото, содержащееся в них, восстанавливается до самородного состояния. Такое вторичное золото в виде точечных, губча-

тых, реже червеобразных форм образуется и в результате концентрации тонкодисперсного золота за счет разрушения сульфидов. Характерно, что в гипергенных процессах тонкодисперсное золото проявляет тенденцию концентрироваться вокруг первичных золотинок, уцелевших от разрушения выделений сульфидов и теллуридов.



Фиг. 4. Гессит-петцитовый (Hes, Pet) агрегат образует каемку вокруг теллуровисмутита (Tv). Общее поле — энаргит (En). Полированный шлиф.  $\times 353$ .



Фиг. 5. Вторичное золото (Au) приурочено к полям вторичных минералов (Lim). Полированный шлиф.  $\times 504$  (иммерсия).

Вторичное золото отличается сравнительно бледно-желтым цветом, оно приурочено исключительно к полям вторичных минералов (лимонит, монтанит и др.) (фиг. 5).

Проба золота. Как макроскопически, так и под микроскопом легко удастся различить несколько разновидностей золота, среди которых преобладающей является разновидность золотисто-желтого цвета; изредка встречаются золотишки светло-желтого и зеленовато-желтого цветов. Результаты спектральных анализов самородного золота показывают, что наблю-

даемая разница обусловлена наличием примесей других элементов. При прочих равных условиях с увеличением содержания серебра цвет золота становится светло-желтым. Так: золотисто-желтая разность содержит около 10% серебра, светло-желтая — более 15% и т. д. Кроме серебра в самородном золоте почти всегда присутствуют: Cu, Fe — до 1%; Pb, Al, Ca — до 0,1%; Te, Hg, Ti, Mg — до 0,01%; Bi, Ni, Cr — до 0,001%.

Максимальная сумма примесей, входящих в состав самородного золота вместе с серебром, не превышает 15—20%, что может свидетельствовать о сравнительно высокой пробе золота (не ниже 800).

Произведенные многочисленные спектральные анализы показывают, что соотношение серебра и золота в рудах описываемого месторождения колеблется в пределах от 1 до 30 : 1, изредка золото резко превалирует над серебром, что свидетельствует о сравнительно пониженной роли серебра в рудоносных растворах вообще.

### В ы в о д ы

1. Золото на описываемом месторождении отлагалось в основном из последних порций гидротермальных растворов в ассоциации с медно-мышьяково-висмутовыми и свинцово-цинково-сурьмянистыми минералами.

2. Внутри каждой стадии выделяются: «раннее» или тонкодисперсное золото, отложение которого имело место одновременно с ранними сульфидами (пирит, марказит, халькопирит) и «позднее» золото — после отложения основной части сульфидных минералов.

3. «Позднее» золото представлено как в виде теллуридов золота, образующих вкрапленники и структуры замещения в полях сульфидов, так и самородного крупнозернистого золота, отлагающегося в интерстициях других минералов.

4. В зоне окисления супергенное золото концентрируется исключительно в полях вторичных минералов, большей частью вокруг первичных золотин.

5. Максимальная сумма примесей к золоту (включая примесь Ag) не превышает 15—20%, что свидетельствует о сравнительно высокой пробе золота.

Институт геологических наук  
АН Армянской ССР

Поступила 3.III.1961.

Ա. Ի. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՈՍԿՈՒ ՀԱՆՔԱՅՆԱՑՄԱՆ ԲՆՈՒՅԹԸ ՊՂԻՆՁ-ՄՈՒԻԲԴԵՆԱՅԻՆ  
ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻՑ ՄԵԿՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Կատարված մանրամասն միկրոսկոպիական ուսումնասիրությունների շնորհիվ պարզվել է, որ նկարագրվող պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրում բացի

խոշորահատիկ բնածին ոսկուց հանքանյութերում առկա են ոսկու մի շարք թելուրիդներ (պետցիտ, հեսիտ, կալավերիտ, նագիազիտ), և նուրբ դիսպերսիոն ոսկի: Օքսիդացման զոնայում հաճախակի հանդիպում է սուպերգեն ոսկի: Միներալոգրաֆիական ուսումնասիրությունների տվյալները հաստատում են սպեկտրալ, քիմիական, միկրոքիմիական և միկրոսպեկտրալ անալիզներով:

Այսպիսով նկարագրվող պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրում առկա են ոսկու հանքայնացման հետևյալ ձևերը:

1. Բնածին խոշորահատիկ ոսկի (մինչև 1 միկրոն մեծությամբ, հանքային և երակային միներալների միջանկյալ տարածություններում):
2. Նուրբ դիսպերսիոն ոսկի սուլֆիդային միներալների դաշտերում:
3. Ոսկու թելուրիդներ:
4. Սուպերգեն ոսկի, առաջացած թելուրիդների և սուլֆիդների քայքայման հաշվին:

Հիդրոթերմերից ոսկին անջատվել է հանքայնացման պրոցեսի վերջին էնարգիտ-տենանտիտային և բազմամետաղային ստադիաներում, որոնք առաջացնում են երակիկներ, ոսպնյակներ, բներ և անկանոն ձևի հանքային մարմիններ ինտենսիվ փոփոխված, սկառնացած, եղջրացած ապարներում: Հոդվածում բերվում է ոսկու հանքայնացման առանձին ձևերի նկարագրությունը:

Մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում բնածին խոշորահատիկ ոսկու ասոցիացիան ոսկու թելուրիդների հետ, որոնք անկասկած առաջացել են միևնույն հիդրոթերմալ լուծույթներից:

Մերձմակերեսային զոնայում սուլֆիդների և թելուրիդների օքսիդացման հետևանքով ազատված ոսկին հանդես է բերում համակենտրոնացման հատկություն, որը կատարվում է բացառապես երկրորդային միներալների դաշտերում: Սուպերգեն ոսկին մեծ մասամբ կոնցենտրացվում է հիպոգեն խոշորահատիկ ոսկու շուրջը, որից տարբերվում է համեմատաբար թույլ դեղնավուն գույնով:

Ինչպես սովորական աչքով, այնպես էլ միկրոսկոպի տակ հեշտությամբ կարելի է տարբերել ոսկու մի քանի տարասեսակներ, որոնք միմյանցից տարբերվում են իրենց գույնով: Բնածին ոսկու սպեկտրալ անալիզներից ստացված տվյալները վկայում են այն մասին, որ ոսկու գույնը պայմանավորված է նրանում պարունակվող օտար տարրերի խառնուրդներով, առաջին հերթին արծաթի պարունակությամբ: Այսպես, արծաթի պարունակության մեծացման հետ ոսկու գույնը փոխվում է դեղնա-կարմրավունից բաց դեղնավունի: Դեղնա-կարմրավուն ոսկին պարունակում է մոտավորապես 10 տոկոս արծաթ, բաց-դեղնավունը՝ ավելի քան 15% արծաթ և այլն: Բացի արծաթից բնածին ոսկու կազմում համարյա միշտ առկա են Cu, Fe մինչև 1%, Pb, Al—0,1%, Te, Hg, Ti Mg—0,01%, Bi, Ni, Cr մինչև 0,001%: Խառնուրդի ամենամեծ պարունակությունը չի գերազանցում 15—20%, որը վկայում է ոսկու համեմատաբար բարձր հարգի մասին: