

Часть 4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

О. Ю. Плотинская

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии РАН, г. Москва
plotin@igem.ru*

Минералы системы Au-Ag-X, где X = S, Se, Te, в эпитермальных обстановках как индикаторы условий минералообразования

Минералы системы Au-Ag-X, где X = S, Se, Te, т.е. бинарные и тройные халькогениды Au и Ag, не являются широко распространенными минеральными формами, но, тем не менее, являются важными концентраторами благородных металлов, особенно на эпитермальных месторождениях. Так, на месторождении Сакаримб (горы Апусени, Румыния) и Эмпериор (Фиджи) доля теллуридной формы золота составляет порядка 50 % в общем балансе элемента [Pals, Spry, 2003; Ciobanu et al., 2004].

В настоящей работе речь пойдет, в первую очередь, о системе Au-Ag-Te, которая изучена наиболее детально как минералогически, так и экспериментально [Сабру, 1965; Afifi et al., 1988, Simon, Essene, 1996]. В этой системе, помимо самородных Au, Ag и Te, известно девять минералов. Наиболее широко в природе распространены гессит Ag_2Te , калаверит AuTe_2 , креннерит Au_3AgTe_8 , сильванит AuAgTe_4 , петцит AuAg_3Te_2 и штютцит $\text{Ag}_{5-x}\text{Te}_3$, значительно реже встречаются эмпрессит AgTe , монтраит Au_2Te_3 и мутманнит AuAgTe_2 .

Основное внимание будет сосредоточено на месторождениях Кочбулак и Кайрагач (Узбекистан), в которых около 20 % золота находится в теллуридной форме [Коваленкер и др., 1997; 2003; Plotinskaya et al., 2006] и на месторождении Березняковское (Ю. Урал), где в теллуридной форме присутствует более 50 % золота [Плотинская и др., 2009].

Парагенетические ассоциации минералов системы Au-Ag-Te и их место в эпитермальном рудообразующем процессе. Как правило, в процессе рудообразования теллуриды Au и Ag могут занимать различное положение. Эпитермальные месторождения Кочбулак и Кайрагач являются одними из наиболее широко известных объектов с широко распространенными теллуридами. Месторождения находятся в Кураминских горах (Срединный Тянь-Шань), и локализованы в пределах кальдеры, выполненной андезитами C_{2-3} .

Рудообразование на обоих месторождениях начинается с отложения высокопробного самородного золота. Следующими по времени образования минералами являются самородный теллур и дителлуриды Au или Au и Ag (сильванит, креннерит и калаверит), затем образуются теллуриды Au и Ag (петцит) и висмута, а следом разнообразные сульфосоли и гессит. Такая смена минеральных ассоциаций сопровождается заметным падением пробности самородного золота. Подобная закономерность прослеживается в течение трех рудных стадий на месторождении Кочбулак и в течение основной рудной стадии на месторождении Кайрагач. Как показал расчет интервалов

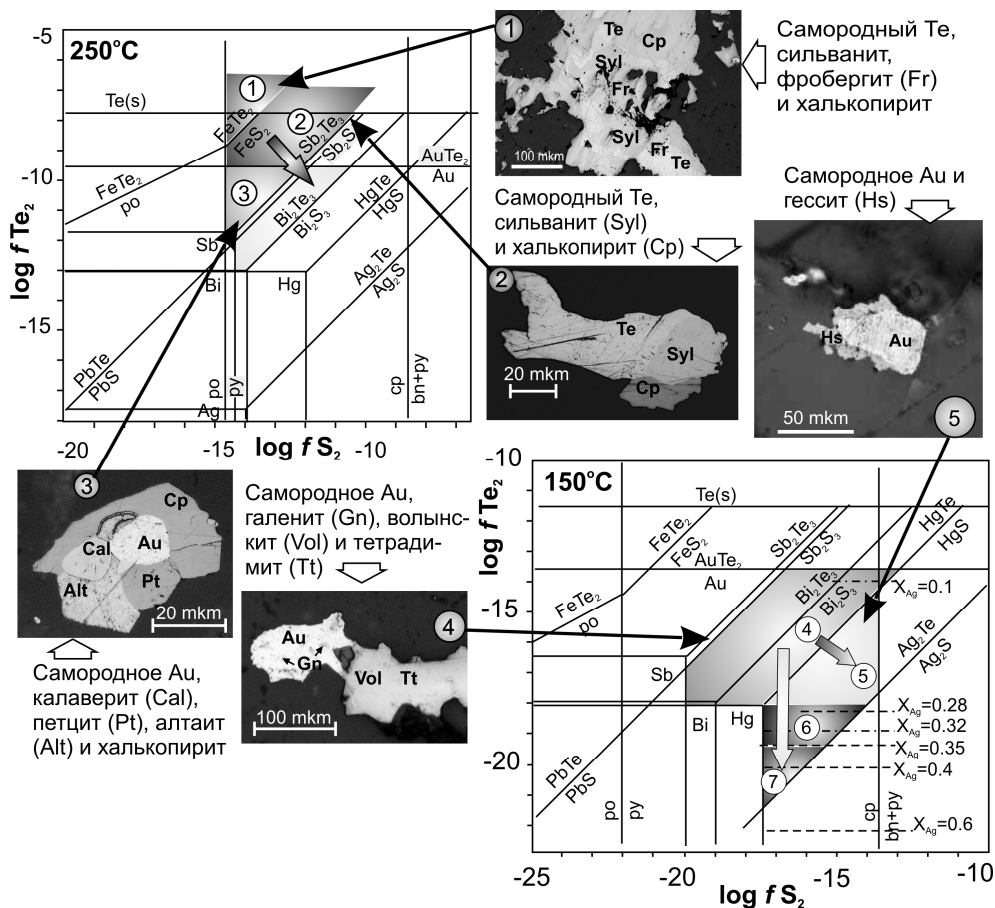


Рис. Поля стабильностей основных теллурид-содержащих ассоциаций месторождений Кочбулак и Кайрагач в пространстве $f\text{Te}_2$ - $f\text{S}_2$ при температурах 250 и 150 °С. Составлено с использованием данных [Barton, Skinner, 1979; Afifi et al., 1988].

стабильностей основных теллуридов в пространстве $f\text{Te}_2$ - $f\text{S}_2$, описанная последовательность происходит на фоне снижения температуры и сопровождается падением $f\text{Te}_2$ при относительно постоянной $f\text{S}_2$ (рис.).

Березняковское рудное поле расположено в 35 км южнее г. Челябинска, в пределах Биргильдинско-Томинского рудного узла. Прожилково-вкрапленное оруденение локализовано в андезит-дацитовых порфиритах (D_3 - C_1). Установлены две рудные стадии: пиритовая (вкрапленность пирита в кварц-серицитовых метасоматитах) и полиметаллическая, которая подразделена на энаргитовую, блекловорудно-теллуридную и золото-теллуридную подстадии. Энаргитовая подстадия развита только на Центральном месторождении и представлена энаргитом (Cu_3AsS_4) с вкрапленностью клаусталита (PbSe), станноидита, колусита и Те-теннантита. Агрегаты энаргита окаймлены минералами блекловорудно-теллуридной подстадии – теннантитом с пиритом, самородным теллуrom и сильванитом. К более поздним минералам этой подстадии относятся креннерит в парагенезисе с петцитом, а затем – калаверит с

алтаитом. Среди самых поздних минералов отмечены калаверит с самородным золотом, теллурантимонитом (Sb_2Te_3), нагиагитом ($Pb_5Au(Te,Sb)_3S_6$) и колорадоитом ($HgTe$). Гипогенное самородное золото на Березняковском месторождении имеет подчиненное значение и не обнаруживает заметных вариаций состава.

Таким образом, в последовательности отложения минералов системы Au-Ag-Te намечается два основных тренда: в первом случае самородный теллур с сильванитом и иногда гесситом (штютцитом) или эмпресситом сменяется калаверитом и самородным золотом, затем петцитом с самородным золотом и, наконец, гесситом с самородным золотом. В этом направлении растет содержание Ag в самородном золоте, как и доля Ag в теллуридах. Важно отметить, что основная масса самородного золота в этом случае отлагается до образования теллуридов Au. Подобная последовательность характерна для месторождений Кочбулак и Кайрагач.

Во втором случае парагенезис самородного теллура с сильванитом сменяется ассоциацией калаверита или креннерита с петцитом или гесситом, а затем – ассоциацией петцита и гессита с самородным золотом. Самородное золото в этом случае отлагается после образования теллуридов. Такая последовательность установлена на Березняковском месторождении, а также на месторождении Эмпириор [Pals, Spry, 2003]. Объяснить существование двух вариантов последовательности минералообразования трудно, главным образом, из-за отсутствия термодинамических данных для тройных фаз – сильванита, петцита и креннерита.

Однако общая для обоих описанных случаев закономерность – смена дителлуридов Au теллуридами Ag – подробно рассмотрена в работе [Zhang, Spry, 1994] для смены парагенезисов калаверита парагенезисами гессита. Расположение полей стабильности этих минералов в пространстве fO_2 -pH указывает на то, что при условии сохранения стабильности пирита и халькопирита, смена калаверита гесситом может произойти либо при увеличении щелочности раствора, либо при падении fO_2 . Таким образом, эволюция парагенезисов минералов системы Au-Ag-Te выражается в переходе от самородного теллура через дителлуриды Au к теллуридам Au и Ag и контролируется снижением температуры, фугитивности Te_2 и увеличением щелочности раствора.

Минералы системы Au-Ag-S на месторождениях обычно представлены ассоциацией акантита или аргентита с самородным золотом, которая широко известна и неоднократно описана в литературе, поэтому мы не будем на ней останавливаться. Тройные фазы этой системы – петровскаит $AuAgS$ и ютенбогардит $AuAg_3S_2$ – чрезвычайно редки и не могут использоваться в качестве индикаторов условий минералообразования. Минералы системы Au-Ag-Se также относятся к числу редких, за исключением науманнита Ag_2Se , который широко развит, например, на месторождениях Курило-Камчатской дуги – Озерновском, Прасоловском и др. [Kovalenker, Plotinskaya, 2005; Золоторудные..., 1988]. Также редки «тройные» фазы – фишессерит $AuAg_3Se_2$, кервеллеит Ag_4TeS и курилит Ag_8Te_3Se .

В целом, пространственные и временные закономерности распределения минералов системы Au-Ag-X, где X = S, Se и Te, в пределах эпitherмальных рудообразующих систем проследить довольно сложно, главным образом, потому, что эти минералы распространены крайне неравномерно. В литературе об этом имеются достаточно противоречивые сведения. Так, для месторождения Озерновское [Золоторудные..., 1988] установлена следующая временная эволюция минеральных форм серебра: Ag_2Se (науманнит) \rightarrow Ag_2Te (гессит), а к наиболее поздним минералам относится акантит-аргентит Ag_2S . На месторождении Прасоловское (о. Кунашир), напротив,

теллуридные ассоциации, в том числе гессит, образуются раньше селенидных [Kovalenker, Plotinskaya, 2005; So et al., 1994].

Таким образом, в системе Au-Ag-X, где X = S, Se, Te, в пределах эпитеермальных золото-серебряных месторождений имеются широкие вариации по составу как отдельных минералов, так и минеральных парагенезисов. Особенно интересны и разнообразны в этом отношении подсистемы Au-Ag-Te и Ag-Te-Se-Se, которые в течение эпитеермального рудообразующего процесса демонстрируют как пространственные, так и временные вариации. Это делает минералы описываемой системы важными источниками информации о физико-химических условиях минералообразования, и их потенциал в этом отношении, на сегодняшний момент, далеко не исчерпан.

Работы выполнены при поддержке РФФИ (проекты 13-05-00622 и 14-05-00725).

Литература

- Золоторудные месторождения СССР. Т. 4. М.: ЦНИГРИ, 1988.
- Kovalenker V. A., Plotinskaya O. Yu., Prokofiev V. Yu. и др.* Минералогия, геохимия и генезис золото-сульфидно-селенидно-теллуридных руд месторождения Кайрагач (Республика Узбекистан) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 3. С. 195–227.
- Kovalenker V. A., Saifonov Yu. G., Naumov V. B., Rusinov V. L.* Эпитеермальное золото-теллуридное месторождение Кочбулак (Узбекистан) // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. № 2. С. 127–152.
- Plotinskaya O. Yu., Gрознова E. O., Kovalenker V. A. и др.* Минералогия и условия образования руд Березняковского рудного поля (Южный Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 5. С. 414–443.
- Afifi A. M., Kelly W. C., Essene E. J.* Phase relations among tellurides, sulfides, and oxides: I. Thermochemical data and calculated equilibria; II. Applications to telluride-bearing ore deposits // *Economic Geology*. 1988. Vol. 83. P. 377–394, P. 395–404.
- Barton P. B. Jr., Skinner B. J.* Sulfide mineral stabilities. In: Barnes HL (ed) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. New York: Wiley Interscience, 1979. P. 278–403.
- Cabri L. J.* Phase relations in the Au-Ag-Te system and their mineralogical significance // *Economic Geology*. 1965. Vol. 60. P. 1569–1606.
- Ciobanu C., Cook N. J., Damian G., Damian F., Buia G.* Telluride and sulphosalt associations at Sacarimb // In: Cook N. J. and Ciobanu C. L. (Eds.) *Gold-silver-telluride deposits of the Quadrilateral, South Apuseni Mts., Romania, IAGOD Guidebook Series 12*, 2004. P. 145–186.
- Kovalenker V. A., Plotinskaya O. Yu.* Te and Se mineralogy of Ozernovskoe and Prasolovskoe epithermal gold deposits (Kuril-Kamchatka volcanic belt) // *Geochemistry, Mineralogy and Petrology*. 2005. Vol. 43. P. 118–124.
- Pals D. V., Spry P. G.* Telluride mineralogy of the low sulfidation epithermal Emperor gold deposit, Vatukoula, Fiji // *Mineralogy and Petrology*. 2003. Vol. 79. P. 285–307.
- Plotinskaya O. Yu., Kovalenker V. A., Seltmann R., Stanley C. J.* Te and Se mineralogy of the Kochbulak and Kairagach high-sulfidation epithermal gold telluride deposits (Kurama Ridge, Middle Tien-Shan, Uzbekistan) // *Mineralogy and Petrology*. 2006. Vol. 87. P. 187–207.
- Simon G., Essene E. J.* Phase relations among selenides, sulfides, tellurides, and oxides: I. Thermodynamic properties and calculated equilibria // *Economic Geology*. 1996. Vol. 91. P. 1183–1208.
- So C.-S., Dunchenko V. Ya., Yun S.-T. et al.* Te- and Se-bearing epithermal Au-Ag mineralization, Prasolovskoe, Kunashir Island, Kuril Island Arc // *Economic Geology*. 1995. Vol. 90. P. 105–117.
- Zhang X., Spry P. G.* Calculated stability of aqueous tellurium species, calaverite and hessite at elevated temperature // *Economic Geology*. 1994. Vol. 89. P. 1152–1166.