

ПЕРВАЯ НАХОДКА СЕЛЕНИДОВ В КОЛЧЕДАНЫХ РУДАХ МОЛОДЕЖНОГО МЕДНО-ЦИНКОВО-КОЛЧЕДАНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Н. Р. Аюпова, В. А. Котляров

*Институт минералогии УрО РАН, Миасс, Россия
Южно-Уральский гос. университет, Челябинск, Россия
ayopova@mineralogy.ru*

Селен является характерным примесным компонентом руд многих колчеданных месторождений. Геохимическое поведение селена в процессе рудообразования и его распределение в главных рудообразующих минералах древних и современных колчеданных месторождениях хорошо изучены и подробно освещены в печати [Fouquet et al., 1988; Smith, Huston, 1992; Hannington et al., 1999; Lauton-Matthews et al., 2008]. Считается, что основная часть селена в колчеданных рудах присутствует в изоморфной форме в сульфидных минералах. Собственные минеральные формы селена в колчеданных рудах изучены пока еще недостаточно и среди них наиболее обычными являются Se-галенит и клаусталит.

Сведения о форме нахождения и особенностях распределения селена в рудах колчеданных месторождений Урала содержатся в работах [Муталов, 1977; Юшко-Захарова и др., 1978; Исагилов, 1986]. Основными минералами концентраторами селена, независимо от соотношения изоморфной и минеральной форм их присутствия, для всех уральских месторождений являются пирит, халькопирит, пирротин и галенит. Из минералов-селенидов в первичных рудах установлены минералы серии галенит-клаусталит (от $Pb_{1.01}(S_{0.98}Se_{0.02})_{1.00}$ до $Pb_{1.04}(S_{0.57}Se_{0.43})_{1.00}$) в рудах Летнего месторождения [Полуэктов и др., 1974ф], берцелианит (Cu_2Se) и круксейт ($Cu_7(Tl,Ag)Se_4$) – на месторождениях Баймакского рудного района [Минералогия Урала, 1991]. Принципиально новым является выявление минеральной формы селена – Те-науманнита в ассоциации с Ag-клаусталитом – в рудах Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения, расположенного в Узельгинском рудном поле на Южном Урале.

Среди колчеданных месторождений Урала Молодежное месторождение выделяется широкими вариациями содержания селена в рудах (от 40.6 до 145.6 г/т при среднем содержании 98 г/т) [Муталов, 1977]. Распределение селена в рудной залежи неравномерное, локальные участки концентрации этого элемента, в основном, приурочены к флангам месторождения, а поведение селена не имеет сходства ни с одним элементом сульфидной ассоциации.

Неравномерное распределение селена отмечается также в главных рудообразующих сульфидах [Муталов, 1977]. Например, в пиритах оно колеблется от 10 до 300 г/т, при этом максимальное количество селена выявлено в раннем пирите (среднее 160 г/т). Наиболее высокие средние содержания селена характерны для халькопирита (240 г/т). Среднее содержание селена в сфалерите низкое и составляет 30 г/т.

Нами минералы селена установлены в слоистых рудах, сложенных слоями халькопирит-баритовых руд и гематитовых госсанитов на западном фланге месторождения. Халькопирит-баритовые слои мощностью до 5–10 см, где сосредоточены селениды, имеют струйчато-прерывистый характер с невыдержанными тонкими прослоями кварц-баритовых слоев. Гематитовые слои представляют собой продукты полного субмаринного окисления сульфидных руд, о чем свидетельствуют многочисленные псевдоморфозы гематита по сульфидам. Такие руды обычно характерны для рудокластических циклитов, ассоциирующих с элювиальными зонами придонного гипергенеза колчеданных руд.

Выделения *халькопирита* и *барита* самые разнообразные как по размерам, так и по морфологии. При скрещенных николях в отраженном свете обнаруживается мелкозернистое строение халькопирита. С халькопиритом повсеместно ассоциируют сфалерит, кристаллически-зернистый пирит, галенит и теннантит. *Сфалерит* большей частью приурочен к краевым частям халькопиритовых обособлений. *Пирит* и *галенит* образуют включения в халькопирите и сфалерите, которые распределены неравномерно в слойках. Мельчайшие включения галенита также установлены в барите. В обогащенных пиритом слоях отмечается псевдоморфное развитие халькопирита по пириту. *Теннантит* замещает халькопирит с образованием пятнистой структуры. По составу он относится к цинк-теннантитам (мас. %): Cu 41.26–42.59; As 16.16–17.70; Zn 4.87–5.57; Fe 2.35–3.59; S 26.87–27.35, что, в целом, характерно для колчеданных месторождений [Мозгова, Цепин, 1983]. В теннантите и халькопирите отмечаются многочисленные изометричные включения самородного *золота* размером до 10 мкм (рис. 1а). Средний состав золота (8 ан.): Au 81.65 мас. %; Ag 18.18 мас. %.

Минералы селена сконцентрированы в халькопирите и на контакте халькопирита с баритом (рис. 1б) и представлены субмикроскопическими выделениями *клаусталита* и *науманнита*. В отраженном свете для клаусталита характерен свинцово-серый с голубоватым отливом цвет, а для науманнита – сероватый. Удлиненные, изогнутые и причудливые выделения селенидов размером до 15 мкм характеризуются специфическим составом. В составе клаусталита PbSe постоянно наблюдается в значительных ко-

личества примесь Ag (табл. 1, ан. 2–7), а в составе науманнита Ag_2Se – примесь Te (табл. 1, ан. 9–10). В большинстве случаев наблюдаются сростки Ag-клаусталита и Te-науманнита. Размер зерен Ag-клаусталита (до 15 мкм) намного превышает таковой Te-науманнита (3–4 мкм). Следует отметить, что клаусталит и науманнит без примесей встречаются очень редко (табл. 1, ан. 1 и 8).

Установленное многообразие акцессорных минералов в халькопирит-барит-гематитовых рудах Молодежного месторождения может рассматриваться как отражение процессов выщелачивания и повторного обогащения руд в процессе субмаринного гипергенеза. Многочисленные селениды, в том числе клаусталит (Джусинское, Западно-Озерное) и науманнит (Западно-Озерное, Юбилейное), установлены в окисленных рудах колчеданных месторождений Южного Урала [Belogub et al., 2008]. В колонке континентального гипергенного окисления они расположены в нижней части подзоны выщелачивания, вблизи ее границы с подзоной цементации. Считается, что источником селена в зоне окисления служили первичные галенит, высокотемпературный халькопирит или колломорфный пирит.

Обнаружение необычных минеральных ассоциаций селенидов в зоне субмаринного и континентального гипергенеза может быть рассмотрено с позиций равновесной термодинамики. Согласно расчетам, для эндогенных условий при температурах 100–300 °С клаусталит и науманнит устойчивы в широком диапазоне фугитивностей серы, селена и кислорода [Simon, Essene, 1996]. Установлено, что низкотемпературный ромбический науманнит Ag_2Se стабилен при температурах ниже 133 °С [Simon, Essene, 1996]. Расчеты при температуре 25 °С и значениях $pH = 5$ и $Eh = -0.1$ показывают, что селениды серебра и свинца могут образоваться при более низкой активности H_2Se по сравнению с активностью H_2S , необходимыми для образования соответствующих сульфидов [Belogub et al., 2008].

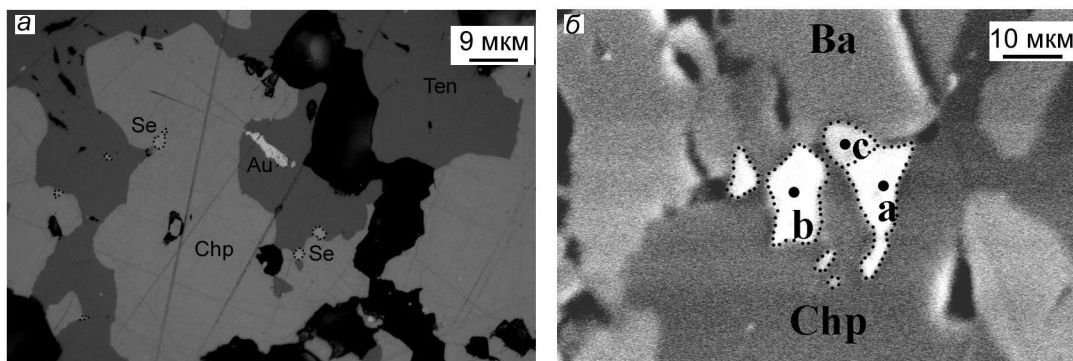


Рис. 1. Морфология золота и селенидов в рудах: а) включения (Au) и селенидов (Se) в халькопирит(Chp)-теннантитовой(Ten) ассоциации, отраженный свет; б – клаусталит (а, б) и Те-науманнит (с) на контакте халькопирита (Chp) и барита (Ba). SEM-фото.

Таблица 1

Химический состав клаусталита и науманнита (мас. %)

	Мол-09-2	Pb	Ag	Se	Te	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	18238a	72.32	–	27.68	–	100.00	$Pb_{1.00}Se_{1.00}$
2	18237a	66.04	6.01	27.95	–	100.00	$(Pb_{0.90}Ag_{0.16})_{1.06}Se_{1.00}$
3	18237e	67.90	3.40	28.71	–	100.01	$(Pb_{0.90}Ag_{0.09})_{0.99}Se_{1.00}$
4	18237f	67.51	3.39	29.11	–	100.01	$(Pb_{0.88}Ag_{0.09})_{0.97}Se_{1.00}$
5	18237g	67.35	3.41	29.24	–	100.00	$(Pb_{0.88}Ag_{0.09})_{0.97}Se_{1.00}$
6	18237c	66.23	4.87	28.90	–	100.00	$(Pb_{0.87}Ag_{0.12})_{0.99}Se_{1.00}$
7	18238g	64.57	6.73	28.70	–	100.00	$(Pb_{0.86}Ag_{0.17})_{1.03}Se_{1.00}$
8	16355	–	72.86	27.12	–	99.98	$Ag_{1.97}Se$
9	16355c	–	69.78	23.27	6.61	99.66	$Ag_{1.87}(Se_{0.85}Te_{0.15})_{1.00}$
10	16352b	–	69.38	13.61	16.46	99.45	$Ag_{2.13}(Se_{0.57}Te_{0.43})_{1.00}$
11	16352b	–	65.10	15.69	18.90	99.69	$Ag_{1.74}(Se_{0.57}Te_{0.43})_{1.00}$
12	18237b	–	69.88	18.17	11.96	100.01	$Ag_2(Se_{0.71}Te_{0.29})_{1.00}$
13	18237d	–	69.41	16.64	13.95	100.00	$Ag_{2.01}(Se_{0.66}Te_{0.34})_{1.00}$
14	18238f	–	69.98	16.26	12.57	98.81	$Ag_{2.13}(Se_{0.58}Te_{0.32})_{1.00}$
15	18238h	–	68.69	19.32	11.95	99.96	$Ag_{1.88}(Se_{0.72}Te_{0.28})_{1.00}$

Примечание. Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе с энергодисперсионной приставкой «РЭММА-2». Аналитик В. А. Котляров

Таким образом, повышенные содержания селена в халькопиритовых слоях колчеданных руд на флангах Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения связаны с присутствием его собственных минеральных форм: Ag-клаусталита и Те-науманнита. К этим же участкам руд тяготеет самородное золото, которое выделилось близко по времени с селенидами. Золото-галенит-барит-сульфосольный парагенезис минералов, содержащий селениды, обусловлен их устойчивостью в относительно окислительных условиях при низких температурах. Отсутствие теллуридов золота в слоистых рудах также предполагает пониженные температуры минералообразования. Источником повышенной концентрации селенидов в зоне субмаринного окисления колчеданных руд может быть высвобождение Se, Te, Ag, изоморфно входивших в состав рудообразующих минералов.

Авторы выражают благодарность д. г.-м. н. Е. В. Белогуб за консультацию. Работы поддержаны Интеграционным проектом УрО РАН с СО РАН № 09-И-5-2004 и Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (ГК № 14.740.11.1048, НК-544Р_14).

Литература

Исмагилов М. И. Зональность распределения селена и теллура в пирротинсодержащих колчеданных залежах Южного Урала // *Минералогия и геохимия и генезис полезных ископаемых Южного Урала* (под ред. М. А. Гаррис и др.). Уфа: БФАН СССР, 1986. С. 50–59.

Минералогия Урала / Под ред. Н. П. Юшкина. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 214 с.

Мозгова Н. Н., Цепин А. И. Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). М.: Наука, 1983. 280 с.

Муталов М. Г. О распределении селена и теллура в рудообразующих сульфидах некоторых месторождений Узельгинского рудного поля // *Геохимия.* 1977. С. 748–755.

Полуэктов А. Т., Еркомов В. И., Милашич А. И., Пономарева Р. П. и др. Отчет о разведке Летнего медноколчеданного месторождения на Южном Урале за 1969–74 гг. Оренбург, 1974. 199 с.

Юшкова-Захарова О. Е., Иванов В. В., Воробьева М. С., Дубакина Л. С., Разина И. С., Карпухина В. С. Геохимия селена, теллура, висмута в медно-цинково-колчеданных месторождениях Урала и некоторые вопросы колчеданного рудообразования // *Геохимия.* 1978. № 9. С. 1368–1378.

Belogub E. V., Novoselov K. A., Yakovleva V. A., Spiro B., Supergene sulphides and related minerals in the supergene profiles of VHMS deposits from the South Urals // *Ore Geology Reviews.* 2008. V. 33. Issue 3–4. P. 239–254.

Fouquet Y., Auclain G., Cambon P., Etoubleau J. Geological setting and mineralogical and geochemical investigations on sulfide deposits near 13 N of the East Pacific Rise // *Marine Geology.* 1988. V. 84. P. 145–178.

Hannington M. D., Bleeker W., Kjarsgaard I. Sulfide mineralogy, geochemistry and ore genesis of the Kidd Creek deposit // *Economic Geology Monograph.* 1999. V. 10. P. 163–224.

Layton-Matthews D., Peter J. M., Scott S. D., Leybourne M. I. Distribution, mineralogy, and geochemistry of selenium in felsic volcanic-hosted massive sulfide deposits of the Finlayson Lake District, Yukon Territory, Canada // *Economic Geology.* 2008. V. 103. P. 61–88.

Simon G., Essene E. J. Phase relations among selenides, sulfides, tellurides and oxides: Thermodynamic properties and calculated equilibria // *Economic Geology.* 1996. V. 91. P. 1183–1208.

Smith R. N., Huston D. L. Distribution and association of selected trace-elements at the Rosebery deposit // *Economic Geology.* 1992. V. 87. P. 706–719.

ЗОЛОТО И СЕРЕБРО В СУЛЬФИДНЫХ РУДАХ АМУРСКОГО ЦИНКОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

К. А. Новоселов, Е. В. Белогуб

*Институт минералогии УрО РАН, Миасс, Россия
Const@ilmeny.ac.ru*

Стратиформное полиметаллическое оруденение в осадочно-карбонатных породах на Южном Урале хотя и не имеет существенного экономического потенциала, но отражает специфику развития региона. Наиболее широкое развитие оно получило вдоль западного склона Южного Урала, где приурочено к рифейским отложениям депрессионно-рифтогенных прогибов вдоль восточного края Русской платформы. Наиболее крупным объектом здесь является Верхне-Аршинский рудный узел, включающий в себя по-