

Таким образом, в процессе нагрева внешним источником дисперсные капли золота движутся к поверхности руды по порам под действием термокапиллярного давления. После расплавления вмещающей породы они флотируются пузырьками газов. В процессе флотации идет коагуляция. В результате происходит концентрирование золота на поверхности образующегося оксидного расплава и укрупнение частиц до размеров, позволяющих извлекать золото гравитационными методами.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-08-0076.*

### Литература

*Амдур А. М., Ватолин Н. А.* Кинетика вытекания металлических капель из пористого тела // *Расплавы*. 1991. № 5. С. 105–107.

*Коробейников А. Ф., Гусев А. И., Красова А. С.* Восстановленные интрузивно-гидротермально-метасоматические золоторудные системы // *Известия Томского политехнического университета*. 2012. Т. 321. № 1.

***А. В. Вишневский<sup>1</sup>, Е. В. Белогуб<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> – *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
st011798@student.spbu.ru*

<sup>2</sup> – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

### **Геохимические особенности поведения селена в приповерхностных условиях (на примере Юбилейного месторождения золота в бурых железняках, Южный Урал)**

В связи с биологической ролью селена в последние годы значительно возрос интерес к выявлению особенностей его поведения в окружающей среде. Источники его поступления в биосферу могут быть природного (зоны окисления рудных месторождений, вулканические газы, осадочные горные породы, содержащие селениды) и техногенного (хвосты и отвалы рудодобывающих предприятий, отходы промышленного производства и эксплуатации атомных электростанций) происхождения. Поэтому проблема поведения селена в приповерхностной обстановке исключительно важна.

На Урале основные концентрации селена связаны с колчеданными месторождениями, где он находится, в основном, в виде примеси в рудообразующих сульфидах, преимущественно – в халькопирите, в то время как собственные минералы селена редки [Масленников и др., 2014]. Тем не менее, в нижней части зоны окисления ряда колчеданных месторождений Южного Урала описаны гипергенные селениды Рb, Hg, Ag, Fe [Belogub et al., 2008]. Также селениды обнаружены в породах железной шляпы Амурского стратиформного месторождения цинка [Блинов, 2015]. Находки селенидов в нетипичной для них окислительной обстановке верхней части зоны окисления и послужили толчком для постановки работы, целью которой является установление закономерностей поведения селена в окисленных рудах Юбилейного медноколчеданного месторождения на Южном Урале. *Задачи* включали оценку содержания селена в породах методом РФА (портативный анализатор Innov-X Omega, предел обнаружения Se около 5 г/т), оптико-микроскопический и электронно-микроскопический (сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N, аналитики

Н. С. Власенко и В. В. Шиловских) анализ базовых образцов, в которых предварительно были диагностированы селениды, и расчет диаграмм в координатах Eh-pH в системах с M-Se-H<sub>2</sub>O и M-S-H<sub>2</sub>O (M = Hg, Pb, Ag) для оценки устойчивости селенидов в окислительной обстановке при помощи программного комплекса Geochemist's Workbench (GMB 7.0). В работе использованы пробы и образцы, отобранные в карьере месторождения в 2003–2004 гг. К. А. Новоселовым и Е. В. Белогуб (ИМин УрО РАН).

Юбилейное месторождение находится в 100 км к югу от г. Сибай (Башкортостан). С погребенной зоной окисления колчеданных руд связано Юбилейное месторождение золота в бурых железняках, которое было разведано в 1992–1994 гг. ЮВГРЭ [Татарко и др., 1996ф]. К настоящему времени окисленные руды отработаны. При разведке золотоносных пород месторождения в полуокисленных рудах был диагностирован науманнит в ассоциации с реликтовым халькопиритом [Татарко и др., 1996ф]. Химический состав золотоносных пород месторождения характеризуется повышенными концентрациями селена, которые особенно высоки в сульфидно-кварцевых сыпучках с вторичными сульфидами меди (до 126 г/т) [Белогуб, 2009ф].

Месторождение является классическим примером колчеданных объектов уральского типа. Основное его отличие от большинства уральских объектов – наличие мощного чехла перекрывающих мезозойско-кайнозойских осадочных пород. Первичные медноколчеданные руды локализованы в базальтах, андезибазальтах, андезитах, дацитах, риолитах и вулканогенно-обломочных породах. Рудные тела расположены в синвулканической депрессии и залегают согласно с вмещающими породами [Медноколчеданные..., 1988].

В геологическом строении мезо-кайнозойского чехла участвуют (снизу-вверх) отложения триасового, среднеюрского и неоген-четвертичного возраста. Золотоносная зона окисления сформировалась в триасе [Татарко и др., 1996ф] и представлена плотными и охристыми бурыми железняками, образованными по массивным колчеданным рудам, и глиноподобными продуктами окисления сульфидсодержащих околорудных метасоматитов, которые могут быть сопоставлены с образованиями «железной шляпы». В подошве перекрывающих углесодержащих морских осадков залегает слой базальных конгломератов с продуктами размыва зоны окисления. Между первичными рудами и бурыми железняками залегают кварц-пиритовые сыпучки, неравномерно обогащенные вторичными сульфидами меди (зоны выщелачивания и вторичного сульфидного обогащения по С. С. Смирнову), которые постепенно сменяются первичными рудами [Новоселов и др., 2005].

Методами электронной микроскопии и микрозондового анализа в базовых образцах были обнаружены собственные минеральные фазы селена – науманнит (Ag<sub>2</sub>Se), тиманнит (HgSe) и клаусталит (PbSe) [Блинов и др., 2016]. Селениды обнаружены в виде очень мелких зерен, которые ассоциируют с вторичными сульфидами меди в зоне вторичного сульфидного обогащения, а также с гетитом в породах железной шляпы.

Нами были рассчитаны Eh-pH диаграммы в системах с M-Se-H<sub>2</sub>O и M-S-H<sub>2</sub>O. Расчетам предшествовало расширение термодинамической базы данных – внесение в нее дополнительного химического элемента (Hg) и содержащих его твердых фаз и частиц в растворе. Термодинамические характеристики для Se, Pb и Fe (в форме логарифмов констант равновесия реакций диссоциации частиц в растворе и реакций растворения твердых фаз) были взяты из работы [Кривовичев и др., 2010], а для Hg и Ag – рассчитаны нами из данных справочника [Olin et al., 2005]. Диаграммы рассчитаны для 25 °C и давления 1 бар. В качестве примера представлены диаграммы Ag-Se-H<sub>2</sub>O и Ag-S-H<sub>2</sub>O, Hg-Se-H<sub>2</sub>O и Hg-S-H<sub>2</sub>O, Fe-Se-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> и Fe-S-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> (рис.).

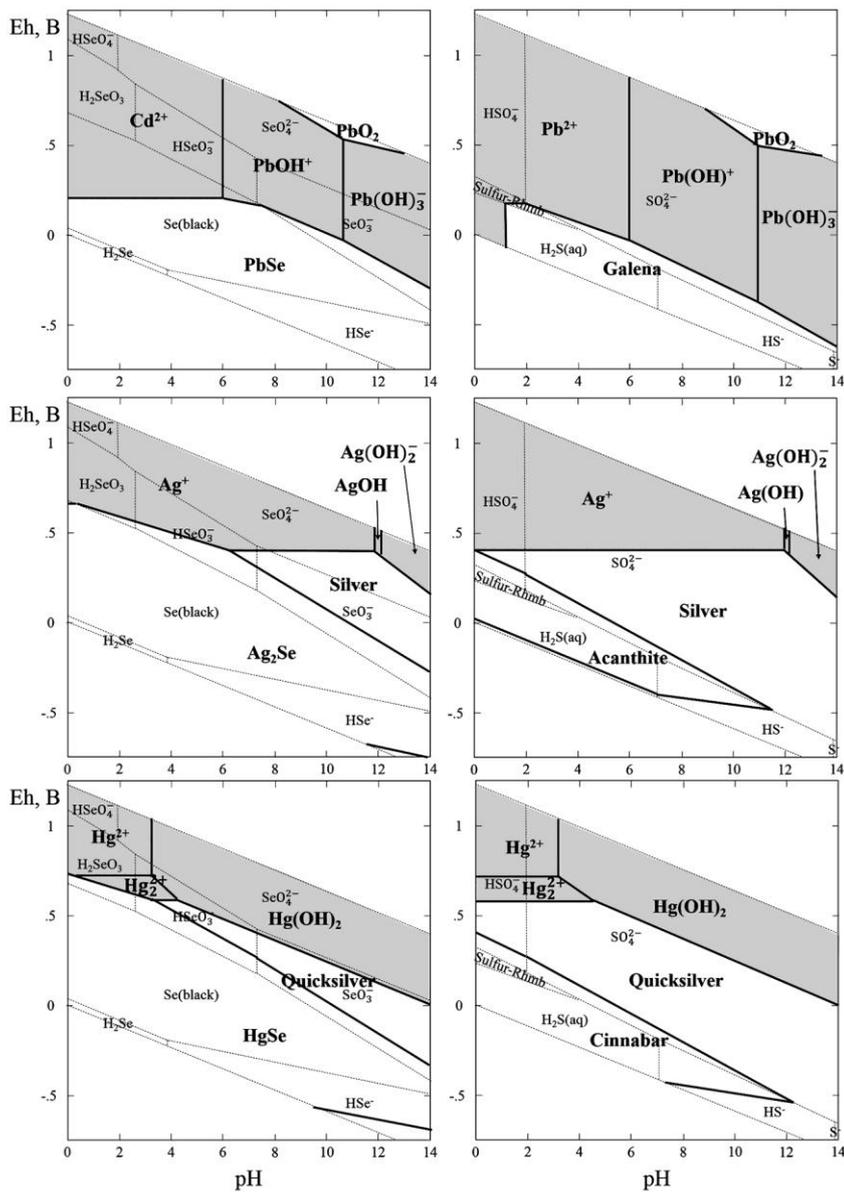


Рис. Eh-pH диаграммы в системах Ag-S-H<sub>2</sub>O (верхний ряд слева) и Ag-Se-H<sub>2</sub>O (верхний ряд справа), активность [Ag<sup>+</sup>]=10<sup>-7</sup>; Hg-S-H<sub>2</sub>O (средний ряд слева) и Hg-Se-H<sub>2</sub>O (средний ряд справа), активность [Hg<sup>2+</sup>]=10<sup>-7</sup>; Fe-S-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> (нижний ряд слева) и Fe-Se-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> (нижний ряд справа), активность [Fe<sup>2+</sup>]=10<sup>-4</sup>; для [SeO<sub>3</sub><sup>-</sup>]=10<sup>-5</sup>, [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]=10<sup>-3</sup>, [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]=10<sup>-2</sup>.

На диаграмме с железом активность гидрокарбонат-иона соответствует появлению сидерита в системе. Сравнение границ полей устойчивости сульфидов и селенидов показывает, что последние более устойчивы в окислительной обстановке при низких температурах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГУ (проект 3.38.286.2015) с использованием оборудования ресурсного центра «Геомодель». Авторы благодарны М. В. Чарыковой за консультации и К. А. Новоселову за предоставленные образцы.*

### Литература

Белогуб Е.В. Гипергенез сульфидных месторождений Южного Урала / Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009ф.

Блинов И. А., Белогуб Е. В., Новоселов К. А. Гипергенные самородные металлы, интерметаллиды, сульфиды и селениды в бурых железняках Юбилейного медноколчеданного месторождения, Южный Урал // Металлогения древних и современных океанов–2016. От минералогенеза к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 106–109 (настоящий сборник).

Блинов И. А. Самородные металлы, селениды, галогениды и ассоциирующие минералы из бурых железняков Амурского и Верхне-Аршинского месторождений (Южный Урал) // Литосфера. 2015. № 1. С. 65–74.

Кривовичев В. Г., Чарыкова М. В., Яковенко О. С., Денмайер В. Термодинамика арсенатов, селенидов и сульфатов в зоне окисления сульфидных руд. IV. Диаграммы Eh–pH для систем Me–Se–H<sub>2</sub>O (Me=Co, Ni, Fe, Cu, Zn, Pb) при 25 °C // Записки РМО. 2010. Т. 139. № 4. С. 1–15.

Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Масленникова С. П., Третьяков Г. А., Мелекесцева И. Ю., Сафина Н. П., Белогуб Е. В., Ларж Р. Р., Данюшевский Л. В., Целуйко А. С., Гладков А. Г., Крайнев Ю. Д. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 339 с.

Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение / Прокин В. А., Буслаев Ф. П., Исмагилов М. И. и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 242 с.

Новоселов К. А., Белогуб Е. В., Садыков С. А. Золотоносная зона гипергенеза Юбилейного месторождения (Ю. Урал) // Металлогения древних и современных океанов–2005. Формирование месторождений на разновозрастных океанических окраинах. Миасс: УрО РАН, 2005. Т. I. С. 198–203.

Татарко Н. И. и др. Залежи бурых железняков Юбилейного месторождения. Отчет о предварительной разведке с подсчетом запасов на 01.12.1996. 1996, фонды ЮВГРЭ.

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. Vol. 33. Is. 3–4. P. 239–254.

Olin A., Nolang B., Osadchii E. G., Ohman L.-O., Rosen E. Chemical thermodynamics of selenium. Amsterdam: Elsevier, 2005. 851 p.

**М. В. Заботина**

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс  
mary\_7-88@mail.ru*

### **Минералогия и условия образования Ганеевского месторождения золота (Учалинский рудный район, Южный Урал) (научный руководитель Е. В. Белогуб)**

Основные золоторудные месторождения на Южном Урале сосредоточены в зоне Главного Уральского разлома, Магнитогорской и Восточно-Уральской мегазонах. Они имеют различную формационную принадлежность, а часть из них можно отнести к орогенным. Учалинский золоторудный район Башкирии принадлежит к