

ПОВЕДЕНИЕ РУДНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА С СОСТАВОМ, БЛИЗКИМ К ПРИРОДНОЙ Fe-Cu-Ni-S МАГМАТИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ, С МИКРОПРИМЕСЯМИ Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Au, Ag

Синякова Е.Ф. (ИГМ СО РАН), Косяков В.И. (ИНХ СО РАН),

Павлюченко В.С. (ИГМ СО РАН)

efsin@uiggm.nsc.ru, факс: (383) 333-2790, тел.: (383) 333-3026

kosyakov@che.nsk.su, факс: (383) 330-9489, тел.: (383) 330-9259

Ключевые слова: Система Cu-Fe-Ni-S, элементы платиновой группы, Au, Ag, направленная кристаллизация, коэффициенты распределения

В настоящее время имеется недостаток количественных данных для полного описания фазовых превращений, происходящих при охлаждении расплавов системы Fe-Cu-Ni-S, в области составов, соответствующих магматической сульфидной жидкости. Ряд авторов [1-6] отмечают большой дефицит экспериментальных данных по коэффициентам распределения (k) примесей благородных металлов, что не позволяет построить адекватные модели для описания их фракционирования. В настоящей работе впервые проведена направленная кристаллизация расплава, близкого по составу к природному Fe-Cu-Ni-S расплаву, из которого формировались сульфидные руды магматогенных месторождений типа Норильска и Садбери. В расплав были введены микропримеси благородных металлов.

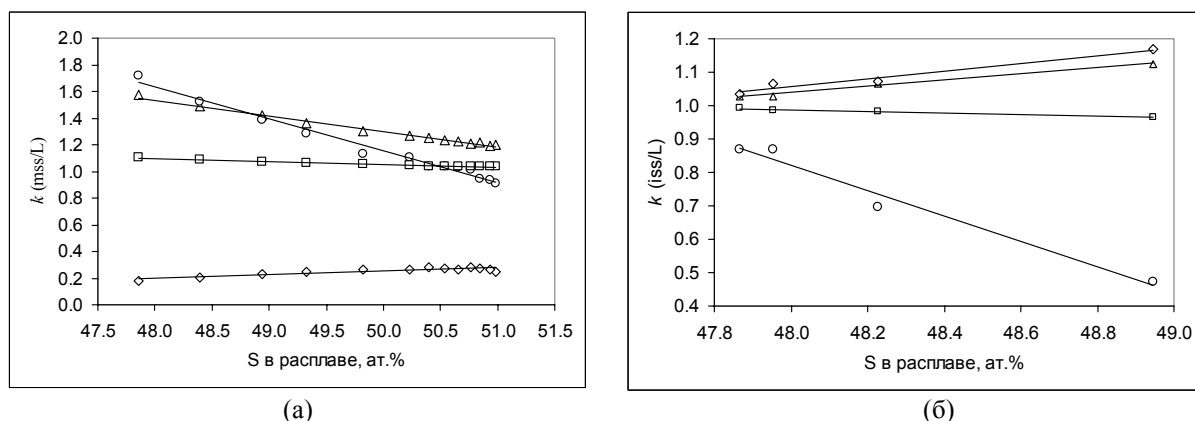


Рис.1. Зависимости коэффициентов распределения Cu, Fe, Ni и S (ромбы, треугольники, кружки и квадраты соответственно) между mss и L (а) и iss и L (б) от концентрации серы вдоль пути кристаллизации.

Образец состава (в ат.%): Fe 32.55, Cu 10.70, Ni 5.40, S 51.00, Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Au и Ag по 0.05 был закристаллизован по методу Бриджмена со скоростью $2.3 \cdot 10^{-8}$ м/с по методике, разработанной для системы Fe-Ni-S [7]. Выбранная скорость кристаллизации обеспечивала реализацию квазиравновесного режима процесса. Температура в нижнем конце кварцевого контейнера в начале и в конце кристаллизации была 1046 и 721°C соответственно. Слиток длиной около 70 мм и диаметром 8 мм был разрезан на 24 части сечениями, перпендикулярными продольной оси. Фрагменты слитка были использованы для приготовления шлифов. Для их изучения применяли оптическую и электронную микроскопию, рентгенофазовый и микрорентгеноспектральный анализ. Начальная часть слитка до $g \sim 0.68$ (g – доля закристаллизовавшегося расплава) представляла собой монокристаллическую матрицу Fe-mss с продуктами твердофазного распада в виде системы вытянутых включений халькопирита, расположенных перпендикулярно оси роста. Размер включений постепенно увеличивается к концу этой части слитка. Халькопирит (Fe,Cu) S_2 обогащен Fe (Fe:Cu = 1.66) и содержит около 1 ат.% Ni при $g = 0.68$. Высокотемпературный mss не сохраняется при охлаждении и переходит в низкотемпературную моноклинную модификацию до $g = 0.03$, а на остальном участке (до $g = 0.68$) – в mss, аналогичный

сверхструктурному гексагональному пирротину (Пр. гр. P31) [8]. Его состав при $g = 0.68$ соответствует формуле $\text{Fe}_{0.372}\text{Ni}_{0.085}\text{Cu}_{0.010}\text{S}_{0.533}$. Следующая часть представляла собой монокристаллическую матрицу iss с продуктами твердофазного распада, представленными смесью халькопирита, борнита, пентландита и пирротина. По данным химического анализа mss и iss были построены кривые распределения макрокомпонентов и зависимости их k (mss/L) и (iss/L) от состава расплава вдоль пути кристаллизации (рис. 1а,б). В процессе кристаллизации mss (рис. 1а) расплав обогащается медью и обедняется железом, никелем и серой. При уменьшении содержания S в расплаве k Ni и Fe (mss/L) увеличиваются, причем наиболее значительно для Ni (от 0.9 в начале кристаллизации mss до 1.5 к моменту окончания его кристаллизации). При этом k Cu и S остаются постоянными: 0.25 ± 0.03 и 1.05 ± 0.02 соответственно. В процессе кристаллизации iss (рис. 1б) Cu и Fe концентрируются в этой фазе, а расплав обогащается Ni. При этом k S близок к 1.

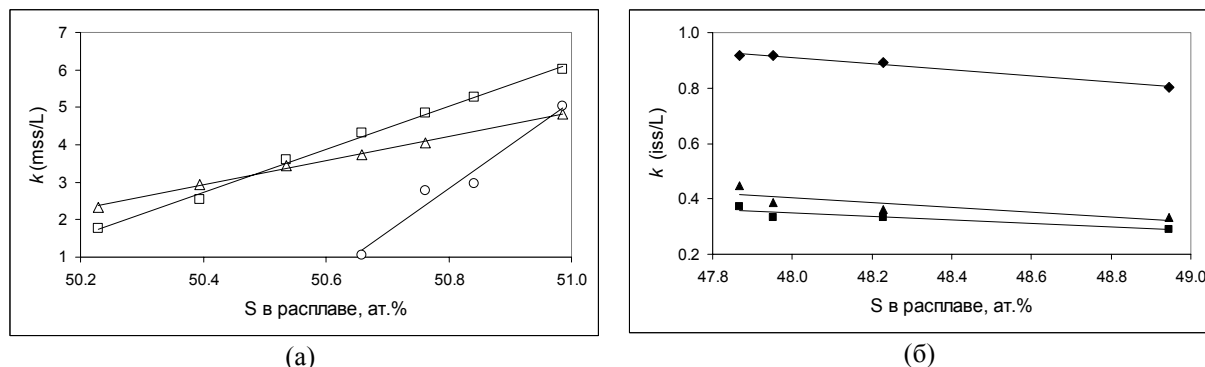


Рис.2. Зависимости коэффициентов распределения Rh, Ru и Ir (треугольники, квадраты и кружки соответственно) между mss и L (а) и Pd, Ag и Au (затененные квадраты, треугольники и ромбы) между iss и L (б) от концентрации серы вдоль пути кристаллизации.

В точке фазовой реакции, связанной с окончанием кристаллизации mss и началом выделения iss из расплава, траектория изменения состава твердой фазы претерпевает разрыв, а расплава – излом. Переход от одного участка к другому можно интерпретировать как протекание бивариантной фазовой реакции: $L + \text{mss} \rightarrow \text{iss}$.

Для благородных металлов выявлено подобие поведения Rh, Ru и Ir, которые переходят в начальные порции кристаллизующегося mss ($k_{\text{mss/L}} > 1$) (рис. 2а), а Pt, Pd и Au – в сульфидный расплав ($k_{\text{iss/L}} < 1$) (рис. 2б). При росте содержания S в расплаве k Rh, Ru и Ir (mss/L) увеличиваются, а k Pt, Pd и Au (iss/L) слабо уменьшаются. Установлены формы выделения собственных фаз благородных металлов. Это кристаллы лаурита с примесью (в ат.%) 2.8 Ir, 2 Fe, по 0.4 Pd и Cu и 0.3 Ni в матрице mss в начале слитка. В конечной его части при кристаллизации iss из расплава образуются многочисленные мелкие кристаллы и зерна собственных фаз Pd, Pt и Ag: высокоцит с примесью (в ат.%) 7.5 Ni, 2 Cu, 1 Fe, 0.5 Au; Pt-содержащий сульфид CuPt_2S_4 с примесью около 9 ат.% Ni и 6 Fe; Ag с примесью 3.5 ат.% Cu, 0.4 Pd и 0.1 Pt и др. Медистый пентландит (до 3.2 ат.% Cu), образующийся при распаде iss, концентрирует до 0.34 ат.% Pd.

Полученные результаты могут быть использованы для моделирования фракционирования рудных компонентов при формировании массивных платиносодержащих Cu-Ni-сульфидных руд, выявления причин их зональности и присущих различным минеральным зонам форм выделения микропримесей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-05-64172)

Литература

1. Li C. et al. // *Economic Geology*. 1992. V. 87. PP. 1584-1598.
2. Li C., Naldrett A.J. // *Economic Geology*. 1995. V. 89. PP. 1599-1601.
3. Barnes S.-J. et al. // *Canad. J. Earth Sci.* 1997. V. 34. PP. 366-374.
4. Ebel D.S., Naldrett A.J. // *Can. J. Earth Sci.* 1997. V. 34. PP. 352-365.

5. Naldrett A.J. *et al.* // Eur. J. Mineral. 1997. № 9. PP. 365-377.
 6. Ballhaus C., Tredoux M., Spath A. // J. Petrology. 2001. V. 42. N10. PP. 1911-1926.
 7. Косяков В.И., Синякова Е.Ф. // Геохимия. 2005. №4. СС. 415-428.
 8. Powder Diffraction File. Inorganic Index. Card 240220 (International Center for Diffraction Data File, Pennsylvania, USA).
-

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(24) 2006

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2006)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/term-46.pdf

Опубликовано 1 июля 2006 г

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2006

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна