

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ, ВТОРИЧНОЙ И ПРИМЕСНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД ПРИ ФРАКЦИОННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ Cu-Fe-Ni-S-(Pt, Pd) РАСПЛАВОВ**Снякова Е.Ф. (ИГМ СО РАН), Косяков В.И. (ИНХ СО РАН)***efsin@uiggm.nsc.ru*; факс: (383) 333-27-90; тел.: (383) 333-30-26*kosyakov@che.nsk.su*; факс: (383) 330-94-89; тел.: (383) 330-92-59

Ключевые слова: *система Cu-Fe-Ni-S, фракционирование, направленная кристаллизация, зональность, платиновые металлы*

Рудные тела платиноносных магматогенных Cu-Ni месторождений типа Норильска делятся на зоны с разным минеральным и химическим составом [1-3]. В работах [4, 5] проведено теоретическое и экспериментальное обоснование возможности лабораторного моделирования фракционной кристаллизации расплавов, имитирующих по составу природные сульфидные магмы. В настоящей работе проведена квазиравновесная направленная кристаллизация расплава, близкого по составу к пирротин-кубанитовому типу массивных сульфидных руд Талнахского месторождения (Fe 38,40, Cu 9,65, Ni 2.50, S 49.35, Pt = Pd = 0.05 ат.%) по методике, описанной в работе [6]. Направленную кристаллизацию образца осуществляли, опуская ампулу с гомогенным расплавом из горячей зоны в холодную со скоростью $2.3 \cdot 10^{-8}$ м/с. Эти условия обеспечивали протекание процесса в квазиравновесном режиме. Температура в нижнем конце кварцевого контейнера в начале кристаллизации была 1097 °С. Полученный цилиндрический слиток длиной ~ 75 мм и диаметром ~ 7 мм разрезали на 24 части перпендикулярно продольной оси на пластинки толщиной ~3 мм, каждая из которых была взвешена. Затем часть из них была использована для приготовления аншлифов и их изучения методами микроскопического, микрорентгеноспектрального и рентгенофазового анализа.

В начале кристаллизации из расплава выделялся моносульфидный твердый раствор (mss), а затем промежуточный твердый раствор (iss). Конечная часть слитка состояла из смеси сульфидных фаз. Последовательность первичных сульфидных фаз mss/iss имитирует пространственную дифференциацию компонентов в рудном теле и отражает первичную минеральную зональность. Перераспределение макрокомпонентов между кристаллами и расплавом в процессе кристаллизации приводит к постепенному изменению состава твердых растворов, т.е. первичной химической зональности рудного тела. По результатам измерения состава твердого слитка по уравнениям материального баланса компонентов рассчитывали состав расплава в произвольный момент кристаллизации [7]. Экспериментальные кривые распределения Cu и Ni в образце показаны на рис. 1. По данным о распределении компонентов в слитке определены коэффициенты распределения компонентов (k) между твердыми растворами и сульфидным расплавом. Так, k (mss/L) меняется в следующих пределах: Fe 1.2 - 1.5, Ni 0.7 - 1.2, Cu 0.15 - 0.3, S 1.05 - 1.1, а k (iss /L) - в пределах: Fe 0.84-1.03, Ni = 0.45 - 0.7, Cu 0.96 - 1.47, S 0.95 - 1.02.

При охлаждении твердых растворов mss и iss, выделившихся из расплава, происходят твердофазные процессы, приводящие к изменению фазового состава образца. Характер твердофазного распада зависит от состава твердого раствора. Зона первичного mss разбивается на две подзоны: (Ia), соответствующую распаду обедненного по никелю mss, и (Iб), образованную при распаде обогащенного никелем mss (рис. 1). Зона Ia занимает около 60% слитка. Матрица гексагонального ро (тип 7C) включает ламели изокубанита (sub) состава $Fe_{34.2}Cu_{14.9}Ni_{0.8}S_{50.1}$, количество которого увеличивается к концу зоны, где наряду с ламелями появляются зерна изокубанита. В зоне Iб (около 10% слитка) в матрице гексагонального ро присутствуют ламели sub и включения Fe-пентландита (Fe-pn), содержащего до 6.0 ат.% Cu. Зона II (около 20% слитка) представляла собой многофазную смесь продуктов распада высокотемпературного iss состава $Cu_{27.5}Fe_{25.6}Ni_{1.6}S_{45.3}$. В результате распада образовалась матрица фазы хейкокитового (hc) состава $Fe_{29.7}Cu_{22.9}S_{47.4}$, включающая несколько фаз. В ней распределены вытянутые ориентированные включения борнита I (bn I) состава

$\text{Fe}_{14.1}\text{Cu}_{45.0}\text{S}_{40.9}$, зерна борнита II (bn II) состава $\text{Fe}_{5.4}\text{Cu}_{59.5}\text{S}_{35.1}$ близкого к дигениту, тонкие ориентированные ламели Fe-pn состава $\text{Fe}_{29.8}\text{Ni}_{22.7}\text{Cu}_{1.4}\text{Pd}_{0.3}\text{S}_{45.9}$ и неоднородные зерна среднего состава $\text{Fe}_{23.4}\text{Cu}_{17.9}\text{Ni}_{14.0}\text{S}_{43.7}$, состоящие из Fe-pn состава ($\text{Fe}_{31.5}\text{Ni}_{15.9}\text{Cu}_{6.0}\text{Pd}_{0.1}\text{S}_{46.5}$) и богатого медью bn II. Таким образом, в результате твердофазного распада образуется обедненный по Ni и Cu iss. Избыток Ni преимущественно переходит в ламели и зерна пентландита, а избыток Cu – в основном в ламели и зерна борнита.

Таким образом, изменение химического состава образца отражает первичную зональность, соответствующую составам минералов, выделившихся непосредственно из расплава. Наблюдаемая минеральная зональность в образце отражает результаты твердофазного распада первичных минералов, т.е. вторичную минеральную зональность образца, которая и наблюдается в природе.

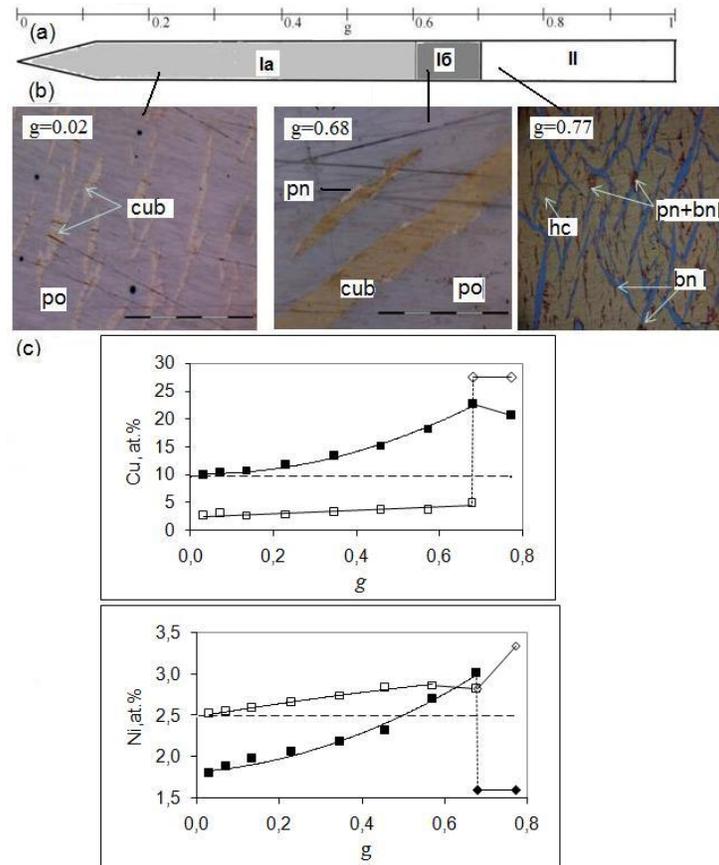


Рис.1. Схема закристаллизованного образца (а), его микроструктура (b) и кривые распределения Cu и Ni (с). g - доля закристаллизовавшегося расплава. Открытые квадраты и ромбы показывают концентрации компонентов в расплаве, закрытые – в твердых фазах. Штриховой горизонтальной показана концентрация компонента в исходном расплаве. po - гексагональный пирротин (тип 7C), cub - изокубанит, pn – богатый Fe пентландит, hc - хейкоцит, bn I - борнит I, bn II - борнит II

Для примесей Pt и Pd также наблюдается химическая зональность: при кристаллизации mss и iss они частично входят в состав этих твердых растворов, а также выделяются в виде самостоятельных минералов: хонгшита ($\text{Pd}_{50}\text{Cu}_{38}\text{Fe}_{12}$), василита ($\text{Pd}_{51.9}\text{Cu}_{17.8}\text{Fe}_{1.2}\text{Ni}_{0.3}\text{S}_{28.9}$), изоферроплатины (Pt_3Fe) и др. Процессы твердофазного распада приводят к перераспределению этих примесей между твердыми фазами, так, фиксируется переход Pd в пентландит. Окончательное распределение примесей в рудном теле, в том числе их самостоятельных минералов, образует примесную зональность рудного тела.

Общепринято, что основным механизмом концентрирования компонентов при образовании сульфидных руд является процесс фракционной кристаллизации. Нами показано физико-химическое подобие между процессами направленной кристаллизации в лабораторных и природ-

ных условиях [4]. Поэтому описанные выше результаты должны отражать основные особенности строения рудных тел. В литературе имеются данные о химической неоднородности рудных тел [2, 8], отражающие их химическую зональность. Эти данные позволяют сделать вывод о характере первичной кристаллизации магматических сульфидных расплавов. Эти же данные отражают неоднородность распределения минералов в сплошных рудах, т.е. вторичную зональность. Отметим, что по минералогическим данным выделено два типа минеральной зональности сплошных руд: от пирротиновых к халькопиритовым (тип 1) и от пирротиновых к кубанитовым и рудам, состоящим из низкосернистых минералов группы халькопирита (хейкокита, моихукита или талнахита) (тип 2) [1]. В нашем образце по преимущественному выделению минерала наблюдается переход от пирротина к кубаниту и хейкокиту, что в целом подтверждает особенности распределения руд во втором типе зональности.

Первичные и вторичные процессы минералообразования сопровождаются перераспределением ЭПГ между основными рудообразующими сульфидами, а также их выделением в виде самостоятельных минералов. Таким образом, их поведение отражает как основные процессы фазообразования в системе, так и химическое своеобразие каждой из примеси. Поэтому для ЭПГ также должна наблюдаться как химическая, так и минеральная зональность, характеризующая особенности их распределения в рудном теле.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-05-00357-а и гранта Отделения наук о Земле № ОНЗ-2.1

Литература

1. Генкин А.Д., Дистлер В.В., Гладышев Г.Д. и др. Сульфидные медно-никелевые руды Норильских месторождений // М.: Наука. 1981. 234 с.
2. Дистлер В.В., Гроховская Т.Л., Евстигнеева Т.Л. и др. Петрология сульфидного магматического рудообразования // М.: Наука. 1988. 230 с.
3. Naldrett A.J. Magmatic Sulfide Deposits. Geology, geochemistry and Exploration // Springer. 2004. 727 p.
4. Снякова Е.Ф., Косяков В.И. // ДАН. 2007. Т. 417. № 4. С. 522-527.
5. Снякова Е.Ф., Косяков В.И. // ДАН. 2009. Т. 426. №5.
6. Косяков В.И., Снякова Е.Ф. // Геохимия. 2005. №4. С. 415-428.
7. Косяков В.И. // Геол. геоф. 1998. Т. 39. № 9. С. 1242-1253.
8. Горбачев Н.С., Налдретт А.Д., Кунилов В.Е., Азиф М. // Докл. РАН. 2000. Т. 37. № 3. С. 362-365.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/1-2009/informbul-1_2009/magm-26.pdf

Опубликовано 1 сентября 2009 г.

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009

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