

**О ФАЗАХ В СИСТЕМЕ Pt-Fe****Евстигнеева Т.Л. (ИГЕМ РАН)***evst@igem.ru*


---

 Ключевые слова: *Природные сплавы Pt-Fe, фаза Pt<sub>2</sub>Feб СЭМ+ЭДД, РФА, условия образования*

Известно, что в системе Pt-Fe при  $T > 835^{\circ}\text{C}$  существует полная серия твердых растворов,  $(\text{Pt,Fe})_{\text{ss}}$ , а в субсолидусной области три упорядоченных соединения:  $\text{Pt}_3\text{Fe}$ ,  $\text{PtFe}$ ,  $\text{PtFe}_3$ .  $(\text{Pt,Fe})_{\text{ss}}$  характеризуется разупорядоченной кубической структурой типа Cu (Пр.гр.Fm3m). Структура  $\text{Pt}_3\text{Fe}$  - упорядоченная кубическая типа  $\text{Cu}_3\text{Au}$  (Пр.гр.Pm3m).  $\text{PtFe}$  - тетрагональная фаза (Пр.гр.P4/mmm). Согласно Л.Кабри и М.Фезеру [1] известны четыре минерала Pt-Fe: самородная платина с разупорядоченной гранецентрированной кубической структурой (fcc, пр.гр.Fm3m) и содержанием платины  $> 80$  ат.%; железистая платина с разупорядоченной гранецентрированной кубической структурой (fcc, пр.гр. Fm3m) и содержанием Fe между 20 и 50 т.%; изоферроплатина с упорядоченной примитивной кубической структурой (рсс, пр.гр. Pm3m) и содержанием Fe между 25 и 35 ат.%; и тетраферроплатина с тетрагональной структурой (пр.гр.P4/mmm) и содержанием железа примерно 45 - 55 ат.%, что соответствует  $\sim \text{PtFe}$ . Природные Pt-Fe сплавы - наиболее распространенные минералы платиновых металлов, характерные для различных геологических обстановок (ультрамафитовых комплексов уральского или аляскинского типа, офиолитовых массивов, дифференцированных мафитовых интрузивов и др.). В многочисленных публикациях А.Д.Генкина, Л.Кабри, З.Йохана, Т.Оже, Х.Причард, О.Талхаммера, М.Таркиана, А.Мочалова, К.Малича, Д.Гарути, Е.Аникиной, Г.Щеки и многих других приведены данные по составу и свойствам минералов этой группы. Однако, несмотря на их хорошую изученность остается ряд вопросов. Кроме стехиометрических изоферроплатины,  $\text{Pt}_3\text{Fe}$ , и тетраферроплатины,  $\text{PtFe}$ , встречаются платино-железные фазы с другими формулами. Еще А.Г.Бетехтин [2] отмечал, что ферроплатина из Нижнетагильских россыпей характеризуется отношением  $\text{Pt:Fe} = 1:1 - 2:1$ . Для «поликсена» (по современной классификации железистая платина) это соотношение варьирует от 3:2 до 3:1.

Можно дать несколько ответов на вопрос, почему в ряде случаев состав минералов отвечает  $\text{Pt}_2\text{Fe}$ : 1)  $\text{Pt}_2\text{Fe}$  - еще одна фаза в системе; 2) состав « $\text{Pt}_2\text{Fe}$ » соответствует не гомогенному соединению, а тонкому сростанию  $\text{Pt}_3\text{Fe}$  и  $\text{PtFe}$ ; 3) состав  $\text{Pt}_2\text{Fe}$  принадлежит железистой платине, неупорядоченному тв. раствору в системе Pt - Fe. Если  $\text{Pt}_2\text{Fe}$  действительно новая фаза системы Pt - Fe, она должна быть упорядоченной и обладать оригинальной структурой. Если это – сростание  $\text{Pt}_3\text{Fe}$  и  $\text{PtFe}$ , на рентгенограмме должны присутствовать отражения этих фаз. В случае третьего варианта на рентгенограмме будут только отражения, характерные для пр.гр.Fm3m. Следует заметить, что система Pt - Fe очень хорошо изучена: высокотемпературное поле занято твердым раствором, и если  $\text{Pt}_2\text{Fe}$  – новая фаза, она должна быть соединением со структурой, производной от кубической структуры Cu.

Чтобы проверить гомогенно ли соединение « $\text{Pt}_2\text{Fe}$ » и если да, упорядочена ли структура этого соединения, с помощью камеры Гандольфи были получены рентгеновские характеристики зерен состава « $\text{Pt}_2\text{Fe}$ » из ультраосновных массивов Инагли, Кондер, Гули и Нижний Тагил (Россия, коллекция К. Малича) и из россыпей комплекса Юбдо, Эфиопия. Эти же самородки были изучены с помощью СЭМ+ЭДД (JSM-5300 + Link ISIS).

Состав природных сплавов Pt-Fe из Инагли, Кондер, Гули и Нижнего Тагила:  $\text{Pt}_{2\pm x}\text{Fe}$ ,  $0 < x < 0.2$  (9 образцов;  $\text{Pt}_3\text{Fe}_2$  (1 образец); и  $\text{Pt}_3\text{Fe}$  (5 образцов). Установлено, что состав « $\text{Pt}_2\text{Fe}$ » характеризует либо железистую платину, либо относится к смеси  $\text{Pt}_3\text{Fe}$  и  $\text{PtFe}$ . Кроме основных отражений, принадлежащих неупорядоченной железистой платине,  $(\text{Pt,Fe})$ , на рентгенограммах большинства образцов присутствуют отражения самородного осмия, природных сплавов Os-Ir-Ru и Ru-Os-Ir, лаурита и некоторых других минералов платиновых металлов – включений в матрице  $\text{Pt}_2\text{Fe}$ . Необходимо отметить, что на некоторых рентгенограммах основные рефлексы размыты (например, с  $d_{111} \sim 2.20 \text{ \AA}$ ). Только на рентгенограмме одного очень маленького самородка из Нижнего Тагила состава  $\sim \text{Pt}_3\text{Fe}_2$  отмечены отражения двух  $(\text{Pt,Fe})$ , кубической и тетрагональной. Это подтверждает первую версию и мнение Жерновского с соавторами [3]

Ряд рентгенограмм содержит только отражения гранцентрированной кубической ячейки [(111), (200), (220), (222) и (331)]. Не наблюдается отражений, характеризующих как упорядоченную кубическую структуру  $Pt_3Fe$  ( $Pm\bar{3}m$ ), так и тетрагональную структуру  $PtFe$  ( $P4/mmm$ ). Таким образом, согласно номенклатуре Л.Кабри и М.Фезера [1] все изученные зерна « $Pt_2Fe$ » за исключением одного (из Нижнего Тагила) являются железистой платиной с разупорядоченной гранцентрированной кубической  $Fm\bar{3}m$ . Параметр ячейки кубической плотноупакованной структуры,  $a_0$ , хорошо согласуется с опубликованными данными [1,3]. Отличие  $a_0$  природных ( $Pt,Fe$ ) сплавов по сравнению с синтетическими вызвано примесными компонентами ( $Os, Ir, Rh, Pd, Cu, Ni$ ). Корреляция “ $a_0, \text{Å} - [Fe+Ni+Cu], \text{ат. \%}$ ” слабо отрицательна.

Поскольку состав  $Pt_2Fe$  часто отмечается у  $Pt-Fe$  сплавов из россыпей, связанных с ультраосновными массивами, интересно выяснить является ли этот состав показателем первичного образования или характеризует поздние процессы. Были детально изучены (камера Гандольфи, JEM 5300 + INCA) полиминеральные зерна ( $Pt,Fe$ ) минералов из Юбдо, Эфиопия, часто с «рубашкой»  $Fe-Mn$  оксидов/гидроксидов [4,5].

“Первичный” ( $Pt,Fe$ ) сплав – “изоферроплатина” (?), иногда с  $Ir$  и  $Os$ . Практически всегда в периферических и нарушенных зонах есть включения  $Pt-Fe$  минералов, образованных позднее. Новообразованные ( $Pt,Fe$ ) минералы отличаются от первичных содержанием  $Cu$  и отношением “ $Pt:(Fe+Cu)$ ”. В одном и том же самородке более плотный центр состава ( $Pt_{3-x}Fe$ ) не содержит  $Cu$ , а в периферической зоне концентрация меди возрастает до 3.94 мас. %. В другом самородке содержание меди в основной фазе и в нарушенной зоне составляет 1.3 и 6.54 мас. % соответственно. Обогащенная  $Cu$  зона характеризуется отношением “ $Pt:(Fe+Cu)$ ” близким 2:1.

Кроме изоферроплатины (?),  $Pt_3Fe$ , и “ $Pt_2Fe$ ” в самородках из Юбдо установлены ферроникельплатина,  $Pt_2(Fe,Ni)$ ; медистая ферроплатина,  $Pt_2(Fe,Ni,Cu)$  (с различным содержанием меди вплоть до туламинита,  $Pt_2FeCu$ ); и тетраферроплатина,  $PtFe$ . Другие МПМ, ассоциирующие с соединениями  $Pt-Fe-(Ni,Cu)$ : ( $Os, Ir, Pt$ ); ( $Au, Ag$ );  $PdBi, PdBi_2, Bi, CuAu, Ag_2Au, Ag_2Au_3$ ;  $PtAs_2, (Rh,Pt); Pd, (Pt,Pd); Cu_3Zn_2; (Rh, Ir)AsS; Ir(As,Sb)S; Pt_3Sb; PdSb; OsS_2$ . Также присутствуют апатит, хромит, гематит,  $Fe-Mn$  оксиды. Судя по составу ассоциации, “вторичные”  $Pt-Fe$  сплавы, скорее всего, образовались при температурах ниже  $\sim 400-500^\circ C$ .

Согласно данным экспериментального изучения системы  $Pt-Fe-S-O$  в гидротермальных условиях при  $300-600^\circ C$  [5] поле устойчивости ( $Pt,Fe$ ) сплавов по фугитивности серы близко  $Mss$ . На диаграмме “ $lgfS_2 - T$ ” линия равновесия “( $Pt,Fe$ )/ $Pt_3Fe$ ” выше, чем “ $PtFe/PtFe_3$ ” только на 4 log единицы (рис. 1.). Смесь  $Pt_3Fe + PtFe$  и железистая платина состава “ $Pt_2Fe$ ” устойчивы в поле промежуточных значений  $lgfS_2$  (между этими линиями).

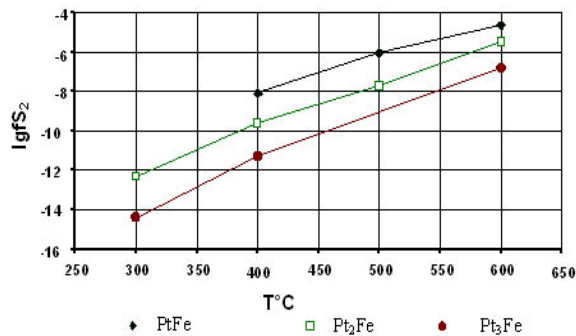


Рис.1. Устойчивость ( $Pt,Fe$ ) фаз в поле “ $lgfS_2 - T$ ” (по [6])

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ - Грант 08-05-01016 и Отделения наук о Земле РАН - Программа фундаментальных исследований №5 «Наноразмерные частицы в геосферах и техногенных продуктах...»*

### Литература

1. Cabri L.G., Feather M. Platinum-iron alloys: a nomenclature based on a study of natural and synthetic alloys // Canadian Mineralogist. V. 13. 1975. P. 117-126.
2. Бетехтин А.Г. Платина // Изд-во АН СССР. 1935.
3. Cabri L.G., Criddle A.J., Laflamme J.H.G., Bearne G.S., Harris D.C. Mineralogical study of complex  $Pt-Fe$  nuggets from Ethiopia // Bulletin de Mineralogie. 104. 1981. P. 508-525.

4. Жерновский И.В., Мочалов А.Г., Рудашевский Н.С. Фазовая неоднородность изоферроплатины, богатой железом // Доклады АН СССР. Т. 283. 1985. Р. 1096-2000.
5. Евстигнеева Т.Л., Кудрявцев А.С., Рудашевский Н.С. МПМ из Юбдо (Эфиопия): новые данные // Минер. Журнал. 14. 1992. С. 29-41.
6. Евстигнеева Т.Л., Некрасов И.Я., Лапутина И.П. Фазовые соотношения в системе Pt-Fe-S-O // Доклады АН СССР. 1989. Т. 308. С. 440-444.

---

*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\\_dgggms/1-2009/informbul-1\\_2009/mineral-6.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/mineral-6.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*