

*А.Л. Котельникова, В.К. Пуртов*

## **О РОЛИ ФЛЮИДОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ НА ВОЛКОВСКОМ АПАТИТ-БОРНИТ-ТИТАНОМАГNETИТОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Для Волковского апатит-борнит-титаномагнетитового месторождения, имеющего псевдостратифицированное строение [6], отмечается вертикальная ритмичная зональность в распределении титана (геологоразведочные данные Пышминской РТП, 1976). Изменение содержания титана в породах коррелирует с распределением Cl и F в апатитах [5] и, следовательно, с режимом  $\text{HCl}^0$  и  $\text{HF}^0$  во флюиде [2]. Характерное распределение Ti, Cl, F по вертикали возникло, вероятно, в результате первичной флюидно-магматической дифференциации вещества в магматической камере [5]. В связи с этим нами были рассчитаны вероятные концентрации  $\text{HCl}^0$  и  $\text{HF}^0$  во флюиде по составу апатитов [5] в соответствии с методикой [2]. Данные по составу магнетитов и результаты расчетов представлены в табл. 1 и на рисунке. При расчетах принимали, вслед за Коржинским М.А. [3], следующие оценки температуры и давления образования пород: габбро -  $900^\circ\text{C}$ , 2 кбар; диориты -  $850^\circ\text{C}$ , 1,5 кбар; габбро-диориты -  $780^\circ\text{C}$ , 1 кбар.

Результаты расчетов указывают на волновой характер изменения концентрации  $\text{HCl}^0$  и  $\text{HF}^0$  (см. рисунок), который, вероятно, обусловил возникновение ритмической зональности в отношении титана и других петрогенных элементов. Главную роль в переносе титана играет  $\text{HCl}^0$ , тогда

**Химический состав магнетитов из пород Волковского титаномагнетитового месторождения и расчетный состав равновесного с апатитами флюида.**

N	Порода, глубина	Магнетит*, вес. %		Состав флюида, моль/кг H <sub>2</sub> O	
		TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{m_{HCl}}{m_{HF}}$ lg m <sub>HCl</sub> <sup>0</sup>	$\frac{m_{HF}}{m_{HCl}}$ lg m <sub>HF</sub> <sup>0</sup>
Скв. 0377					
1	Габбро-диорит, 40 м	-	-	6,79·10 <sup>-3</sup> -2,17	1,18·10 <sup>-3</sup> -2,93
2	Габбро-диорит (такситовое габбро), 210 м	5,46	61,36	1,41·10 <sup>-2</sup> -1,85	1,46·10 <sup>-3</sup> -2,84
3	Мезократовый габбро-диорит, 400 м	3,70	62,63	1,74·10 <sup>-2</sup> -1,76	1,36·10 <sup>-3</sup> -2,87
4	Мезократовый диорит, 485 м	1,92	64,36	1,16·10 <sup>-1</sup> -0,94	5,60·10 <sup>-3</sup> -2,25
5	Габбро мезократовое, 603 м	3,86	61,84	8,03·10 <sup>-2</sup> -1,10	1,37·10 <sup>-2</sup> -2,18
6	Биотитсодержащее оливниное габбро, 700 м	5,52	59,28	5,48·10 <sup>-2</sup> -1,26	6,56·10 <sup>-3</sup> -2,18
Скв. 2175					
7	Рудное габбро, 850 м	5,65	50,45	1,50·10 <sup>-2</sup> -1,82	5,30·10 <sup>-3</sup> -2,28
8	Биотитсодержащее рудное габбро, 957,5-961,8 м	6,40	52,11	9,60·10 <sup>-3</sup> -2,02	4,87·10 <sup>-3</sup> -2,31
9	Среднезернистое рудное габбро, 1106,2-1120 м	4,68	53,31	1,65·10 <sup>-2</sup> -1,78	7,56·10 <sup>-3</sup> -2,12
10	Рудное габбро, 1211-1215,9 м	4,90	49,62	1,16·10 <sup>-2</sup> -1,93	3,51·10 <sup>-3</sup> -2,46

\*Данные о химическом составе магнетитов любезно предоставлены В.В.Холодным

Таблица 2

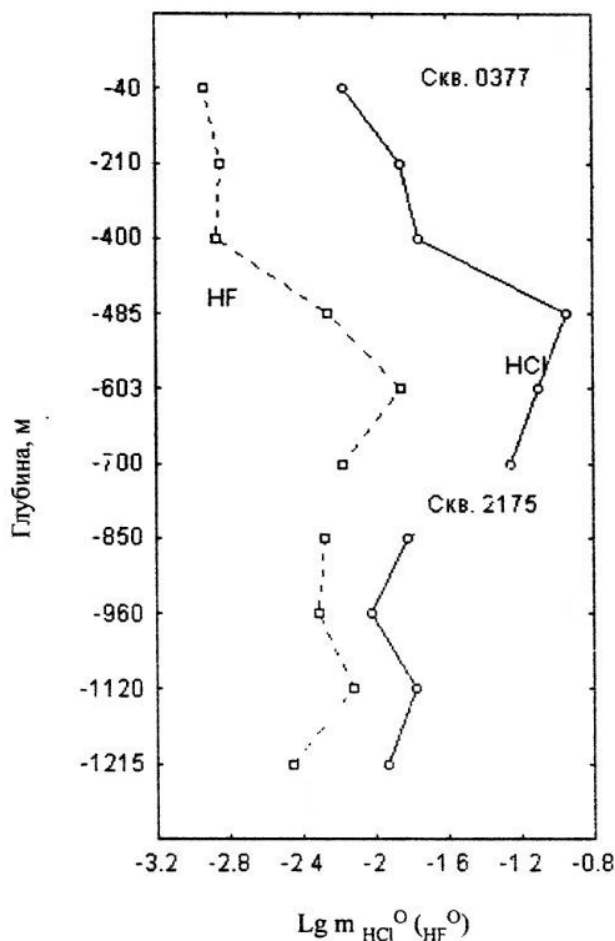
**Растворимость TiO<sub>2</sub> в растворах HF (m<sub>HF</sub> = 0.27 моль/кг H<sub>2</sub>O) при T = 600 °C, P = 1 кбар в изменяющихся окислительно-восстановительных условиях**

Буфер	f(O <sub>2</sub> )	lg f(O <sub>2</sub> )	m <sub>Ti</sub>	lg m <sub>Ti</sub>
Ni-NiO	5,37·10 <sup>-19</sup>	-18,27	3,11·10 <sup>-4</sup>	-3,51
Cu-CuO	2,72·10 <sup>-9</sup>	-8,57	3,912·10 <sup>-4</sup>	-3,41
Mn <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -MnO <sub>2</sub>	9,31·10 <sup>-2</sup>	-1,03	3,30·10 <sup>-4</sup>	-3,48

как HF<sup>0</sup>, накапливаясь в остаточном расплаве, во флюид переходит лишь в незначительном количестве. Такое поведение HF<sup>0</sup> обусловило и то, что основная масса титана, как фторофильного элемента, сосредоточилась в расплаве.

Подтверждением возникновения ритмической вертикальной зональности в докристаллизационный период могут служить данные экспериментов, согласно которым миграционная способность титана значительно выше в системах «флюид-расплав» [1,7], чем в системе «флюид-кристалл» [4], где концентрации титана во флюиде при данном режиме HF<sup>0</sup> и HCl<sup>0</sup> меньше 5·10<sup>-5</sup> моль/кг H<sub>2</sub>O.

Изменение окислительных условий также волнообразно, что видно при анализе химического состава магнетитов: содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в магнетите значительно повышается при увеличении концентрации HF<sup>0</sup> и HCl<sup>0</sup> (см. рисунок). Это может быть связано только с повышением летучести кислорода в системе. При этом относительно «сухие» условия сменяются более «водными» в ходе реакции 2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> = 2H<sub>2</sub>O. Флюид, становясь более агрессивным, выносит из расплава значительные количества петрогенных элементов, в том числе и титан.



Зависимость концентрации  $\text{HCl}^0$  и  $\text{HF}^0$  во флюиде от глубины отбора проб по скважинам 0377 и 2175 Волковского габбрового массива

В наших экспериментах, проведенных по методике [5], при изменении окислительных условий в системе «флюид-кристалл» подвижность титана не изменялась (табл.2).

Таким образом, есть основания для предположения о докристаллизационной дифференциации вещества на Волковском апатит-борнит-титаномагнетитовом месторождении за счет переноса петрогенных элементов флюидами в условиях меняющейся окислительной обстановки.

#### Список литературы

1. Горбачев Н.С., Каширцева Г.А. Флюидно-расплавное взаимодействие и эволюция океанических базальтов// Очерки физико-химической петрологии. М., 1985. С. 106-111.
2. Коржинский М.А. Апатитовый твердый раствор как индикатор летучести  $\text{HCl}^0$  и  $\text{HF}^0$  в гидротермальном флюиде// Геохимия. 1981. № 5. С. 689-707.
3. Коржинский М.А. Режим  $\text{HCl}^0$  и  $\text{HF}^0$  в гидротермальном флюиде при различных эндогенных процессах// Экспериментальные исследования эндогенного рудообразования. М., 1983. С. 103-113.
4. Пуртов В.К., Котельникова А.Л. О миграционных свойствах титана в хлоридных и фторидных гидротермальных растворах по экспериментальным данным// Геология рудных месторождений. 1992. № 6. С. 61-69.
5. Фоминых В.Г., Холоднов В.В. Особенности состава апатита и условия образования титаномагнетитового оруденения Волковского габбрового массива на Среднем Урале// Минералы и минеральное сырье Урала. Екатеринбург, 1992. С. 89-98.
6. Формации титаномагнетитовых руд и железистых кварцитов (железорудные месторождения Урала). Свердловск, 1984. 264 с.
7. Чевычелов В.Ю., Эпельбаум М.Б. Распределение Pb, Zn и петрогенных компонентов в системе гранитный расплав - флюид// Очерки физико-химической петрологии. М., 1995. С. 120-136.