

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЛОГЕНОВ В СОСУЩЕСТВУЮЩИХ АПАТИТЕ, АМФИБОЛЕ И СТАВРОЛИТЕ ИЗ РУДНЫХ ЗОН КУСИНСКОЙ ИНТРУЗИИ.

Т.Д. Бочарникова, В.В. Холоднов, Л.К. Воронина

Механизм формирования рудных пластов в расслоенных габброидных комплексах, в частности, магнетит-ильменитовых руд Кусинской интрузии, по-прежнему интересует исследователей [Ферштатер и др., 2001; Ферштатер и др., 2005].

Нами продолжено изучение характера распределения Cl и F в апатите, амфиболе и ставролите из околорудных пород на разных гипсометрических уровнях Кусинской интрузии около западного и восточного ее контактов, а также в центральной части. Это позволило выяснить эволюцию режима галогенов в рудообразующем флюиде в рудных зонах по всему разрезу массива. Поскольку в самих рудных телах апатит не обнаружен, то в качестве объекта были выбраны околорудные породы существенно амфиболового состава.

Анализ состава галогенов в апатите из таких околорудных пород показал, что по содержаниям Cl и F апатиты из рудных зон разных гипсометрических уровней интрузии имеют существенное различие. Так, максимальные концентрации хлора содержат апатиты из околорудных пород центральной части интрузии (табл. 1). В этих апатитах концентрации Cl достигают 3,0-3,2 %, в то время как в апатитах из рудных зон приконтактных частей интрузии содержания Cl не превышают 2 %. При этом, в центральной рудной зоне повышенные концентрации хлора характерны как для апатитов подрудных, так и надрудных ореолов. Обращает на себя внимание и тот факт, что рудная зона центральной части массива более обогащена апатитом, который часто образует здесь достаточно крупные скопления линзовидной формы. Это, в свою очередь, также является показателем более высокого насыщения флюидом данной части интрузии.

По-иному в разрезе интрузии наблюдается распределение фтора. Максимальные концентрации F свойственны апатитам из прикровлевой, восточной рудной зоны. Здесь содержания F достигают 1,0 – 1,2 %, тогда как в апатите из рудных зон основания и центральной части интрузии концентрации F не поднимаются выше 0,66 %. Это объясняется геохимической особенностью фтора, более легкого по удельному весу, в любой флюидно-магмати-

ческой системе постоянно концентрироваться в верхней ее части.

При сравнении содержаний галогенов в апатитах из подрудных ореолов рудных зон разных гипсометрических уровней интрузии выяснилась одна общая закономерность. Во всех случаях апатиты подрудных метасоматитов содержат более высокие концентрации хлора, по сравнению с надрудными, а надрудные, в свою очередь, – повышенные содержания фтора (табл. 1). Особенно большой разрыв между концентрациями хлора и фтора наблюдается в апатитах из подрудных метасоматитов центрального рудного тела, где содержания хлора составляют 2,7- 3,2 %, а фтора – всего лишь 0,35 – 0,47 %.

Распределение галогенов в амфиболах по разрезу интрузии подчиняется такой же закономерности. Был исследован амфибол, представленный темно-зеленой роговой обманкой, содержащей рудную сыпь или скопления мелких рудных выделений. Состав такой роговой обманки из центральной рудной зоны (обр. кс-101, среднее по 5 анализам): SiO<sub>2</sub> – 42,48 %, TiO<sub>2</sub> – 0,70 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13,51 %, FeO – 6,23 %, MnO – 0,24 %, MgO – 10,28 %, CaO – 10,00 %, Na<sub>2</sub>O – 3,10 %, K<sub>2</sub>O – 0,12 % [Прибавкин и др., 2003]. Такой амфибол в центральной рудной зоне характеризуется максимальными содержаниями Cl – 0,30-0,38 % по сравнению с амфиболами приконтактных рудных зон интрузии – 0,07-0,14 % (табл. 2). Также закономерно меняется количественный состав галогенов в сосуществующих ставролитах. Ставролиты из центральной рудной зоны Кусинского массива характеризуются более высокими концентрациями Cl по сравнению со ставролитами из приконтактных рудных зон интрузии (табл. 3).

Высокие концентрации хлора характерны и для магматических пород, вмещающих рудные зоны Кусинского месторождения [Бочарникова, и др., 2005в], что свидетельствует о первично магматогенной его природе. В процессе кристаллизации габброидов содержание хлора в апатитах возросло от 0,9 % (мелкие включения в плагиоклазе) до концентраций 1,3-1,9 %, сопоставимых с апа-

**Содержание Cl, F (мас. %) в апатите из околорудных амфиболовых пород  
Кусинской интрузии**

№ п/п	Позиция апатита, его форма, размеры	Cl	F	Cl/F
<b>Восточный контакт, кровля массива</b>				
1	Крупное, шестиугольной формы зерно апатита, заключенное в амфиболе, n = 8	1,02	1,01	1,00
2	Небольшое, изометричной формы зерно, n = 5	0,90	0,92	0,98
3	Крупное, неправильной формы зерно, n = 7	1,02	0,94	1,08
4	Небольшое зерно апатита среди амфибола, n = 5	0,84	0,87	0,96
5	Небольшое зерно среди зерен амфибола, n = 5	0,96	1,08	0,89
6	Небольшое, неправильной формы зерно апатита среди зерен амфибола, n = 8	1,11	1,20	0,93
7	Крупное зерно апатита, n = 13	1,06	1,05	1,00
8	Крупное, изометричной формы зерно, n = 11	1,33	0,67	1,98
9	Небольшое зерно в сростании с рудным, n = 6	1,19	0,53	2,24
10	Крупное, изометричной формы зерно, n = 6	1,77	0,79	2,24
11	Небольшое зерно в сростании с рудным, n = 5	1,48	0,64	2,31
12	Небольшое зерно, n = 6	1,46	0,63	2,32
13	Мелкое зерно таблитчатой формы, n = 10	1,84	0,66	2,78
14	Мелкое зерно таблитчатой формы, n = 4	1,93	0,76	2,54
15	Небольшое изометричной формы зерно, n = 6	1,41	0,71	1,98
16	Мелкое зерно апатита, n = 4	1,51	0,72	2,10
<b>Центральная часть массива</b>				
17	Мелкое зерно апатита, n = 5	1,34	0,59	2,27
18	Агрегат зерен, n = 5	2,02	0,58	3,48
19	Крупный, линзовидной формы агрегат зерен, n = 9	1,74	0,65	2,68
20	То же, n = 5	2,01	0,66	3,04
21	То же, n = 3	1,56	0,56	2,78
22	Крупный, неправильной формы агрегат зерен, n = 8	3,07	0,35	8,77
23	Крупное зерно, n = 10	2,74	0,35	7,83
24	Крупное зерно, n = 7	3,21	0,47	6,83
<b>Западный контакт, основание массива</b>				
25	Крупное, изометричной формы зерно апатита в интерстициях между зернами плагиоклаза, n = 17	1,90	0,65	2,92
26	небольшое зерно апатита, таблитчатой формы в плагиоклазе, n = 3	1,65	0,56	2,94
27	Мелкое зерно апатита в сростании с амфиболом, n = 6	1,57	0,46	3,41
28	Крупное, неправильной формы зерно, n = 16	2,00	0,59	3,38

Примечание. 1-7 – надрудная амфиболовая порода (обр. кс-29-а); 8-16 – подрудная амфиболовая порода (обр. кс-31, кс-32); 17-21 – надрудная амфиболовая порода (обр. кс-101); 22-24 – подрудная амфиболовая порода с небольшим количеством рудного минерала (обр. кс-103); 25-28 – подрудная амфиболовая порода (обр. кс-572); n – количество замеров для каждого зерна.

титанами околорудных метасоматитов, а концентрации фтора существенно снижались от 1,6-1,8 % до 0,7 %. Близкая тенденция в режиме галогенов характерна и для сегрегационных титаномагнетитовых руд месторождения Малый Куйбас Магнитогорского рудного поля [Холоднов, Бушляков, 2002; Бочарникова, Холоднов, 2005].

Специфический характер распределения хлора в разрезе Кусинской интрузии объясняется, по-видимому, ее сравнительно небольшой мощностью. В этом состоит существенное отличие данной интрузии от эталонных, значительно более крупных расслоенных интрузивных массивов, таких как Бушвельд, Стилутер и др., в которых хлор в максимальной степени кон-

Содержание Cl, F (мас.%) в роговой обманке из околорудных амфиболовых пород

№ п/п	Характеристика амфибола	Cl	F	Cl/F
<b>Восточный контакт, кровля массива</b>				
1	Темно-зеленый, с рассеянной рудной пылью, n = 7	0,07	0,05	1,40
2	То же, n = 5	0,05	0,04	1,25
3	Темно-зеленый амфибол, содержащий мелкие рудные скопления, n = 5	0,06	0,04	1,50
4	Темно-зеленый амфибол, без рудных включений, n = 6	0,05	0,04	1,25
5	То же, n = 6	0,05	0,00	-
<b>Центральная часть массива</b>				
6	Амфибол темно-зеленый с рудной сыпью, n = 5	0,31	0,04	7,75
7	Амфибол темно-зеленый, n = 7	0,30	0,03	10,00
8	То же, n = 5	0,37	0,05	7,40
9	То же, n = 4	0,38	0,04	9,50
<b>Западный контакт, основание массива</b>				
10	Амфибол темно-зеленый, n = 6	0,14	0,00	-

Примечание. 1-5 – надрудная амфиболовая порода (обр. кс-29-а); 6-9 – надрудная амфиболовая порода (обр. кс-101); 10 – подрудная амфиболовая порода (обр. кс-572); n – количество замеров.

Таблица 3

Содержание Cl, F (мас.%) в ставролите из околорудных амфиболовых пород

№ обр.	Позиция ставролита в разрезе	Cl	F	Cl/F
Кс-29-а	Надрудная амфиболовая порода, n = 3	0,14	0,05	2,86
Кс-101-б	Надрудная амфиболовая порода, n = 4	0,38	0,03	12,66
Кс-103	Подрудная амфиболовая порода, n = 6	0,35	0,02	17,50
Кс-103	Подрудная амфиболовая порода, n = 6	0,35	0,01	35,00

Примечание. Обр. кс-29-а ставролит из околорудной породы, кровля массива, восточный контакт; обр. кс-101, обр. кс-103 – ставролит из околорудной породы, центральная часть массива; n – количество замеров.

центрируется в глубинных частях массивов [Boudreau A.E. et al, 1986; Boudreau A.E., Mc Callum L.S, 1989]. Для Кусинской интрузии максимальные концентрации хлора характерны только для центральной ее части. С высокими содержаниями хлора в изученных галогеносодержащих минералах из околорудных пород центральной рудной зоны интрузии заметно коррелируют и некоторые особенности состава рудообразующих минералов, таких как ильменит, магнетит и сосуществующий с ними хёгбомит [Бочарникова и др., 2005а,б].

Так, ильменит из руд центральной части интрузии в сравнении с ильменитом из краевых рудных зон массива значительно богаче MgO, содержания которого достигают 4,3 %, а магнетит содержит более высокие концентрации Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 2,5 %). Также закономерно меняется в рудах и состав хёгбомита. Хёгбомит из руд центральной части содержит значительно больше MgO

(10-11 %). Кроме того, в рудах из центральных частей интрузии присутствует зеленая шпинель, которая содержит от 13 до 25 % MgO.

Характер распределения галогенов в изученных нами минералах: апатите, амфиболе и ставролите из рудных зон, расположенных на разных гипсометрических уровнях интрузии, согласуется с данными о зональности в составе оруденения, формировавшегося в условиях различного режима летучих, кислорода и температуры (Бочарникова и др., 2005а). Градиент температур, возникающий при формировании интрузии такой небольшой мощности, какой является Кусинская, обусловлен тем, что краевые зоны остывали быстрее и кристаллизовались раньше, чем центральная часть, где накапливался богатый хлором рудообразующий флюид. Концентрация обособившегося в центральной части интрузии такого флюида обусловила и наибольшую

интенсивность здесь рудообразующего процесса. В краевых, менее флюидизированных зонах, более низкая концентрация хлора во флюиде обусловила меньшую интенсивность рудообразования, а поэтому и рудные тела, сформировавшиеся в этих зонах, оказались по масштабу более мелкими.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 04-05-96052-р2004 Урал-а, 05-05-64079, НШ-РИ-112/001/08.*

*Список литературы*

*Бочарникова Т.Д., Прибавкин С.В., Холоднов В.В., Воронина Л.К.* Хёгбомит из ильменит-магнетитовых руд Кусинского массива (Южный Урал) // Записки ВМО. 2005а. № 2. С. 84-90.

*Бочарникова Т.Д., Холоднов В.В., Воронина Л.К.* Закономерное изменение состава ильменита и магнетита из рудных залежей в разрезе Кусинского габбрового массива // Ежегодник – 2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005б. С. 313-317.

*Бочарникова Т.Д., Холоднов В.В., Воронина Л.К.* Особенности состава галогенсодержащего флюида в рудоносных габброидах Куващско-Машакской рифтогенной структуры (Южный Урал) // Ежегодник – 2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005в. С. 311-313.

*Бочарникова Т.Д., Холоднов В.В.* Галогены в формировании скарново-магнетитовых руд Магнитогорского месторождения (Южный Урал) // Скарны, их генезис и рудоносность (Fe, Cu, Au, W, Sn...). XI Чтения А.Н. Заварицкого. Мат-лы Междунар. конф. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С.157-162.

*Прибавкин С.В., Бородин Н.С., Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Бочарникова Т.Д.* Высокобарические оклорудные преобразования габброидов Кусинского массива // Ежегодник-2002. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 118-122.

*Холоднов В.В., Бушляков И.Н.* Галогены в эндогенном рудообразовании. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 390 с.

*Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Бородин Н.С.* Условия формирования и генезис рифейских ильменит-титаномагнетитовых месторождений Урала // Геология рудных месторождений. 2001. Т. 43. № 2. С. 112-128.

*Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Прибавкин С.В. и др.* Рифтогенный магматизм и железоруденение Южного Урала // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 5. С. 421-443.

*Boudreau A.E., Mathez E.S., Mc Callum L.S.* Galogen geochemistry of the Stillwater and Bushveld complexes: evidence for transport of the platinum-group elements by Cl-rich fluids // J. Petrol. 1986. V. 27. N 4. P. 967-986.

*Boudreau A.E., Mc Callum L.S.* Investigations of the Stillwater Complex: Part V. apatites as indicators of evolving fluid composition // Contrib. Miner. Petrol. 1989. V. 102. N 2. P. 138-153.