

ФТОР И ХЛОР В АПАТИТАХ МЕДНО-СКАРНОВЫХ И СКАРНОВО-МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

А. И. Грабежев, Л. К. Воронина, В. А. Чашухина

Галогены играют важную роль в гидротермальном минералообразовании, что для уральских месторождений наиболее детально было показано в [8]. Данная работа посвящена краткому рассмотрению поведения галогенов при формировании уральских месторождений, содержащих меднорудные скарны. Все уральские геологи рассматривают обогащенные медью скарны только как относящиеся к медно-скарновому типу месторождений. Однако уже давно выделено [6, 9] два генетически различных промышленных типа меденосных скарнов – собственно медно-скарновый и скарново-медно-порфировый. В последнем типе меденосные скарны и колчеданы в мраморах появляются всегда, когда в рудных зонах медно-порфировых рудных полей присутствуют тела известняков. В соответствии с этими представлениями наиболее крупный уральский объект медно-скарнового типа представлен известными Турьинскими рудниками (нами изучено Промежуточное месторождение), детально охарактеризованными в работах Д.С. Коржинского, Я.П. Баклава и других исследователей. По нашей интерпретации Гумешевское месторождение относится к скарново-медно-порфировому типу [2]. На Южном Урале выявлено мелкое Тарутинское месторождение, которое также необходимо отнести к скарново-медно-порфировому типу [3, 4]. На всех месторождениях в подчиненном по отношению к сульфидам количестве присутствует магнетит. Генетическое расчленение обогащенных медью скарнов совершенно необходимо для современного металлогенического прогноза и разбраковки многочисленных уральских медно-магнетит-скарновых проявлений, выявленных при магнитосъемке, с целью выяснения их перспектив на медно-порфировое и сопутствующее оруденение (Au, Zn). **Детальное различие двух рассматриваемых типов медного оруденения нами рассматривалось ранее [5]. Отметим только главную отличительную черту – широкое развитие кислотного выщелачивания (кварц-серицитовое замещение) на скарново-медно-порфировых месторождениях при почти полном отсутствии серицитизации на собственно медно-скарновых и сульфидсодержащих магнетит-скарновых объектах.**

Наши исследования показали, что содержания галогенов в апатитах различных медно-скарновых месторождений могут несколько различаться. Рассмотрим сначала распределение хлора. Для Гумешевского месторождения характерны стабиль-

но крайне низкие (0.00–0.02, очень редко до 0.04–0.1 мас. %) содержания хлора в апатите как из диоритоидов, так и из метасоматитов. Пробы диоритоидов отобраны как в рудной зоне, так и за ее пределами, а анализы проводились в различные годы. Необходимо отметить повсеместное распространение в гранитоидах пропилютовых изменений. Нередко наблюдается и слабая–умеренная серицитизация плагиоклаза. В диоритоидах всех других медно-порфировых объектов Урала также обычны подобные изменения. Однако в апатитах гранитоидов этих объектов всегда наблюдаются значимые содержания хлора (табл. 1). Поэтому вероятно, что крайне низкие содержания хлора в апатите Гумешевского месторождения отвечают первичным значениям, а не определяются метасоматическим изменением диоритоидов. Правда, надо отметить, что в отдельных участках рудной зоны очень широко распространены мельчайшие (микронные) флюидные включения, а большинство более крупных (обычно до 10 мкм) газово-жидких включений отвечают низкотемпературным (обычно до

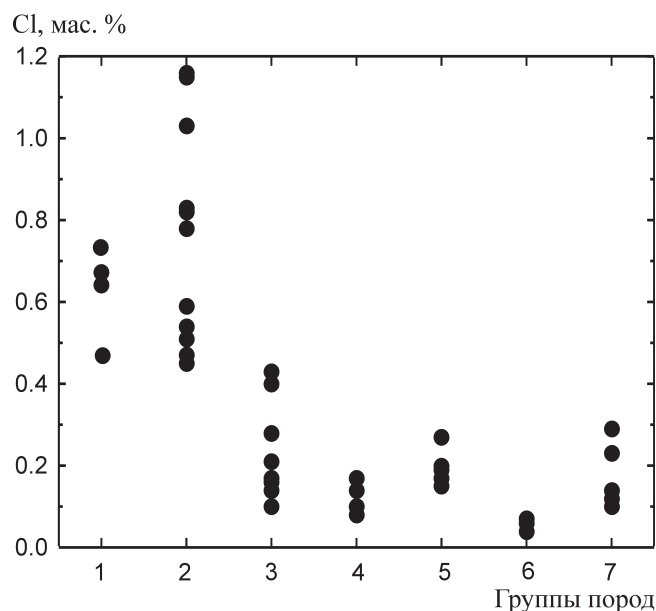


Рис. 1. Содержание хлора в отдельных кристаллах апатита из пород Промежуточного месторождения.

1 – кварцевый диорит, 2 – диабазовый порфирит, 3 – диабазовый порфирит преницитизированный, 4 – эпидозит, 5 – эпидот-пироксен-гранатовый скарн, 6 – пироксен-гранатовый скарн, 7 – пироксен-гранатовый скарн с магнетитом; каждый тип пород представлен одним образцом.

Таблица 1. Средние содержания галогенов в апатите образцов (а) и в отдельных кристаллах (б) апатита из пород Гумешевского (1–16), Тарутинского (17–24) скарново-медно-порфировых и Промежуточного медно-скарнового (25–31) месторождений (мас. %)

Среднее по образцам (а)							Среднее по зернам (б)				
№ п.п.	номер пробы	F		Cl		N	номер пробы	номер зерна	F		n
		x	±1σ	x	±1σ				x	±1σ	
1	Гу-1	2.22	0.12			74	Гу-1	1	2.07	0.26	13
2	Гу-2	2.21	0.43			63		2	2.17	0.50	22
3	Гу-2а	1.67	0.20			120		3	2.21	0.24	10
4	3834-418	1.80	0.59			4		4	2.23	0.13	11
5	М-1	2.06	0.25			8		5	2.41	0.32	18
6	М-2	1.80	0.48			6	Гу-2	1	1.70	0.25	21
7	Гу-3	3.14	0.53			70		2	1.96	0.17	9
8	Гу-3а	2.58	0.27			81		3	1.99	0.36	8
9	3620-298	2.40	0.41			14		4	2.15	0.26	7
10	М-3	2.94	0.34			11		5	2.61	0.19	9
11	Гу-85	3.86	0.76			10		6	2.82	0.29	19
12	3658-401	2.00	0.48			7	Гу-2а	1	1.09	0.15	16
13	3660-355	2.74	0.94			7		2	1.44	0.15	23
14	М-4	1.64	0.26			10		3	1.60	0.26	15
15	3660-337	1.69	0.29			12		4	1.64	0.15	6
16	3658-307	2.07	0.49			10		5	1.71	0.26	38
17	96-43	1.79	0.58	0.83	0.28	7		6	2.56	0.30	22
18	143-17	2.56	0.90	0.38	0.18	7	Гу-3	1	2.51	0.28	23
19	71-20	1.24	0.83	0.66	0.23	5		2	2.93	0.34	14
20	Б/н	1.15	0.56	0.65	0.32	6		3	3.43	0.37	13
21	10-22	1.15	0.13	0.91	0.41	4		4	3.71	0.19	20
22	252-125	1.43	0.38	0.13	0.07	5	Гу-3а	1	2.23	0.27	19
23	256-224	2.06	0.29	0.07	0.03	5		2	2.50	0.25	20
24	253-247	1.48	0.13	0.04	0.01	5		3	2.73	0.23	9
25	Гу-1	1.13	0.21	0.55	0.20	5		4	2.84	0.18	33
26	1-308	1.48	0.42	0.76	0.27	11					
27	3-56	2.45	0.17	0.23	0.12	9					
28	3-227	2.60	0.51	0.11	0.03	9					
29	3-93	2.86	0.45	0.19	0.05	6					
30	3-314	2.18	0.82	0.05	0.01	7					
31	2-370	1.86	0.48	0.17	0.08	6					

Примечание. **Гумешевское месторождение**, Cl < 0.00–0.03 мас. %: 1–6 – диоритоиды в различной степени пропилитизированные, 7–10 – диоритоиды в различной степени серицитизированные с реликтами сосюритизированного плагиоклаза, 11 – серицит-кварцевый метасоматит, 12 – эпидозит амфиболовый, 13 – эпидот-гранатовый эндоскарн, 14–16 – кальцит-сульфидные метасоматиты (40–60 об. % пирита) по мраморам (3 обр.); во всех типах пород содержание хлора не превышает 0.01–0.02 мас. % (пустые клетки). **Тарутинское месторождение**: 17, 18 – плагиогранодиорит амфиболовый; 19–21 – диоритовый порфирит базокварцевый амфиболовый (19, 20) и слабо серицитизированный (21); 22 – карбонат-кварц-серицитовый метасоматит аподиоритовый; 23, 24 – поздне-, послерудный жильный серицитизированный микропегматитовый гранодиорит (23) и плагиогранит (24). **Промежуточное месторождение**: 25 – кварцевый диорит, 26 – диабазовый порфирит, 27 – диабазовый порфирит преницитизированный. 28 – эпидозит пироксеновый, 29 – эпидот-пироксен-гранатовый скарн, 30 – пироксен-гранатовый скарн, 31 – пироксен-гранатовый скарн с магнетитом. 1–3, 7, 8 – пробы отобраны О.Б. Азовской из карьера, находящегося за пределами рудной зоны; 5, 6, 10, 14 – по анализам образцов, взятых С.И. Мошевым в шахте; для большинства остальных проб приведен номер скважины и глубина отбора образца. x – среднее арифметическое, n – количество определений в зерне, N – количество определений в пробе, σ – квадратическое отклонение. Анализы выполнены на микрозонде JXA-5 в период 1987–2010 гг.

300° С) низко-солевым хлоридно-водным (до 10–12 мас. % экв. NaCl) первично-вторичным образованиям [1]. Однако, маловероятно, чтобы локально распространенная низкотемпературная флюидная перекристаллизация привела к полному извлечению хлора из апатита в пределах всего массива. Скорее всего, почти нулевые содержания хлора в апатите были первичными. На двух других месторождениях средние содержания хлора в диоритоидах ($x \pm 1\sigma$) заметно варьируют, причем в при-

мерно одинаковых интервалах, составляя $(0.38-0.83) \pm (0.18-0.28)$ для Тарутинского и $(0.23-0.76) \pm (0.12-0.20)$ для Промежуточного месторождений (табл. 1, рис. 1). Более детально поведение галогенов при формировании Тарутинского месторождения рассмотрено в [4, 8]. Количество хлора в скарнах, кварц-карбонат-серицитовых, апомраморных карбонат-пиритовых (с Cu) и послерудных гранитах обоих месторождений гораздо ниже – $(0.04-0.13) \pm (0.01-0.07)$ мас. % для Тарутинского и $(0.05-0.19)$

$\pm (0.01-0.08)$ мас. % для Промежуточного месторождений. На Гумешевском месторождении в подобных образованиях опять же фиксируются близнулевые значения. Заметим, что апатиты из габбро, диоритов и скарнов средних и крупных скарново-магнетитовых месторождений, часто содержащих небольшую вкрапленность сульфидов, обычно характеризуются значительно большими количествами хлора (>0.8 мас. %).

Как и для хлора, средние содержания фтора в апатитах диоритоидов каждого из изученных месторождений сильно варьируют (мас. %): $(1.80-2.22) \pm (0.12-0.59)$ для Гумешевского, $(1.15-2.56) \pm (0.13-0.83)$ для Тарутинского $(1.13-2.45) \pm (0.17-0.42)$ для Промежуточного (табл. 1, рис. 2). В целом же для всех месторождений интервалы вариаций довольно близки. Для отдельных кристаллов апатита и по поперечным профилям кристаллов наблюдаются значительные и обычно незакономерные колебания содержаний фтора, что показано на примере Гумешевского месторождения (табл. 1). Аналогичная картина характерна и для хлора. При гидротермальном процессе фтор ведет себя различно. На Гумешевском месторождении при сильной серицитизации диоритоидов (а иногда и скарнировании) часто наблюдается его существенный принос (мас. %): $(2.40-3.86) \pm (0.12-0.59)$. Наиболее четко он выражен на поздней стадии процесса – сульфидизации мраморов (не содержащих фтора) с образованием руд на Гумешевском месторождении (мас. %): $(1.64-2.07) \pm (0.26-0.49)$. Принос фтора при скарнировании наблюдается на Промежуточном месторождении (рис. 2).

Столь значительная вариация содержаний фтора и хлора, в апатите в каждом объекте, отдельной пробе и каждом кристалле не является неожиданной. Показано [7], что по мере кристаллизации основного гранитоида в каждой последующей генерации апатита (от включений в фемическом минерале до межзернового апатита) часто наблюдается увеличение содержания фтора. Количество хлора варьирует незакономерно или несколько уменьшается. Аналогичное поведение фтора установлено при изучении апатитов гранитоидов Томинско-Березняковского рудного узла, а также нескольких других уральских объектов. То же наблюдается в гранитоидных массивах от диорита до гранита. Даже минимальное низко-среднетемпературное метасоматическое изменение гранитоидов (серицитизация, пропилитизация) приводит к понижению в апатите количества хлора, а в метасоматитах оно не превышает 0.1 мас. %. Указанные тренды фиксируются на фоне различного распределения содержаний фтора и хлора в поперечном сечении кристаллов апатита всех объектов – симметричное или ассиметричное увеличение (уменьшение) содержаний элементов к периферии зерен, симметричное с осложнением в центральной части кристаллов, равномерное распределение, не-

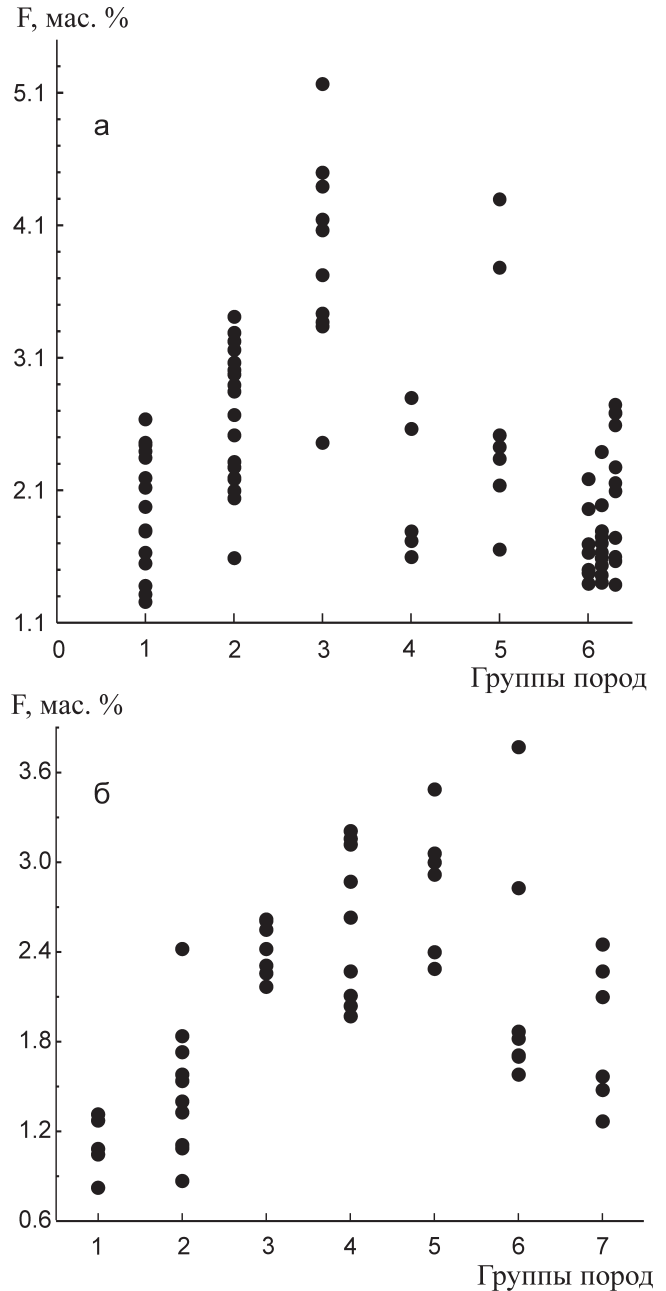


Рис. 2. Содержание фтора в отдельных кристаллах апатита из пород Гумешевского (а) и Промежуточного (б) месторождений.

а: 1 – пропилитизированные диоритоиды (3 обр.), 2 – серицитизированные диоритоиды (2 обр.), 3 – серицит-кварцевый метасоматит (1 обр.), 4 – эпидозит (1 обр.), 5 – эпидот-гранатовый эндоскарн (1 обр.), 6 – кальцит-сульфидные метасоматиты (40–60 об. % пирита) по экзоскарнам и мраморам (3 обр.). Кроме оригинальных данных использованы также материалы С.И. Мошева.
б: условные обозначения см. на рис. 1.

закономерная вариация. Плавный характер кривых свидетельствует о том, что изменение содержаний обусловлено вариацией активностей галогенов при росте кристаллов, а не ошибками анализа.

Увеличение содержания фтора и уменьшение количества хлора в апатите от ранних генераций к поздним, от основных пород к кислым и при наложении метасоматоза отмечается многими исследователями и должно быть обусловлено в основном понижением температуры процесса. Об этом определенно свидетельствуют известные экспериментальные данные М.А. Коржинского, J.L. Munoz и С.W. Burnham. Вариации содержаний галогенов в отдельных кристаллах апатита могут также определяться соотношением скоростей кристаллизации минерала и диффузии галогенов в условиях термодинамически открытой или закрытой систем.

Таким образом, хотя и наблюдаются некоторые различия в содержаниях фтора и хлора в апатитах медно-скарновых и скарново-медно-порфировых рудно-магматических систем, однако эти различия не имеют принципиального характера, возможно затухающая изменениями, связанными со средне- низкотемпературным метасоматозом. Обращает внимание почти нулевое содержание хлора в гранитоидах и метасоматитах Гумешевского месторождения, вмещающего гигантские количества серы. Согласно прецизионным исследованиям магматических и флюидных включений в породах, проведенным в последнее десятилетие, перенос меди при формировании скарново-медно-порфировых месторождений обусловлен скорее всего гидросульфидными комплексами, нежели хлоридными. Перенос рудных компонентов в виде хлоридных комплексов имеет место, вероятно, при формировании магнетит-скарновых рудно-магматических систем, характеризующихся повышенным содержанием хлора в апатитах гранитоидов и руд.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-00289) и ОНЗ-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков А.А., Грабежев А.И., Сотников В.И. Низкотемпературная флюидная перекристаллизация гидротермалитов Гумешевского месторождения // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 207–210.
2. Грабежев А.И. Скарны Гумешевского скарново-медно-порфирового месторождения (Средний Урал) // Петрология. 2004. № 2. С. 176–190.
3. Грабежев А.И., Белгородский Е.А. Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 199 с.
4. Грабежев А.И., Белгородский Е.А., Сотников В.И., Гмыра В.Г. Скарны Тарутинского скарново-медно-порфирового месторождения (Южный Урал) // Петрология. 2002. № 1. С. 46–59.
5. Грабежев А.И., Ронкин Ю.Л. Генетические типы медно-скарновых месторождений Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и металлогения Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 700–713.
6. Жариков В.А., Омеляненко Б.И. Классификация метасоматитов // Метасоматизм и рудообразование. М.: Наука, 1978. С. 9–28.
7. Феритатер Г.Б., Чащухина В.А., Вилисов В.А. Распределение хлора и фтора в апатите, включенном в различные породобразующие минералы магматических пород // Докл. АН СССР. 1984. Т. 276, № 5. С. 1228–1233.
8. Холоднов В.В., Бушляков И.Н. Галогены в эндогенном рудообразовании. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 392 с.
9. Эйнауди М.Т., Мейнерт Л.Д., Ньюберри Р.Дж. Скарновые месторождения // Генезис рудных месторождений. Т. 1. М.: Мир, 1984. С. 401–515.