

ГАЛОГЕНЫ В АПАТИТАХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕГО УРАЛА

А. И. Грабежев, В. Н. Смирнов, Л. К. Воронина, В. Г. Гмыра

Ранее нами кратко рассматривалось распределение фтора и хлора в апатите рудоносных гранитоидов редкометальных, золоторудных и медно-порфировых месторождений Урала [1, 2]. В полном виде аналитический материал по некоторым медно-порфировым объектам приведен в [3], авторы указывают на хлорную геохимическую специализацию апатитов рудоносных порфировых гранитоидов. Нами же было установлено, что по уровню вероятного первичного содержания хлора в апатите (табл. 1), обычно не превышающего 0.5–0.7 мас. %, медно-порфировые гранитоиды кварцдиоритового-плагиогранодиоритового состава различной степени рудоносности принципиально не отличаются между собой и от непродуктивных массивов ряда других габбро-гранитоидных формаций [1]. Например, по нашим данным количество хлора в апатите из габбро и диоритов крупного Новониколаевского габбро-диоритового массива, примыкающего с запада к Михеевскому рудному полю, составляет 0.5–0.6 мас. %. Более того, апатиты из совершенно не минерализованных базокварцевых диоритовых порфиритов Варненской малой интрузии характеризуются очень высокими содержаниями хлора (1.1–1.7 мас. %). Несколько южнее, в их рудоносных аналогах на крупном Михеевском месторождении апатит содержит всего до 0.5–0.7 мас. % хлора.

Новые аналитические данные по объектам Среднего Урала также не свидетельствуют в пользу наличия четко выраженной хлорной специализации апатитов из диоритоидов медно-порфировых массивов. Материалы по медно-скарновому Промежуточному и скарново-медно-порфировому Гумешевскому месторождениям приведены в другой статье одного из авторов в настоящем сборнике. Среднеуральские объекты представлены Восточно-Артемовской малой интрузией сильно пиритизированных (до 0.2 мас. % Cu) кварцевых диоритов, многочисленными мелкими халькопирит-пиритовыми рудопоявлениями в пределах Артемовского и Алтынайского массивов диорит-плагиогранодиорит (нередко с калишпатом)-гранитного ряда и Саповским проявлением. Последнее включает густую вкрапленность пирита в зонах мощностью до 100 м в субвулканических базальтах. В секущих базальтах дайках базокварцевых диоритовых порфиритов сульфиды полностью отсутствуют. Независимо от количества пирита (0–15 об. %) породы повсеместно метасоматически преобразованы. Плагиоклаз сильно сосюртитизирован и деанортитизиро-

ван, первичные темноцветы полностью замещены эпидотом и хлоритом. Из табл. 2–5 и рис. 1, 2 сле-

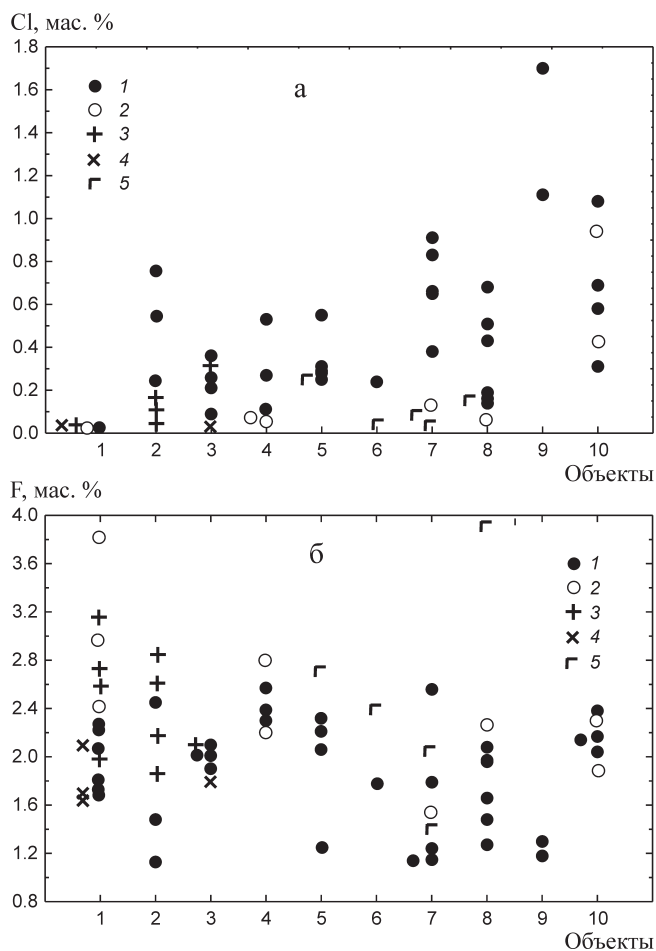


Рис. 1. Содержание хлора (а) и фтора (б) в апатите из пород медно-порфировых объектов Урала.

Объекты (месторождение, рудопоявление, массив): 1 – Гумешевское, 2 – Промежуточное, 3 – Саповское, 4 – Восточно-Артемовское, 5 – Алтынайский, 6 – Артемовский, 7 – Тарутинское, 8 – Михеевское, 9 – Варненский; 10 – Верхнеуральское.

Характеристика пород: 1 – гранитоиды габбро-диоритового, диоритового, плагиогранодиоритового (монцогранодиоритового на Верхнеуральском рудопоявлении) состава обычно слабо-умеренно пропицитизированные и сердцитизированные; 2 – гранитоиды сильно сердцитизированные; 3 – эпидозит, эпидот-гранатовые скарны; 4 – обогащенные пиритом метасоматиты по мраморам (40–60 об. % пирита), диабазам, скарнам; 5 – двуполевошпатовые жильные граниты.

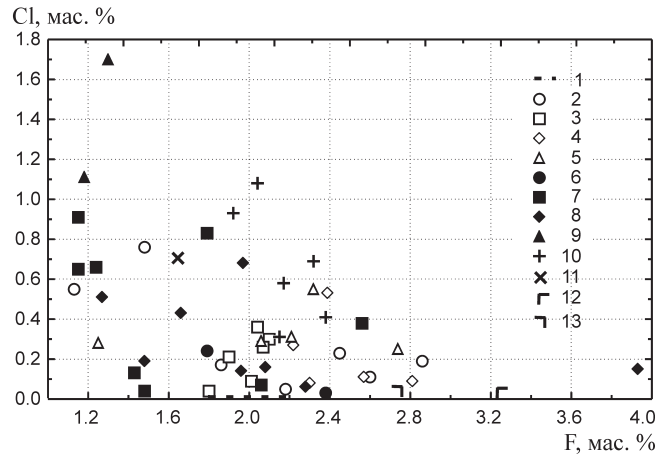
Каждый фигуративный знак отвечает среднему содержанию элемента в одной пробе.

Таблица 1. Средние содержания Cl и F в апатите из гранитоидов медно-порфировых месторождений и непродуктивных массивов Южного Урала

№№ п.п.	Номер пробы	Хлор		Фтор		Число зерен
		Среднее	$\pm 1\sigma$	Среднее	$\pm 1\sigma$	
Михеевское месторождение						
1	3004-80	0.19	0.12	1.48	0.38	4
2	3004-92	0.68	0.48	1.97	0.69	10
3	3004-50	0.14	0.05	1.96	0.42	4
4	3002-113	0.51	0.17	1.27	0.49	5
5	3039-181	0.16	0.05	2.08	0.28	4
6	3002-121	0.43	0.16	1.66	0.65	7
7	3039-175	0.06	0.08	2.28	0.75	6
8	3004-61	0.15	0.006	3.93	0.12	3
Тарутинское месторождение						
9	96-43	0.83	0.28	1.79	0.58	7
10	143-17	0.38	0.18	2.56	0.90	7
11	71-20	0.66	0.23	1.24	0.83	5
12	Б/н	0.65	0.32	1.15	0.56	6
13	10-22	0.91	0.41	1.15	0.13	4
14	252-125	0.13	0.07	1.43	0.38	5
15	256-224	0.07	0.03	2.06	0.29	5
16	253-247	0.04	0.01	1.48	0.13	5
Каракасакское рудопроявление						
17	Кар-16	0.43	0.06	1.81	0.31	5
18	Кар-10	0.33	0.30	1.16	0.31	6
Верхнеуральское рудопроявление						
19	Ву-102	0.69	0.05	2.32	0.45	7
20	3332-110	1.08	0.4	2.04	0.43	11
21	3315-191	0.58	0.19	2.17	0.40	12
22	3321-171	0.31	0.23	2.15	0.34	6
23	3318-217	0.93	0.22	1.92	0.46	7
24	3321-183	0.41	0.15	2.38	0.28	13
Варненский массив						
25	Ва-1	1.70	0.17	1.30	0.19	5
26	Ва-7	1.11	0.13	1.18	0.30	5
Новониколаевский габбро-диоритовый массив						
27	Нн-1	0.48	0.14	1.58	0.80	5
28	Нн-2	0.69	0.14	3.06	0.27	5

Примечание. 1, 2 – габбро-диориты; 3–7 – амфиболовый кварцевый диорит (3) и диоритовый порфирит (4), пропилитизированный кварцевый диорит (5) и диоритовый порфирит (6), серицитизированный кварцевый диорит (7); 8 – гранит мелкозернистый послерудный; 9, 10 – плагиогранодиорит амфиболовый (9) и частично пропилитизированный (10); 11–13 – диоритовый порфирит базокварцевый амфиболовый (11, 12) и слабо серицитизированный (13); 14 – карбонат-кварц-серицитовый метасоматит аподиоритовый; 15, 16 – поздне-, послерудный жильный серицитизированный микропегматитовый гранодиорит (15) и плагиогранит (16); 17, 18 – кварцевый диорит амфиболовый (17) и диоритовый порфирит хлоритизированный (18); 19 – габбро; 20, 21 – пропилитизированные кварцевый диорит (20) и гранодиорит (21); 22, 23 – гранодиорит умеренно (22) и сильно (23) серицитизированные; 24 – хлорит-карбонат-альбитовый метасоматит; 25, 26 – диоритовый порфирит пропилитизированный; 27, 28 – габбро (27) и кварцевый диорит (28). Приведенные здесь и далее анализы выполнены на микрозонде JXA-5 в период 1987–2010 гг.

дует, что содержание хлора в апатите диоритоидов каждого месторождения сильно варьирует в пределах зерен, отдельных образцов и объектов в це-

**Рис. 2.** Соотношение хлора и фтора в апатите из пород медно-порфировых объектов Урала.

Объекты: 1–10 – см. на рис. 1, 11 – кварцевый диорит Вознесенского месторождения, 12 – монцогранодиорит Талицкого месторождения, 13 – заметно серицитизированный кварцевый диорит Северо-Томинского месторождения.

Таблица 2. Средние содержания хлора и фтора в апатите из пород порфировых объектов Среднего Урала (мас. %)

№№ п.п.	Номер пробы	Число зерен	Хлор		Фтор	
			\bar{x}	$\pm 1\sigma$	\bar{x}	$\pm 1\sigma$
1	5-107	11	0.21	0.23	1.90	0.26
2	10-87.8	6	0.36	0.16	2.04	0.42
3	5-95	6	0.09	0.06	2.01	0.43
4	3-76	6	0.30	0.19	2.10	0.34
5	3-71.2	7	0.26	0.12	2.07	0.38
6	5-127.5	6	0.04	0.02	1.80	0.32
7	68	8	0.53	0.11	2.39	0.62
8	52.3	9	0.27	0.22	2.22	0.45
9	100	7	0.11	0.06	2.57	0.64
10	95	5	0.09	0.08	2.81	0.60
11	25.5	8	0.08	0.06	2.30	0.40
12	80-51	7	0.28	0.10	1.25	0.21
13	239-25	10	0.31	0.20	2.21	0.62
14	563-102	10	0.55	0.47	2.32	0.90
15	566-28	7	0.29	0.17	2.06	0.50
16	199-35	5	0.25	0.03	2.74	0.64
17	240-15	8	0.24	0.21	1.79	0.47
18	111	7	0.03	0.02	2.38	0.47

Примечание. 1–6 – Саповское проявление; 7–11 – Восточно-Артемовское рудопроявление; 12–16 – Алтынайский массив; 17, 18 – Артемовский массив. Характеристика пород приведена в табл. 3, 4.

лом. В значительной мере это обусловлено выносом хлора из апатита (содержание до 0.00–0.3 мас. %) при развитии метасоматических ассоциаций, а также причинами рассмотренными в другой статье данного сборника. Поэтому за условно первичные значения содержаний хлора в апатите разумно принять верхние содержания (как правило, отвечающие минимально измененным гранитоидам), варьирующие в интервале 0.4–1.0 мас. %. Количество фтора в апа-

Таблица 3. Средние содержания хлора и фтора в отдельных зернах апатита из пород по скважине 1013 Восточно-Артемовского рудопоявления и Саповского проявления (мас. %)

Глубина, м	№ зерна	Хлор		Фтор		n	Глубина, м	№ зерна	Хлор		Фтор		n	
		x	±1σ	x	±1σ				x	±1σ	x	±1σ		
68	1	0.39	0.11	2.17	0.50	16	5–107	4	0.09	0.02	2.06	0.32	21	
	2	0.39	0.13	1.84	0.12	15		5	0.10	0.04	1.74	0.13	5	
	3	0.44	0.08	1.80	0.20	14		6	0.12	0.03	1.65	0.25	11	
	4	0.51	0.05	1.77	0.15	15		7	0.17	0.05	1.80	0.17	7	
	5	0.60	0.05	2.44	0.30	5		8	0.18	0.02	1.98	0.22	10	
	6	0.60	0.03	2.89	0.12	11		9	0.25	0.11	2.02	0.16	9	
	7	0.64	0.20	2.69	0.18	22		10	0.47	0.18	1.98	0.28	17	
	8	0.64	0.14	3.50	0.21	26		11	0.79	0.06	2.48	0.24	6	
52.3	2	0.06	0.04	1.87	0.27	31		10–87.8	1	0.09	0.02	1.87	0.16	14
	1	0.07	0.02	2.08	0.38	13			2	0.29	0.03	2.80	0.26	9
	4	0.08	0.05	2.60	0.31	17			3	0.32	0.04	1.80	0.18	12
	8	0.16	0.4	2.83	0.21	17	4		0.46	0.05	1.59	0.08	7	
	9	0.24	0.05	2.66	0.25	16	5		0.48	0.10	2.20	0.23	26	
	6	0.24	0.02	1.54	0.13	10	6		0.49	0.07	1.99	0.22	18	
	5	0.27	0.04	2.17	0.27	16	5–95		1	0.03	0.01	1.39	0.13	12
	3	0.30	0.03	1.72	0.19	16			2	0.05	0.02	2.21	0.36	27
7	0.32	0.02	2.51	0.08	12	3		0.06	0.02	1.77	0.15	7		
95	5	0.004	0.005	2.37	0.15	13	4	0.10	0.02	1.97	0.12	10		
	3.	0.05	0.03	2.61	0.33	34	5	0.12	0.02	2.67	0.36	7		
	4	0.06	0.02	3.85	0.23	47	6	0.19	0.08	2.06	0.41	15		
100	1	0.12	0.06	2.78	0.12	16	3–76	1	0.11	0.01	2.74	0.20	14	
	2	0.21	0.05	2.45	0.23	17		2	0.14	0.02	2.11	0.25	9	
	3.	0.04	0.01	2.61	0.33	17		3	0.59	0.02	1.79	0.16	14	
25.5	1	0.06	0.02	2.78	0.12	18	4	0.42	0.03	1.91	0.16	4		
	4	0.06	0.04	3.85	0.23	17	5	0.15	0.04	2.15	0.19	9		
	5	0.09	0.03	2.37	0.15	18	6	0.37	0.79	1.91	0.29	8		
	6	0.13	0.01	2.08	0.38	13	3–71.2	1	0.08	0.01	2.39	0.32	7	
	2	0.18	0.04	2.45	0.23	11		2	0.13	0.03	1.97	0.10	6	
	7	0.19	0.05	1.87	0.27	17		3	0.24	0.03	1.96	0.40	11	
5–107	1	0.02	0.01	1.86	0.24	14	4	0.28	0.06	1.94	0.19	15		
	2	0.02	0.01	2.81	0.18	16	5	0.31	0.02	1.81	0.15	15		
	3	0.04	0.01	2.55	0.28	7	6	0.36	0.03	1.67	0.02	5		
	4	0.04	0.04	2.12	0.20	16	7	0.39	0.05	2.78	0.41	10		
	5	0.06	0.01	1.98	0.20	9	5–127.5	1	0.07	0.03	2.35	0.20	14	
	6	0.14	0.02	1.86	0.12	12		2	0.03	0.01	1.53	0.11	4	
	7	0.14	0.01	2.48	0.27	5		3	0.04	0.01	2.00	0.18	8	
	8	0.14	0.02	2.74	0.34	8		4	0.03	0.01	1.65	0.11	10	
5–107	1	0.03	0.01	1.65	0.18	11	5	0.03	0.01	1.73	0.19	5		
	2	0.06	0.02	1.98	0.32	17	6	0.05	0.01	1.52	0.34	24		
	3	0.09	0.01	1.56	0.14	5								

Примечание. **Восточно-Артемовского рудопоявление:** 68 – м/з и м/з–с/з кварцевый диорит слабо серицитизированный, 52.3 и 95 – тоже умеренно–сильно серицитизированные и пиритизированные, 100 и 25.5 – серицит-кварцевые метасоматиты пиритизированные. **Саповское проявление:** 5–107, 10–87.8, 5–95 – диоритовые порфириды базокварцевые; 3–76 – эпидозит; 3–71.2 – базальт; 5–127.5 – диабаз-базальт очень сильно пиритизированный. Содержание пирита в пробах (кроме 5–127.5) не превышает 1–3 мас. %. x – среднее арифметическое, σ – квадратическое отклонение, n – количество определений в зерне.

тите из диоритоидов также варьирует в широких пределах (обычно 1.2–2.1 мас. %), обычно повышаясь в кислотных метасоматитах и от ранних генераций к поздним (табл. 5). При преобразовании диоритов в эпидозиты и эндоскарны существенной миграции фтора не наблюдается, иногда фиксируется слабый привнос. Следующий по времени процесс – кислотное выщелачивание, сопровождается значительным привносом фтора. Так, по мере усиления серицити-

зации диоритов содержание фтора в апатите из них увеличивается, достигая 3.3–4.5 мас. % в серицит-кварцевых метасоматитах. Заключительный этап минералообразования – сульфидизация метасоматитов, также сопровождается привносом фтора. Например, апатит из существенно сульфидных метасоматитов, образовавшихся по экзоскарнам и мраморам, содержит 1.3–2.5 мас. % фтора, то есть столько же, сколько содержит и апатит из диоритов (рис. 1).

Таблица 4. Средние содержания хлора и фтора в отдельных зернах апатита из гранитоидов Алтынайского и Артемовского массивов (мас. %)

Скв., глуб. в метрах	№ зерна	Хлор		Фтор		n	Скв., глуб. в метрах	№ зерна	Хлор		Фтор		n
		x	±1σ	x	±1σ				x	±1σ	x	±1σ	
80–51	1	0.18	0.01	0.95	0.09	10	566–28	1	0.06	0.02	2.74	0.18	17
	2	0.21	0.02	1.00	0.14	13		2	0.13	0.03	1.49	0.27	12
	3	0.26	0.01	1.25	0.10	7		3	0.23	0.05	1.95	0.21	9
	4	0.27	0.02	1.34	0.28	11		4	0.31	0.03	1.71	0.15	15
	5	0.27	0.02	1.51	0.16	16		5	0.38	0.12	1.66	0.29	23
	6	0.32	0.07	1.42	0.14	14		6	0.41	0.23	2.70	0.25	26
	7	0.48	0.12	1.27	0.20	16		7	0.54	0.07	2.16	0.23	10
239–25	1	0.05	0.01	1.67	0.20	14	199–35	1	0.00	0.00	2.25	0.15	14
	2	0.05	0.02	2.28	0.25	15		2	0.004	0.005	2.37	0.15	8
	3	0.19	0.01	1.46	0.26	12		3	0.01	0.00	2.63	0.31	7
	4	0.26	0.04	1.95	0.29	15		4	0.05	0.03	2.61	0.33	12
	5	0.26	0.12	3.30	0.23	14		5	0.06	0.02	3.85	0.23	15
	6	0.27	0.03	1.78	0.15	11	240–15	1	0.11	0.03	1.26	0.15	8
	7	0.36	0.02	1.88	0.19	16		2	0.13	0.01	1.99	0.18	7
	8	0.49	0.11	2.91	0.32	11		3	0.13	0.03	2.29	0.17	15
	9	0.59	0.05	2.94	0.13	15		4	0.14	0.01	1.56	0.16	17
	10	0.61	0.03	1.95	0.12	14		5	0.19	0.03	1.59	0.25	17
563–102	1	0.06	0.03	3.56	1.82	22	III	6	0.21	0.03	2.22	0.20	20
	2	0.09	0.02	2.11	0.15	12		7	0.26	0.05	2.26	0.19	15
	3	0.11	0.02	1.58	0.11	17		8	0.73	0.21	1.11	0.16	14
	4	0.14	0.03	3.16	0.17	17		1	0.01	0.01	2.05	0.30	14
	5	0.36	0.02	1.88	0.36	10		2	0.02	0.01	3.05	0.18	16
	6	0.47	0.32	3.93	3.05	21		3	0.02	0.01	1.99	0.17	15
	7	0.82	0.04	1.47	0.15	12		4	0.02	0.01	1.75	0.23	17
	8	1.01	0.05	1.96	0.17	15		5	0.04	0.03	2.51	0.26	15
	9	1.18	0.09	1.88	0.12	10	6	0.05	0.02	2.50	0.30	15	
	10	1.22	0.10	1.63	0.16	8	7	0.05	0.01	2.80	0.24	13	

Примечание. Алтынайский массив: 80–51, 239–25, 563–102, 566–28 – среднезернистые амфиболовые соответственно диорит, кварцевый диорит, кварцевый диорит и гранодиорит I фазы; 199–35 – гранит II фазы. Артемовский массив: 240–15 – амфиболовый кварцевый диорит, I фаза; III – с/з–к/з амфибол-биотитовый гранит с небольшим количеством калишпата, II фаза. x – среднее арифметическое, σ – квадратическое отклонение, n – количество определений в зерне.

Таблица 5. Содержание фтора и хлора в зернах апатита, включенных в различные минералы, мас. %

Элемент	Биотит, Амфибол*	Плагиоклаз	Калишпат	Кварц	Эпидот	Межзерновое пространство
Вознесенское Мо-Си-порфировое месторождение, кварцевый диорит (скв. 3, гл. 260 м)						
F	1.68*, 1.58, 1.51*	1.96		1.29		1.66, 1.96
Cl	0.55 0.42 1.11	0.55		1.25		0.42 0.57
Талицкое Мо-порфировое месторождение, монзонит (скв. 74, гл. 112 м)						
F	3.53*, 3.11, 3.24*	2.84, 3.27	2.80		3.43	3.40, 3.43

Примечание. Определения выполнены В.А. Чашухиной и В.Г. Гмырой в 1996 г.

Таким образом, уровень содержания хлора в апатите гранитоидов скорее всего не может считаться критерием их специализации на медно-порфировое оруденение. Отсутствие стабильной корреляции между концентрацией хлора в апатите гранитоидов и степенью их медно-порфировой рудоносности следует и из работ S.E. Kesler и W.T. Parry, В.И. Сотникова. То же можно сказать и относительно колчеданных рудно-магматических систем, данные по которым приведены в [3]. В то же время для магнетит-скарновых месторождений, апатиты рудоносных гранитоидов которых содержат более 1.0–1.5 мас. %, роль хлора как переносчика железа очень вероятна [3]. Это подтверждается приве-

денными в настоящей статье материалами по Промежуточному магнетит-медно-скарновому месторождению, а также экспериментальными данными. Меньшие содержания хлора в апатите порфировых гранитоидов могут быть обусловлены повсеместным низко-среднетемпературным изменением последних. Как известно (экспериментальные данные I.A. Kiling и С.W. Burnham, М.А. Коржинского, J.L. Munoz), коэффициент распределения хлора между флюидом и конденсированными фазами сильно смещен в пользу флюида. К тому же он быстро возрастает с понижением температуры. Поэтому низко-среднетемпературный метасоматоз, обычно проявленный на порфировых месторожде-

ниях, должен сопровождаться существенным переходом хлора во флюид, различным в разных ситуациях. Однако, основная причина отсутствия прямой корреляции между содержанием хлора в апатите и рудоносностью порфировых гранитоидов, скорее всего, определяется тем, что хлор не является основным адендом медьсодержащих комплексных соединений при порфировом минералообразовании. Учитывая исключительно широкое распространение сульфидов в медно-порфировых и колчеданных месторождениях (сотни млн. тонн), можно, по-видимому, полагать, что ведущая роль в переносе и отложении меди принадлежит не хлоридным, а сложным гидросульфидным и сульфатным комплексам. Это подтверждается результатами современных исследований – очень высокой концентрацией серы во флюидных включениях из магматитов и гидротермалитов, что обусловлено очень

высоким коэффициентом распределения серы между флюидом и расплавом (100–500 в зависимости от фугитивности кислорода по экспериментам различных авторов).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабежнев А.И., Белгородский Е.А. Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 199 с.
2. Грабежнев А.И., Чацухина В.А., Вигорова В.Г. Геохимические критерии редкометальной рудоносности гранитов. Екатеринбург: УрО АН СССР, 1987. 124 с.
3. Холоднов В.В., Бушляков И.Н. Галогены в эндогенном рудообразовании. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 392 с.