

С.Л.ВОТЯКОВ, А.Б.МИРОНОВ, Н.С.БОРОДИНА, И.Н.БУШЛЯКОВ, В.Н.БЫКОВ

О ВНУТРИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ КАТИОНОВ ЖЕЛЕЗА
В АМФИБОЛАХ ИЗ ГРАНИТОИДОВ И МЕТАМОРФИТОВ УРАЛА

Приводятся результаты изучения амфиболов из гранитоидов и вмещающих метаморфических пород Урала методом мессбауэровской спектроскопии, продолжая — публикации /2, 3/. Объектом исследования послужили роговые обманки из гранитоидов, слагающих детально изученные /1, 4, 8/ массивы различной формационной и фациальной принадлежности: Магнитогорский, Верхисетский, Иргизский и др., а также из амфиболитов и изофациальных с ними гнейсов Ильменогорского комплекса.

Наименование и местоположение пород, из которых отобраны минералы, приведены в таблице. В целом рассматриваемые роговые обманки близки по химизму. Некоторые различия, связанные с фациальными особенностями становления материнских гранитоидов, показаны ранее. Наиболее существенным для данного исследования является вывод о корреляции особенностей состава феррических силикатов, обусловленных режимом кислорода (их железистости, степени окисления железа), с феррофациями, выделенными на основе баланса железа между силикатами и окислами в породах /7/.

Экспериментальные мессбауэровские спектры амфиболов были обработаны по программе Peakfit в модели четырех дублетов /6/, один из которых сопоставлен с ионами трехвалентного железа, а остальные три — с ионами двухвалентного железа, занимающими три неэквивалентные M_1 – M_3 позиции структуры. Анализ значений химических сдвигов (δ) и квадрупольных расщеплений (Δ) спектров (см. таблицу) показывает, что они изменяются по образцам нерегулярно и в целом удовлетворительно соответствуют значениям, опубликованным ранее /7/. На основании данных по площадям соответствующих дублетов (s_1 – s_4) нами выполнена оценка степени окисления железа (s_4) и анализ особенностей распределения ионов закисного железа между октаэдрическими позициями M_1 , M_2 , M_3 структуры амфибола. Последние различаются как с качественной стороны — составом ближайших анионов (шесть кислорода в M_2 -позиции, четыре кислорода и две OH-группы в M_1 - и в M_3 -позициях), так и с количественной — размерными и симметричными параметрами полиэдров. Заметим, что в исследованных роговых обманках отмеченные октаэдрические позиции заполнены ионами Fe^{2+} , Mg, Fe^{3+} , Al, Mn и

Параметры спектров ЯГР роговых обманок

№ п/п	$\text{Fe}^{2+}(\text{M}_1)$			$\text{Fe}^{2+}(\text{M}_2)$			$\text{Fe}^{2+}(\text{M}_3)$			$\text{Fe}^{3+}(\text{M}_1-\text{M}_3)$		
	δ_1	Δ_1	$S_1, \%$	δ_2	Δ_2	$S_2, \%$	δ_3	Δ_3	$S_3, \%$	δ_4	Δ_4	$S_4, \%$
I	1,35	2,70	45,95	1,21	1,86	8,05	1,31	2,26	27,06	0,71	0,56	18,94
2	1,35	2,77	51,85	1,35	1,79	15,44	1,32	2,35	14,74	0,66	0,70	17,97
3	1,36	2,79	40,76	1,35	1,78	20,50	1,36	2,19	16,22	0,56	0,91	22,52
4	1,36	2,80	41,40	1,31	1,81	19,92	1,31	2,30	21,02	0,71	0,51	17,62
5	1,36	2,74	30,18	1,25	2,02	11,54	1,30	2,47	22,81	0,65	0,65	35,47
6	1,36	2,81	31,96	1,24	2,05	13,19	1,32	2,46	20,97	0,66	0,64	33,88
7	1,37	2,85	28,64	1,28	1,89	12,88	1,33	2,43	27,48	0,68	0,62	31,02
8	1,37	2,82	27,20	1,26	2,04	18,89	1,32	2,54	23,11	0,70	0,57	30,80
9	1,34	2,75	34,28	1,27	1,93	14,49	1,33	2,35	24,56	0,73	0,54	26,67
10	1,37	2,78	37,62	1,37	1,87	21,79	1,38	2,37	22,05	0,48	1,00	18,54
II	1,38	2,85	28,62	1,29	1,93	15,48	1,34	2,43	27,47	0,70	0,59	28,43
12	1,40	2,77	29,09	1,30	2,00	17,27	1,34	2,50	26,96	0,64	0,61	26,68
13	1,37	2,74	38,47	1,37	1,75	18,96	1,35	2,32	27,22	0,65	0,76	15,36
14	1,36	2,77	28,33	1,26	2,00	12,69	1,33	2,44	27,75	0,66	0,63	31,23
15	1,34	2,58	51,58	1,21	2,00	14,82	1,36	2,30	12,23	0,71	0,56	21,36

Примечание. Магнитогорская группа массивов: I - габбро-диорит, 2, 3 - кварцевые диориты, 4 - гранит; Верхисетский массив: 5 - гранодиорит, 6 - гранит; Краснопольский массив: 7 - гранодиорит, 8 - гранит; Карасколь - ский массив (иргизский комплекс): 9, 10 - кварцевые диориты; ильменогорск-ий комплекс: II-13 - амфиболиты, 14 - амфибол-биотитовый гнейс, 15 - мигматит.

Вариации состава амфиболов, а также условий их кристаллизации и последующей эволюции должны влиять на особенности распределения указанных катионов между M_1 - M_3 позициями.

На тройной диаграмме, показывающей соотношение заселенностей различных позиций ионами Fe^{2+} , отчетливо выделяются две группы амфиболов: в первой из них доля ионов Fe^{2+} в позиции M_1 превышает 50%, доля M_3 составляет 30%, а M_2 - 10-24%; во второй группе доля ионов Fe^{2+} в M_1 - позиции снижена (39-48%), а M_3 , напротив, повышена (32-42%) при близкой величине M_2 (17-27%). В среднем соотношение числа ионов Fe^{2+} в позициях $\text{M}_1:\text{M}_2:\text{M}_3$ для первой группы равно 3:1:1, для второй - 2,5:1:1,5. Согласно кристаллографическим данным [6], это соотношение в элементарной ячейке амфиболов составляет 2:2:1, т.е. распределение ионов Fe^{2+} по этим позициям не соответствует статистическому и неодинаково для амфиболов двух выделенных групп.

Важно подчеркнуть, что эти амфиболы различаются и по петрологическим данным. Первую группу составляют образцы из гипабиссальных гранитоидов магнетитовой феррофации (Магнитогорская группа массивов) и мигматита из ильменогорского комплекса. Высокий кислородный потенциал, существовавший при их формировании [7], способствовал преобразованию первичного высокотемпературного амфибола с выделением свободного магнетита согласно реакции $\text{Am}^{\text{Fe}} \rightarrow \text{Am}^{\text{Mg}} + \text{Mt}$; новообразованный низкотемпературный амфибол характеризуется невысокой и прак-

тически постоянной железистостью и пониженной степенью окисления железа (см. таблицу). Вторая группа представлена роговыми обманками в основном из глубинных и мезоабиссальных гранитоидов безмагнетитовой феррофации (Верхисетский, Краснопольский массивы) и близких к ним по физико-химическим условиям формирования метаморфитов амфиболитовой фации метаморфизма. Это более высокотемпературные амфиболы с повышенной железистостью и высокой степенью окисления железа.

Имеющиеся литературные данные [5] указывают на то, что устойчивость ионов закисного железа, другими словами, способность к окислению при определенных термодинамических условиях и фугитивности кислорода, весьма различна в неэквивалентных M_1 - M_3 позициях. Отмечалась следующая закономерность в скорости окисления железа: $M_1 > M_3 > M_2$. Меньшая доля ионов Fe^{2+} в позиции M_1 в амфиболах из более высокотемпературных первичных амфиболов второй группы, в соответствии с этими данными, обусловлена более высокой степенью окисления железа в M_1 -позиции по сравнению с низкотемпературными амфиболами второй группы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-05-84-57).

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Бушляков И.Н., Соболев И.Д. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М.: Наука, 1976.
2. Вотяков С.Л., Бородин Н.С., Быков В.Н. и др. Мессоауаровская спектроскопия биотитов из гранитоидов Урала // Ежегодник-1992 / Ин-т геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург, 1993. С.80-83.
3. Вотяков С.Л., Бородин Н.С., Быков В.Н. и др. Особенности внутрикристаллического распределения ионов железа в биотитах из гранитоидов Урала // Геохимия. 1994. № 2. С.239-251.
4. Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических пород. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1971.
5. Литвин А.Л., Иваницкий В.П. Влияние изоморфизма $Mg^{2+} \rightarrow Fe^{2+}$ и $OH \rightarrow F$ // Тезисы VI Всесоюзного симпозиума по метаморфизму. М., 1988. С.130.
6. Радиоспектроскопия слюды и амфиболов. Киев: Наука, 1980.
7. Ферштатер Г.Б. Петрология главных интрузивных ассоциаций. М.: Наука, 1987.
8. Эвгеосинклинальные габбро-гранитидные серии. М.: Наука, 1984.