

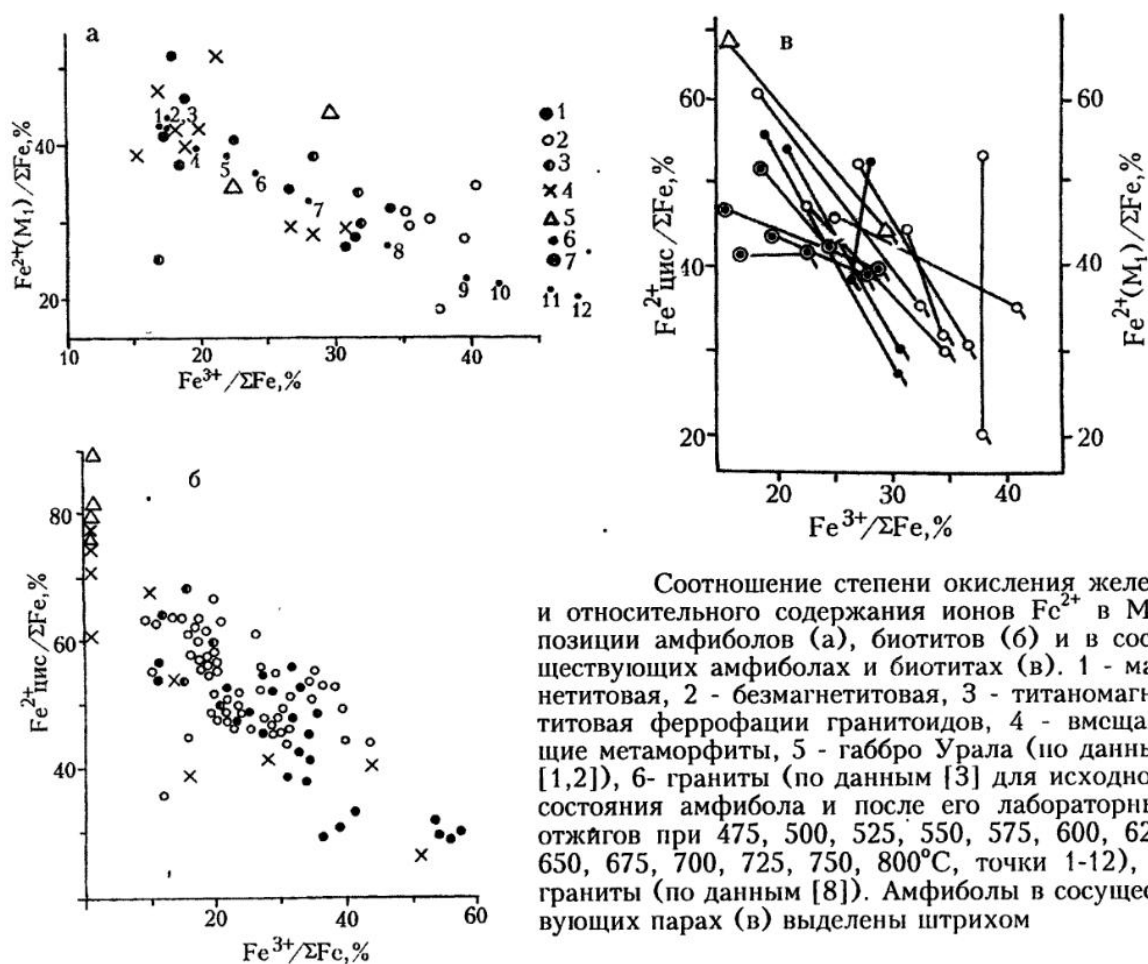
Н.С. Бородина, С.Л. Вотяков

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТИОНОВ ЖЕЛЕЗА В
СОСУЩЕСТВУЮЩИХ АМФИБОЛАХ И БИОТИТАХ ИЗ ГРАНИТОИДОВ УРАЛА,
ПО ДАННЫМ ЯГР**

Сосуществующим мафическим минералам в гранитоидах - амфиболам и биотитам - посвящено большое число работ петрологов, пытавшихся с помощью распределения одноименных элементов между разными минеральными фазами выяснить условия петрогенезиса. При этом параметр степени окисления железа использовался сравнительно редко, что отчасти обусловлено невозможностью определения трехвалентного железа широко используемыми микрозондовыми методами, а главным образом тем, что существование разновалентных ионов железа в темноцветных минералах связано не только с процессами окисления - восстановления, но и с разнообразным гетеровалентным изоморфизмом в указанных минералах. Большое внимание в литературе было уделено также изучению межпозиционного распределения катионов, включая железо, в амфиболах и биотитах разного состава [3-6], в отдельных работах - и в сосуществующих [8]. Однако сравнительный анализ этого распределения в указанных минералах, насколько нам известно, отсутствует. Ранее нами с соавторами были опубликованы результаты исследования внутрикристаллического распределения катионов железа для биотитов [1] и амфиболов [2] из уральских пород методом ядерного гамма-резо-

нанса (ЯГР). Для ионов Fe^{2+} в биотитах были выполнены оценки относительного содержания в октаэдрических цис- и транс-позициях, а в амфиболах - в М1, М2, М3 - позициях. Для ионов Fe^{3+} как в биотитах, так и в амфиболах были получены лишь суммарные значения содержаний по всем неэквивалентным позициям, без выделения отдельных компонентов. Ниже проведено сопоставление полученных данных по сосуществующим минералам из гранитоидов, слагающих Верхнететский, Караскольский, Краснопольский, Мурзинский и Новобурановский массивы. Для сравнения привлечены данные по биотитам и амфиболам из гранитоидов с одним темноцветным минералом из вышеназванных, а также Адуйского, Бердяушского, Владимирско-Кулевчинского, Краснинского и Куйбасовского массивов. Всего проанализировано около 100 проб, из них 9 пар сосуществующих минералов.

В биотитах из гранитоидов, как было показано [1], окисление железа идет преимущественно за счет ионов в цис-позиции, т.е. относительное содержание Fe^{3+} обратно пропорционально содержанию Fe^{2+} в цис-позиции, а в амфиболах окисление идет преимущественно за счет М1-позиции [2], т.е. обратно пропорциональной зависимостью связано содержание ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} в позиции М1. Известна структурная аналогия Fe^{2+} в цис-позиции из октаэдрического слоя биотитов и в М1-позиции амфиболов, тогда как кристаллохимические свойства ионов Fe^{2+} в транс-позиции биотитов сопоставимы с таковыми у ионов Fe^{2+} в М3-позиции амфиболов [6]. Этим обстоятельством обусловлен выбор осей на диаграммах (см. рисунок), связывающих степень окисления железа ($\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$) в амфиболах и биотитах с относительным содержанием Fe^{2+} в позиции



Соотношение степени окисления железа и относительного содержания ионов Fe^{2+} в М1-позиции амфиболов (а), биотитов (б) и в сосуществующих амфиболах и биотитах (в). 1 - магнетитовая, 2 - безмагнетитовая, 3 - титаномagnetитовая феррофации гранитоидов, 4 - вмещающие метаморфиты, 5 - габбро Урала (по данным [1,2]), 6- граниты (по данным [3] для исходного состояния амфибола и после его лабораторных отжигов при 475, 500, 525, 550, 575, 600, 625, 650, 675, 700, 725, 750, 800°C, точки 1-12), 7- граниты (по данным [8]). Амфиболы в сосуществующих парах (в) выделены штрихом

M1 для амфиболов и в транс-позиции для биотитов. Наряду с амфиболами (см. рисунок) и биотитами (см. рисунок), показаны сосуществующие минералы (см. рисунок), соединенные коннодами, а также приведены данные работы [3] по динамике изменения содержания Fe^{2+} (M1) и степени окисления железа в процессе лабораторных отжигов образца амфибола из гранитов.

Заметим, что процесс окисления амфибола при отжиге, согласно [9], сопровождается депротонизацией ближайшей ОН-группы, а также значительным разупорядочением катионов железа по позициям. Весь массив данных по биотиту свидетельствует об обратной корреляции рассматриваемых параметров, т.е. подтверждается вывод о появлении ионов Fe^{3+} в биотите за счет окисления Fe^{2+} в цис-позиции. Заметна аналогичная корреляция между рассматриваемыми разновалентными катионами железа в амфиболе, что подтверждается и приведенными на рисунке экспериментальными данными по отжигу амфибола. Расположение сосуществующих амфиболов и биотитов еще более подчеркивает эту корреляцию. Линии, соединяющие оба минерала, следуют генеральному направлению корреляции. При этом в каждой паре амфибол имеет большую степень окисления и соответственно меньшее содержание двухвалентного железа в M1-позиции. Исключения составляют лишь две пары образцов из гранитоидов Верхисетского и Краснопольского массивов, для которых величины степени окисления железа в амфиболе и биотите практически равны.

Приведенные данные хорошо согласуются с различным поведением амфибола и биотита при изменении Р-Т параметров и летучести кислорода. Амфибол менее устойчив к окислению, чем биотит, он окисляется соответственно при меньшей фугитивности кислорода. Этим обусловлено его распространение в породах магнетитовой феррофации, в которых магнетит образуется за счет окисления преимущественно роговой обманки [7]. Мы полагаем, что разница между степенью окисления железа в этих минералах, амфиболе и биотите, с учетом их состава, сопоставленная с соответствующими экспериментальными данными, может создать базу для разработки потенциального фугометра для проведения оценок летучести кислорода. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 96-05-64532 и 95-05-14280).

Список литературы

1. Вотяков С.Л., Бородин Н.С., Быков В.Н. и др. Внутрикристаллическое распределение ионов железа в биотитах из гранитоидов Урала // *Геохимия*. 1994. N 2. С. 239-251.
2. Вотяков С.Л., Миронов А.Б., Бородин Н.С. и др. О внутрикристаллическом распределении катионов железа в амфиболах из гранитоидов и метаморфитов Урала // *Ежегодник-1993/ Ин-т геологии и геохимии*. Екатеринбург: УрО РАН. 1994. С.88-90.
3. Иваницкий В.П., Литвин А.Л., Остапенко С.С. и др. Влияние термических процессов окисления и дегидроксидации на структуру и физико-химические свойства гастингситовой роговой обманки // *Минералогический журнал*. 1994. Т. 16, N 2. С. 36-49.
4. Липидес И.Л., Валетов Т.А. Упорядоченность катионов в амфиболах. М.: Наука, 1986.
5. Литвин А.Л. Кристаллохимия и структурный типоморфизм амфиболов. Киев: Наукова думка, 1977.
6. Матяш И.В., Калиниченко А.М., Литовченко А.С. и др. Радиоспектроскопия слюд и амфиболов. Киев: Наукова думка, 1980.
7. Ферштатер Г.Б. Петрология главных интрузивных ассоциаций. М.: Наука, 1987. 232 с.

8. *Bancroft G.M., Brown J.R.* A Mossbauer study of coexisting hornblendes and apatites: quantitative $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ratios // *American Mineralogist*. 1975. Vol. 60, N 3-4. P.265-272.

9. *Hawthorne F.C.* Crystal chemistry of the amphiboles // *Reviews in Mineralogy*. 1981. Vol. 9A. Amphiboles and other hydrous pyriboles. P.1-95.