

УДК 550.4 : 546.27 + 549.612

© Д. чл. УАГН Н.А.Григорьев

ТУРМАЛИН КАК НОСИТЕЛЬ БОРА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

*Институт геологии и геохимии Уральского Отделения РАН
620151 Екатеринбург, Почтовый переулок, 7
E-mail: root @ igg. e-burg. su*

© N.A. Grigor'ev

TOURMALINE AS CARRIER OF BORON IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S

*Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of
Russian Academy of Sciences*

Автореферат

Роль турмалина и других борных минералов как носителей В в верхней части континентальной коры рассчитана по модели А.Б. Ронова и др. (1990). Расчет выполнен на основе больше чем 3500 количественных минералогических анализов важнейших горных пород. Установлено, что в борных минералах сконцентрировано 4,08 % массы В. В том числе: в турмалине - 3,91, в корнерупине - 0,16, в аксините - 0,01 %. Эти цифры - минимально возможные.

Ключевые слова: турмалин, носитель, бор, верхняя часть континентальной коры.

Abstract

The role of tourmaline and others minerals of boron as carriers of B in the upper continental crust's has been defined by the model of A. B. Ronov et al.(1990). Calculation has been made by the base more than 3500 quantitative mineralogical analyses of important rocks. It was established, that in the minerals of boron concentration 4.08 % of masses B. In particular: in tourmaline - 3.91, in kornerupine - 0.16, in axinite - 0.01 %. These figures a minimal from possible.

Key words: tourmaline, carrier's, boron, upper continental crust.

Введение

Турмалин - единственный борный минерал, часто учитываемый при определениях содержаний акцессорных минералов в

горных породах. Данные, позволяющие определить его роль как носителя В, представляют три направления исследований. Первое - косвенное определение вероятной роли турмалина, исходя из содержаний В в породообразующих минералах. Г. Хардер (1965) показал, что в большинстве породообразующих минералов содержание В варьирует вблизи его среднего для земной коры. Повышенным содержанием В характеризуются преимущественно светлые листовые силикаты: серицит, мусковит, парагонит, иллит. Поэтому он утверждал, что это - главные носители В в горных породах. Анализ же всей совокупности данных позволял предполагать, что роль борных минералов второстепенная. Обобщение данных этих и полученных позже выполнил В.В. Иванов (1996). Он в подтвердил отмеченное. Вопрос о роли борных минералов (в том числе турмалина) как носителей В остался открытым.

Второе направление - определение среднего содержания турмалина в массивах горных пород. Отметим наиболее значительные данные. По А.Б. Ронову с коллегами (1963) среднее содержание турмалина в песках Русской платформы - 0,059 мас. %. При различных комбинациях данных В.В. Ляховича (1967) среднее для гранитов СССР содержание турмалина 0,0012-0,0018 мас.%. На основе этих и других подобных данных автор приблизительно определил среднее содержание турмалина в верхней части земной коры - 0,0066 мас. % (Григорьев, 1999). Оно соответствует доле массы В, сконцентрированной в турмалине - 23 отн.%. К сожалению, эти цифры преувеличены из-за недостатков исходных данных.

Третье направление - наиболее корректное, но трудоемкое. Это определение минеральных балансов В в конкретных горных породах. Первые три баланса В в гранитах Гарца рассчитал Х. Пиллер (Piller, 1951). Доли масс В, сконцентрированные в турмалине, здесь 0,1-34 отн. %. В дальнейшем были получены данные достаточные для расчета еще 42 минеральных балансов В в гранитоидах и вулканических породах (Косалс, Мазуров, 1968, Ежков, Левченко, 1972, Анастасенко, 1973, Антипин и др., 1982, Геохимия..., 1984, Зубков, Петров, 1984, Могаровский, 1987). Но борные минералы в них не учтены. Суммы учтенных долей масс В варьируют вблизи 100 отн. %. Турмалин был учтен только при изучении трех проб из пегматита Тип Топ в Южной

Дакоте. Здесь доли масс В, сконцентрированные в турмалине по расчету составляют 79, 95 и 108 % от массы В в пегматитах (Shearer, Papike, 1986). В последнем случае во всех прочих минералах находится всего 0,05 % массы В.

Таким образом, результаты отмеченных исследований неоднородны. Но в литературе рассеяны тысячи количественных определений содержаний акцессорных минералов в горных породах. В СССР значительная часть этих анализов была выполнена методами, позволявшими учитывать борные минералы. Такие данные использованы для очередного приближения к пониманию действительной ситуации.

Исходные данные и методика расчетов

Расчет выполнен на базе фрагмента модели химического строения земной коры А.Б. Ронова и др. (1990), несколько детализированного автором. Верхняя часть континентальной коры рассматривается в составе двух слоев: осадочного и гранитно-гнейсового. Средние содержания В в магматических породах гранитно-гнейсового слоя - по Л.Н. Овчинникову (1990), остальные – авторские (Григорьев, 2003). Средние содержания В в борных минералах определены приблизительно по литературным данным. Средние содержания борных минералов в горных породах рассчитаны по опубликованным результатам больше 3500 количественных минералогических анализов проб горных пород. Наиболее изучены: пески и песчаники осадочного слоя (>1164 проб), граниты (> 739 проб), гранодиориты и прочие гранитоиды повышенной основности (459 проб), сиениты (> 539 проб), базиты (>96 проб), метабазиты (> 84 проб), ультрабазиты (>76 проб), парагнейсы и прочие парасланцы (>72 проб). Относительно слабо изучены главные концентраторы В – глины и глинистые сланцы (> 23 проб). Количество изученных проб по каждой из остальных горных пород или не известно, или меньше 50. Главные источники исходных данных перечислены раньше (Григорьев, 2004). Поэтому здесь отмечены только дополнительные источники.

Глины четвертичные Предкарпатского сероносного бассейна (Даценко, 1969). **Граниты** Джорджии (Wright, 1966). **Парагнейсы**: кембрийские или протерозойские альбит-серицит-кварцевые сланцы по филлитам Северного Урала (Старков,

1963), нижне-палеозойские и докембрийские сланцы Мариленд ((Fisher. 1971), докембрийские парагнейсы Антарктиды (Равич, Соловьев, 1966).

Роль борных минералов определена в отношении тех масс В, которые имеются в данной группе горных пород, в данном слое или в верхней части континентальной коры.

Распределение масс В в совокупности континентальных горных пород

Новые данные о среднем содержании В в континентальных породах (Григорьев, 2003) подробнее имевшихся раньше. Средние содержания В в этих породах по новым данным примерно вдвое больше, чем по литературным. Сравним среднее содержание В в верхней части континентальной коры в мас. %: 0,0034 (Григорьев, 2003); 0,0015 (Тейлор, Мак-Леннан, 1988) и 0,00017 (Wedepohl, 1995). В верхней части континентальной коры В - избыточный элемент. Его среднее содержание в совокупности континентальных осадочных пород (0,0072%) в 3,5 раза больше того, которое могло быть унаследовано от гранитно-гнейсового слоя современного состава (0,002 %, расчет изоалюминиевым методом). Главные концентраторы В: в осадочном слое – глины и глинистые сланцы, в гранитно-гнейсовом – парагнейсы и парасланцы (табл.1). Они же главные носители В.

Доли масс В, сконцентрированные в турмалине и других борных минералах

Согласно полученным данным доли массы В, сконцентрированные в турмалине в осадочном, гранитно-гнейсовом слоях и верхней части континентальной коры соизмеримы (табл. 2). Но в осадочном слое роль турмалина резко варьирует. Она максимальная в кремнистых породах, песках и песчаниках, минимальная - в эвапаритах, в карбонатных и вулканогенных породах (табл. 3). В гранитно-гнейсовом слое максимальной ролью турмалина характеризуются: граниты, гранодиориты, базиты и гранито-гнейсы. Роль других борных минералов заметная только в гранитоидах и парасланцах. Среднее содержание в гранитах: аксинит – $1,4 \cdot 10^{-4}\%$, дюмонтьерит - $1 \cdot 10^{-7}\%$. Сконцентрированные в них доли масс В соответственно 0,2 и $< 0,01\%$. В гранодиоритах установлен аксинит ($1 \cdot 10^{-7}\%$). Доля массы В в нем 15

Таблица 1
Распределение массы В в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса пород, отн. %	Содержание В, 10 ⁻⁴ мас. %	Доли массы В, отн. %
Пески и песчаники	5,11	26	3,91
Глины и глинистые сланцы	10,4	110	33,68
Карбонатные породы	3,85	37	4,19
Кремнистые породы	0,33	10	0,1
Эвапориты	0,26	38	0,29
Кислые вулканыты	0,44	29	0,38
Средние вулканыты	1,13	38	1,26
Основные вулканыты	2,11	9	0,56
Граниты	8,21	13	3,14
Гранодиориты	3,38	12	1,19
Базиты	1,5	5	0,22
Сиениты	0,05	9	0,01
Ультрабазиты	0,05	3	<0,01
Метапесчаники	2,92	17	1,46
Парагнейсы и парасланцы	30,56	36	32,39
Метаморфизованные карбонатные породы	1,13	17	0,565
Железистые породы	0,38	70	0,78
Гранито-гнейсы	23,21	20	13,66
Метариолиты	0,66	24	0,47
Метаандезиты	1,03	16	0,485
Метабазиты	3,29	13	1,26
Верхняя часть континентальной коры	100	33,97	100,00
Осадочные породы	19,95	71,8	42,17
Вулканыты осадочного слоя	3,68	20,3	2,2
Осадочный слой	23,23	63,78	44,37
Магматы гранито-гнейсового слоя	13,19	11,78	4,57
Параметаморфические породы	34,99	34,17	35,2
Ортометаморфические породы	28,19	19,14	15,88
Гранито-гнейсовый слой	76,37	24,75	55,64

Таблица 2

Роль борных минералов как носителей В в верхней части континентальной коры

Минералы	Среднее содержание В в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранито-гнейсовый слой.		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов, %	Доли массы В, отн. %	Содержание минералов, %	Доли массы В, отн. %	Содержание минералов, %	Доли массы В, отн. %
Корнерупин	0,89			7,8·10 ⁻⁴	0,28	0,0006	0,16
Дюмонтьерит	1,5			1·10 ⁻⁸	<0,01	7,6·10 ⁻⁹	<0,01
Аксинит	1,9			1,5·10 ⁻⁵	0,01	1,1·10 ⁻⁵	0,01
Турмалин	3,09	0,0081	3,91	0,0031	3,83	0,0043	3,91
Сумма		0,0081	3,91	0,0039	4,12	0,0049	4,08

<0,01%. В магматических породах в целом среднее содержание аксинита – 8,7·10⁻⁵%, дюмонтьерита - 6·10⁻⁸%. Доли масс В соответственно: 0,14 и < 0,01%. В парасланцах установлен корнерупин. Его среднее содержание 0,0019%, сконцентрированная доля массы В – 0,47 %. В параметаморфических породах в целом – соответственно : 0,0017 и 0,45 %.

Обсуждение полученных данных

Исходные данные получены микрообогатительными методами. Были учтены лишь частицы аксессуарных минералов крупностью 50-250 мкм или > 30-50 мкм. Таким образом, исходные данные соответствуют не истинным, а минимально возможным значениям содержания турмалина и других борных минералов в горных породах. Соответственно и приведенные выше значения долей масс В, сконцентрированных в турмалине и других борных минералах – минимально возможные.

Установлено, что максимальной концентрацией массы В в турмалине характеризуются кремнистые породы, пески и песчаники. Но кремнистые породы изучены слабо.

Таблица 3

Доли массы В сконцентрированные в турмалине в континентальных горных породах

Горные породы	Содержание, турмалина, мас. %	Доли массы В отн. %
Пески и песчаники	0,023	27,3
Глины и глинистые сланцы	0,0066	1,85
Карбонатные породы	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,1
Кремнистые породы	0,012	37,1
Эвапориты	0,0001	0,08
Осадочные породы в целом	0,0096	4,12
Кислые вулканиты	$3 \cdot 10^{-5}$	0,03
Средние вулканиты	$5 \cdot 10^{-5}$	0,04
Основные вулканиты	Н.опр.	Н.опр.
Вулканиты осадочного слоя в целом	$2 \cdot 10^{-5}$	0,03
Граниты	0,003	7,13
Гранодиориты	0,002	5,15
Базиты	0,001	6,18
Сиениты	$1,3 \cdot 10^{-4}$	0,45
Ультрабазиты	$3 \cdot 10^{-5}$	0,31
Магматиты гранитно-гнейсового слоя в целом	0,0025	6,44
Метапесчаники	0,0007	1,27
Парагнейсы и парасланцы	0,0033	2,83
Метаморфизованные карбонатные породы	Н.опр.	Н.опр.
Железистые породы	Н.опр.	Н.опр.
Параметаморфические породы в целом	0,0029	2,64
Гранито-гнейсы	0,004	6,18
Метариолиты	0,0022	2,83
Метаандезиты	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,33
Метабазиты	0,0023	5,47
Ортометаморфические породы в целом	0,0036	5,85

Согласно полученным данным, среднее содержание турмалина в осадочных породах в 4 раза больше того, которое могло быть унаследовано от гранитно-метаморфического слоя современного состава даже при отсутствии выветривания этого минерала. Таким образом, часть «избыточной» массы В в осадочных породах сконцентрирована в турмалине. Вероятная причи-

на этого - преобладание в осадочных породах экзогенного турмалина как аутигенного, так и реликтового, унаследованного от не сохранившихся древнейших осадочных пород.

Полученные данные требуют уточнения. Но для этого нужны дополнительные определения содержаний борных минералов в континентальных горных породах, особенно в кремнистых породах, глинах и глинистых сланцах.

Выводы

Установлено, что в верхней части континентальной коры в борных минералах сконцентрировано 4,08 % массы В. В том числе: в турмалине - 3,91, в корнерупине – 0,16, в аксините – 0,01 %. Эти цифры – минимально возможные. Максимальная концентрация В в турмалине установлена в песках и песчаниках (27,3 % массы) и в кремнистых породах (37,1% массы). Но последняя цифра требует уточнения.

Литература

1. Анастасенко Г.Ф. Распределение бора в породах и минералах трапповой формации северо-запада Сибирской платформы // Геохимия. 1973. №10. С. 1481-1489.
2. Антипин В.С., Коваленко В.И., Петров Л.Л. Распределение бора между вкрапленниками и основной массой эффузивных и субвулканических пород // Геохимия. 1982. № 11. С. 1639-1657.
3. Геохимия мезозойских латитов Забайкалья / Таусон Л.В., Антипин В.С., Захаров М.Н., Зубков В.С. Новосибирск: Наука. 1984. 215 с.
4. Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург. 1999. 302с.
5. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры. Геохимия, № 7, 2003 г. С. 785-792.
6. Григорьев Н.А. Ниобаты и танталаты как носители ниобия и тантала в верхней части континентальной коры // Уральский геологический журнал. 2004 (в печати).
7. Даценко Н.М. Вещественный состав и классификация глин Роздольского месторождения // Геология месторождений самородной серы. М. Недр. 1969. С. 178-196.
8. Ежков Ю.Б., Левченко И.В. К геохимии бора в гранитоидах (на примере Чаткальского района, Центральный Тянь-Шань) // Геохимия. 1972. № 9. С. 1053-1062.

9. Зубков В.С., Петров Л.Л. Фтор, бор, бериллий в юрских эффузивах Центрального Забайкалья // Вулканология и сейсмология. 1984. № 1. С. 50-63.
10. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 3. М. Недра. 1996. 353 с.
11. Косалс Я.А., Мазуров М.П. Поведение редких щелочей, бора, фтора и бериллия при становлении Биту-Джидинского гранитного массива (Ю.З. Прибайкалье) // Геохимия, 1968, № 10. С. 1238-1249.
12. Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза, М. Наука. 1967. 448 с.
13. Могаровский В.В. Геохимия редких элементов интрузивных пород Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1987. 295 с.
14. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М. Недра. 1990. 248 с.
15. Равич М.Г., Соловьев Д.С. Геология и петрология центральной части гор Земли Королевы Мод (Восточная Антарктида). Л. Недра. 1966. 290 с.
16. Ронов Б.А., Михайловская М.С., Солодкова И.И. Эволюция химического и минерального состава песчаных пород // Химия земной коры, т.1. М. Изд. АН СССР. 1963. С. 201-252.
17. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М. Наука. 1990. 182 с.
18. Старков Н.П. К вопросу о метаморфизме древних свит Западного склона Северного Урала // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Свердловск: 1963. С. 223-233.
19. Тейлор С.Р., Мак-Леннон С.М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М., Мир, 1988, с. 379.
20. Хардер Г. Геохимия бора. М.: Недра. 1965. 136 с.
21. Fisher G.W. Kyanite-, staurolite- and garnet-bearing schists in the Setters Formation, Maryland Piedmont // Bul. Geol. Soc. Amer. 1971. v. 82. № 1. P. 229-232.
22. Piller H. Uber Verwitterung sbildung des Brockengranits nordlich st. Andreasberg // Beitrage zur Mineralogie und Petrographie. 1951, 2. s. 498-522.
23. Shearer C.K., Papike J.J. Distribution of boron in the Tip Top pegmatite Black Hills, South Dakota // Geology. 1986. v. 14. № 2. P. 119-123.
24. Wedepohl K.H. The Composition of the Continental Crust. Geochimica et Cosmochimica Acta № 7, v. 59. 1995. P. 1217-1232.
25. Wright N.P. Mineralogic Variation in the Stone Mountain Granite, Georgia // Geol. Soc. Am. Bull. 1966. V. 77. № 2. P.207-210.