

Г.Б. Ферштатер, А.А. Краснобаев, Н.С. Бородин

**ОТНОШЕНИЕ Zr/Hf В УРАЛЬСКИХ МАГМАТИТАХ
И МИНЕРАЛАХ ИЗ НИХ**

Постоянный интерес исследователей к геохимии Zr и Hf, входящих в группу высокозарядных элементов, обусловлен рядом причин. Сюда относится их теснейшая геохимическая связь, позволяющая использовать Zr/Hf отношение при изучении магматических процессов. Эти элементы являются существенными компонентами акцессорных фаз и в то же время рассеяны в главных минеральных фазах пород [Ляхович, 1973; Краснобаев, 1986; Веа, 1995].

В ранних, наиболее детальных сводках по геохимии рассматриваемых элементов [Тихоненков, 1964; Таусон, 1961] было показано, что в ряду генетически связанных серий гранитоидов наблюдается понижение Zr/Hf к наиболее поздним фазам формирования, т.е. в ходе магматической эволюции гранитной магмы происходит относительное обогащение остаточных расплавов Hf. При этом лишь в лейкократовых и нормальных биотитовых гранитоидах содер-

жания Zr в акцессорном цирконе и в породе в целом должны представлять близкие величины. В распределении циркония в остальных типах гранитоидов повышается роль породообразующих, особенно цветных минералов. В связи с широко проявленным рассеиванием гафния в структурах различных минералов, в основном темноцветных, содержание Hf в акцессорных циркониевых минералах не отражает истинного содержания его в породе. В продолжение этих исследований предложено [Zaraisky et al., 2000] отношение Zr/Hf в гранитах рассматривать как индикатор фракционирования. По [Когарко и др., 1988], поскольку геохимия циркония в ходе эволюции кислых магм определяется степенью насыщенности их в отношении циркона, то в

ходе эволюции будет происходить накопление циркония вплоть до концентраций, соответствующих кристаллизации циркона. Как только циркон становится ликвидусной фазой в гранитных системах, концентрация Zr в поздних продуктах дифференциации остается либо постоянной, либо падает, так как поле кристаллизации циркона увеличивается с ростом кислотности магматического расплава.

С этих позиций интересно рассмотреть распределение Zr и Hf в породах и одновременно в цирконе из них, а также в некоторых породообразующих минералах. Такие данные в современной, доступной нам, литературе отсутствуют. В выборку, использованную в данной статье (таблица), вошли представительные про-

Распределение циркония и гафния в породах и цирконах из них

Массив	Зона, режим	N обр.	Порода				Циркон		
			SiO ₂	Zr	Hf	Zr/Hf	Hf	Zr/Hf	
Ауэрбаховский	1, А	1	65,94	53,75	1,74	30,8	0,97	37,4	
		2	66,08	61,25	1,98	31,0	1,16	32,1	
Кассельский	2, А	3	53,22	58,14	2,95	19,7	0,62	48,0	
		4	71,90	227,50	10,85	21,0	0,73	39,1	
Краснинский Магнитогорский	2, А	5	62,03	33,17	1,98	16,7	0,61	45,6	
		2, Б	6	52,61	94,78	3,27	29,0	1,22	63,5
			7	60,29	117,39	4,76	24,7	1,31	40,8
	8		58,18	247,40	8,43	29,4	0,46	67,3	
	9		71,00	166,08	6,90	24,1	0,95	47,4	
	10	70,77	181,70	8,44	21,5	0,78	54,5		
	11	59,13	67,17	2,69	25,0	1,67	41,7		
Верхисетский	3, В	12	72,60	79,23	2,40	33,1	0,93	38,1	
		13	74,67	80,16	3,20	25,1	1,03	44,6	
		14	70,85	84,11	2,23	37,6	1,36	51,6	
		15	62,42	19,72	1,00	19,8	0,78	63,1	
		16	58,52	33,93	2,10	16,2	1,38	46,2	
		17	65,79	17,38	0,91	19,1	1,02	50,7	
		18	58,91	56,20	1,60	35,1	1,12	55,8	
Челябинский	4, В	19	62,00	170,13	5,02	33,9	0,69	42,2	
		20	62,02	40,45	1,07	37,8	0,94	36,0	
		21	67,60	129,30	3,47	37,3	1,11	28,1	
		22	68,29	156,97	4,19	37,5	0,51	49,3	
		23	68,45	161,67	3,89	41,6	1,11	28,9	
		24	76,25	130,54	5,22	25,0	0,44	50,0	
		25	76,34	98,21	3,22	30,5	1,02	30,7	
Джабыкский	4, Г	26	67,01	43,80	2,47	17,8	0,87	43,8	
		27	73,47	150,84	6,38	23,6	1,02	38,6	
Мурзинский	5, Г	28	72,09	94,27	2,03	46,5	1,04	34,5	
		29	72,60	50,13	1,20	41,7	1,01	38,5	
Чашковский	5, Г	30	75,68	117,09	2,42	48,3	0,62	47,6	
		31	75,47	60,52	1,71	35,3	0,20	65,1	
		32	74,42	296,11	8,35	35,5	1,47	39,3	
		33	73,45	130,39	2,71	48,1	0,71	55,1	

Примечание. Структурно-тектонические зоны, в которых расположены массивы [Фершта-тер, 1992]: 1 – Тагильская, 2 – Магнитогорская, 3 – С-З окраинно-континентальная, 4 – Ю-В континентальная, 5 – С-З континентальная. Геодинамические режимы: А – островодужный, Б – рифтовый, В – активной окраины, Г – коллизионный.

бы габбро и гранитоидов, характеризующие большинство типов этих пород на Урале и содержащие цирконы, проанализированные на Zr и Hf. Для каждой пробы пород было выполнено определение петрогенных (СРМ-18, Институт геологии и геохимии УрО РАН) и 40 редких (ICP-MS, Университет Гранады, Испания) элементов, в 8 пробах был определен редкоэлементный состав породообразующих и акцессорных минералов: клинопироксена, роговой обманки, биотита, полевых шпатов, эпидота. Анализы цирконов выполнены в ИМГРЭ.

Полученные результаты сводятся к следующему:

1. Zr/Hf отношение циркона, а также содержание в нем гафния варьируют в широких пределах и зависят от многих факторов: химического и минерального состава пород, их структурно-формационной принадлежности и др. (рис. 1, таблица).

2. Zr/Hf отношение циркона всегда выше такового для породы, в которой этот циркон находится. Это может означать, что Zr более интенсивно уходит в циркон, чем Hf, а также, что Hf рассеивается в породообразующих минера-

лах в большей мере, чем Zr. Чтобы проверить последнее предположение, были построены диаграммы Zr-Hf для тех проб, в которых содержания этих элементов были определены не только в породе, но и в слагающих ее минералах (рис. 2). Во всех исследованных образцах Zr/Hf отношение породы в целом оказалось выше, чем в минералах, которые содержат заметные (надежно определяемые современными методами анализа) количества Zr и Hf: клинопироксене, эпидоте магматического происхождения, роговой обманке, сфене (минералы перечислены в порядке уменьшения их Zr/Hf отношения). В полевом шпате и слюдах содержание циркония и гафния столь мало, что эти минералы не оказывают существенного влияния на распределение элементов в породе.

Отсюда следует вывод о том, что Zr/Hf отношение породы в целом определяется во многом ее минеральным составом, который в свою очередь зависит от условий магмогенерации. В габбро, где содержание циркона очень мало, Zr/Hf отношение породы в целом лишь незначительно отличается от этого параметра в главных породообразующих минералах – пиро-

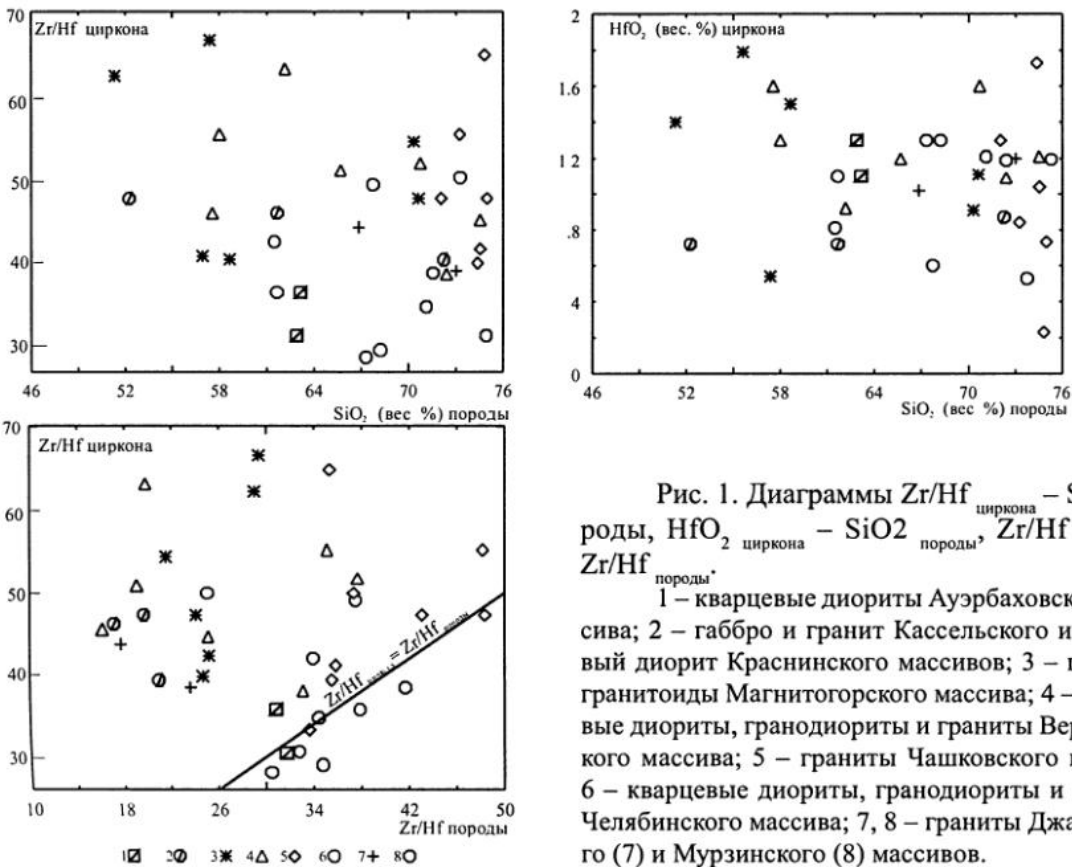


Рис. 1. Диаграммы Zr/Hf_{циркона} – SiO₂ породы, HfO₂_{циркона} – SiO₂ породы, Zr/Hf_{циркона} – Zr/Hf_{породы}.
 1 – кварцевые диориты Ауэрбаховского массива; 2 – габбро и гранит Кассельского и кварцевый диорит Краснинского массивов; 3 – габбро и гранитоиды Магнитогорского массива; 4 – кварцевые диориты, гранодиориты и граниты Верхисетского массива; 5 – граниты Чашковского массива; 6 – кварцевые диориты, гранодиориты и граниты Челябинского массива; 7, 8 – граниты Джабыкского (7) и Мурзинского (8) массивов.

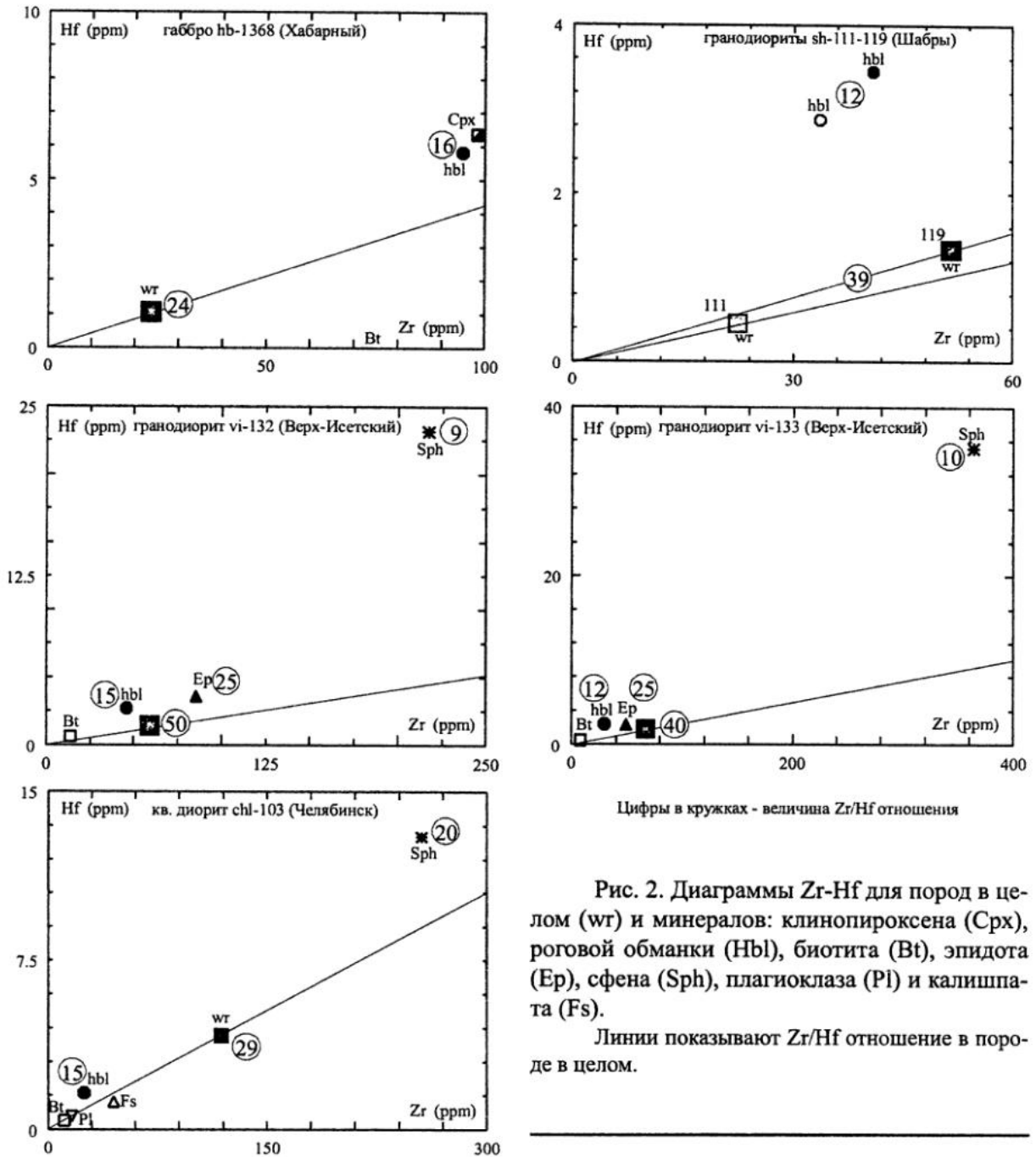


Рис. 2. Диаграммы Zr-Hf для пород в целом (wt) и минералов: клинопироксена (Cpx), роговой обманки (Hbl), биотита (Bt), эпидота (Ep), сфена (Sph), плагиоклаза (Pl) и калишпата (Fs).

Линии показывают Zr/Hf отношение в породе в целом.

ксене и роговой обманке (рис. 2, габбро хб1368), т.е. Zr и Hf ведут себя параллельно [Moine et al., 2001]. В гранодиоритах Zr/Hf отношение породы в целом в 2–3 выше, чем в роговой обманке и в 4–5 раз выше, чем в сфене; это означает, что Hf отстает от Zr, рассеиваясь по мере кристаллизации минералов в породе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 01-05-65184) и ФЦП «Интеграция».

Список литературы

Когарко Л.Н., Лазуткина Л.Н., Кригман Л.Д. Условия концентрации циркония в магматических процессах. М.: Наука, 1988. 121 с.
 Краснобаев А.А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 147 с.
 Ляхович В.В. Редкие элементы в акцессорных минералах гранитоидов. М.: Недра, 1973. 310 с.
 Таусон Л.В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 220 с.

Тихоненков И.П. Цирконий. Гафний // Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Том 1. Геохимия редких элементов. М.: Наука, 1964. С. 284–341.

Ферштатер Г.Б. Структурно-формационная зональность Урала и магматизм // Геотектоника. 1992. № 6. С. 3–17.

Bea F. Controls on the trace element composition of crustal melts // Transactions of the Royal society of Edinburg Earth sciences. 1996. V. 87. P. 33–41.

Moine B.N., Gregoire M., O'Reilly S.Y. et al. High field strength element fractionation in the upper mantle: evidence from amphibole-rich composite mantle xenoliths from the Kerguelen islands (Indian ocean) // Journal of Petrology. 2001. V. 49. N 11. P. 2143–21167.

Zaraisky G.P., Aksyuk A.M., Seltman R., Fed'kin A.V. The Zr/Hf ratio in granites as indicator of felsic magma fractionation // The 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Aug. 6–17, 2000; Congress Program. Rio de Janeiro: Geol. Surv. Braz. 2000. P. 2247.