

О ВЛИЯНИИ РАННЕЙ СЕРПЕНТИНИЗАЦИИ НА ГЕОХИМИЮ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГАРЦБУРГИТАХ КЕМПИРСАЙСКОГО МАССИВА

И.С. Чашухин, Ю.Л. Ронкин, О.П. Лепихина

В настоящее время в целях сопоставления геологических и геодинамических условий формирования ультрамафитов широко используется поведение редкоземельных элементов; при этом молчаливо предполагается, что процессы серпентинизации на первичную геохимию РЗЭ влияния не оказывают. Однако еще в 1985 г. было показано, что при близости концентраций легких и тяжелых РЗЭ в лерцолитах в целом, в их альпинотипных разностях наблюдается провал в средней части спектра (участок от самария до гольмия) [Агафонов, Ступаков, 1986]. Этот факт был объяснен выносом этих элементов в процессе серпентинизации [Агафонов, Еркушев, 1985]. К сожалению, в этих публикациях не был указан вид серпентинизации, а сами анализы на РЗЭ были выполнены нейтронно-активационным методом, существенно менее чувствительным и точным по сравнению с методом ICP-MS.

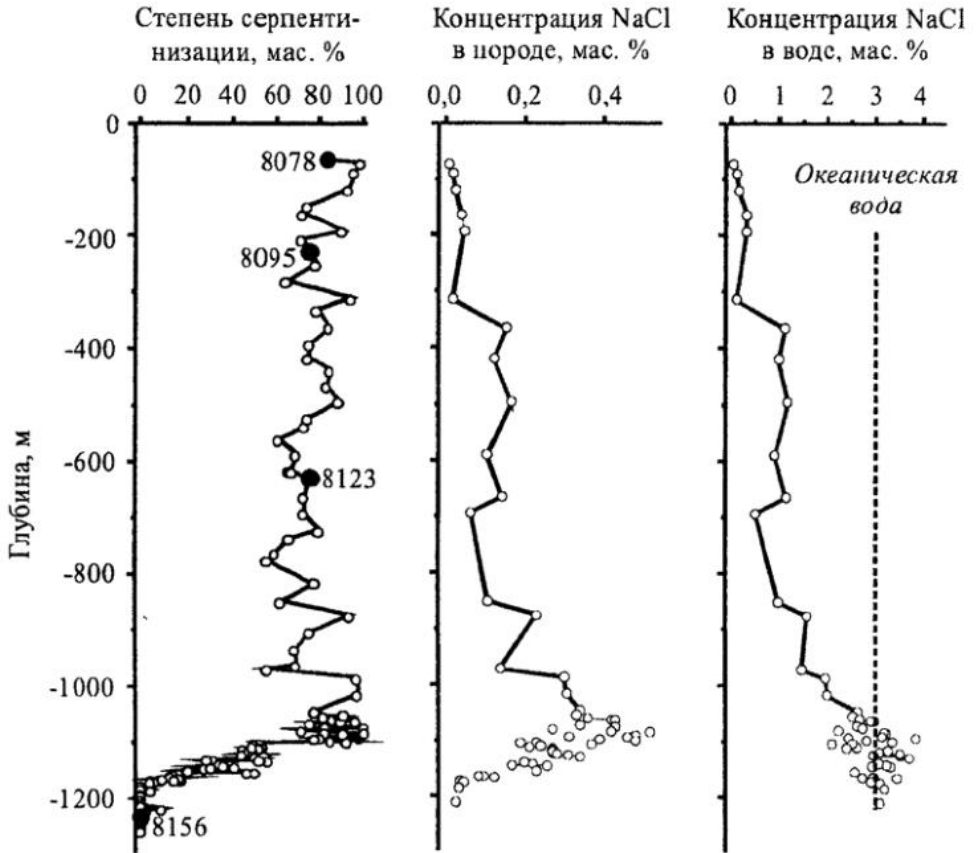
Мы поставили перед собой цель продолжить исследования сибирских геологов по влиянию процессов серпентинизации на поведение редкоземельных элементов в ультрамафитах и для получения корректных результатов выполнили ряд условий: 1) провели анализы методом ICP-MS; 2) максимально локализовали отбор серпентинизированных образцов, проведя его из керна одной скважины; 3) для исключения влияния вариаций первичного состава ультрамафитов, прежде всего извести, подобрали коллекцию образцов, практически идентичных по составу; 4) изучили влияние на РЗЭ процесса ранней серпентинизации, который, как извест-

но, проходит изохимически – без нарушения первичных соотношений петрогенных элементов (за исключением окисления железа и поглощения воды); 5) для исключения влияния степени серпентинизации изучили ультрамафиты, измененные в узких пределах – 70-80 мас. %.

В качестве объекта изучения был использован материал керна двух структурных скважин, пройденных на Кемпирсайском массиве, в юго-восточном (скв. 639) и западном блоках (скв. 766). Эти скважины – единственные на Урале, вскрывшие абсолютно свежие разности альпинотипных ультрамафитов. Уникальность скважин заключается также в том, что в них на глубинах 1380 м и 1040 м, соответственно, были встречены гарцбургиты с признаками прохождения ранней океанической серпентинизации: концентрации NaCl в водных вытяжках из гарцбургитов, отнесенные к содержанию в них конституционной воды, несмотря на вариации степени серпентинизации от первых процентов до 100 %, постоянны и равны 3 % (рис. 1), что отвечает концентрации хлорида натрия в океанической воде [Справочник по геохимии, 1990]; величина бром-хлорного отношения в водных вытяжках также близка океанической [Штейнберг и др., 1991]. Выше по разрезу скв. 766 на протяжении 200 м величина отношения $\text{NaCl}:\text{H}_2\text{O}^+$ постепенно уменьшается до 1 % и в интервале глубин 400-850 м остается постоянной, затем скачком снижается до первых долей % и сохраняется таковой вплоть до глубины 100 м. Налицо воздействие на серпентинизированные ультрамафиты нисходящих повер-

Рис. 1. Вариации степени ранней серпентинизации и концентраций NaCl в породе и серпентинизирующей воде (реконструкция) в гарцбургитах Кемпирсайского массива, вскрытых скв. 766.

Показано положение изученных образцов в разрезе скважины.



хностных бессольных метеорных вод. Это вывод подтверждается

данными водородной изотопии: в аналогичной скв. 639 вверх по разрезу параллельно со снижением в породах содержания NaCl наблюдается постепенное уменьшение концентрации дейтерия вплоть до величины, отвечающей составу современных метеорных вод [Уханов, Девириц, 1996]. Важно подчеркнуть, что при воздействии постсерпентиновых метеорных вод кристаллохимические и структурные параметры серпентина из скв. 766 не изменились [Вотьяков и др., 1992]. Поэтому, несмотря на то, что исследованные в настоящей работе образцы серпентинизированных гарцбургитов находились в контакте с метеорными водами (рис. 1), можно утверждать, что серпентин является продуктом океанической серпентинизации.

Анализ на РЗЭ проведен следующим образом. Исходный материал весом 50-100 мг в виде тщательно истертой пудры помещался в тефлоновые стаканы и разлагался в автоклавах смесью плавиковой и азотной кислот в соотношении 5:1 при температуре 180 °C в течение 24 часов. После медленного упаривания исследуемое вещество переводилось в раствор 3% азотной кислотой с коэффициентом разбавления исходной пробы 10^3 и затем анализировалось с помощью ICP-MS анализатора Elan 6100 DRC.

В качестве внутреннего стандарта использовались индий. Параллельно с анализом ультрамафитов с периодичностью 1:5 – 1:10 проводилось измерение стандартных образцов (СО) горных пород, аттестованных с точностью 2-10%. Использовались СО СГ-1А, СГД-1А, BCR-1, BCR-2. Параллельные измерения СО позволили оперативно оценить качество анализов всей серии исследуемых образцов ультрамафитов и обеспечили учет дрейфа чувствительности прибора во всем диапазоне измеряемых масс. Вариации результатов параллельных анализов СО в зависимости от конкретного элемента и его концентрации были в пределах 3-12 относительных %.

Результаты приведены в таблице и на рис. 2. Очевидно видно, что спектры и суммарные количества РЗЭ в серпентинизированных и свежих гарцбургитах оказались существенно разными. В результате океанической серпентинизации концентрация РЗЭ на порядок уменьшилась и изменилась форма кривой спектра – исчез европейский минимум, произошел опережающий вынос РЗЭ в средней части спектра, в результате которого он приобрел U-образную форму, близкую форме спектра океанической воды [Балашов, 1978; Taylor, McLennan, 1985].

Концентрации РЗЭ и параметры состава гарцбургитов Кемпирсайского массива

	№ образца				
	5126	8078	8095	8123	8156
РЗЭ, ppm					
La	0,160	0,038	0,027	0,032	0,165
Ce	0,374	0,118	0,049	0,063	0,387
Pr	0,051	0,014	0,007	0,009	0,052
Nd	0,213	0,072	0,035	0,047	0,229
Sm	0,064	0,019	0,010	0,011	0,062
Eu	0,014	0,006	0,003	0,003	0,011
Gd	0,082	0,018	0,008	0,010	0,067
Tb	0,016	0,002	0,001	0,001	0,012
Dy	0,110	0,016	0,010	0,016	0,086
Ho	0,027	0,004	0,003	0,004	0,021
Er	0,079	0,015	0,011	0,015	0,066
Tm	0,014	0,003	0,002	0,003	0,011
Yb	0,093	0,027	0,022	0,027	0,080
Lu	0,017	0,005	0,004	0,005	0,014
Fe, %	8,9	9,6	9,2	8,9	9,5
мас. %					
Px	13	26	24	28	12
Al ₂ O ₃ *	0,91	0,71	0,77	0,79	0,90
CaO*	0,36	0,79	0,86	0,89	0,85
DS	0	82	72	71	0

Примечание. № 5126 – скв. 639, гл. 1411 м, остальные – скв. 766: № 8078 – гл. 73,6 м, № 8095 – гл. 254,5 м, № 8123 – гл. 634,7 м, № 8156 – гл. 1237 м; Px – количество пироксена, рассчитанное на шпиделевую норму; * - в расчете на сухой остаток; DS – степень серпентинизации.

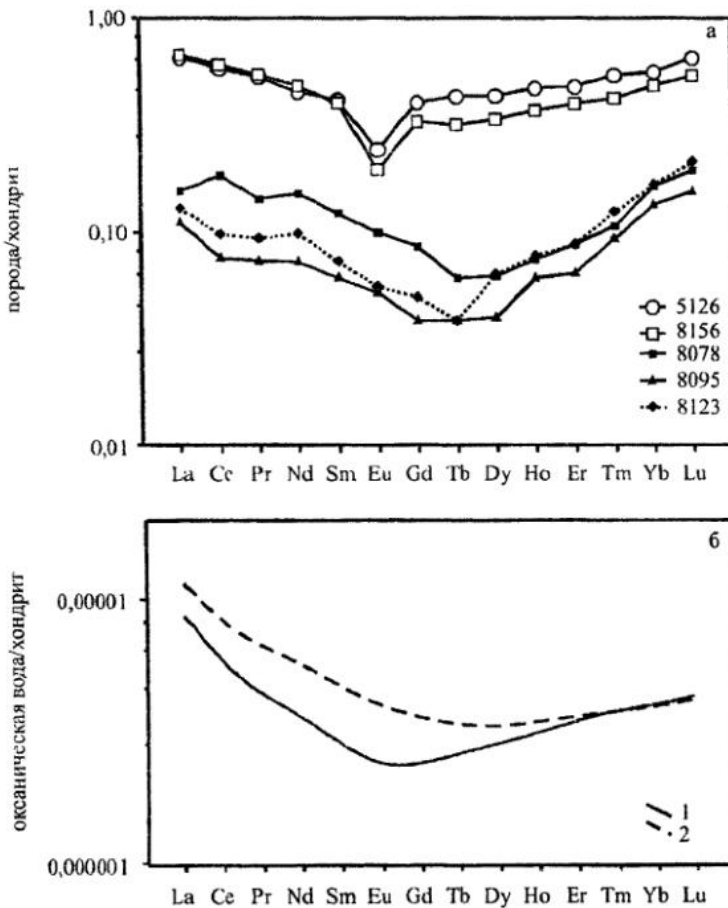


Рис. 2. Спектры РЗЭ в свежих и серпентинизированных гарцбургитах Кемпирсайского массива (а) и океанической воды, нормированные к хондриту [Evensen et al., 1978].

а. Характеристики образцов приведены в таблице. б – по данным: 1 – [Балашов, 1976], 2 – [Taylor, McLennan, 1985].

Относительно низкие концентрации РЗЭ в океанической воде по сравнению с серпентинизированными гарцбургитами свидетельствуют о том, что установление равновесия между водой и породой было длительным и возможно продолжалось после серпентинизации. При этом разная степень последующего воздействия метеорных вод (рис. 1) практически не повлияла на поведение РЗЭ – их спектры практически идентичны. Поэтому можно утверждать, что ультрамафиты всего вскрытого скв. 766 разреза были серпентинизированы под действием океанических вод.

Таким образом, при геологической интерпретации данных по геохимии редкоземельных элементов в ультрамафитах следует иметь в виду, что эти данные характеризуют не столько первичную историю ультрамафитов, сколько процесс и вид их серпентинизации. Можно ожидать, что, несмотря на сохранность первичных соотношений петрогенных элементов в ходе любого вида ранней серпентинизации – метеорной и океанической, поведение РЗЭ в условиях воздействия разных по составу вод – бессолевых первых и химически агрессивных вторых – должно быть существенно разным. К тому же подвижности РЗЭ в условиях океана могут способствовать значительно большее давление воды и ее неисчерпаемая масса. Не исключено, что метеорная серпентинизация на геохимию редкоземельных элементов в ультрамафитах влияния не оказывает, изучение этого вопроса – задача ближайших исследований. Что касается прогрессивных видов серпентинизации, прежде всего, антигоритизации, проходящих, как правило, с изменением первичных соотно-

шений петрогенных элементов, то можно ожидать существенного изменения спектра РЗЭ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 01-05-96444, 01-05-65214, 00-15-98517.

Список литературы

Агафонов Л.В., Еркушев Ю.А. Связь редкоземельных элементов с химизмом и серпентинизацией гипербазитов // Редкие элементы в базитах и гипербазитах. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1985. С. 76-89.

Агафонов Л.В., Ступаков С.И. Происхождение лерцолитов складчатых областей // Гипербазитовые ассоциации складчатых областей. Вып. 3. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1986. С. 91-107.

Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 368 с.

Вотьяков С.Л., Чащухин И.С., Быков В.Н. и др. Кристаллохимия ионов железа в минералах ультрабазитов в связи с их серпентинизацией. Препринт ИГГ. Екатеринбург: УрО РАН. 1992. 64 с.

Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.

Уханов А.В., Девириц А.Л. Изотопно-водородный профиль серпентинизации гипербазитов как отражение палеоклимата и неотектоники // Геохимия. 1996. № 7. С. 673-681.

Штейнберг Д.С., Чащухин И.С., Ковальчук А.И. Океанические воды – агент серпентинизации в альпинотипных ультрамафитах континентов // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320. № 3. С. 713-715.

Evensen N.M., Hamilton P.J., O'Nions R.K. Rare-earth abundances in chondritic meteorites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1978. V. 42. P. 1199-1212.

Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.