

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ
С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ НА ELAN 9000
ПРИ ИЗУЧЕНИИ УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД**

В.Р. Шмелев, Л.К. Дерюгина

Опыт определения концентраций редких и рассеянных элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ELAN 9000 показал достаточно высокое качество результатов при анализе различных типов горных пород [Вотьяков и др., 2006]. В то же время, на данном этапе внедрения метода существовала некоторая неопределенность в отношении ультраосновных (дунитов, гарцбургитов) и подобных им пород, обладающих в сравнении с другими типами образований, как правило, невысокими концентрациями редких и редкоземельных элементов. Основанием к этому являлся опыт работы с лабораториями ВСЕГЕИ и ВИМСа (масс-спектрометр ELAN 6100), показавший, что при работе поставленной на поток, анализы ультрабазитов не всегда являются кондиционными. Поэтому было крайне важно провести проверку корректности получаемых аналитических данных, имеющих определяющее значение для петрогенетических, геодинамических и др. реконструкций.

Для решения поставленной задачи был предпринят анализ представительной (более 20 проб) партии ультрабазитов из офиолитовых массивов Урала, представленных лерцолитами, гарцбургитами, дунитами и метагипербазитами с различной (5-60 %) степенью серпентинизации. В выборке были использованы пробы с известным химическим составом («мокрая» химия) и составом породообразующих и акцессорных минералов, что позволяло осуществлять сопоставление ICP-MS данных между собой.

Подготовка проб осуществлялась в режиме кислотного (HNO_3 , HCl , HF) СВЧ-разложения с последующим проведением измерений по ранее описанной методике [Чередниченко и др., 2003]. По завершении аналитических процедур из данной партии было отобрано 10 контрольных проб-дубликатов (новая навеска), которые разлагались по методике автоклавного вскрытия [Чередниченко и др., 2003] с использованием хлорной кислоты (HClO_4) при температуре 200 °С и времени разложения от 8 до 20 часов и вновь анализировались. Повторное разложение автоклавным методом было

вызвано необходимостью использования более жестких условий вскрытия, при которых проходит полное вскрытие хром-шпинелей, так как в СВЧ-варианте частицы шпинелей оставались нерастворенными.

Результаты

Полученные аналитические данные демонстрируют картину закономерного распределения редкоземельных элементов (рис. 1, табл. 1) исходя из которой можно сделать следующие выводы:

1. Результаты анализов после СВЧ и автоклавного разложения в большинстве случаев (80 %) оказываются практически идентичны или находятся в рамках допустимой погрешности метода (обр. 1-8, рис. 1). Несколько более высокий уровень концентраций элементов после СВЧ-разложения в части проб (обр. 6-8), при сохранении трендов распределения РЗЭ, вероятно, обусловлен минералогической неоднородностью вещества навески: зерна минерала-носителя РЗЭ единичны, и навеска массой 30-50 мг породы является недостаточной для получения корректных усредненных значений. Для уточнения степени влияния этих факторов требуются дальнейшие исследования.

2. Установленные в остальных пробах (обр. 9-10, рис. 1) систематически более высокие (в 2-4 раза) концентрации элементов после контрольного автоклавного разложения вполне определенно свидетельствуют, что при исходном СВЧ-разложении не было достигнуто полное извлечение в раствор компонентов породы.

Таким образом, данные проведенного сравнительного геохимического изучения с использованием двух методов разложения свидетельствует о том, что масс-спектрометрический метод анализа на ELAN 9000 дает вполне корректные результаты по породам с низкими концентрациями элементов, какими являются ультрабазиты. Особых преимуществ у разных методов разложения, при корректно выполненной процедуре не обнаруживается, но автоклавный метод более пригоден в случае плохо раз-

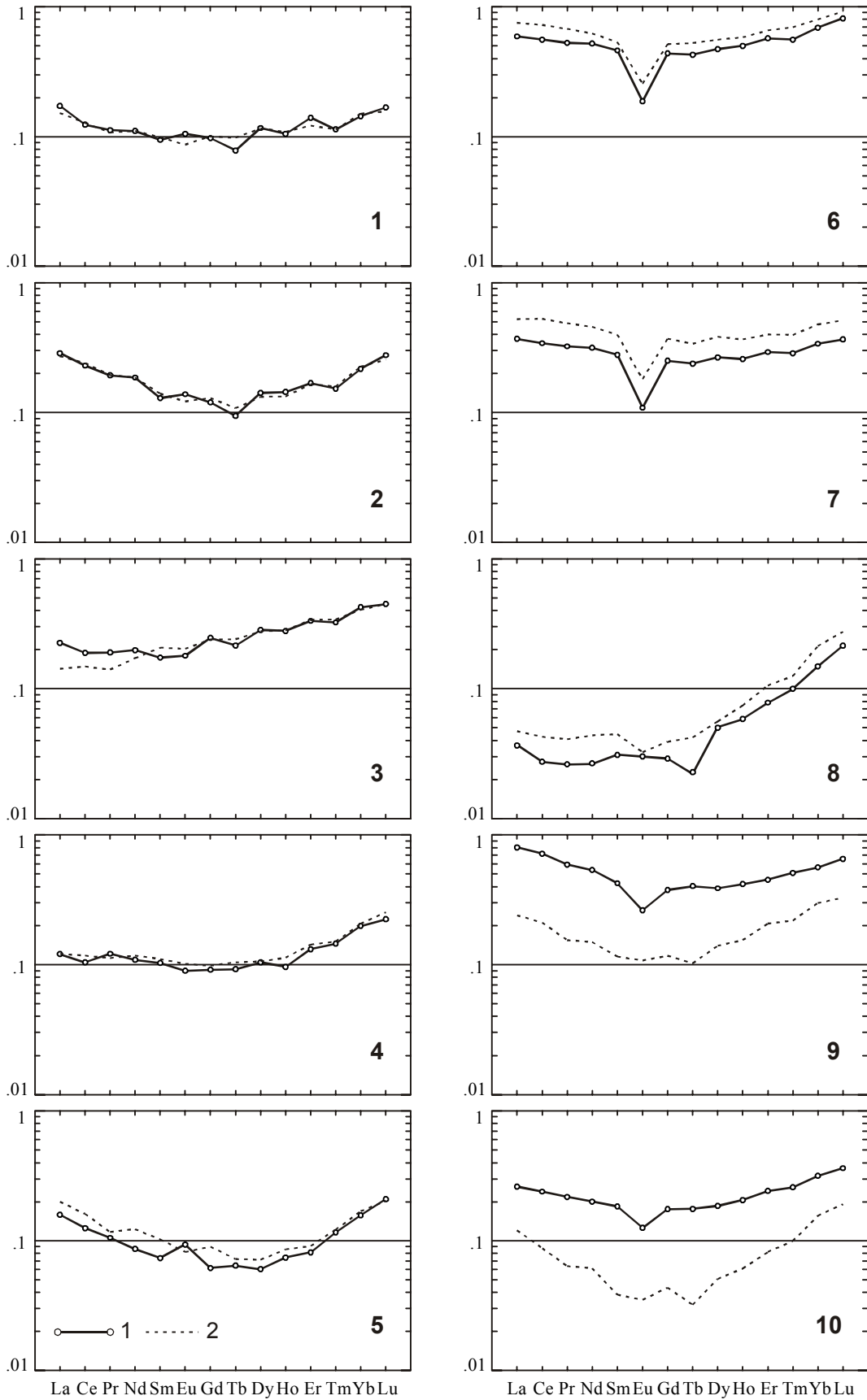


Рис. 1. Нормализованные по хондриту концентрации РЗЭ в контрольных образцах ультрабазитов.

1 – дунит, 2-10 – гарцбургиты. I – автоклавное разложение, II – СВЧ-разложение.

Таблица 1

Концентрации элементов (г/г) в ультрабазитах, определенные после автоклавного (*) и СВЧ-разложения

Проба	1*	1	2*	2	3*	3	4*	4	5*	5	6*	6	7*	7	8*	8	9*	9	10*	10
Li	1,98	1,92	2,07	2,03	1,77	1,42	2,45	2,14	0,98	0,81	0,75	0,72	0,99	1,14	0,75	0,64	0,73	0,66	0,74	0,64
Sc	4,19	4,76	7,63	7,89	8,39	7,48	11,29	12,17	10,92	10,81	11,93	14,54	5,05	7,50	9,27	10,95	11,03	10,33	9,48	10,12
V	18,58	10,74	31,99	27,54	41,17	27,37	43,59	34,36	26,39	30,21	49,29	43,75	30,49	32,66	41,82	38,52	42,72	38,25	39,10	29,98
Co	133	118	112	87	106	75	126	106	102	102	109	104	89	94	114	112	90	89	105	105
Ni	1778	1866	1542	1671	1501	1502	1587	1663	1479	1706	1529	1729	1155	1782	1456	1778	1280	1400	1475	1678
Rb	0,08	0,09	0,32	0,35	0,09	0,10	0,25	0,25	0,15	0,08	0,89	0,92	0,57	0,80	0,02	0,05	0,70	0,10	0,37	0,06
Sr	4,16	5,02	6,24	5,39	8,25	6,44	5,14	4,77	4,40	6,44	14,24	14,37	0,65	1,70	2,39	2,84	3,39	2,91	2,67	2,98
Y	0,22	0,21	0,26	0,28	0,52	0,49	0,19	0,20	0,12	0,13	0,88	1,08	0,47	0,64	0,11	0,14	0,75	0,28	0,34	0,12
Zr	1,28	0,72	1,30	2,72	1,44	1,20	1,52	0,56	5,69	0,12	1,47	3,58	1,14	3,08	1,43	0,29	2,74	1,05	1,16	0,28
Nb	0,018	0,023	0,052	0,047	0,012	0,015	0,015	0,018	0,039	0,028	0,093	0,107	0,039	0,062	0,000	0,016	0,107	0,035	0,039	0,018
La	0,057	0,050	0,095	0,090	0,074	0,047	0,040	0,040	0,052	0,066	0,195	0,248	0,122	0,173	0,012	0,016	0,264	0,079	0,086	0,040
Ce	0,107	0,111	0,199	0,209	0,164	0,128	0,090	0,102	0,109	0,140	0,484	0,628	0,297	0,458	0,024	0,037	0,623	0,182	0,208	0,076
Pr	0,015	0,014	0,025	0,025	0,025	0,018	0,016	0,015	0,014	0,015	0,069	0,088	0,042	0,063	0,003	0,005	0,077	0,020	0,028	0,008
Nd	0,070	0,070	0,118	0,117	0,125	0,108	0,069	0,074	0,055	0,078	0,328	0,392	0,199	0,289	0,017	0,028	0,339	0,094	0,126	0,039
Sm	0,019	0,020	0,026	0,028	0,035	0,042	0,021	0,022	0,015	0,021	0,094	0,109	0,057	0,081	0,006	0,009	0,087	0,023	0,037	0,008
Eu	0,008	0,007	0,011	0,009	0,014	0,016	0,007	0,008	0,007	0,006	0,014	0,020	0,008	0,014	0,000	0,003	0,020	0,008	0,010	0,003
Gd	0,027	0,028	0,033	0,036	0,068	0,066	0,025	0,027	0,017	0,025	0,121	0,142	0,069	0,102	0,008	0,011	0,104	0,032	0,048	0,012
Tb	0,004	0,005	0,005	0,005	0,011	0,012	0,005	0,005	0,003	0,004	0,021	0,026	0,012	0,017	0,001	0,002	0,020	0,005	0,009	0,002
Dy	0,040	0,040	0,049	0,046	0,097	0,095	0,036	0,036	0,021	0,025	0,162	0,192	0,092	0,132	0,017	0,019	0,133	0,048	0,064	0,017
Ho	0,008	0,008	0,011	0,010	0,021	0,022	0,007	0,009	0,006	0,007	0,039	0,045	0,020	0,028	0,005	0,006	0,032	0,012	0,016	0,005
Er	0,032	0,027	0,038	0,037	0,075	0,076	0,030	0,032	0,018	0,021	0,129	0,148	0,066	0,090	0,018	0,024	0,102	0,047	0,055	0,018
Tm	0,004	0,004	0,005	0,006	0,011	0,012	0,005	0,005	0,004	0,004	0,020	0,025	0,010	0,014	0,004	0,004	0,018	0,008	0,009	0,004
Yb	0,032	0,033	0,048	0,050	0,093	0,089	0,044	0,045	0,035	0,037	0,152	0,176	0,075	0,105	0,033	0,047	0,124	0,066	0,070	0,034
Lu	0,006	0,005	0,009	0,009	0,015	0,015	0,008	0,009	0,007	0,007	0,028	0,031	0,012	0,017	0,007	0,009	0,022	0,011	0,012	0,007
Hf	0,039	0,018	0,053	0,103	0,053	0,052	0,049	0,016	0,193	0,018	0,065	0,117	0,047	0,114	0,042	0,010	0,082	0,036	0,044	0,007
W	1,609	1,667	2,098	2,210	0,267	0,280	1,797	2,076	0,623	0,637	24,77	33,39	16,57	23,41	0,222	0,352	14,61	1,054	0,264	0,252
Th	0,007	0,010	0,017	0,032	0,019	0,010	0,006	0,007	0,026	0,028	0,049	0,064	0,031	0,054	0,000	0,004	0,091	0,018	0,026	0,009
U	0,008	0,008	0,011	0,012	0,005	0,005	0,006	0,003	0,014	0,010	0,027	0,026	0,015	0,022	0,002	0,002	0,026	0,011	0,015	0,006

лагаемых образцов. Во избежание возможных проблем с качеством аналитических данных рекомендуется указывать минеральный и химический состав анализируемой породы, которые позволят выбрать оптимальную схему пробоподготовки в лаборатории.

Список литературы

Вотяков С.Л., Киселева Д.В., Шагалов Е.С. и др. Мультиэлементный анализ геологи-

ческих образцов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ELAN 9000 // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 425-430.

Чердниченко Н.В., Дерюгина Л.К., Вотяков С.Л. Опыт использования СВЧ-печи для разложения пород и минералов с последующим анализом методом ИСП-МС // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 425-430.