

**ГЕОХИМИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД
современных и древних
активных зон**

Ответственный редактор
академик Л.В. Таусон
(Отдельный оттиск)

НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1987

**А. Ю. АНТОНОВ, О. Н. ВОЛЫНЕЦ, Г. П. АВДЕЙКО,
А. А. ЦВЕТКОВ, Н. Г. ГЛАДКОВ, Л. А. ИВАНОВА,
С. И. САВОСИН**

**РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ
ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЯХ
КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ
ГЕНЕЗИСА ОСТРОВОДУЖНЫХ МАГМ**

Одна из основных проблем современной геологии — происхождение островных дуг (ОД) и магматических образований, участвующих в их формировании. Вулканизм островных дуг изучен довольно хорошо, но имеющиеся данные до сих пор не позволяют однозначно решить вопрос о природе вулканических пород ОД. Важное звено в решении этой проблемы — выявление закономерных неоднородностей вещественного состава вулканических образований и связи их с такими параметрами ОД, как расстояние от глубоководного желоба до фронтальной части вулканической дуги, расстояние от вулканического фронта до места локализации отдельных вулканов, глубина до сейсмофокальной зоны, угол наклона этой зоны, мощность консолидированной коры и т. д. Это вполне понятно, так как уже давно [Kuno, 1959] хорошо известна неоднородность в составах вулканических пород, слагающих ОД в различных частях земного шара, а также наличие в них поперечной и возможность появления продольной зональности и т. д., что наглядно показано в обобщающей монографии Д. Б. Джилла [Gill, 1981].

Для Курильской ОД вопросы зональности рассматривались Г. С. Горшковым [1967], Е. К. Мархининым и Д. С. Стратулой [1971], Б. Н. Пискуновым и др. [1976], Л. Л. Леоновой [1979], А. И. Абдурахмановым [1980], А. И. Абдурахмановым и В. И. Федорченко [1980, 1983] и др. Некоторыми из них отмечалось, что наряду с поперечной зональностью,

выраженной прежде всего увеличением в вулканитах тыловой части дуги суммы щелочей в основном за счет калия, существует и продольная зональность, правда, выраженная менее отчетливо. Хочется заметить, что если по петрохимическим характеристикам вулканических пород Курил, в первую очередь для вулканов, возвышающихся над уровнем моря, имеется обширный материал, то по редким и рассеянным элементам его явно недостаточно. Особенно это касается подводных вулканов, количество которых сопоставимо с вулканами, возвышающимися над уровнем моря (а возможно, и превышает их). По ним же даже петрохимическая информация явно недостаточна. Именно с этим в первую очередь и связаны многие спорные вопросы региональных закономерностей развития вулканизма как Курильской ОД, так и всей четвертичной Японо-Курило-Камчатской островодужной системы.

С учетом вышеизложенного Институтом вуканологии ДВНЦ АН СССР совместно с Институтом геохимии им. А. П. Виноградова СО АН СССР и ИГЕМ АН СССР в последние годы проводились детальные исследования составов лав четвертичных вулканов Курильской ОД (11, 15 и 17-й рейсы НИС «Вулканолог»). Первые результаты этих исследований, в частности, по петрохимии и геохимии K, Fe, Rb, Ba, Sr, Ni, Co, Cr, V, изотопам Sr и Nd в вулканитах Курил опубликованы [Авдейко и др., 1983; Авдейко и др., 1985а, б]. Эти публикации касаются в основном вулканизма северной и центральной частей Курильской ОД, так как материал по южной части дуги получен только в самое последнее время.

Как показали исследования последних лет [Балашов, 1976; Dostal et al., 1977а, б; Gill, 1981], для геохимической типизации вулканитов, выявления в них латеральной зональности, палеореконструкций и решения ряда петрологических проблем весьма высокоу информативность несут данные по распределению в породах редкоземельных элементов (РЗЭ). Однако для четвертичных вулканитов Курильской ОД опубликовано только 8 полных редкоземельных спектров [Балашов, 1976]. Предлагаемая статья в какой-то мере восполняет этот недостаток. В ней представлены материалы по полному спектру РЗЭ в большинстве главных разновидностей вулканических образований Курильской ОД, обосновываются закономерности распределения редкоземельных и других элементов в этих вулканитах вкрест и вдоль простирания ОД, сопоставляются РЗЭ составов четвертичных вулканитов Курильской и смежной с ней ветвью Японской островодужной системы.

МЕТОДИКА ОПРОБОВАНИЯ И АНАЛИЗА

Опробование четвертичных вулканических образований Курильской ОД проводилось на отдельных полигонах (профилях), пересекающих вулканическую зону вкрест простирания (рис. 1) в пределах ее северной (профили Маканруши и Чиринкотан), центральной (профили проливов Диана и Буссоль) и южной (профили пролива Фриза и Южно-Итурупский) частей, характеризующихся различной мощностью консолидированной земной коры [Горшков, 1967; Пискунов и др., 1976; Авдейко и др., 1983, 1985а, б]. Для более удобного сопоставления составов вулканитов породы группировались в соответствии с удалением вулканов от вулканического фронта по трем зонам: I — фронтальной (0—15 км), II — промежуточной (15—45 км) и III — тыловой (>45 км).

Опробовались породы как наземных, так и большинства подводных вулканов (драгирование). При этом в случае драгирования на анализ отбирались наиболее свежие разности пород из угловатых обломков, которые составляли более 50% объема драги. Это в максимальной степени исключало возможность анализа пород, связанных с ледовым разносом, обычным для северо-западной части Тихого океана. Часть отобранных проб (65) с 36 вулканов проанализирована на РЗЭ. Анализированные пробы харак-

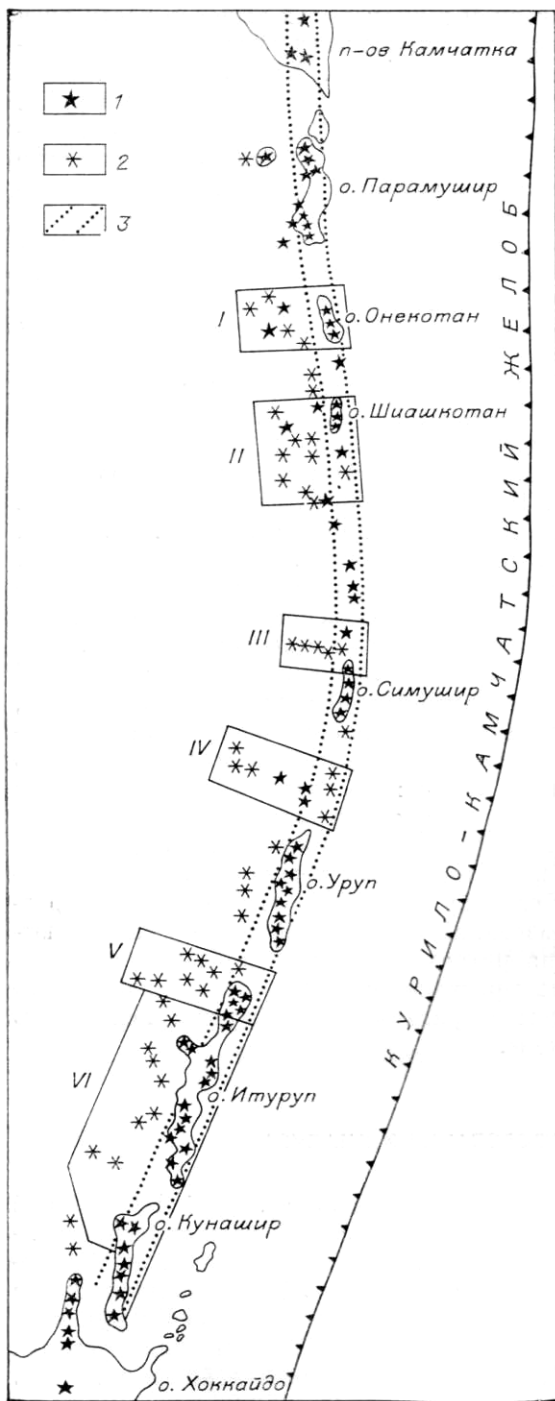


Рис. 1. Схема расположения четвертичных вулканов Курильской ОД.

1 — наземных; 2 — подводных; 3 — поле вулканов фронтальной зоны; I — VI — полигоны детальных исследований поперечных вулканических зон: I, II — Северные Курилы (I — профиль Маканруши, II — профиль Чиринкотан), III, IV — Центральные Курилы (III — профиль Диана, IV — профиль Буссоль), V, VI — Южные Курилы (V — профиль Фриза, VI — Южно — Итурупская серия профилей).

теризуют основные разновидности вулканических Курильской ОД в ряду от базальтов до риолитов. При этом основное внимание уделено исследованию пород базальт-андезитового состава, наиболее распространенных в пределах Курильской ОД.

Северную часть Курильской ОД с мощностью земной коры ~ 25—30 км (профили Маканруши и Чиринкотан длиной 75 км) характеризуют 33 пробы вулканических пород, отобранных с 18 вулканов. 9 из которых подводные (9 проб базальтов, 11 — андезитов, 1 — дацитов).

Центральная часть ОД с мощностью земной коры 10 км (профили проливов Диана и Буссоль длиной ~ 60 км) охарактеризована 23 пробами вулканических пород с 12 вулканов, 4 из которых подводные (4 пробы базальтов, 9 — андезитов-базальтов, 6 — андезитов, 2 — дацитов, 1 — риодацитов и 1 — риолитов).

Южную часть Курильской ОД с мощностью земной коры 20—25 км (профиль прол. Фриза длиной 120 км) характеризуют 9 проб пород с 6 вулканов, 3 из которых — подводные (5 проб базальтов, 1 — андезитов-базальтов и 3 —

андезитов). В отличие от предыдущих частей ОД в этой части исследованы породы только фронтальной и тыловой зон.

В большинстве изученных пород (41 проба) определялся полный спектр РЗЭ. Анализ проводился количественно-спектральным методом с предварительным химическим обогащением из тонкоистертых образцов навеской 5—10 г. Методика разработана в Институте геохимии им. А. П. Виноградова СО АН СССР [Смирнова, Конусова, 1982]*.

* Основные параметры этой методики приведены в статье В. С. Антипина, О. Н. Волянца и др. (см. наст. сборник).

В 30 пробах нейтронно-активационным методом определен ограниченный спектр РЗЭ (La, Ce, Sm, Yb, Lu). Анализ проводился в лаборатории ВНИИЯГГ АН СССР С. И. Савосиным. Из всех изученных 6 проб вулкаников анализировались обоими вышеуказанными методами. Результаты определения РЗЭ в единых породах показали достаточную сходимость, что нам позволило здесь все имеющиеся данные по этим элементам использовать в едином плане.

ФАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

В табл. 1 и 2 дана характеристика химического состава, распределения РЗЭ, Rb, Ba, Sr и места отбора проб исследованной группы четвертичных вулканических пород Курильской ОД.

Величины отношений La/Yb в исследованных вулканиках Курил (в какой-то степени отражающие соотношения тяжелых и легких лантаноидов в спектре РЗЭ и часто используемые для типизации вулкаников) в среднем колеблются от 1 до 10 и близки таковым для вулканических образований других ОД [Балашов, 1976].

Соотношение легких и тяжелых РЗЭ в породах тыловой и фронтальной зон Курильской ОД существенно различаются. Так, во фронтальной зоне независимо от положения вулканов в той или иной части Курил в ряду пород от базальтов до андезитов сумма легких лантаноидов (Σ_{Ce}) почти всегда меньше, чем тяжелых РЗЭ + Y (Σ_Y), Σ_{Ce}/Σ_Y обычно < 1 и колеблется от 0,50 до 0,95, а значения La/Yb варьируют от 1,0 до 2,0.

С удалением от вулканического фронта ОД в породах закономерно возрастает сумма легких лантаноидов, и в 2—3 раза увеличивается их доля во всем спектре РЗЭ. (La/Yb значения увеличиваются до 4—7 в базальтах и андезито-базальтах и до 9—11 в андезитах.) Концентрации тяжелых РЗЭ в вулканиках обычно изменяются слабо. Можно лишь отметить, что в среднем в базальтах наблюдается слабое обогащение ими, а в андезито-базальтах и андезитах — слабое обеднение. При этом в породах тыловой зоны ОД суммарное содержание РЗЭ обычно увеличивается.

Особенности распределения РЗЭ в сериях вулканических пород Курильской ОД удобно рассмотреть с помощью графиков их нормированных содержаний по отношению к хондриту [Хэскин и др., 1968; Masuda et al., 1973; Балашов, 1976]. На графиках (рис. 2—5) отмеченное выше различное распределение РЗЭ в вулканиках Курил проявлено отчетливо и наглядно. Так, в вулканиках фронтальной зоны ОД наклон линии распределения РЗЭ обычно близок горизонтальному, т. е. хондритовому, хотя концентрации элементов превышают хондритовые в 10—40 раз. Иногда (см. рис. 2, 3) для пород этой зоны наблюдается и небольшой наклон линии распределения РЗЭ, обусловленный некоторым обеднением их легкими лантаноидами относительно тяжелых. Такие типы распределения РЗЭ являются характерной чертой вулканических пород многих толеитовых серий срединно-океанических хребтов и островных дуг. В лавах вулканов, удаленных от вулканического фронта ОД, левые части графиков РЗЭ от La до Gd имеют ярко выраженный наклон, отражающий закономерное накопление в вулканиках легких лантаноидов и преобладание легких РЗЭ над тяжелыми. Весьма наглядно это отражено и на рис. 6, где к тыловым зонам в породах закономерно возрастает La/Yb отношение. При этом столь характерный для вулкаников фронтальной зоны ОД Семинимум по мере удаления вулканов от вулканического фронта становится все менее выраженным и в тыловой зоне практически исчезает (см. рис. 4).

В единых по отношению к фронту ОД зонах породы различной основности, которые можно рассматривать в качестве дифференциатов единой магмы, в основном характеризуются близким рисунком кривых распределения РЗЭ (что особенно касается пород ряда от базальтов до дацитов).

Т а б л и ц а 1

Химический состав (%) и содержания редких и редкоземельных элементов (г/г)											
Компонент	Базальт										
	Часть ОД										
	северная					центральная			южная		
	Профиль										
	Маканруши					Буссоль			Фриза		
	Расстояние от места отбора проб до линии фронта вулканизма Курильской ОД (l, км)										
	0	0	40	63	63	75	30	60	0	63	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	SiO ₂	51,06	52,21	48,16	49,55	50,50	46,61	52,10	49,94	49,84	50,80
	TiO ₂	0,91	0,78	0,87	0,98	0,79	1,06	0,77	0,90	0,70	1,22
Al ₂ O ₃	18,07	17,45	16,38	18,13	17,43	18,30	17,63	17,36	19,36	18,33	
Fe ₂ O ₃	5,56	5,53	4,90	4,43	4,41	4,66	2,74	2,27	1,97	3,06	
FeO	5,85	5,09	5,91	4,85	3,82	6,20	7,09	5,75	8,50	5,99	
MnO	0,23	0,21	0,17	0,16	0,17	0,19	0,19	0,18	0,20	0,19	
MgO	4,58	4,88	7,53	5,43	6,72	5,06	6,00	8,58	6,05	4,59	
CaO	9,92	9,71	10,85	10,66	10,60	11,50	9,80	10,10	11,62	9,22	
Na ₂ O	2,84	2,65	2,82	3,04	3,10	3,34	2,09	3,27	1,62	2,90	
K ₂ O	0,42	0,80	1,28	1,73	1,55	1,85	0,51	1,28	0,24	1,29	
P ₂ O ₅	0,08	0,09	0,18	0,19	0,18	0,19	0,12	0,28	0,06	0,32	
П.п.п.	0,27	0,43	0,60	0,51	0,32	0,64	0,11	0,18	0,33	1,58	
С у м м а	99,79	99,63	99,70	99,66	99,59	99,60	99,15	100,09	100,49	99,49	
Rb	4	11	20	—	20	26	8	26	2	27	
Ba	90	270	200	540	440	600	120	400	79	220	
Sr	360	340	520	750	760	760	370	750	260	580	
La	3,1	2,9	8,2	8,4	13,0	8,6	6,1	14,0	1,8	11,0	
Ce	4,7	4,9	16,0	19,0	31,0	17,0	9,5	31,0	2,8	26,0	
Pr	—	—	—	—	2,7	—	—	—	—	2,7	
Nd	7,0	6,5	14,0	15,0	13,0	9,6	7,4	15,0	4,2	16,0	
Sm	2,0	2,0	2,7	2,5	4,0	3,4	3,4	4,4	1,5	4,5	
Eu	0,90	0,80	1,30	0,80	1,20	1,20	0,68	1,10	0,20	0,90	
Gd	3,0	2,2	2,6	3,4	2,6	4,7	2,2	3,0	1,7	4,2	
Tb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Dy	2,5	2,9	2,9	3,8	2,6	3,4	3,0	3,3	2,7	4,5	
Ho	—	0,67	0,60	0,74	0,68	0,73	0,59	0,70	0,60	0,90	
Er	—	1,7	—	2,1	2,3	2,1	2,3	—	1,1	3,4	
Yb	3,0	2,1	1,5	2,3	2,2	1,9	2,2	2,2	1,8	3,0	
Lu	—	0,27	—	0,29	0,23	0,23	0,15	0,24	—	—	
Y	18	15	13	20	19	19	17	17	14	24	

Компонент	Андезито-базальт				Андезит						
	Часть ОД										
	центральная				южная		северная				
	Профиль										
	Буссоль				Фриза		Маканруши				
	Расстояние от места отбора проб до линии фронта вулканизма Курильской ОД (l, км)										
	30	30	30	120	0	0	0	45	45	40	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
	SiO ₂	53,20	56,34	54,56	53,88	60,45	61,76	62,95	62,23	60,61	58,60
	TiO ₂	0,68	0,82	0,81	1,02	0,89	0,71	0,80	0,38	0,55	0,61
Al ₂ O ₃	20,88	17,20	16,78	17,59	15,29	16,22	15,33	16,96	17,17	17,46	

Таблица 1

в четвертичных вулканических образованиях Курильской островной дуги

Компонент	Базальт		Андезито-базальт											
	Часть ОД													
	южная		северная				центральная							
	Профиль													
	Фриза		Маканруши				Диана							
	Расстояние от места отбора проб до линии фронта вулканизма Курильской ОД (l, км)													
	63	66	0	43	40	63	0	18						
	11	12	13	14	15	16	17	18						
SiO ₂	51,72	52,88	55,67	54,48	56,55	54,18	54,40	56,70						
TiO ₂	0,83	1,05	0,72	0,68	0,62	0,69	0,85	0,71						
Al ₂ O ₃	20,21	17,35	16,60	17,22	18,12	17,80	17,70	18,75						
Fe ₂ O ₃	0,61	4,17	4,49	4,03	4,52	3,26	3,43	2,88						
FeO	7,43	3,74	3,85	3,48	2,66	4,24	6,38	4,13						
MnO	0,47	0,14	0,17	0,18	0,20	0,17	0,21	0,18						
MgO	2,49	4,59	4,70	4,67	3,14	4,73	4,75	3,81						
CaO	8,72	9,72	8,70	8,84	6,85	9,17	8,83	8,06						
Na ₂ O	3,52	2,97	3,10	3,29	3,35	2,97	2,91	3,07						
K ₂ O	0,54	1,20	1,09	1,82	1,89	1,70	0,53	1,36						
P ₂ O ₅	0,21	0,34	0,09	0,18	0,27	0,25	0,13	0,27						
П.п.п.	2,87	2,20	0,47	0,77	1,74	0,61	-0,32	0,66						
С у м м а	99,62	100,35	99,65	99,64	99,91	99,77	99,80	100,58						
Rb	4	18	16	23	50	35	6	26						
Ba	100	300	270	670	830	770	170	320						
Sr	660	400	360	640	880	820	370	500						
La	7,0	11,0	4,4	11,0	21,0	15,0	5,3	12,0						
Ce	14,0	16,0	11,0	30,0	32,0	25,0	9,5	27,0						
Pr	—	2,0	—	2,8	5,0	—	—	3,4						
Nd	9,3	12,0	7,0	13,0	15,0	15,0	9,9	13,0						
Sm	3,4	3,2	3,0	3,1	4,5	2,8	2,5	4,5						
Eu	1,10	1,00	0,70	1,20	1,50	0,70	0,87	0,72						
Gd	3,3	2,6	3,3	3,0	2,6	3,4	3,2	3,5						
Tb	—	—	0,54	—	—	—	—	—						
Dy	3,7	2,9	2,8	2,4	2,4	3,6	5,3	3,2						
Ho	0,75	0,68	1,00	0,54	0,55	0,91	0,90	0,66						
Er	2,7	2,2	—	2,0	—	—	3,0	2,4						
Yb	1,9	2,3	3,3	2,3	2,0	2,5	2,7	2,4						
Lu	—	—	0,39	0,19	0,34	9,30	0,60	—						
Y	20	16	21	17	17	18	19	18						
Компо- нент	Андезит									Дацит	Риодацит	Риолит		
	Часть ОД													
	северная		центральная		южная				север- ная	центральная				
	Профиль													
	Буссоль			Диана		Фриза				Буссоль				
	Расстояние от места отбора проб до линии фронта вулканизма Курильской ОД (l, км)													
	55	21	30	30	57	50	0	0	120	0	30	60	41	60
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
	SiO ₂	60,42	57,44	57,91	60,37	60,68	57,78	57,96	60,64	61,24	66,20	65,74	71,21	73,13
	TiO ₂	0,55	0,83	0,78	0,72	0,70	0,83	0,96	0,58	0,60	0,76	0,66	0,23	0,26
Al ₂ O ₃	16,45	16,43	16,6	16,00	16,50	17,54	15,88	17,21	17,31	14,25	15,18	14,11	14,15	

Т а б л и ц а 1

Компонент	Андезито-базальт				Андезит					
	Часть ОД									
	центральная		южная		северная					
	Профиль									
	Буссоль			Фриза		Маканруши				
	Расстояние от места отбора проб до линии фронта вулканизма Курильской ОД (l, км)									
	30	30	30	120	0	0	0	45	45	40
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	Fe ₂ O ₃	2,23	3,87	3,30	2,59	3,21	3,63	2,83	3,04	4,15
FeO	5,30	5,30	4,94	5,15	5,69	3,27	3,68	2,85	1,88	2,19
MnO	0,15	0,19	0,17	0,17	0,22	0,17	0,16	0,15	0,12	0,15
MgO	3,48	4,15	6,19	4,49	2,24	2,29	1,68	1,90	1,91	3,13
CaO	10,53	8,53	9,07	8,80	6,28	6,06	5,87	5,34	6,55	7,29
Na ₂ O	2,56	3,13	2,70	2,77	3,77	4,03	3,96	3,72	4,13	3,57
K ₂ O	0,66	0,87	1,10	1,29	1,14	1,28	1,70	2,84	1,89	1,91
P ₂ O ₅	0,12	0,14	0,15	0,23	0,08	0,17	0,20	0,16	0,16	0,16
П.п.п.	—	-0,09	-0,03	1,60	0,39	0,27	0,39	0,79	0,72	1,16
С у м м а	99,79	100,45	99,74	99,55	99,65	99,86	99,55	100,36	99,84	99,95
Rb	11	12	17	21	12	17	30	52	28	56
Ba	160	170	270	260	200	320	420	860	670	690
Sr	440	360	430	420	330	340	360	900	530	740
La	11,0	10,0	11,0	8,9	10,0	14,0	10,0	25,0	12,0	15,0
Ce	23,0	19,0	19,0	20,0	32,0	28,0	20,0	46,0	28,0	22,0
Pr	—	—	—	2,3	—	—	2,9	—	—	—
Nd	16,0	13,0	14,0	13,0	20,0	17,0	14,0	17,0	13,0	13,0
Sm	3,9	4,4	4,3	4,0	9,5	8,7	5,2	4,0	2,8	2,6
Eu	0,88	1,20	0,89	1,0	3,3	1,6	2,1	1,3	1,50	0,80
Gd	2,3	3,9	3,5	3,4	8,5	9,0	6,2	2,9	2,1	2,2
Tb	—	—	—	0,60	1,70	1,50	—	0,5	1,0	0,5
Dy	3,4	5,2	4,3	4,1	9,7	6,8	6,3	2,3	2,6	3,1
Ho	0,50	0,75	0,70	0,76	2,20	2,30	1,50	0,70	0,60	0,70
Er	—	—	—	2,8	7,0	6,0	4,0	—	1,9	—
Yb	2,5	3,5	2,6	2,7	8,9	6,4	4,6	2,5	1,9	2,1
Lu	0,14	0,16	0,16	—	0,60	0,77	0,49	0,29	0,20	—
Y	17	26	21	17	53	44	30	17	16	16

Примечание. Аналитические работы проведены в Институте геохимии им. академика А. П. Виноградова СО АН СССР В. А. Писарской, Т. Н. Гуничевой (силикатный анализ), С. И. Шигаровой, Д. Я. Орловой (Rb — пламенная фотометрия), А. Л. Финкельштейном (Ba, Sr — рентгеноспектральный метод); Л. А. Ивановой, Е. В. Смирновой (РЗЭ). Местоположение проб: 1, 2 — о. Онекотан, 1 (5918) — кальдера Немо, 2 (5906/1) — кальдера Тао-Русь; 3 (B11—79/1) — о. Маканруши, подводное основание, глубина 315—610 м; 4, 5 (B11—74/1, 76/1) — скалы Авошь, подводное основание, глубина ~ 340 м; 6 (B11—72/5) — подводный вулкан Белянкина, глубина ~ 700 м; 7 (B15—90/1) — о. Брат Чирной, подводное основание, глубина ~ 250 м; 8 (B15—43/1) — о. Броутон, подводное основание, глубина ~ 400 м; 9 (B15—393) — о. Итуруп, кальдера Медвежья; 10 (B15—77/1) — подводная гора, в 63 км от начала профиля Фриза, глубина ~ 400 м; 11—12 (B15—77/2 и 80/1) — подводные горы, глубина 320—450 м; 13 (8301) — о. Онекотан, кальдера Тао-Русь; 14 (B11—506) — о. Маканруши; 15 (B11—77/6) — о. Маканруши, подводное основание, глубина 140 м; 16 (B11—75/3) — скалы Авошь, подводное основание, глубина 250—700 м; 17 (ФБ-48) — о. Симушир, влк. Уратман; 18 (B15—27/1) — подводный вулкан Лисянского, глубина 180—250 м; 19 (B15—90/2) — о. Брат Чирной, подводное основание, глубина 170—300 м; 20 (B15—329) — о. Чирной, влк. Чирной; 21 (B15—330) — о. Чирной, мыс Лапка, отложения кальдеры Г. С. Горшкова; 22 (B15—73/5) — подводная гора, глубина 1400—1700 м; 23 (H-3) — о. Онекотан, кальдера НЭМО; 24—25 (8321 и 8300/5) — о. Онекотан, кальдера Тао-Русь; 26—27 (B11—80/3 и 80/4) — подводный вулкан Пийпа, глубина 160—170 м; 28 (B11—81/1) — о. Маканруши, подводное основание, глубина 250—350 м; 29 (B11—73/13) — подводный вулкан С. С. Смирнова, глубина 1050—1300 м,

Компонент	Андезит									Дацит	Риодацит	Риолит		
	Часть ОД													
	северная			центральная			южная			северная	центральная			
	Профиль													
	Буссоль			Диана			Фриза			Буссоль				
	Расстояние от места отбора проб до линии фронта вулканизма Курильской ОД (l, км)													
	55	21	30	30	57	50	0	0	120	0	30	60	60	
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
	Fe ₂ O ₃	3,19	2,25	3,28	2,59	2,69	2,02	2,32	4,40	1,76	4,54	1,36	0,10	1,57
	FeO	2,60	4,47	5,57	4,94	3,41	4,58	6,28	3,10	2,45	2,19	4,76	2,06	0,63
MnO	0,15	0,13	0,17	0,15	0,14	0,16	0,18	0,09	0,18	0,19	0,15	0,10	0,10	
MgO	2,45	3,81	4,14	3,36	3,59	3,64	3,93	2,58	1,22	1,20	1,33	0,62	0,66	
CaO	6,01	8,66	8,18	7,08	6,63	6,48	7,31	6,89	4,54	4,12	4,39	2,02	1,99	
Na ₂ O	3,87	2,95	2,46	3,16	3,22	3,57	2,76	3,02	4,34	4,26	4,11	3,56	3,90	
K ₂ O	2,76	1,10	1,09	1,29	2,14	2,01	0,87	0,68	3,71	1,30	1,80	3,13	3,18	
P ₂ O ₅	0,13	0,15	0,11	0,12	—	0,35	0,11	0,08	0,26	0,17	0,14	0,07	0,07	
П.п.п.	1,21	0,40	-0,12	-0,13	0,19	0,86	0,98	1,14	1,95	0,70	-0,06	2,63	0,39	
С у м- ма	99,79	99,22	100,18	99,65	99,96	99,82	99,54	100,41	99,56	99,88	99,56	99,84	100,03	
Rb	65	—	20	20	42	40	12	3	89	14	20	76	66	
Ba	670	—	270	320	600	560	250	100	640	240	240	880	830	
Sr	590	—	350	290	530	490	260	210	430	290	300	420	420	
La	22,0	7,9	10,0	13,0	30,0	12,0	3,6	5,6	22,0	7,0	10,0	19,0	21,0	
Ce	31,0	13,0	22,0	28,0	47,0	25,0	8,9	10,0	40,0	14,0	19,0	33,0	32,0	
Pr	3,4	—	2,2	—	4,3	2,5	1,3	1,1	2,6	1,2	—	2,8	2,6	
Nd	15,0	12,0	15,0	15,0	24,0	16,0	7,4	8,2	21,0	12,0	12,0	11,5	12,0	
Sm	2,5	2,4	4,5	4,7	5,6	4,9	3,6	3,9	3,6	3,9	4,2	2,5	2,6	
Eu	0,60	0,96	1,3	2,00	1,30	1,50	0,80	0,80	1,10	1,60	1,00	0,40	0,80	
Gd	2,5	3,0	3,2	4,5	3,7	3,8	3,1	3,3	4,0	3,9	3,3	2,0	2,2	
Tb	—	—	0,64	—	—	0,80	—	1,1	1,3	1,4	—	—	—	
Dy	2,2	3,8	4,1	5,2	4,4	4,4	4,5	4,6	4,2	5,8	4,3	2,2	2,3	
Ho	0,60	0,78	0,67	1,00	0,80	0,90	0,89	0,90	0,80	1,30	1,00	—	0,32	
Er	1,9	2,0	2,4	—	—	2,6	3,2	3,3	2,5	4,5	3,1	—	—	
Yb	2,0	2,7	3,2	4,0	3,0	2,6	3,2	3,5	2,5	4,4	3,2	1,4	1,6	
Lu	0,20	0,20	0,30	0,18	0,21	0,40	—	—	0,35	0,54	0,35	—	—	
Y	19	17	23	28	21	16	21	20	17	32	25	11	12	

профиль Маканруши; 30 (B11—572) — о. Экарма, профиль Чиринкотан; 31 (B15—331) — о. Чирпой, мыс Лапка, отложения кальдеры Г. С. Горшкова; 32 (B15—322) — о. Чирпой влк. Сноу; 33 (B15—307) — о. Броутон; 34 (B15—29/1) — подводный вулкан Пегас, глубина 900—1000 м; 35 (B15—392) — о. Итуруп, влк. Кудрявый; 36 (B15—390) — о. Итуруп, влк. Медвежий; 37 (B15—73/1) — подводная гора, глубина 1400—1700 м; 38 (5912) — о. Онекотан, кальдера НЭМО; 39 (B15—323) — о. Чирпой, влк. Сноу; 40, 41 (B15—88/1 и 313/1) — о. Броутон, подводное основание, глубина 530—570 м.

Однако от основных к кислым породам каждой зоны происходит сначала закономерное увеличение суммы РЗЭ (до андезитов), а затем ее постепенное уменьшение (до риолитов). При этом Σ_Y в породах от дацитов до риолитов падает быстрее, чем в ряду вулканитов от андезитов до базальтов.

Т а б л и ц а 2

Распределение SiO₂, K₂O (%) и редкоземельных элементов (г/т) в четвертичных вулканических образованиях Курильской островной дуги

№ п/п	Порода	Индекс	Местоположение	<i>l</i> , км	SiO ₂	K ₂ O	La	Ce	Sm	Yb	Lu
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Северная часть ОД (1, 2 — профиль Маканруши, 3, 4 — профиль Чиринкотан)</i>											
1	Базальт	B11 – 575	о. Атласова, влк. Алайд	50	49,75	1,72	11,19	23,61	4,13	2,24	0,33
2		B11 – 72/5	Подводный влк. Белянкина (700 м)	75	46,61	1,85	9,66	18,36	4,91	2,32	0,35
3		B11 – 559	о. Райкоке	22	51,12	1,20	9,06	21,28	3,57	3,68	0,23
4		B11 – 114/3	о. Чиринкотан	50	51,64	1,50	15,50	28,76	4,84	3,62	0,26
<i>Центральная часть ОД (5 — профиль Диана, 6 — профиль Буссоль)</i>											
5		B15 – 25/2	Подводный влк. Лисянского (200 м)	18	52,32	1,18	12,51	27,47	4,47	3,13	0,23
6		B15 – 40/1	Подводная кальдера Г. С. Горшкова	30	51,16	1,47	16,01	24,29	4,87	2,48	0,26
<i>Южная часть ОД (7 — профиль Фриза)</i>											
7		B15 – 404	о. Итуруп, кальдера Медвежья	0	51,04	0,60	3,65	15,00	2,35	11,4	0,30
<i>Северная часть ОД (8 — 11 — профиль Маканруши, 12 — 17 — профиль Чиринкотан)</i>											
8	Андезит-то-базальт	8301	о. Онекотан, кальдера Тао-Русыр	0	55,67	1,09	4,88	11,12	2,64	2,67	0,44
9		4/8 – 81	о. Парамушир, влк. Чикурачки	20	56,60	1,03	13,94	23,77	3,81	2,34	0,51
10		B11 – 506	о. Маканруши	40	54,48	1,82	14,41	23,63	3,94	2,13	0,38
11		B11 – 75/3	Скалы Авось, подводное основание (340 м)	63	54,18	1,70	10,28	25,80	2,65	1,98	0,27
12		ФБ – 1	Скалы Ловушки, подводное основание	0	54,86	0,60	2,86	4,08	1,50	3,71	0,16
13		B11 – 113/2	Там же	0	53,01	0,34	1,46	4,65	1,86	3,30	0,37
14		B11 – 113/3	Там же	0	55,84	0,68	2,43	9,63	2,75	2,92	0,28
15		B11 – 110/4	Подводный вулкан (218 м)	27	55,88	1,41	13,76	20,93	3,54	2,76	0,23
16		B11 – 107/1	(2000 м)	36	55,50	1,85	18,39	27,44	4,55	3,23	0,25
17		B11 – 109/1	(700 м)	48	53,64	1,85	18,59	35,58	4,25	2,45	0,25
<i>Центральная часть ОД (13, 19 — профиль Диана, 20, 21 — профиль Буссоль)</i>											
18		P – 52	о. Кетой	0	54,19	0,59	5,83	11,63	3,24	3,00	0,37
19		B15 – 30/2	Подводный влк. Пегас (900 м)	48	56,62	1,60	23,40	39,76	4,86	1,44	0,24
20		140/81	о. Симушир, кальдера Заварицкого	0	53,85	0,39	3,85	9,11	2,99	3,78	0,50
21		B15 – 88/5	о. Броутон, подводное основание	48	56,23	1,62	16,59	17,10	4,81	3,61	0,34
<i>Северная часть ОД (22 — 26 — профиль Чиринкотан)</i>											
22	Андезит	P – 56	о. Шиашкотан	0	59,71	0,99	7,32	14,69	2,79	3,01	0,37
23		B11 – 572	о. Экарма	19	57,44	1,10	4,89	12,26	2,40	3,31	0,47
24		B11 – 527	о. Чиринкотан	50	57,36	2,06	16,53	29,11	4,22	2,58	0,41
25		B11 – 539	»	50	59,00	2,10	21,10	47,50	4,91	1,78	—
26		B11 – 108/12	Подводный вулкан (700 м)	48	59,54	2,40	25,29	40,39	4,91	2,97	0,26
<i>Центральная часть ОД (27, 28 — профиль Буссоль, 29 — профиль Диана)</i>											
27		B15 – 327	о. Чирпой, влк. Черный	30	61,20	1,47	7,32	15,40	3,54	3,35	0,42

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	Андезит	B15 – 331	о. Чирпой, мыс Лапка	30	57,91	1,09	10,80	22,09	5,03	4,64	0,52
29		B15 – 30/1	Подводный влк. Пе- гас (900 м)	48	58,26	1,63	25,83	40,97	3,76	1,30	0,18
<i>Центральная часть ОД, профиль Диана</i>											
30	Дацит	B11 – 549	о. Янкича (группа Ушишир)	0	65,63	0,98	4,41	9,71	2,42	2,61	0,36

Примечание. Аналитические работы по определению РЗЭ проведены нейтронно-активационным методом в лаборатории ВНИИЯГ АН СССР С. И. Савосиным. Цифры в скобках при характеристике подводных вулканитов показывают расстояние от уровня воды до вершины вулкана (глубину).

Отмечается различное распределение РЗЭ в вулканитах и по простиранию Курильской ОД (рис. 5—11). Правда, не всегда эти различия можно выявить достаточно четко. Так, на графиках средних нормированных по хондриту содержаний РЗЭ показано, что во всем ряду вулканитов фронтальной зоны ОД каких-либо значительных различий по распределению РЗЭ не проявлено. Отмечаются лишь несколько повышенные содержания всей суммы РЗЭ в андезитах одного, последнего, профиля северной части ОД (профиль Маканруши). В противоположность этому в тыловой зоне той же самой северной части ОД, по сравнению с более южными ее частями, в вулканитах всего базальт-андезитового ряда (особенно в андезито-базальтах и андезитах) заметно изменяется характер накопления легких лантаноидов, что наглядно выражается в увеличении углов наклона линий распределения РЗЭ в левых частях графиков рис. 5. Кроме того, андезиты тыловой зоны этой части ОД по сравнению с таковыми фронтальной зоны не характеризуются ни значительным накоплением общей суммы легких лантаноидов (от La до Eu), ни увеличением всей суммы РЗЭ (последняя даже уменьшается). При этом в них резко увеличиваются концентрации La и Ce, заметно уменьшаются Sm и Eu и резко падают содержания тяжелых РЗЭ.

Следует заметить, что при нашем анализе усредненных данных по РЗЭ в породах (см. рис. 5) весьма недостаточно учитывался такой важный фактор как удаленность вулканов от вулканического фронта. Она же даже в пределах одной и той же зоны ОД может меняться весьма значительно, поэтому оценка характера накопления легких РЗЭ в вулканитах, сделанная нами методом «усреднения», весьма приближительна и недостаточно надежна. Для более точной и простой его оценки (а также для того, чтобы максимально и наглядно использовать весь имеющийся материал по РЗЭ) нами выбраны такие параметры состава пород как La/Yb отношение и разница в нормированных содержаниях La и $Sm(C_{La} - C_{Sm})_{норм}$, изменение которых легко оценить в связи с действительной удаленностью вулканитов от фронта вулканизма на простейших бинарных графиках (см. рис. 8—11). Данная оценка принимается нами как количественное выражение скорости накопления легких РЗЭ вулканитами. Как следует (см. рис. 8—11), по скорости накопления легких РЗЭ все вулканиты Курильской ОД четко делятся на две группы. С одной стороны, это породы южной части ОД, где значения La/Yb отношения и $(C_{La} - C_{Sm})_{норм}$ минимальны и, следовательно, скорость накопления легких РЗЭ минимальна. С другой — это вулканиты центральной и северной части ОД, где значения данных параметров заметно повышены (особенно для андезитов и андезито-базальтов), а скорость накопления легких РЗЭ максимальна.

Вулканиты различных частей Курильской ОД заметно отличаются и по такому генетически важному параметру, как наличие или отсутствие в них Eu-минимума. Eu-минимум (оцененный в 41 пробе) не характерен для базальтов ОД (только в некоторых пробах южной части Курил величина Eu/Eu* достигает 0,38—0,62). Напротив, почти все андезито-базаль-

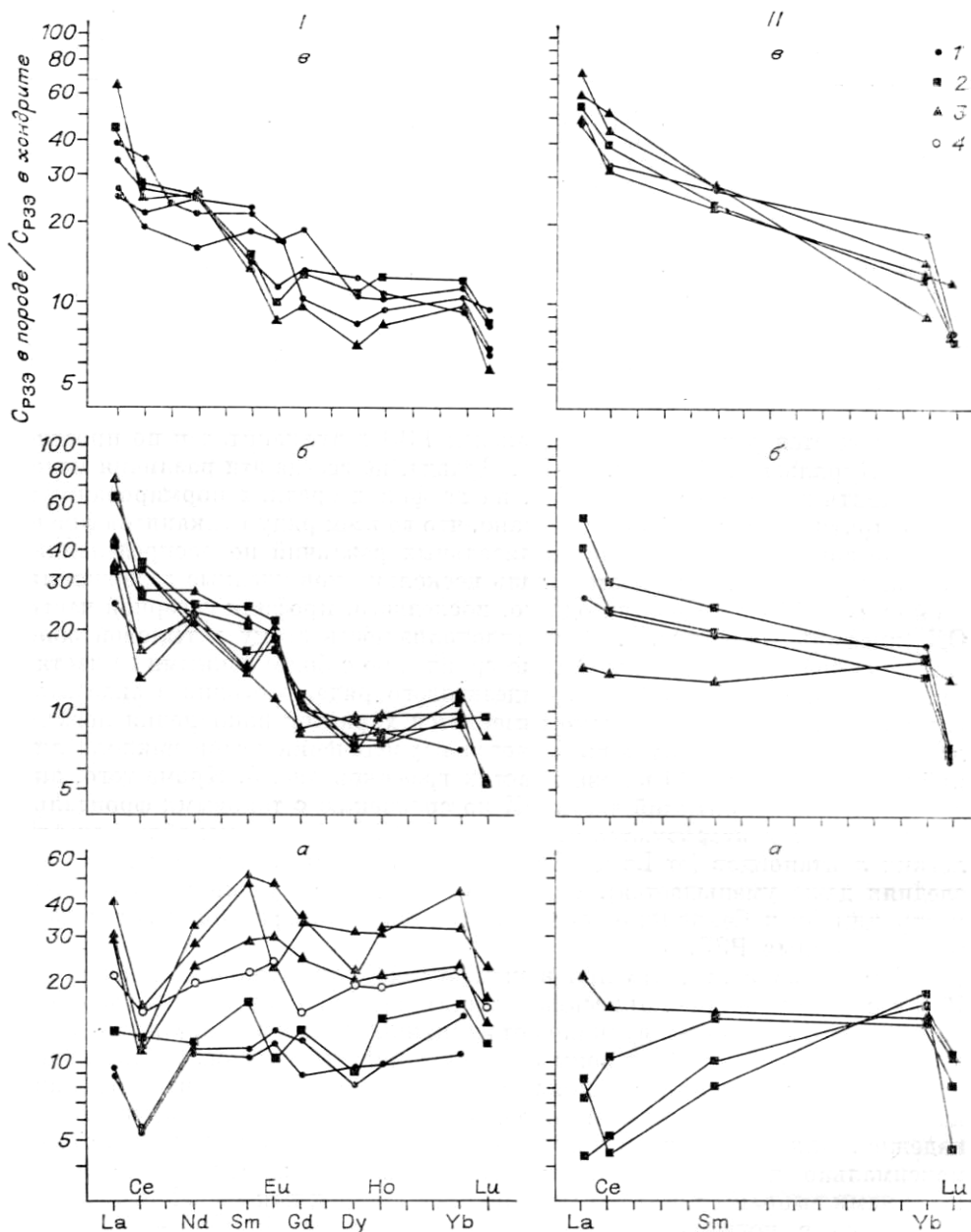


Рис. 2. Графики распределения нормированных содержаний РЗЭ в четвертичных вулканических образованиях фронтальной (а), промежуточной (б) и тыловой (б) зон северной части Курильской ОД.

I, II см. на рис. 1. 1 — базальты; 2 — андезито-базальты; 3 — андезиты; 4 — дациты. Нормирование проведено по хондриту [Хэскин и др., 1968].

ты ОД характеризуются Eu-минимумом, хотя значения Eu/Eu^* в них невысоки и колеблются от 0,54 до 0,87 (только 4 из 11 проб андезито-базальтов имеют значения $Eu/Eu^* \sim 1$). В андезитах Eu-минимум может достигать относительно высоких значений ($Eu/Eu^* = 0,55$). В то же время большая часть исследованных андезитов Курильской ОД Eu-минимума не имеет (только в 4-х пробах из 14 Eu-минимум достаточно проявлен). При этом Eu-минимум отсутствует в андезитах центральной части ОД, наиболее характерен для пород южной (две пробы из двух), иногда проявлен в андезитах северной части ОД (две пробы из 7, где в одной из трех проб фронтальной зоны он выражен наиболее четко, $Eu/Eu^* = 0,55$, а в

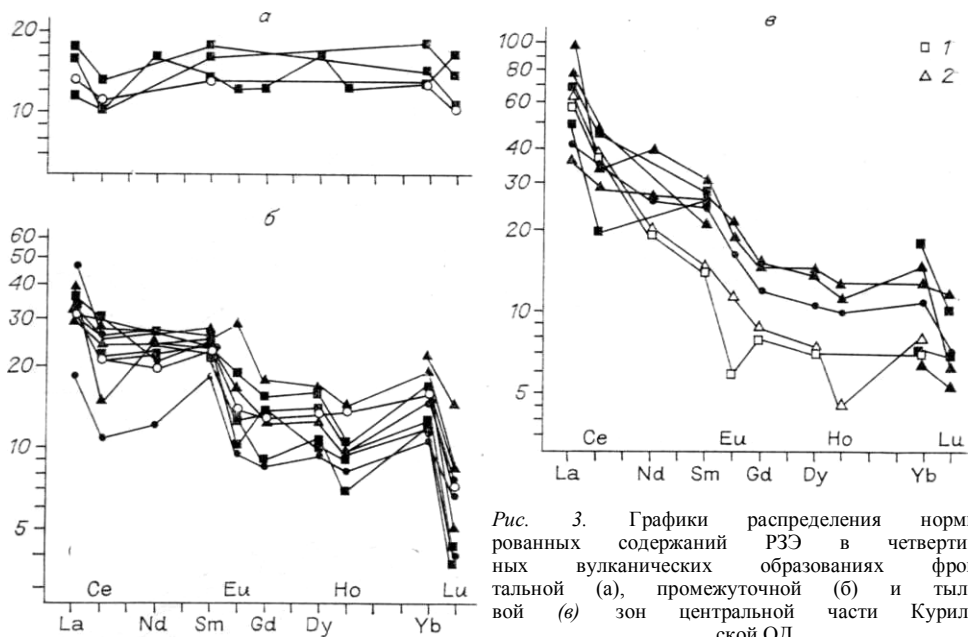


Рис. 3. Графики распределения нормированных содержаний РЗЭ в четвертичных вулканических образованиях фронтальной (а), промежуточной (б) и тыловой (в) зон центральной части Курильской ОД.

1 — риодациты; 2 — риолиты. Другие усл. обозн. см. ка рис. 2.

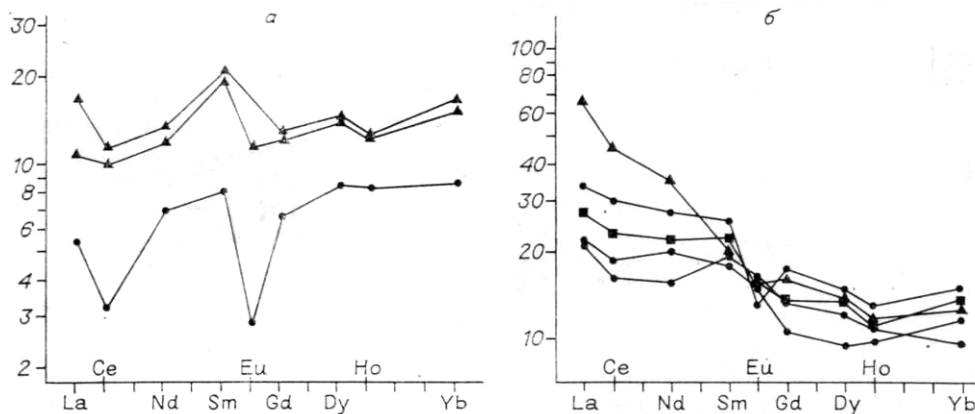


Рис. 4. Графики распределения нормированных содержаний РЗЭ в четвертичных вулканических образованиях фронтальной (а) и тыловой (б) зон южной части Курильской ОД.

Усл. обозн. см. на рис. 2.

пробе из тыловой зоны имеет среднее значение, $Eu/Eu^* = 0,73$).

Для наиболее кремнекислых вулкаников Курильской ОД — дацитов (фронтальная зона северной части ОД и промежуточная — центральной) и риолитов (тыловая зона центральной части ОД), Eu -минимум не характерен. Только в риодацитах тыловой зоны центральной части ОД Eu -минимум проявлен отчетливо, и значение Eu/Eu^* в них достигает 0,53 — величины, сходной с наиболее низкими значениями ее в некоторых андезито-базальтах и андезитах.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЗЭ В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЯХ КУРИЛЬСКОЙ И ЯПОНСКОЙ ОД

Курильская ОД является составной частью крупной четвертичной Японо-Курило-Камчатской островодужной системы. По распределению РЗЭ в вулканиках Японии имеются многочисленные данные [Katsui et

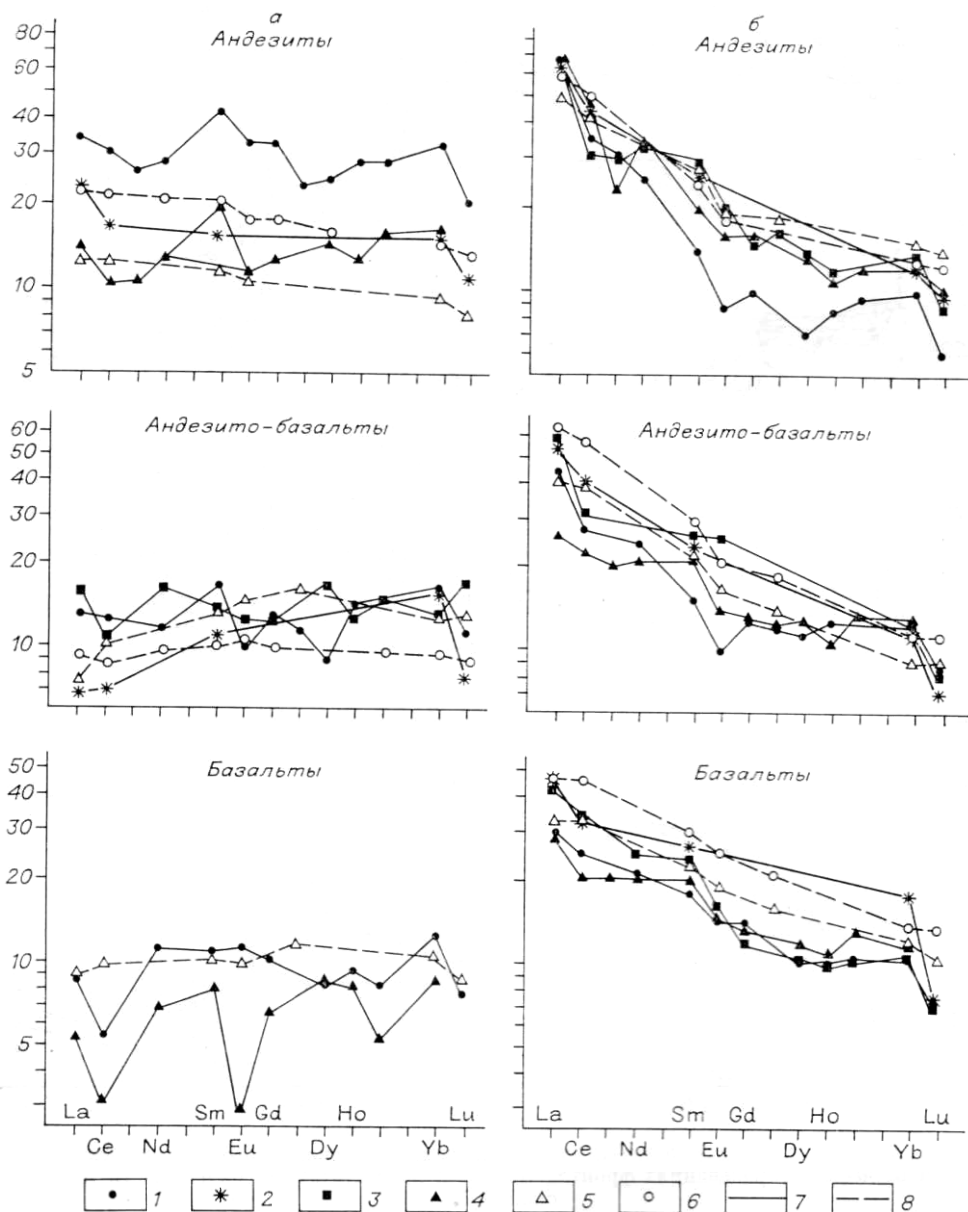


Рис. 5. Графики распределения средних нормированных содержаний РЗЭ в четвертичных вулканических образованиях фронтальной (а) и тыловой (б) зон различных частей Курильской ОД и островодужной системы Японии, по [Katsui et al., 1974; Fujitani, Masuda, 1981].

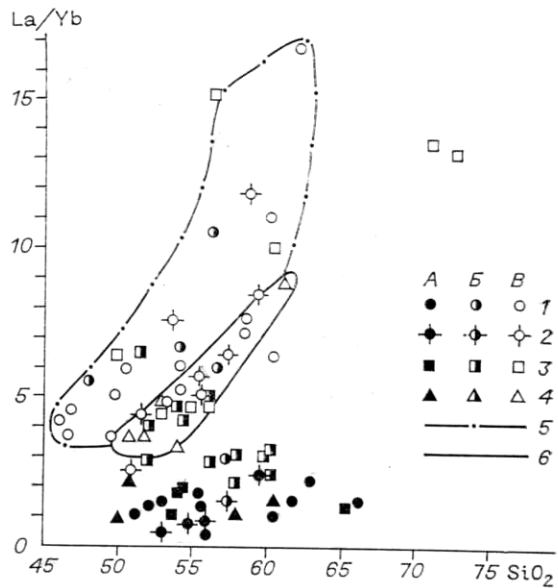
1 — 4 — Курильская ОД: 1, 2 — северная часть ОД (1 — профиль Маканруши, 2 — профиль Чиринкотан), 3 — центральная (профили Диана и Буссоль), 4 — южная (профиль Фриза); 5, 6 — островодужная система Японии: 5 — северная часть (центральная и северо-восточная часть о. Хоккайдо, продолжение Южно-Курильского островодужного сегмента), 6 — южная часть о. Хонсю, южная часть о. Хоккайдо); 7, 8 — линии, соединяющие точки РЗЭ составов пород Курильской ОД (7) и островодужной системы Японии (8). Усреднялись только данные по породам, где анализировался весь спектр РЗЭ (т. е. данные, полученные нейтронно-активационным методом, не учитывались).

al., 1974; Masuda et al., 1975; Fujitani, Masuda, 1981; и др.]. По Камчатке таких данных пока явно недостаточно. В связи с этим интересно сравнить полученные данные по распределению РЗЭ в вулканитах Курильской ОД с имеющимися материалами по Японии.

Согласно [Fujitani, Masuda, 1981], в четвертичной островодужной системе СВ Японии выделяется два сектора. Первый объединяет восточную и центральную части о. Хоккайдо и является продолжением по простиранию южного участка Курильской ОД. Второй сектор протягивается почти

Рис. 6. График La/Yb—SiO₂ для четвертичных вулканитов Курильской ОД.

1, 2 — вулканиты северной части ОД (1 — профиль Моканруши, 2 — профиль Чиринкотан); 3, 4 — вулканиты центральной и южной частей ОД, соответственно; 5, 6 — линии, ограничивающие поля точек составов вулканитов тыловой зоны северной, центральной (5) и южной (6) частей Курильской ОД. Здесь и на рис. 7 А, Б, В — зоны локализации вулканов: А — фронтальная, Б — промежуточная, В — тыловая.



под прямым углом к предыдущему и включает в себя вулканы южной части о. Хоккайдо и северо-восточной части о. Хонсю (хр. Тохоку), слагая так называемую СВ Японскую ОД.

По данным японских исследователей [Katsui et al., 1974; Masuda et al., 1975;

Fujitani, Masuda, 1981], на всем протяжении четвертичных японских ОД, так же как и Курильской, как уже показано нами [Авдейко и др., 1983, 1985а, б], в вулканитах отчетливо проявлена вещественная поперечная зональность (по РЗЭ и по другим петрогенным и редким элементам). При этом в различных по простиранию частях и СВ Японской, и Курильской ОД уровни концентрации тех или иных элементов в породах соответствующих зон вулканизма несколько различаются, таким образом обнаруживается и продольная вещественная зональность.

При сопоставлении двух регионов концентрации РЗЭ в вулканитах Японских ОД [Katsui et al., 1974; Fujitani, Masuda, 1981] по аналогии с породами Курильской, были нами нормированы по хондриту в соответствии со средним хондритом Л. А. Хэскина и др. [1968]. После этого для вулканитов Японии рассчитаны параметры изменения скорости накопления легких РЗЭ, такие как La/Yb отношение и $(C_{La} - C_{Sm})_{\text{норм}}$. Все эти данные использовались нами для сравнения с Курильскими на общих сводных графиках (см. рис. 5—11).

Как следует (см. рис. 5), во всех вулканитах как СВ Японской, так и Курильской ОД, за исключением андезитов северной части Курил, группа тяжелых РЗЭ имеет близкий характер распределения. Изменение же концентраций РЗЭ во всех породах в основном идет за счет различного накопления легких лантаноидов. Значения La/Yb отношения во всех породах колеблются в интервале от 1 до 10, что вообще свойственно вулканитам ОД.

Во фронтальной зоне всей островодужной Японо-Курильской системы вулканиты по распределению РЗЭ значительно не различаются. Только в андезитах самой северной части Курильской ОД отмечаются заметно повышенные концентрации как La и Yb, так и суммы РЗЭ. При анализе значений параметров скорости накопления породами легких РЗЭ в тыловых зонах выявляется, что вулканиты Японских ОД также не имеют значительных отличий и при этом весьма сходны с породами южной части Курильской ОД. В общем же плане, по скорости накопления легких РЗЭ (см. рис. 5—11), все вулканиты Японо-Курильской островодужной системы разделились на две группы. С одной стороны, это вулканиты Японских и южной части Курильской ОД, где углы наклона линий распределения легких РЗЭ на графиках их нормированных по хондриту содержаний имеют минимальный наклон, а значения La/Yb отношения и $(C_{La} - C_{Sm})_{\text{норм}}$ пород в зависимости от удаленности вулканов от фронта вулканизма также минимальны. С другой стороны, это вулканические образо-

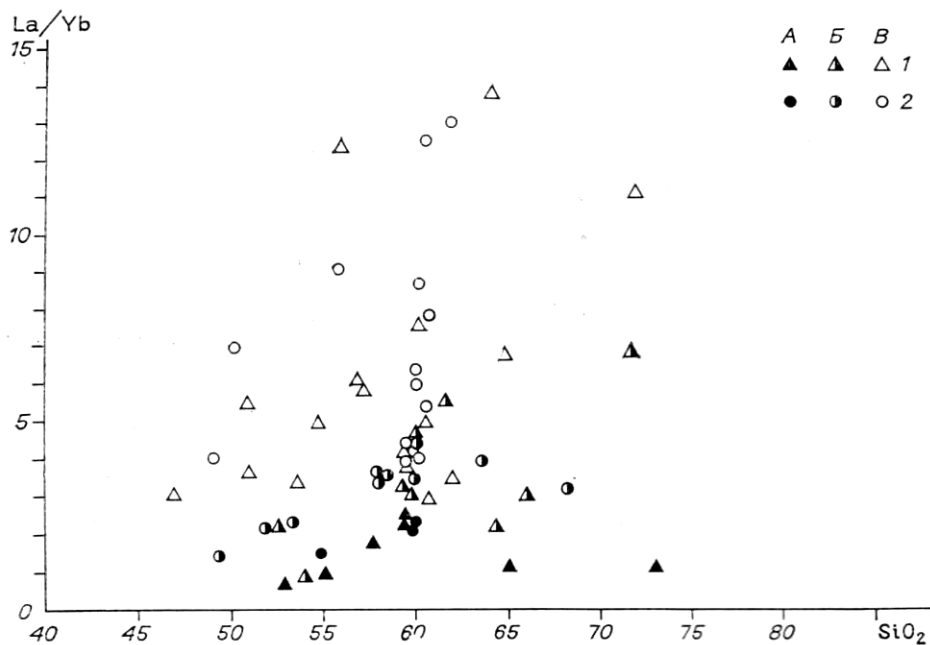


Рис. 7. График $La/Yb-SiO_2$ для четвертичных вулканитов островодужной системы Японии, по [Katsui et al., 1974; Fujitani, Masuda, 1981].

1 — вулканиты северной части Японской ОД (центральная и северо-восточная часть о. Хоккайдо, продолжение Южно-Курильского сегмента); 2 — вулканиты южной части (о. Хонсю, южная часть о. Хоккайдо).

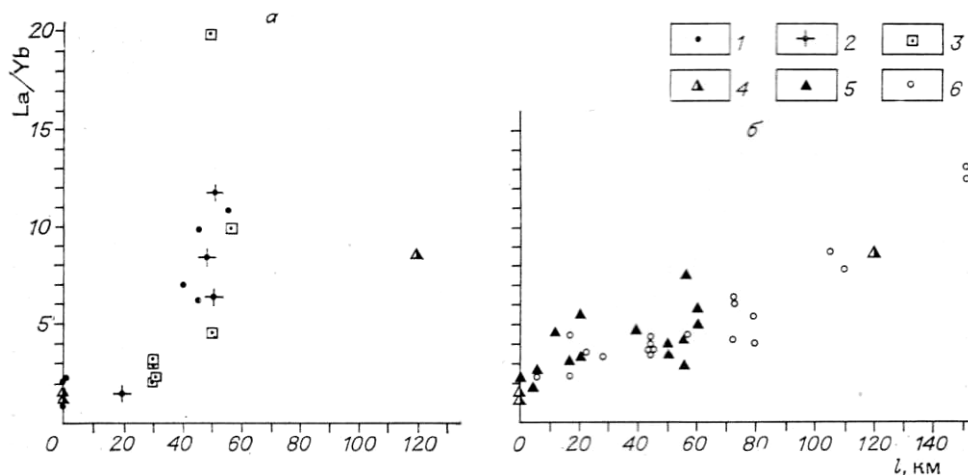


Рис. 8. Зависимость изменения значений La/Yb отношения в четвертичных андезитах с удаленностью (l) вулканов от фронта вулканизма Курильской (a) и Японской (b) островодужных систем.

1, 2 — северная часть Курильской ОД (1 — профиль Маканруши, 2 — профиль Чиринкотан); 3, 4 — центральная и южная части Курильской ОД, соответственно; 5, 6 — Японская островодужная система: 5 — северная часть (северо-восточная и центральная части о. Хоккайдо, продолжение Южно-Курильского сегмента), 6 — южная часть (о. Хонсю, южная часть о. Хоккайдо).

вания центральной и северной частей Курильской ОД, где значения использованных параметров скорости накопления легких РЗЭ заметно повышены. При этом наиболее значимые отличия в ряду пород базальт-андезитового ряда отмечаются для андезито-базальтов и андезитов.

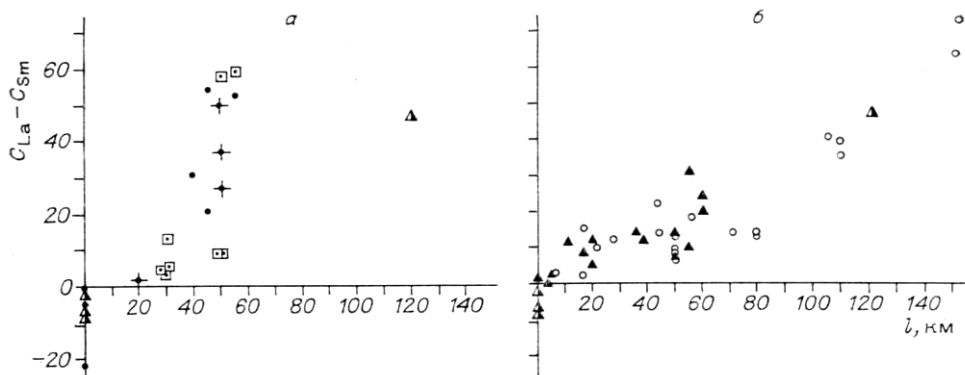


Рис. 9. Зависимость изменения разности нормированных по хондриту содержаний La и Sm в четвертичных андезитах с удаленностью (l) вулканов от фронта вулканизма Курильской (а) и Японской (б) островодужных систем.

Усл. обозн. см. на рис. 8.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как показали исследования, для четвертичных вулканитов Курильской ОД свойственны две главные особенности распределения РЗЭ. Первая связана с наличием отчетливой поперечной зональности, которая выражается в закономерном увеличении концентраций легких лантаноидов в породах, расположенных на все большем удалении от вулканического фронта к континенту (и которая соответствует зональности Японской ОД). Вторая особенность — это наличие продольной зональности распределения РЗЭ в вулканитах Курильской ОД, выражающейся прежде всего в увеличении скорости накопления легких лантаноидов породами тыловых зон центральной и северной частей дуги по сравнению с ее южной частью. Кратко обсудим возможную интерпретацию выявленных закономерностей с позиций генезиса рассмотренных вулканических образований.

Поперечная зональность. Как следует из более ранних публикаций [Katsui et al., 1974; Masuda et al., 1975; Авдейко и др., 1983, 1985а, б], поперечная зональность распределения РЗЭ в вулканитах Курильской и Японских ОД проявляется параллельно с зональностью и по другим петрогенным и редким элементам. Для Курильской ОД она выявлена в отношении K, Fe, Mg, Rb, Ba, Sr, Ni, Cr, V, изотопов Sr и Nd и т. д. Выявленная зональность характеризует латеральную смену вулканизма ОД от океана к континенту, приводящего к образованию сначала толеитовых, затем известково-щелочных и далее — субщелочных серий пород.

Всеми исследователями отмечается, что щелочность в расплавах является одним из основных факторов, контролирующих распределение в них РЗЭ, повышение которой должно приводить к накоплению в расплавах легких лантаноидов [Балашов, 1976]. Такое положение согласуется с приведенными материалами по распределению РЗЭ в вулканитах, расположенных вкост ОД.

Увеличение щелочности расплавов и соответствующее этому изменение в составах вулканитов происходит на фоне все большего углубления сейсмофокальной зоны под вулканитами. Это, скорее всего, имеет первостепенное значение и, по-видимому, указывает на повышение глубины формирования родоначальных магм в тыловых зонах ОД. В этом случае, если плавление происходит на уровнях, соответствующих гранатовым парагенезисам, в субсолидусе может находиться гранат [Грин, Рингвуд, 1968], который, как известно [Zielinski, Lipman, 1976], резко обогащается тяжелыми РЗЭ. Отсюда можно полагать, что выплавление магм повышенной щелочности в глубинных частях мантии, соответствующих гранатовым парагенезисам, должно приводить к заметному обогащению расплавов группой легких лантаноидов. Возможно, с этим мы и сталкиваемся в тыловых зонах ОД.

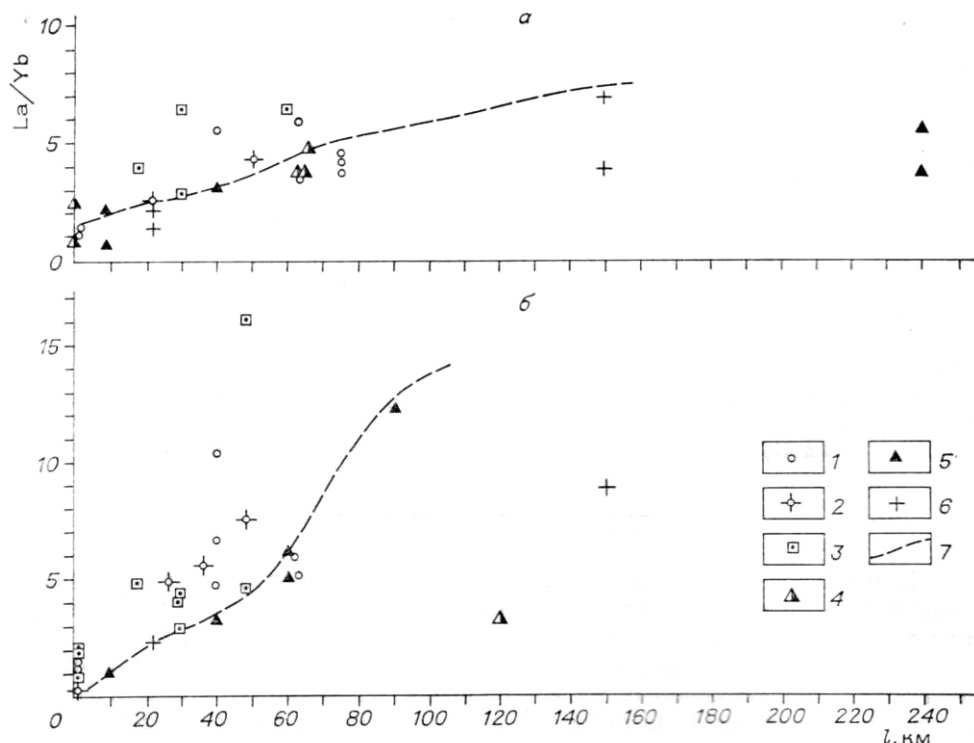


Рис. 10. Зависимость изменения значений La/Yb отношения в четвертичных базальтах (а) и андезито-базальтах (б) с удаленностью (l) локализации вулканов от фронта вулканизма Курильской и Японской островодужных систем.

1 — 4 — Курильская ОД: 1, 2 — северная часть ОД (1 — профиль Маканруши, 2 — профиль Чиринкотан); 3, 4 — центральная и южная части ОД, соответственно; 5, 6 — Японская ОД: 5 — северная часть (северо-восточная и центральная часть о. Хоккайдо, продолжение Южно-Курильского сегмента), 6 — южная часть (о. Хонсю, южная часть о. Хоккайдо); 7 — линия, разделяющая поля точек составов вулканитов северной части (включая и центральную) Курильской ОД и Японской ОД (включая и южную часть Курильской ОД).

Более детально генетический аспект поперечной вещественной зональности в четвертичных вулканитах Курильской ОД обсуждался нами ранее [Авдейко и др., 1985б]. Так, анализируя особенности вещественного состава вулканитов с привлечением данных по изотопам Sr и Nd, мы рассмотрели возможность: 1) различной степени частичного плавления единого по составу мантийного субстрата; 2) контаминации магм веществом земной коры в основании островной дуги; 3) влияния субдуцируемого осадочного материала и гидратированных базальтов срединно-океанических хребтов; 4) гетерогенности источника магм. На основании имеющихся геохимических данных [Авдейко и др., 1983, 1985а,б] сделан вывод, что вариации вещественного состава лав Курильской, а также, судя по данным японских исследователей, и Японской ОД не зависят от мощности земной коры и связаны с условиями плавления и с составом плавящегося субстрата. При этом наиболее вероятной моделью генезиса магм Курильской ОД, по нашему мнению, является плавление мантийного клина над сейсмофокальной зоной под воздействием отделяющихся от поддвигаемой литосферной океанической плиты летучих компонентов. Эта точка зрения близка высказанной Э. И. Пополитовым и О. Н. Волынцом [1981]. Различия же в составе магм фронтальной и тыловой зоны ОД обусловлены разным составом флюидов: во фронтальной зоне флюиды формируются в основном за счет дегидратации океанической плиты и, очевидно, близки к составу морской воды, а в тыловой — флюидные потоки связаны с твердофазовыми переходами вещества в сейсмофокальной зоне, которые происходят при больших давлениях и температурах и при которых высвобождается вода, летучие компоненты и ряд литофильных элементов. Во фронтальной

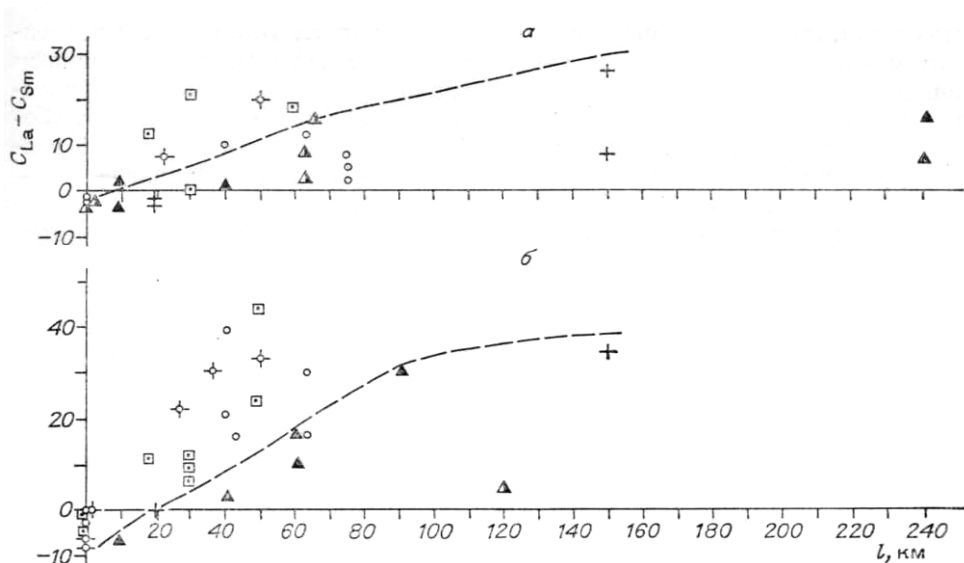


Рис. 11. Зависимость изменения разности нормированных по хондриту содержаний La и Sm в четвертичных базальтах (а) и андезито-базальтах (б) с удаленностью (l) вулканов от фронта вулканизма Курильской и Японской островодужных систем. Усл. обозн. см. на рис. 10.

зоне наряду с мантийным субстратом могут плавиться также гидратированные базальты второго слоя океанической коры [Gill, 1981].

Продольная зональность. Учитывая то, что продольная вещественная зональность в четвертичных вулканитах Курильской ОД ранее нами характеризовалась только для пород центральной и северной ее частей (данные по составу пород южной части ОД к тому времени отсутствовали), генетические аспекты возникновения этой зональности серьезно не обсуждались. Выявленная продольная зональность по распределению РЗЭ в вулканитах указывает на различные условия формирования магм по простирацию всей Курильской ОД и позволяет рассмотреть этот процесс более детально.

Данные табл. 1, 2 и более ранние геохимические материалы [Авдейко и др., 1983, 1985а,б] дают основание полагать, что изменение распределения РЗЭ, в первую очередь увеличение скорости накопления легких лантаноидов в вулканитах, расположенных в более северных частях Курильской ОД, сопровождается повышением в них общей щелочности и концентраций K, Rb, Ba, Sr. Именно увеличение содержаний этих элементов, как мы уже отметили, свойственно и поперечной зональности в вулканитах ОД, которая обусловлена повышением глубины сейсмофокальной зоны под вулканами, все более удаленными от фронта вулканизма. Как показывают геофизические данные [Тараканов и др., 1977], выявленное изменение состава вулканитов с юга на север вдоль Курильской ОД, так же как и в случае поперечной зональности, связано с увеличением глубины сейсмофокальной зоны под вулканами, что обусловлено повышением угла наклона этой зоны в северной и центральной частях ОД ($48-50^\circ$) относительно южной (42°).

Следует отметить также, что увеличение щелочности вулканитов в центральной части Курильской ОД по сравнению с южной ее частью невысокое (как в тыловой, так и фронтальной зоне), в северной же части — заметно повышенное, несмотря на то, что угол наклона сейсмофокальной зоны в центральной части ОД (судя по имеющимся геофизическим данным) близок 50° , т. е. сходен с таковым в северной части ОД (48°). Это, по-видимому, привело к столь высокому обогащению легкими РЗЭ в ее тыловой зоне. В данном случае это кажется несовместимым. Вероятно, либо оценка угла наклона зоны Бенъофа под центральной частью ОД нуждается в

уточнении, либо здесь имеют место другие причины. Например, к последним можно отнести крупные тектонические структуры, развивающиеся поперек центральной части ОД (типа трансформных разломов) и приведшие к максимальной приближенности ее фронта вулканизма к оси глубоководного желоба. Так, расстояние фронта вулканизма центральной части Курильской ОД до оси желоба всего 165—170 км, северной — 180—190 км, а южной — 200—210 км (заметно выше).

Кратко остановимся и на таком важном геохимическом параметре составов вулканитов Курильской ОД, как наличие или отсутствие в породах Eu-минимума. Уже отмечалось [Балашов, 1976], что Eu-минимум обычно не свойствен первичным мантийным магмам, выплавляемым на глубинах, соответствующих шпинелевым и гранатовым парагенезисам, т. е. ниже глубин плагиоклазовых парагенезисов [Грин, Рингвуд, 1970]. Появление же Eu-минимума связывается обычно с фракционной дифференциацией этих магм, а именно с фракционированием плагиоклаза [Балашов, 1976]. В связи с этим следует еще раз заметить, что практически все базальты, большая часть андезитов, а также дациты и даже некоторые риолиты Курильской ОД Eu-минимумом не характеризуются и, следовательно, могут рассматриваться как первичные недифференцированные магмы. В противоположность этому почти все андезито-базальты, некоторые андезиты, а также риодациты ОД имеют Eu-минимум и, скорее всего, являются дифференциатами первичных базальтовых и других магм.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. В пределах Курильской ОД имеется четкая поперечная зональность распределения РЗЭ в вулканитах, выраженная в закономерном увеличении в породах суммы легких лантаноидов по направлению от фронта дуги к ее тыловым частям.

2. В вулканических образованиях Курильской ОД существует продольная зональность распределения РЗЭ. С юга на север по простиранию ОД в вулканитах тыловой зоны, как центральной так и северной ее частей (в отличие от южной), заметно увеличивается скорость накопления легких лантаноидов, а в андезитах фронтальной зоны самой северной части ОД — сумма РЗЭ.

3. И поперечная, и продольная зональность распределения РЗЭ в вулканитах Курильской ОД находятся в достаточном соответствии с изменением щелочности пород, распределением в них других петрогенных и редких элементов (K, Rb, Ba, Sr и т. д., также наглядно характеризующих тот и другой тип зональности ОД) и обусловлены в первую очередь сейсмофокальной зоной Беньюффа под вулканами, ее глубиной и углом наклона.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдурахманов А. И.** Геохимическая зональность четвертичных вулканитов Курильской дуги. 5-е Всесоюзное вулканолог. совещание: Вулканизм и формирование полезных ископаемых в подвижн. обл. Земли. Тезисы докладов. Тбилиси, 1980, 2-ой симпозиум: Современный вулканизм и связанные с ним геол., геофиз. и геохим. явления. — Тбилиси, 1980. — С. 114—116.
- Абдурахманов А. И., Федорченко В. И.** Закономерности распределения лития, рубидия и стронция в четвертичных лавах Курильских островов // Вулканология и сейсмология. — 1980. — № 6. — С. 11—20.
- Абдурахманов А. И., Федорченко В. И.** Закономерности распределения элементов группы железа в четвертичных лавах Курильских островов // Вулканология и сейсмология. — 1983. — № 3. — С. 10—24.
- Авдейко Г. П., Вольнец О. Н., Бондаренко В. П. и др.** Поперечные вулканические зоны Курильской островной дуги // Международный симпозиум «Строение и динамика переходных зон»: Тезисы докладов. Сочи, 7—14 декабря 1983. — М., 1983. — С. 60.
- Авдейко Г. П., Антонов А. Ю., Вольнец О. Н. и др.** Геохимическая зональность лав Курильской островной дуги. — Докл. АН СССР. — 1985а. — Т. 282, № 4. — С. 958—961.
- Авдейко Г. П., Антонов А. Ю., Вольнец О. Н. и др.** Вариации вещественного состава и изотопных соотношений стронция и неодима в четвертичных лавах Куриль-

- ской островной дуги и их петрогенетическое значение // Всесоюз. совещание. Суздаль, 1983, — М., 1985б.
- Балашов Ю. А.** Геохимия редкоземельных элементов. — М.: Наука, 1976. — 265 с.
- Горшков Г. С.** Вулканизм Курильской островной дуги. — М.: Наука, 1967. — 287 с.
- Грин Д. Х., Рингвуд А. Е.** Петрология верхней мантии. — М.: Мир, 1968. — 335 с.
- Грин Д. Х., Рингвуд А. Е.** Происхождение базальтовых магм // Происхождение главных серий изверженных пород по данным экспериментальных исследований. — Л.: Наука, 1970. — С. 107—206.
- Леонова Л. Л.** Геохимия четвертичных и современных вулканических пород Курильских островов и Камчатки // Геохимия. — 1979. — № 2. — С. 179—197.
- Мархинин Е. К., Стратула Д. С.** Некоторые петрологические, геохимические и геофизические аспекты связи вулканизма с глубинами Земли // Вулканизм и глубины Земли. — М.: Наука, 1971. — С. 11—16.
- Пискунов Б. Н., Сергеев К. Ф., Федорченко В. И.** Курильская островная дуга. Геологическое строение // Строение земной коры и верхней мантии в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану. — Новосибирск: Наука, 1976. — С. 190—220.
- Пополитов Э. И., Вольнец О. Н.** Геохимические особенности четвертичного вулканизма Курило-Камчатской островной дуги и некоторые вопросы петрогенеза. — Новосибирск: Наука, 1981. — 182 с.
- Смирнова Е. В., Конусова В. В.** Спектральное и химико-спектральное определение редкоземельных элементов в геологических материалах // Геохимия редкоземельных элементов в эндогенных процессах. — Новосибирск: Наука, 1982. — С. 3—31.
- Тараканов Р. З., Ким Чун Ун, Сухомлинова Р. И.** Закономерности пространственного распределения гипоцентров Курило-Камчатского и Японского регионов и их связь с особенностями геофизических полей // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. — М.: Наука, 1977. — С. 67—78.
- Хэскин Л. А., Фрэй Ф. А., Шмидт Р. А., Смит Р. Х.** Распределение редких земель в литосфере и космосе. — М.: Мир, 1968. — 186 с.
- Dostal J., Dupuy C., Lefevre C.** Rare earth element distribution in Plio-Quaternary volcanic rocks from southern Peru // Lithos. — 1977a. — V. 10, N 3. — P. 173—183.
- Dostal J., Zentilli M., Caelles J., Klark A.** Geochemistry and origin of volcanic rocks of the Andes // Contribs to Mineral. and Petrol.— 1977b.— V. 63, N 2.— P. 113—128.
- Fujitani T., Masuda A.** Light REE inclination and distance from volcanic front; a case of volcanic rocks in Northeastern Japan // Geochemical J.— 1981.—V. 15, N 5.— P. 269—283.
- Gill J. B.** Orogenic andesites and plate tectonics. — Springer-Verlag Berlin — Heidelberg — New York, 1981. — 390 p.
- Katsui Y., Oba Y., Ando S. et al.** Petrochemistry of the Quaternary volcanic rocks of Hokkaido, North Japan. Presented at the Japanese-Soviet Seminar on Geodynamic Project. February, 1974. — P. 1—36.
- Kuno H.** Origin of Cenozoic petrographic provinces of Japan and surrounding areas // Bull. Volcanol. — 1959. — V. 20. — P. 37—76.
- Masuda A., Nakamura N., Tanaka T.** Fine structures of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites // Geochim. et Cosmochim. Acta.— 1973.— V. 37, N 2.— P. 239—249.
- Masuda Y., Nishimura S., Ikeda T., Katsui Y.** Rareearth and trace elements in the Quaternary volcanic rocks of Hokkaido, Japan // Chemical Geology.— 1975.— V. 15, N 4, — P. 251—273.
- Zielinski R. A., Lipman P. W.** Trace-element variations at Summer Coon volcano, San Juan Mountains, Colorado, and the origin of continental-interior andesite // Bull. Geol. Soc. Amer. — 1976. — V. 87, N 10. — P. 1477—1485.