

УДК 551.21

© 1995 г. ИВАНОВ Б. В.

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНДЕЗИТОВ КАРЫМСКОГО ВУЛКАНА КАК ИНДИКАТОРЫ ТИПОВ ИЗВЕРЖЕНИЙ

Рассмотрены вариации содержания SiO_2 , MgO , FeO^* , РЗЭ и некоторых других микроэлементов (Sc, Ni, Cr, Hf, Ba, Sr и др.) в андезитах Карымского вулкана. Показано, что изливающиеся на поверхность в течение одной стадии извержения андезиты относятся к разным петрохимическим типам. Несмотря на близость химических составов изверженных пород, петролого-геохимические характеристики позволяют различать толситовые и известково-щелочные андезиты, имеющие разные физические свойства и динамические характеристики, обуславливающие особенности вулканических извержений.

PETROLOGIC-GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF KARYMSKY ANDESITES AS INDICATORS OF ERUPTION TYPES, by Ivanov B. V. Variations of concentrations of SiO_2 , MgO , FeO^* , rare-earth elements and several other microelements (Sc, Ni, Cr, Hf, Ba, Sr, etc.) in andesites from the Karymsky volcano are considered in the paper. It is shown that andesites which are supplied to the surface during one eruption stage belong to different petrochemical types. In spite of the similarity in chemical compositions of the ejected rocks, their petrologic-geochemical characteristics allow us to distinguish tholeiitic and calc-alkaline andesites that have different physical and dynamical characteristics causing the peculiarities of volcanic eruptions.

(Received December 7, 1994)

Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

Вулкан Карымский, располагающийся в средней части Восточной вулканической зоны Камчатки, — один из наиболее часто извергающихся. Современный конус образован ~5 тыс. лет назад в кальдере древнего Карымского вулкана [1]. По абсолютной датировке C^{14} -возраст образования кальдеры определен в 7450 ± 200 лет [5]. Преобладающим типом вулканитов на протяжении всей истории развития являются двупироксеновые андезиты с составом минеральных фаз $\text{Pl} + \text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Mt}$. Существование под вулканом на глубине 1,5—2 км периферического магматического очага и особенности вещественного состава продуктов извержений позволяют относить его к андезитовым вулканам мантийно-корового питания [3, 6].

Изучение андезитов Карымского вулкана обнаруживает некоторые повторяющиеся вариации в изменении их химического состава в ходе извержений. Эта особенность отчетливо обозначилась при изучении двух последних стадий извержения вулкана (1962—1967 и 1970—1982 гг.).

Анализ типов извержений Карымского вулкана и ранее проведенных исследований андезитов позволяет констатировать следующее.

1. Извержения Карымского вулкана в целом относятся к вулканическому типу с коэффициентом эксплозивности $E = 80 \dots 82\%$. В межпароксизмальные циклы характерен стромболианский тип извержения. Периодическое возникновение в кратере перед пароксизмальными фазами лавового купола и появление агломератовых потоков (раскаленных пемзовых лавин) свидетельствуют, хотя и в слабой форме, о возможности извержения типа Мон-Пеле и Мерапи. Одна из

главных особенностей извержения Карымского вулкана — излияние жидких потоков кислых андезитов, образующих подушечные лавы (pillow-лавы), лавы волнистого и покровного типов [4, 7, 8], отличающиеся от лав кислых андезитов глыбового строения своими динамическими характеристиками: большой скоростью движения, малой мощностью, высокой газонасыщенностью и температурой. Появление жидкотекучих андезитов объяснялось максимальной газонасыщенностью порций магмы в верхней части вулканического канала и повышенным содержанием фтора, снижающего вязкость расплава [4].

Излияние жидкотекучих андезитов обычно следовало после сильной взрывной деятельности вулканического типа и сопровождалось стромболианским типом извержения. Эта особенность ярко проявилась в извержении 1970—1982 гг.

2. Деятельность Карымского вулкана со времени его образования характеризуется постоянством химического состава продуктов извержений — это двупироксеновые андезиты с содержанием SiO_2 от 59 до 62%. В отдельных случаях начало извержения предваряется появлением дацитовых и риолитовых пемз (SiO_2 — 64...70%). При всем однообразии химического состава извергнутых андезитов отмечены заметные колебания содержания SiO_2 , MgO и FeO^*/MgO в андезитах разных циклов одной стадии извержения. Зафиксировано увеличение мафичности в первых циклах извержения 1970—1982 гг., связанное с появлением оливина (Fo_{69-75}) в виде агрегативных скоплений размером до 0,5—1 мм, явно неравновесного с составом породы и не отмеченного в андезитах 1962—1967 гг., а также некоторое увеличение количества клинопироксена. Среди вулканитов извержения 1962—1967 и 1970—1982 гг. встречались плоскчатые лавы, а также включения ликвационного типа во вкрапленниках плагиоклаза, что может свидетельствовать, по мнению некоторых исследователей [10], о незавершенном ликвационном фракционировании магмы. Отмечалась двойственность геохимической природы андезитов, выражающаяся в аномальных содержаниях элементов группы железа, что указывает на процессы частичной ассимиляции или смещения разнородифференцированных магм [5]. Установлена разная степень кристалличности в подушечных лавах (12%), лавах волнистого и покровного типа (8—10%), глыбовых лавах (20—25%). Определены различные физические свойства морфологических типов лав [12]: подушечных (общая пористость 54,9—56,7%, объемный вес 1,1 г/см³), волнистых (32,65% и 1,76 г/см³), покровных (42,8% и 1,47 г/см³), глыбовых (20% и 2,1 г/см³).

3. Считалось, что все двупироксеновые андезиты Карымского вулкана относятся к известково-щелочному петрохимическому типу пород [5, 13]. Сделаны попытки связать петролого-геохимические особенности андезитовых магм с их динамическими характеристиками [5, 6].

Цель настоящей работы — рассмотреть особенности вещественного состава андезитов Карымского вулкана, указывающие на физико-химические условия образования толеитовых (ТА) и известково-щелочных (ИЩА) андезитов и определяющие типы извержений. Дальнейшие исследования андезитов Карымского вулкана показали, что часть их принадлежит к толеитовым разностям, т. е. характеризуется эволюцией трендов кристаллизационной дифференциации по толеитовому пути. Это обстоятельство побудило еще раз проанализировать особенности вещественного состава андезитов прошлых извержений и излившихся в 1962—1982 гг. и сравнить появление ИЩА и ТА с особенностями динамики извержений. С этой целью в андезитах Карымского вулкана проведен анализ отношений FeO^*/MgO как критерия различия петрохимических типов вулканитов, проанализировано поведение главных породообразующих окислов и проведено определение редкоземельных (РЗЭ) и некоторых других микроэлементов, имеющих индикаторное значение. Геохимические анализы сделаны в ГЕОХИ РАН (аналитик Г. М. Колесов; нейтронно-активационный анализ) и МГУ им. М. В. Ломоносова (аналитик Н. Ф. Пчелинцева; атомно-абсорбционный анализ), химические анализы — в Институте вулканологии ДВО РАН [5, 13]. Два образца (табл. 1 и 2, образцы № 14 и 15) проанализированы в Лаборатории геофизического

факультета Университета Южной Флориды (США). Сравнение геохимических и химических анализов двух разных лабораторий показали их хорошую сходимость.

В табл. 1 и 2 представлены химический состав и содержание микроэлементов в датированных образцах андезитов вулкана Карымский. На рис. 1 показано распределение андезитов на диаграмме FeO^*/MgO — SiO_2 и эволюция их средних составов от древнего Карымского вулкана до современных извержений, на рис. 2 — структура РЗЭ андезитов.

При обсуждении петрогенезиса андезитов Камчатки среди группы гипотез, объясняющих механизмы их образования, наиболее обоснованной является гипотеза кристаллизационной дифференциации высокоглиноземистых базальтовых магм в коровых очагах с отделением магнетитовой ассоциации [9]. Высокоглиноземистые базальты и андезитобазальты широко развиты в районе вулканов Карымской группы, но нигде в них не обнаружены амфиболы, что свидетельствует о «сухости» базальтовых магм (содержание H_2O не превышает 1,5 вес.%). В работе [9] показано, что фракционная кристаллизация базальтовой магмы приводит к образованию примитивных андезитовых магм, которым соответствуют двупироксеновые андезиты. Необходимо отметить, что фракционирование сопровождается последовательным возрастанием содержания воды в андезитобазальтах и андезитах. Эта модель хорошо объясняет происхождение известково-щелочных андезитов. Происхождение толеитовых андезитов, по мнению ряда авторов, может происходить в процессе эволюции высокомагнезиальных базальтов в приповерхностных магматических очагах [11]. Однако данные о присутствии высокомагнезиальных базальтов в породах вулканов Карымской группы отсутствуют. Это заставляет предполагать, что толеитовые андезиты могут образовываться из высокоглиноземистых базальтовых магм наряду с известково-щелочными разностями в результате изменения физико-химических факторов в коровых магматических очагах или подводящих каналах. В работе [11] рассмотрено влияние окислительно-восстановительного режима в низкобарных условиях на состав магматических жидкостей при фракционировании базальтовых магм. Показано, что процесс кристаллизационной дифференциации при меняющемся режиме f_{O_2} может идти двумя путями: в «восстановительных» условиях ($f_{\text{O}_2} \leq QFM$) по толеитовому пути при накоплении железа и относительном постоянстве SiO_2 и «окислительных» условиях ($f_{\text{O}_2} \geq NNO$) по известково-щелочному типу с отделением Mn -содержащей минеральной ассоциации, повышением SiO_2 и уменьшением содержанием железа. Эта модель, по-видимому, может объяснить особенности вулканического процесса при образовании двупироксеновых андезитов вулкана Карымский. Обратимся к фактическому материалу.

Химические анализы андезитов демонстрируют более высокие содержания MgO в ИЩА (среднее 2,47 вес.%) по сравнению с ТА (среднее 1,96 вес.%) и повышенное значение суммы окислов железа (ТА — 6,26; ИЩА — 6,04). Отмечается также повышенное содержание SiO_2 в подушечных лавах. Эти различия имеют важное петрологическое значение, показывая толеитовый и известково-щелочной тренды дифференциации, что подтверждается разными значениями FeO^*/MgO в ТА и ИЩА и положением андезитов на диаграмме FeO^*/MgO — SiO_2 (рис. 1). Следует отметить, что подушечные лавы, лавы волнистого и покровного типов относятся к ТА; это определяет их физические свойства: высокую температуру, низкую вязкость и большую скорость движения. Степень кристалличности жидкотекучих ТА значительно ниже, чем глыбовых ИЩА. К ТА также относится материал пемзовых раскаленных лавин и некоторые глыбовые лавы извержений 1970—1982 гг.

Эволюция состава андезитов Карымского вулкана показывает, что в течение одной стадии извержения происходит излияние как ТА, так и ИЩА (рис. 1). Стадия извержения 1962—1967 гг. началась с излияния глыбовых потоков ИЩА, затем в 1963 г. на поверхность излились подушечные, покровные и волнистые лавы толеитовых андезитов. 11 мая 1963 г. перед извержением покровных и

Химический состав андезитов (вес. %), содержание РЗЭ и некоторых других микроэлементов (г/г)

Компонента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Андезиты															
SiO ₂	58,50	60,35	60,82	61,30	62,88	63,88	62,02	62,26	60,00	61,64	60,48	62,20	60,80	62,20	62,40
TiO ₂	1,10	1,00	1,16	0,82	0,91	1,38	0,94	0,64	0,77	0,90	0,90	0,90	1,10	0,86	0,87
Al ₂ O ₃	16,00	17,28	16,60	18,23	17,62	15,81	16,26	16,94	18,15	16,17	16,07	16,16	16,80	15,90	15,70
Fe ₂ O ₃	3,91	2,96	2,65	2,38	3,39	3,36	3,52	3,93	3,23	4,08	4,31	3,53	2,35	2,48	2,18
FeO	5,80	3,85	4,25	4,95	3,39	3,36	3,52	3,93	3,23	4,08	4,31	3,53	4,10	3,86	3,85
MnO	0,22	0,16	0,22	0,13	0,19	0,19	0,06	0,18	0,11	0,15	0,13	0,13	0,20	0,16	0,16
MgO	3,50	2,31	2,93	1,87	1,46	1,39	1,93	2,00	1,40	2,64	2,69	2,21	2,95	1,98	1,84
CaO	4,87	5,70	4,80	4,03	5,62	4,90	5,54	5,32	7,06	5,45	5,59	4,58	4,91	5,24	4,99
Na ₂ O	4,92	4,18	4,39	4,10	4,75	5,04	4,44	4,62	4,35	4,43	4,44	4,58	4,55	4,49	4,58
K ₂ O	1,75	1,75	1,59	1,76	1,59	1,74	1,39	1,68	1,80	1,80	1,74	1,85	1,60	1,59	1,70
H ₂ O ⁺	0,20	—	0,28	0,20	0,03	0,92	1,28	0,40	—	0,58	0,95	0,80	0,25	0,5	0,72
H ₂ O ⁻	0,02	—	0,17	0,02	0,19	0,05	0,23	0,18	—	0,23	0,28	0,81	0,18	—	—
P ₂ O ₅	0,30	0,28	0,26	0,27	0,34	—	0,79*	—	0,31	0,28	0,25	0,27	0,25	0,25	0,26
Сумма	101,09	99,82	99,40	99,96	99,28	100,28	100,4	100,35	100,45	100,03	99,35	100,30	100,04	99,50	99,25

РЗЭ и микроэлементы

FeO*/MgO	2,26	2,82	2,26	3,79	3,12	3,46	2,75	2,95	3,53	2,11	2,10	2,49	2,10	3,07	3,15
Fe ₂ O ₃ /FeO	0,67	0,76	0,62	0,48	0,38	0,48	0,56	0,55	0,60	0,41	0,34	0,62	0,57	0,63	0,56
La	7,16	7,40	11,4	11,7	11,6	10,8	15,9	12,2	9,2	12,5	10,7	13,4	10,4	11,4	12,0
Ce	16,0	16,2	23,0	23,4	27,0	24,0	32,0	26,0	21,5	28,0	23,5	29,0	21,0	28,3	29,6
Nd	9,0	9,1	12,0	12,1	13,6	11,5	14,7	12,7	10,9	13,4	11,5	13,1	10,9	19,0	19,2
Sm	2,7	2,6	3,4	3,45	3,7	3,2	3,95	3,6	3,0	3,6	3,2	3,5	3,2	5,1	5,0
Eu	2,04	1,18	1,89	1,55	2,09	1,02	1,94	1,27	1,63	1,65	1,23	1,82	1,74	1,54	1,55
Tb	0,8	0,61	0,82	0,79	0,88	0,62	0,83	0,81	0,68	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,8
Yb	2,5	1,8	3,0	3,0	2,7	2,2	2,25	3,1	2,15	2,45	3,0	2,4	2,7	3,0	3,0
Lu	0,42	0,32	0,5	0,51	0,45	0,4	0,39	0,53	0,39	0,43	0,55	0,41	0,48	0,47	0,47
Hf	2,56	1,49	3,5	2,48	2,57	4,92	3,65	3,80	2,63	5,69	4,56	3,80	4,13	—	—

окончание таблицы 1

Компо- нента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РЗЭ и микроэлементы															
Ba	1200	810	320	910	500	1000	1000	780	200	650	500	700	600	439	430
Sr	275	444	280	322	232	237	298	225	304	242	232	181	260	348	341
Sc	37,9	33,3	20,8	22,8	20,8	21,1	22,2	22,2	17,4	22,0	16,9	19,8	21,5	16,3	16,4
Ni	11	18	10	3,6	2,0	2,7	3,3	6,5	3,6	3,8	2,8	2,0	2,5	2,0	2,0
Cr	13,5	57,1	10,5	4,5	6,0	7,0	24,3	11,5	8,0	7,3	7,4	4,1	18,0	4,0	2,0
Co	33,6	29,0	20,0	20,0	8,9	13,0	35,5	12,5	11,0	11,0	9,0	10,0	10,0	8	7
Zn	127	113	84	93	137	94	91	—	69	73	84	84	85	74,4	74
Cu	214	55	36	32	30	30	245	33	53	28	28	28	38	27	28
La/Yb	2,8	4,1	3,8	3,9	4,2	4,9	7,0	3,9	4,2	5,1	3,5	5,5	3,8	3,8	4,0
Sc/Ni	3,4	1,8	2,0	6,3	10,4	7,8	6,7	3,4	4,8	5,7	6,0	9,0	8,6	8,1	8,2
Hf/Yb	1,0	1,0	1,2	0,9	0,9	2,2	1,6	1,2	1,2	2,2	1,5	1,8	1,5	—	—
Ba/Sr	4,3	1,8	1,1	2,8	2,1	4,2	3,5	3,4	0,6	2,6	2,1	3,8	2,3	1,2	1,2
Sc/Cr	2,8	0,5	1,9	5,0	3,4	3,0	0,9	1,9	2,1	3,0	2,8	4,8	5,2	4,0	8,2

Примечание. 1 — 2Рх ТА, западный борт кальдеры, образец № 1024; 2 — 2Рх ТА, восточный борт кальдеры, образец № 173-к; 3 — 2Рх ИША, глыбовые лава извержения 1963 г., образец № 163-к [5]; 4 — 2Рх ТА, полушечная лава, 1963 г., образец № 922/4; 5 — 2Рх ТА, полушечная лава, образец № 939 [5]; 6 — 2Рх ТА, полушечная лава, образец № 982 [5]; 7 — 2Рх ИША, лава покрывного типа 1963 г., образец № 519 [5]; 8 — 2Рх ИША, глыбовая лава, 1964 г., образец № 957 [5]; 9 — 2Рх ТА, глыбовая лава, 1971 г., образец № J-4054; 10 — 2Рх ИША, глыбовая лава, 1976 г., образец № J-4492; 11 — 2Рх ИША, глыбовая лава, 1976 г., образец № J-4493; 12 — 2Рх ИША, глыбовая лава, 1976 г., образец № J-4494; 13 — 2Рх ИША, глыбовая лава, 1976 г., образец № J-4499; 14 — 2Рх ТА, глыбовая лава, 1978 г., образец № J-4499/1; 15 — 2Рх ТА, глыбовая лава, 1978 г., образец № J-4497; 2Рх ТА — двуириксеновые толеитовые андезиты; 2Рх ИША — двуириксеновые известково-щелочные андезиты.

* Потери при прокаливании.

Таблица 2

Содержание некоторых элементов в ТА вулкана
Карымский (г/т)

Элемент	Номер образца		Элемент	Номер образца	
	I-4499/1	I-4497		I-4499/1	I-4497
V	114	101	Pr	4,2	4,3
As	3	3	Gd	4,8	4,9
Rb	21	21	Dy	5,0	5,0
Y	33	30	Ho	1,06	1,06
Zr	167	174	Er	3,0	3,1
Nb	11	7	Tm	0,5	0,5
Mo	1	1	W	10	10
Ag	0,8	0,5	Bi	3	3
Cd	1	1	Th	1,5	1,5
Sn	10	10	U	1,0	1,0
Sb	5	5	Be	1,4	1,4

волнистых лав сериями сильных взрывов вулканического типа на поверхность было выброшено ~45 мл·м³ пирокластики, состоящей из пепла, вулканических бомб и пемз дацитового и риолитового составов [8]. В 1964 и 1965 гг. вновь извернулись глыбовые потоки ИЩА. Начало новой стадии извержения 1970—1982 гг. характеризовалось появлением глыбовых лав ТА, которые поступали на поверхность до 1976 г. К этому же периоду относится извержение раскаленных лавин, материал которых представлял собой сильно пористые шаровидные образования зонального строения. После 1976 г. вновь изливаются глыбовые ИЩА.

Более высокие значения FeO*/MgO и низкое Fe₂O₃/FeO (особенно в подушечных лавах) в ТА по сравнению с ИЩА свидетельствуют о различных режимах f_{O_2} , контролирующих кристаллизационную дифференциацию при формировании двух типов андезитов. Как отмечают авторы работы [11], в области «умеренных» значений f_{O_2} по мере снижения температуры после появления среди кристаллизующихся фаз магнетита толеитовый тренд дифференциации может смениться на известково-щелочной.

Кристаллизация в «восстановительных» условиях ведет к появлению ТА с фазовым составом OI + Pl + CPx/OPx (±Mt). При образовании ТА первой ликвидусной фазой является OI, и остаточный расплав обедняется Ca и Al [11]. В обогащенных SiO₂ толеитовых андезитах шаровых лав вместо OI присутствует OPx и здесь первым на ликвидусе становится Pl. Увеличение содержания SiO₂ в подушечных лавах может быть связано с более ранней кристаллизацией OPx по сравнению с CPx. Обогащенные железом расплавы, по данным работы [11], могут испытывать при T = 1100° C ликвиационное расщепление с образованием дацит-риолитовых жидкостей. Отсюда становится понятным появление ликвиационных признаков в андезитах Карымского вулкана [10] и извержение дацит-риолитовых пемз 11 мая 1963 г.

Кристаллизация в «окислительных» условиях ведет к появлению ИЩА с фазовым составом Pl + OPx/CPx + Mt, поскольку первой ликвидусной фазой является Pl; остаточная жидкость обогащается Mg и Fe. Появление OI состава Fo₇₀₋₇₅ в ТА и ИЩА с содержанием 59—60% SiO₂ не совсем ясно. Для оценки возможной равновесности оливина с андезитами современного извержения вулкана А. П. Максимовым проведены расчеты с использованием коэффициента распределения железа и магния между оливином и расплавом с учетом степени окисления железа в расплаве в зависимости от режима кислорода. В целом

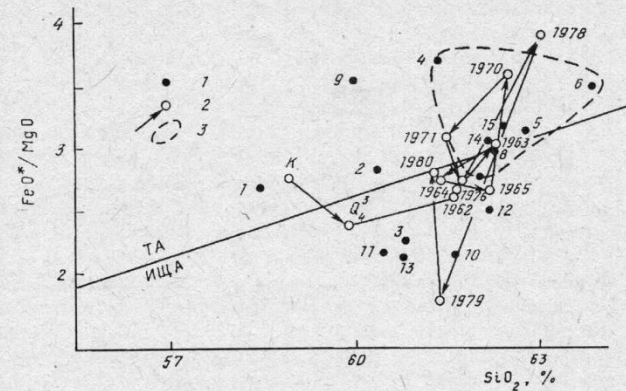


Рис. 1. Диаграмма FeO*/MgO — SiO₂ для андезитов Карымского вулкана: 1 — андезиты датированных извержений (табл. 1); 2 — направление эволюции средних составов андезитов: от К (кальдеры) и Q₄ (лавовых потоков молодого конуса в кальдере) до современных извержений; 3 — поле развития лав подушечного, покровного и волнистого типов

можно считать, что для возможности равновесия OI состава Fo₇₀₋₇₅ с андезитами толеитового типа летучести кислорода должна на порядок и более превышать f_{O_2} буфера NNO, а для андезитов известково-щелочного типа — должна быть ниже, чем при буфере QFM. Петрологическая нелогичность такой ситуации указывает на привнесенный характер оливина и ставит ряд генетических вопросов, заслуживающих специального рассмотрения.

Смена толеитового тренда дифференциации на известково-щелочной может происходить при более высоком потенциале кислорода. Повышение значения f_{O_2} может быть вызвано рядом процессов. Наиболее эффективным является кристаллизация краевых частей магматического очага, что приводит к сокращению его объема, увеличению воды в расплаве и, следовательно, к увеличению значения f_{O_2} . Образовавшаяся вода не распределяется равномерно по всему объему очага, а накапливается в его верхних частях, где кристаллизация максимальна. Повышение f_{O_2} может быть вызвано поступлением метеорных вод в неглубоко залегающий магматический очаг под вулканом; в этом случае кальдера Карымского вулкана является идеальным водосбором. Диффузия водорода из магмы вследствие взаимодействия расплава с водой также может вызвать повышение летучести кислорода [9]. Все указанные процессы могут создавать «пульсирующий» режим f_{O_2} , который вызывает смену «восстановительных» условий на «окислительные» [11].

Наблюдения за динамикой извержения Карымского вулкана свидетельствуют о том, что изливание глыбовых лав ИЩА происходит обычно на фоне сильных и умеренных эксплозий вулканического типа, а глыбовых ТА — вулканско-стромболианского. Эксплозивная деятельность вызывается процессом дегазации, который в условиях существования периферического очага имеет ряд особенностей, главной из которых является режим f_{O_2} и соотношение H₂O/CO₂ в магме перед извержением [6]. Наблюдающиеся корреляции между типами эксплозивной деятельности и петрохимическими трендами дифференциации андезитов свидетельствуют о постоянно меняющемся соотношении f_{O_2} и H₂O/CO₂. Одной из причин изменения соотношения H₂O/CO₂ может стать поступление CO₂ в периферический очаг с базальтовой (мантийной) составляющей.

Таким образом, можно полагать, что типы извержений Карымского вулкана

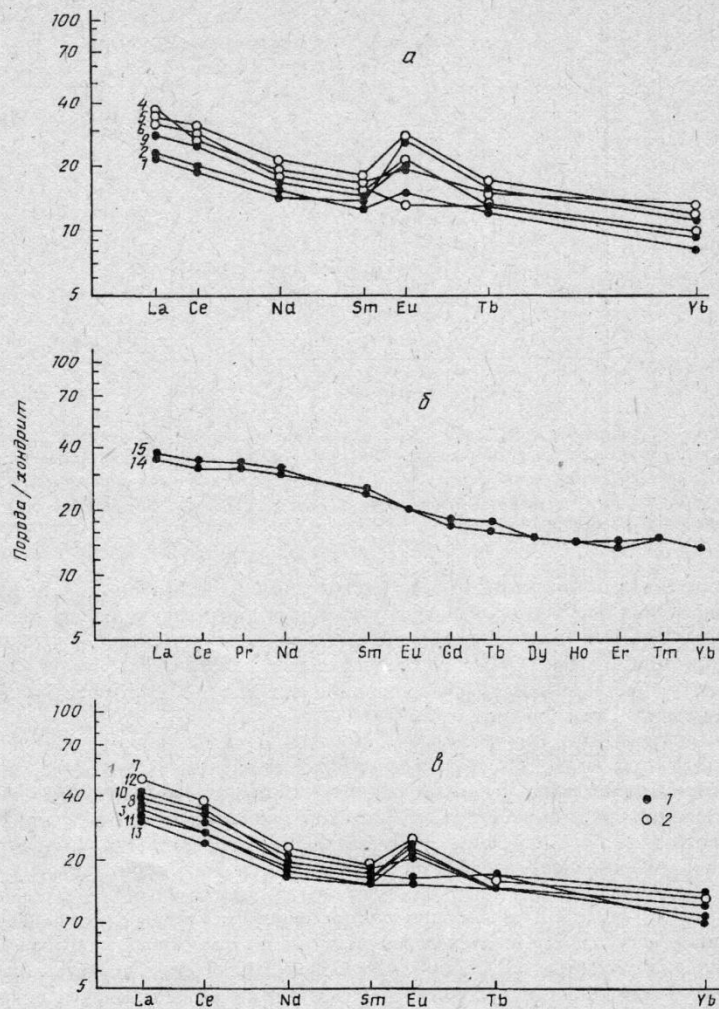


Рис. 2. Характер распределения РЗЭ в андезитах Карымского вулкана (по данным табл. 1 и 2); а — толеитовые андезиты (по данным авторов); б — толеитовые андезиты (анализы выполнены в Университете Южной Флориды, США); в — известково-щелочные андезиты; 1 — глыбовые лавы, 2 — подушечные лавы и лавы покровного типа. Цифры у кривых — номера образцов (табл. 1)

связаны с физико-химической эволюцией андезитовой магмы в коровом магматическом очаге и подводящих каналах. Этот процесс распознается по особенностям фазового состава ТА и ИЩА и может быть обозначен рядом петрологических признаков: значениями FeO^*/MgO и Fe_2O_3/FeO , суммарным содержанием железа в андезитах. Высокоэксплозивный вулканический тип извержений является следствием дегазации андезитовой магмы, эволюционирующей по известково-щелочному типу дифференциации, а умеренно-эксплозивный, стромболианский тип — по толеитовому тренду.

Геохимические исследования андезитов Карымского вулкана подтвердили не-

которые петрологические выводы и выявили дополнительные критерии распознавания ТА и ИЩА.

Структуры РЗЭ (рис. 2) ТА и ИЩА очень похожи и различаются лишь повышенным содержанием La и Yb в ИЩА. Исходя из этих данных, можно утверждать, что ТА и ИЩА имеют общую родоначальную магму. Обращает внимание более четко выраженная положительная Eu-аномалия в ТА, что означает меньшую степень фракционирования РЗЭ в них, чем в ИЩА. Эта особенность ярко видна на примере подушечных и покровных лав. В общем для ИЩА характерно более высокое значение отношений La/Yb и менее четко выраженные положительные Eu-аномалии. Отношение La/Ce в ТА и ИЩА меньше единицы (0,44 и 0,47), что указывает на происхождение их из мантии, истощенной легкими РЗЭ. Отношение Hf/Yb, Ba/Se больше в ИЩА, а Sc/Ni, Sc/Cr — в ТА. Эти геохимические коэффициенты могут быть дополнительными критериями отличия ТА от ИЩА. В ТА отмечаются более высокие содержания Ni, Cr, Co, Zn, что указывает на заметное влияние при образовании мантийной составляющей [2, 5]. С высокогазонасыщенными подушечными лавами связано повышенное содержание Zn. Заметный разброс в содержаниях Cr отмечается в ТА. Отношение Th/U = 1,5 в ТА типично для среднекалевых андезитов островных дуг.

Выводы. 1. Андезиты Карымского вулкана принадлежат двум разным петрохимическим типам вулканитов — толеитовым и известково-щелочным андезитам.

2. Толеитовые и известково-щелочные андезиты извергаются на поверхность в течение одной стадии извержения, сменяя друг друга.

3. Появление близких по составу и петрографическим свойствам толеитовых и известково-щелочных андезитов можно объяснить меняющимся режимом f_{O_2} в периферическом магматическом очаге, который фиксируется по величине отношений FeO^*/MgO и Fe_2O_3/FeO .

4. Имеется ряд петрохимических и геохимических признаков, надежно отличающих толеитовые андезиты от известково-щелочных. Эти признаки могут служить индикаторами типов извержений Карымского вулкана.

5. Петрохимические типы андезитов определяют физические свойства и динамические особенности андезитовой магмы и обуславливают особенности характера эксплозивной деятельности Карымского вулкана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брайцева О. А., Литасова С. Н. О возрасте вулканов Карымский и Малый Семячик // Вулканология и сейсмология. 1982. № 3. С. 92—96.
- Злобин Б. И., Иванов Б. В. Распределение меди в лавах некоторых вулканов Карымской группы // Бюл. вулканол. станций. 1971. № 47. С. 76—87.
- Зубин М. И., Иванов Б. В., Штейнберг Г. С. Глубинное строение Карымского вулкана на Камчатке и некоторые вопросы генезиса кальдер // Геология и геофизика. 1971. № 1. С. 73—81.
- Иванов Б. В. Современное образование подушечных лав в субэаральных условиях на Карымском вулкане // Современный вулканизм. Т. 1. М.: Наука, 1966. С. 49—55.
- Иванов Б. В. Извержение Карымского вулкана в 1962—1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 136 с.
- Иванов Б. В. Типы андезитового вулканизма Тихоокеанского подвижного пояса. М.: Наука, 1990. 213 с.
- Иванов Б. В., Федоров М. В. Извержение Карымского вулкана в 1962 г. // Бюл. вулканол. станций. 1964. № 36. С. 3—16.
- Иванов Б. В., Федоров М. В., Кирсанов И. Т. Карымский вулкан и особенности его извержения в 1962—1963 гг. // Современный вулканизм. Т. 1. М.: Наука, 1966. С. 36—46.
- Кадик А. А., Максимов А. П., Иванов Б. В. Физико-химические условия кристаллизации и генезиса андезитов. М.: Наука, 1986. 158 с.
- Красов Н. Ф., Клоккянтти Р. Ликвация силикатного расплава и ее возможная

петрогенетическая роль по данным изучения расплавных включений//Докл. АН СССР. 1979. Т. 248. № 1. С. 201—204.

11. Луканин О. А., Лапин И. В., Кадик А. А. Физико-химические условия образования магм базальт-ферробазальт-риолитовых вулканических серий Исландии и океанических рифтов//Вулканология и сейсмология. 1991. № 1. С. 46—61.
12. Сотников В. И., Иванов Б. В., Арнаутов Н. В. Распределение молибдена в продуктах извержения некоторых вулканов Карымской группы на Камчатке//Вулканизм в глубины Земли. М.: Наука, 1971. С. 313—317.
13. Хренов А. П., Дубик Ю. М., Иванов Б. В. и др. Эруптивная деятельность вулкана Карымский за 10 лет (1970—1980)//Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 29—48.

Институт вулканической геологии
и геохимии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию
07.12.1994