

УДК 550.42

СОСТАВ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАГИОКЛАЗОВ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД КАМЧАТКИ И КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

*О. Н. ВОЛЫНЕЦ, Э. И. ПОПОЛИТОВ, Г. Б. ФЛЕРОВ,
И. Т. КИРСАНОВ*

*Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, Петропавловск-Камчатский,
Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО АН СССР, Иркутск*

На основании 30 полных и 110 частных анализов изучено распределение главных (Ca, Na) и малых (K, Ba, Sr, Rb, Li, Fe, Mn, Mg) элементов во вкрапленниках плагиоклазов из различных типов четвертичных вулканических пород Камчатки и Курильских островов. Установлены широкие вариации составов плагиоклазов в одинаковых по основности, но различающихся по щелочности типах вулканических пород. Показано, что концентрации малых и редких элементов в плагиоклазах зависят от валовых составов плагиоклазов, редкоэлементного и валового состава материнских пород и условий образования плагиоклазов.

Настоящая работа продолжает серию статей [1—3], посвященных изучению состава породообразующих минералов четвертичных вулканических пород Камчатки и Курильских островов. Детальное описание вкрапленников плагиоклаза в вулканитах этого региона (количественное распределение, морфология, состав по оптическим данным, упорядоченность и т. д.) было предпринято недавно одним из авторов [4]. Приводимые в настоящем сообщении новые материалы существенно дополняют полученные ранее сведения.

В работе использовано около 110 анализов плагиоклазов на отдельные компоненты (Ca, Na, K, Rb, Li, Ba, Sr, Fe, Mn, Mg) и около 30 полных силикатных анализов мономинеральных проб. В числе последних помимо собственных материалов авторов 15 ранее опубликованных анализов [5—7], а также 3 новых анализа, любезно предоставленных авторам Э. Н. Эрлихом. Полные силикатные анализы плагиоклазов выполнены в лабораториях Института вулканологии, ДВГИ, ГЕОХИ АН СССР, частные анализы — в лабораториях ГЕОХИ СО АН СССР. При этом содержания Ca, Mg, Fe, Mn определены методом атомной абсорбции на приборе «Perkin-Elmer-403», содержания Na, K, Rb, Li — методом пламенной фотометрии на приборе ДФС-12, а содержания Ba и Sr — количественным спектральным методом. Чувствительность использованных в работе методов определения концентраций отдельных элементов, а также значения ошибок определений приведены в таблице.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАГИОКЛАЗОВ ЛАВ

Вкрапленники плагиоклаза встречаются практически во всех четвертичных лавах Камчатки и Курил, за исключением некоторых высокомагнезиальных базальтов. При этом в среднем количество вкрапленников плагиоклаза в лавах постепенно убывает по мере увеличения кислотности пород от базальтов до липаритов, хотя вариации в содержаниях этого минерала для каждой группы пород значительны [4].

Коэффициент вариации содержаний плагиоклаза также уменьшается от основных пород к кислым. Вкрапленники плагиоклаза в лавах любой основности могут встречаться в ассоциациях как с безводными, так и водосодержащими темноцветными минералами. Абсолютное большинство кайнозойских лав Камчатки и Курил однополевошпатовые, что находятся в соответствии с общим существенно натровым химизмом пород этого региона. Лишь в самое последнее время М. Г. Патокой в Срединном хребте Камчатки были встречены двуполевошпатовые трахиандезиты и субщелочные дациты, отличающиеся высоким содержанием K_2O . Характерной особенностью вкрапленников плагиоклаза в эффузивах является наличие часто многочисленных «расплавных» микровключений, состоящих из вулканического стекла, стекла и газа, стекла, газа и минералов-узников.

Судя по данным оптических определений [4], составы вкрапленников плагиоклаза в лавах колеблются в широких пределах, причем даже в одном шлифе вариации составов могут достигать 30—50% *An*. Наблюдающиеся вариации обусловлены как наличием обычно резко проявленной зональности, так и присутствием кристаллов с ядрами, сильно различающимися по содержанию *An*. Эмпирические распределения составов вкрапленников плагиоклаза в основных лавах в большинстве средних пород не противоречат нормальному закону, тогда как в случае кислых лав отклонения от нормального закона обычны. Последнее может быть связано с наличием среди вкрапленников плагиоклаза в кислых лавах генераций, которые не являются продуктами равновесной кристаллизации расплавов данного состава. Присутствие таких неравновесных плагиоклазов может указывать на связь кислых расплавов с более основными магмами [4].

Как было показано ранее [1, 4], средние модальные составы вкрапленников плагиоклаза в лавах характеризуются четкой линейной зависимостью от содержания SiO_2 в породах и от состава нормативного плагиоклаза. На основании сопоставления соотношений модальных и нормативных составов плагиоклазов в лавах и интрузивных породах разных фаций глубинности, а также изучения продуктов современных извержений вулканов ранее было показано также [1, 4, 8], что кристаллизация вкрапленников плагиоклаза в четвертичных лавах Камчатки и Курил происходит в приповерхностных условиях, близких к условиям становления малоглубинных интрузий при давлении водяного пара от 0 до 1,5—2,0 *кбар*. Интервал температур кристаллизации вкрапленников плагиоклазов в основных лавах составляет 1430—1100°, в средних от 1350 до 900—1100° и, наконец, в кислых —от 1100 (и более) до 850° [4, 9, 10, 11].

АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Молекулярные составы плагиоклазов. Рассчитанные по содержаниям кальция, натрия и калия составы валовых проб вкрапленников плагиоклаза в лавах колеблются от анортитов в некоторых базальтах до олигоклаз-андезинов в дацитах и липаритах (рис. 1—2, таблица). При этом состав плагиоклазов в породах одинаковой основности может существенно различаться в зависимости от петрохимических особенностей материнских пород, в первую очередь от их щелочности. Рис. 1 демонстрирует более кальциевый состав плагиоклазов пород низкощелочной серии по сравнению с плагиоклазами из пород умеренной или повышенной щелочности во всем интервале изменения основности вулкаников от базальтов до липаритов. Вместе с тем нельзя не отметить, что плагиоклазы курильских лав в целом все же несколько более кальциевые, чем плагиоклазы камчатских лав, если сравнивать соответствующие по щелочности и кремнекислотности разности пород (см. таб-

Средние содержания главных и малых элементов во вкрапленниках плагиоклазов из различных типов четвертичных вулканических пород
Камчатки и Курильских островов

Компоненты	Базальты			Андезито-базальты			Андезиты			Андезито-дациты		Дациты		Липариты	
	с пониженной щелочностью	с умеренной щелочностью	с повышенной щелочностью	с пониженной щелочностью	с умеренной щелочностью	с повышенной щелочностью	с пониженной щелочностью	с умеренной щелочностью	с повышенной щелочностью	с пониженной щелочностью	с умеренной щелочностью	с пониженной щелочностью	с умеренной щелочностью	с пониженной щелочностью	с умеренной щелочностью
Ca, %	<u>13,13 (14)</u> 12,0 (5)	<u>9,38 (13)</u> 11,28 (2)	<u>8,85 (15)</u> 11,86 (5)	<u>9,70 (4)</u> 11,04 (3)	= 8,90 (3)	<u>8,24 (8)</u> 11,03 (1)	<u>9,08 (4)</u> 10,79 (2)	<u>6,36 (11)</u> 9,04 (5)	= 8,0 (1)	<u>8,30 (1)</u> 9,57 (5)	<u>6,40 (6)</u> —	<u>7,08 (4)</u> 6,80 (4)	<u>5,60 (10)</u> —	<u>6,28 (2)</u> —	<u>4,82 (6)</u> —
Na, %	<u>0,79 (14)</u> 1,10 (5)	<u>2,89 (13)</u> 1,57 (2)	<u>3,12 (15)</u> 1,37(5)	<u>2,50 (4)</u> 1,45 (3)	= 2,87 (3)	<u>3,35 (8)</u> 2,02 (1)	<u>2,81 (4)</u> 1,61 (2)	<u>4,32 (И)</u> 3,14 (5)	= 2,82 (1)	<u>3,60 (1)</u> 2,78 (5)	<u>4,57 (6)</u> —	<u>4,24 (4)</u> 4,53 (4)	<u>5,00 (10)</u> —	<u>4,60 (2)</u> —	<u>5,45 (6)</u> —
K, %	<u>0,11 (14)</u> 0,13 (5)	<u>0,31 (13)</u> 0,19 (2)	<u>0,52 (15)</u> 0,20 (5)	<u>0,18 (4)</u> 0,13 (3)	= 0,21 (3)	<u>0,55 (8)</u> 0,27 (1)	<u>0,22 (4)</u> 0,12 (2)	<u>0,39 (И)</u> 0,35 (5)	= 0,46 (1)	<u>0,31 (1)</u> 0,27 (5)	<u>0,47 (6)</u> —	<u>0,28 (4)</u> 0,32 (4)	<u>0,55 (10)</u> —	<u>0,28 (2)</u> —	<u>0,57 (6)</u> —
Fe, %	<u>0,57 (10)</u> 0,68 (5)	= 0,61 (2)	= 0,63 (3)	<u>0,54 (4)</u> 0,72 (3)	= 0,71 (3)	<u>0,41 (1)</u> 0,55 (1)	<u>0,52 (4)</u> 0,65 (2)	<u>0,34 (11)</u> 0,70 (5)	= 0,65 (1)	<u>0,45 (1)</u> 0,54 (5)	<u>0,28(4)</u> —	<u>0,43 (4)</u> 0,42 (4)	<u>0,32 (7)</u> —	<u>0,45 (2)</u> —	<u>0,30 (5)</u> —
Mg, з/м	<u>1050 (9)</u> 1180 (5)	= 935 (2)	= —	<u>740 (4)</u> 1040 (3)	= 1080 (5)	<u>300 (1)</u> 1870 (1)	<u>645 (4)</u> 995 (2)	<u>510 (11)</u> 1570 (5)	= 1930 (1)	<u>360 (1)</u> 2190 (5)	<u>360 (4)</u> —	<u>590 (4)</u> 1040 (3)	<u>350 (7)</u> —	<u>265 (2)</u> —	<u>390 (4)</u> —
Mn, з/м	<u>74 (11)</u> 91 (5)	= 81 (2)	= —	<u>74 (4)</u> 93 (3)	= 95 (3)	<u>23 (1)</u> 78 (1)	<u>74 (4)</u> 93 (2)	<u>58 (11)</u> 96 (5)	= 100 (1)	<u>93 (1)</u> 99 (5)	<u>46 (4)</u> —	<u>65 (4)</u> 77 (4)	<u>74 (7)</u> —	<u>66 (2)</u> —	<u>72 (6)</u> —
Rb, з/м	<u>0,8 (12)</u> 1,5(5)	<u>1,8 (10)</u> 4,1(2)	<u>1,7(4)</u> 1,1 (3)	<u>1,1 (4)</u> 1,1 (3)	= 2,0 (3)	<u>2,9 (3)</u> 3,0 (1)	<u>2,2(4)</u> 0,9 (2)	<u>2,6 (11)</u> 4,7 (5)	= 7,7(1)	<u>1,5 (1)</u> 4,6(5)	<u>2,8 (4)</u> —	<u>1,5(4)</u> 3,5 (4)	<u>3,1 (7)</u> —	<u>1,0 (2)</u> —	<u>4,3 (4)</u> —
Li, з/м	<u>1,5 (11)</u> 2,6 (5)	<u>5,9 (13)</u> 4,8 (2)	<u>4,0 (4)</u> —	<u>4,1 (4)</u> 4,3(3)	= 9,8(3)	<u>7,2 (3)</u> 4,0(1)	<u>10,6(4)</u> 5,2(2)	<u>9,2 (10)</u> 7, 2 (5)	= 1,7 (1)	<u>4,3(1)</u> 12,8 (5)	<u>20,2 (5)</u> —	<u>16,0 (4)</u> 12,7 (4)	<u>22,0 (7)</u> —	<u>17,8 (2)</u> —	<u>10,7 (4)</u> —
Ba, з/м	<u>17(6)</u> 17(5)	<u>205 (17)</u> 73 (2)	<u>235 (5)</u> 87 (3)	<u>92 (4)</u> 32 (2)	= 100 (3)	<u>260 (3)</u> —	<u>127 (4)</u> 67 (1)	<u>336 (8)</u> 146 (4)	= 370 (1)	= 59 (4)	<u>421 (4)</u> —	<u>212 (4)</u> 151 (4)	<u>445 (7)</u> —	<u>380 (1)</u> —	<u>570 (6)</u> —
Sr, з/м	<u>445 (6)</u> 376 (5)	<u>510 (17)</u> 585 (2)	<u>530 (5)</u> 1093 (3)	<u>515 (4)</u> 387 (3)	= 543 (3)	<u>540 (3)</u> 1350 (1)	<u>625 (4)</u> 404 (2)	<u>790 (8)</u> 487 (4)	= 1000 (1)	<u>800 (1)</u> 418 (4)	<u>788 (4)</u> —	<u>528 (4)</u> 489 (4)	<u>792 (7)</u> —	<u>530 (1)</u> —	<u>830 (6)</u> —
K/Rb	<u>1270</u> 870	<u>1720</u> 460	<u>3060</u> 1640	<u>1630</u> 1180	= 1050	<u>1890</u> 900	<u>1000</u> 1330	<u>1500</u> 745	= 595	<u>2070</u> 590	<u>1640</u> —	<u>1870</u> 914	<u>1740</u> —	<u>2800</u> —	<u>1330</u> —

Ca/Sr	<u>293</u>	<u>184</u>	<u>166</u>	<u>186</u>	<u>—</u>	<u>153</u>	<u>145</u>	<u>80</u>	<u>—</u>	<u>104</u>	<u>80</u>	<u>134</u>	<u>68</u>	<u>113</u>	<u>58</u>
	319	193	108	285	164	82	267	186	80	228	—	139	—	—	—
Ba/Sr×	<u>38</u>	<u>402</u>	<u>443</u>	<u>179</u>	<u>—</u>	<u>482</u>	<u>203</u>	<u>425</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>534</u>	<u>413</u>	<u>562</u>	<u>702</u>	<u>687</u>
×1000	45	125	79	83	186	—	166	300	370	141	—	308	—	—	—
An,	<u>90,3 (14)</u>	<u>65,3 (13)</u>	<u>60,9 (15)</u>	<u>68,7 (4)</u>	<u>—</u>	<u>57,6 (8)</u>	<u>64,2 (4)</u>	<u>45,9 (11)</u>	<u>—</u>	<u>57,1 (1)</u>	<u>44,4 (6)</u>	<u>49,4 (4)</u>	<u>38,9 (10)</u>	<u>44,3 (2)</u>	<u>33,4 (6)</u>
мол.%	86,0 (5)	80,4 (2)	82,9 (5)	81,0 (3)	64,7 (3)	75,4 (1)	78,8(2)	62,0 (5)	61,1 (1)	66,4 (5)	—	46,3 (4)	—	—	—
Ab,	<u>9,0 (14)</u>	<u>32,3 (13)</u>	<u>35,3 (15)</u>	<u>30,0 (4)</u>	<u>—</u>	<u>38,5 (8)</u>	<u>34,2 (4)</u>	<u>51,2 (11)</u>	<u>—</u>	<u>40,7 (1)</u>	<u>52,2 (6)</u>	<u>48,6 (4)</u>	<u>57,1 (10)</u>	<u>53,7 (2)</u>	<u>62,4 (6)</u>
мол.%	13,0 (5)	18,3 (2)	15,7 (5)	18,0 (3)	33,8 (3)	22,7 (1)	20,3 (2)	35,7 (5)	35,3 (1)	31,7(5)	—	51,4 (4)	—	—	—
Or, мол. %	<u>0,7 (14)</u>	<u>2,2 (13)</u>	<u>3,8 (15)</u>	<u>1,3(4)</u>	<u>—</u>	<u>3,9 (8)</u>	<u>1,6 (4)</u>	<u>2,8 (11)</u>	<u>—</u>	<u>2,2 (1)</u>	<u>3,4 (6)</u>	<u>2,0 (4)</u>	<u>4,0 (10)</u>	<u>2,0 (2)</u>	<u>4,0 (6)</u>
	0,9 (5)	1,3 (2)	1,4(5)	1,0 (3)	1,5(3)	1,9 (1)	0,9 (2)	2,4 (5)	3,6 (1)	2,0 (5)	—	2,2 (4)	—	—	—

Примечание. В числителе приводятся средние содержания компонентов для плагиоклазов Камчатских лав, в знаменателе — для плагиоклазов Курильских лав. Цифры в скобках — количество анализов.

Чувствительность и ошибки определения использованных методов анализа отдельных компонентов

Элемент	Вид анализа	Чувствительность, %	Ошибка определения
K	Спектрофотометрия пламени	$1 \cdot 10^{-3}$	$\pm 10\%$ для концентраций $>0,01\%$ $\pm 30\%$ для концентраций $<0,01\%$
Na	То же	$1 \cdot 10^{-3}$	$\pm 10\%$ для концентраций $>0,01\%$ $\pm 30\%$ для концентраций $<0,01\%$
Rb	»	$1 \cdot 10^{-5}$	$\pm 10\%$ для концентраций $>3 \cdot 10^{-4}\%$ $\pm 50\%$ для концентраций $<3 \cdot 10^{-4}\%$
Li	»	$1 \cdot 10^{-5}$	$\pm 10\%$ для концентраций $>3 \cdot 10^{-4}\%$ $\pm 50\%$ для концентраций $<3 \cdot 10^{-4}\%$
Ba	Спектральный анализ	$3-5 \cdot 10^{-4}$	$\pm 15\%$ в пределах концентраций 0,01—1,0%
Sr	То же	$3-5 \cdot 10^{-4}$	$\pm 20-30\%$ в пределах концентраций $<0,01\%$
Ca	Атомная абсорбция	0,01	$\pm 5\%$ в пределах концентраций 0,2—1,0%
Mg	То же	0,001	$\pm 6\%$ в пределах концентраций 0,2—1,0%
Mn	»	0,01	$\pm 6\%$ в пределах концентраций 0,2—2,0%
Fe	»	0,1	$\pm 10\%$ в пределах концентраций 2—15%

лицу). Последнее может быть связано с несколько более высоким содержанием глинозема в курильских лавах (см., например, [12]).

По-видимому, наиболее полную картину связи химизма плагиоклазов с химизмом материнских пород дает сравнение модального и нормативного составов плагиоклазов, поскольку при вычислении последнего одновременно используется максимальное число компонентов химического анализа породы. Подобная диаграмма (рис. 2) не только показывает возрастание содержания An -молекулы в модальном плагиоклазе с возрастанием кальциевости нормативного плагиоклаза, но и позволяет рассмотреть ряд новых аспектов этой связи. Так, оказывается, что при

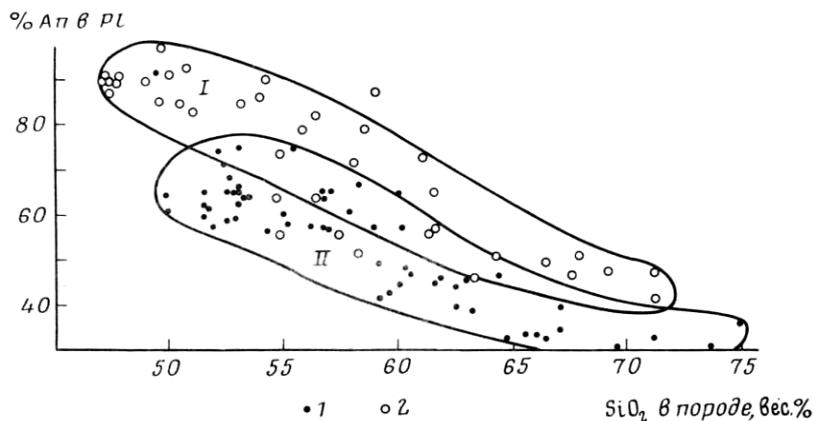


Рис. 1. Зависимость составов плагиоклазов от содержания кремнезема в породах

I — породы умеренной и повышенной щелочности; 2 — породы пониженной щелочности

одинаковом нормативном составе плагиоклазов материнских пород модальные составы плагиоклазов в породах с безводными ассоциациями темноцветных минералов заметно более кальциевые, чем в породах, где наблюдаются ассоциации с водосодержащими темноцветными (поля I и II на рис. 2). Наличие же или отсутствие водосодержащих темноцветных минералов во вкрапленниках лав может, вероятно, служить прямым указанием на степень газонасыщенности исходных расплавов*.

Обращает внимание резкое отклонение фигуративных точек ряда анализов в поле I на рис. 2 (поле 1б) от основной массы точек (поле 1а) в сторону более кальциевых модальных плагиоклазов. Во всех случаях аномальные анализы принадлежат плагиоклазам лав Восточной Камчатки и Курил. Появление таких отклонений может быть связано с тем, что существенная часть вкрапленников плагиоклаза в подобных породах является либо ксеногенной, либо протокристаллической фазой, связанной с кристаллизацией более основных по составу еще недифференцированных расплавов. Последнее предположение согласуется с наличием во многих породах Восточной Камчатки и Курил редких крупных кристаллов (мегакристаллов) битовнит-анортита, состав которых не зависит от состава вмещающих пород, зато сходен с составом плагиоклазов низкощелочных базальтов, широко развитых в этой зоне (таблица), и особенно с составом плагиоклаза родственных лавам анортитсодержащих

* Объяснить наблюдаемый эффект влиянием температур кристаллизации (более высокотемпературные расплавы дают безводные ассоциации темноцветных и соответственно более кальциевый плагиоклаз), по-видимому, нельзя, поскольку, по данным ряда авторов [9, 10], температуры гомогенизации первичных «расплавных» включений в плагиоклазах из амфиболсодержащих и безамфиболовых андезитов, андезито-дацитов и даже дацитов близки и составляют $1340 \pm 5^\circ$.

Рис. 2. Соотношение модальных и нормативных составов плаггиоклазов

1 — породы с безводными темноцветными минералами (поле Ia, б); 2 — породы с водосодержащими темноцветными минералами (поле II)

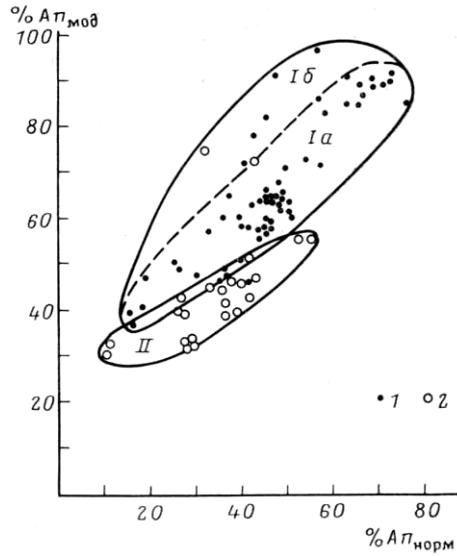


Рис. 3. Соотношение концентраций малых и редких элементов в плаггиоклазах с содержанием An -молекулы в них

1 — породы с умеренной или повышенной щелочностью; 2 — породы с пониженной щелочностью

Рис. 2

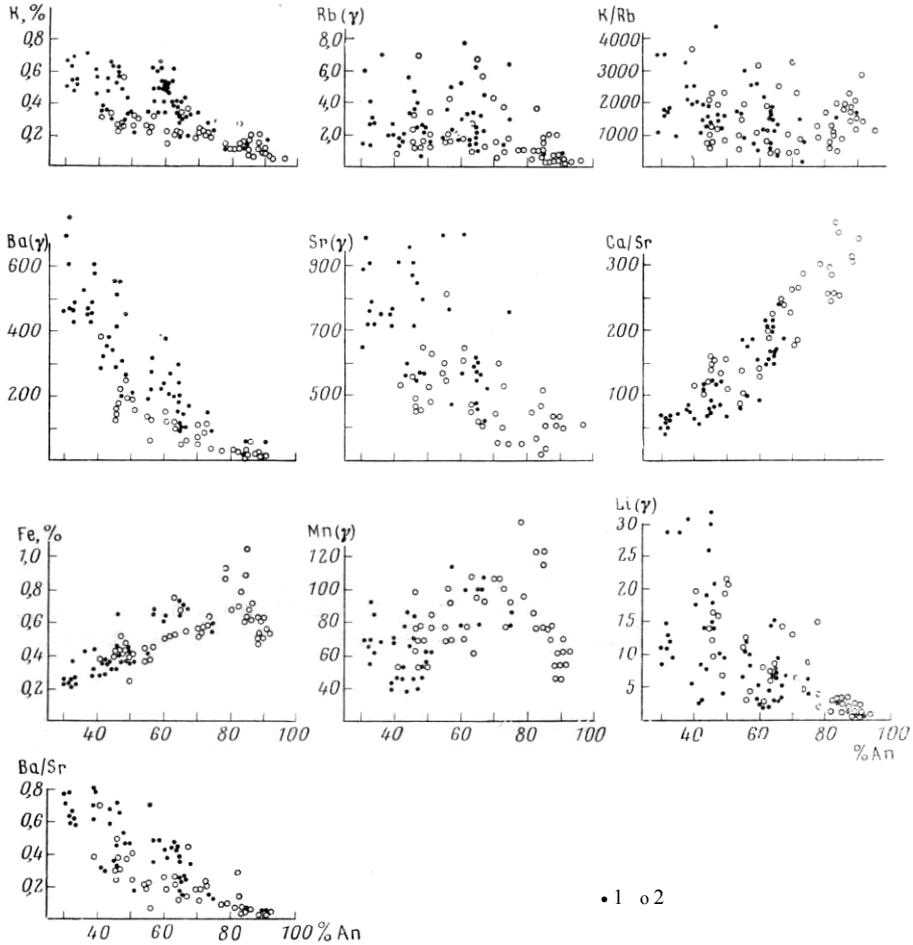


Рис. 3

включений типа алливалитов и троктолитов, также весьма обычных в вулканитах этого региона [4, 6].

Содержание малых и редких элементов в плагиоклазах обнаруживают закономерную связь с составами их, однако для других элементов эта связь не отчетлива. Так, концентрации К, Ва, Sr обнаруживают сильную отрицательную, а Fe — положительную корреляцию с содержанием *An*-молекулы в плагиоклазе. Для Li устанавливается слабая отрицательная связь, для Mn — сложная криволинейная зависимость, а для Rb связь весьма неотчетлива, хотя в среднем содержание

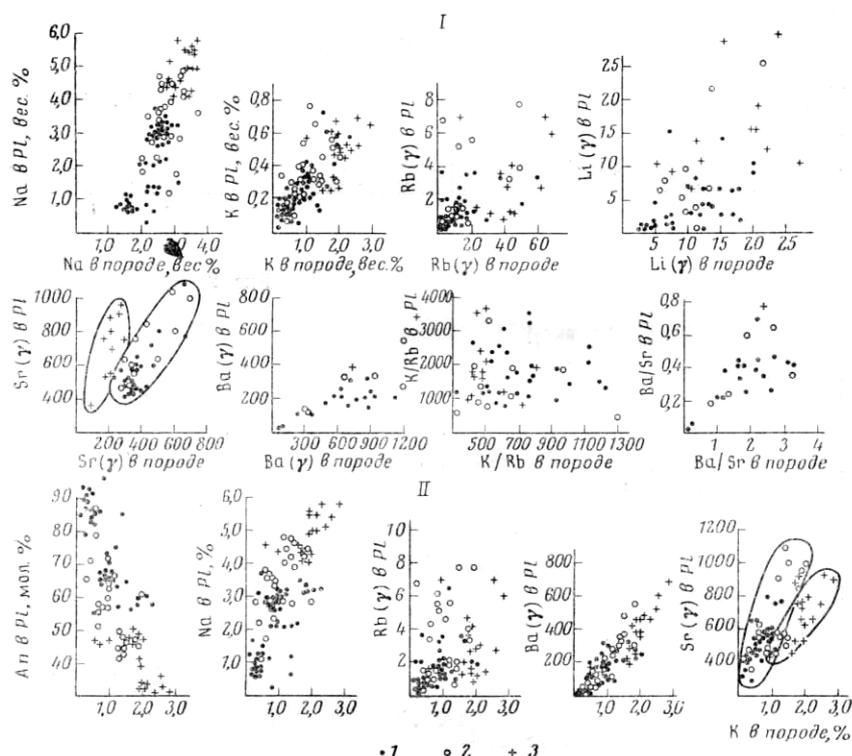


Рис. 4. Зависимость концентраций элементов в плагиоклазах от содержания их в материнских породах (I) и от содержания в последних К (II)

1 — базальты и андезиты-базальты; 2 — андезиты и андезиты-дациты; 3 — дациты и липариты

Rb увеличивается от кальциевых плагиоклазов к натровым (рис. 3; см. таблицу). Величины Ca/Sr-отношений прямо коррелируются с содержанием *An*, а величины К/Rb-отношений не зависят от состава плагиоклазов.

Вместе с тем величина концентраций ряда микроэлементов в плагиоклазе зависит и от состава пород. Действительно, при равном содержании *An*-молекулы плагиоклазы из пород низкощелочной серии отличаются от плагиоклазов пород с умеренной или повышенной щелочностью более низкими содержаниями К и Ва (см. рис. 3), т. е. элементов, концентрации которых в указанных сериях пород резко различны. Вместе с тем при (вследствие?) близких содержаниях в соответствующих породах обеих серий Fe, Mn и Sr содержания их в плагиоклазах пород разных серий практически не различаются. Не ясна причина отсутствия различий в содержании Rb и Li в плагиоклазах, несмотря на то что в породах разных серий различия в концентрациях этих элементов весьма существенны.

Следует подчеркнуть, что корреляция различных элементов в плагиоклазах и материнских породах имеет множественный характер. С одной стороны, содержания Na, K, Ba, Sr в плагиоклазах зависят от концентраций соответствующих элементов во вмещающих породах (для Rb и Li эта связь неотчетлива), как это показано на рис. 4, I; с другой — содержания их (и даже валовые составы плагиоклазов) тесно связаны и с концентрациями ряда главных химических элементов пород, например калия (рис. 4, II). В большинстве случаев характер корреляции концентраций элементов в плагиоклазе и валовом составе пород не зависит от основности последних. Однако для Sr отчетливо выделяются две группы пород (с одной стороны, основные и средние породы, с другой — кислые), отличающиеся степенью накопления Sr в плагиоклазе (рис. 4, I—II).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленные в настоящем сообщении данные о содержаниях K, Ba, Sr, Mn в плагиоклазах хорошо согласуются с данными, полученными с помощью микроанализаторов для плагиоклазов соответствующего состава [13, 14]. При этом наблюдавшиеся нами максимальные концентрации этих элементов не превышают указанных в этих работах: K—0,78%; Ba—0,11%; Sr—0,56% [14]; Mn < 0,02% [13].

Однако максимальные содержания Fe и особенно Mg, по нашим данным, нередко более высокие, чем в цитированных работах: Fe до 0,9—0,93%; Mg до 0,28—0,38%; против Fe=0,68% [14]; Mg < 0,02% [13]. Еще более высокие концентрации Fe в плагиоклазах (до 1,2—1,4%) были определены по данным полных химических анализов. Повышенные концентрации Fe и Mg в плагиоклазах могут быть связаны с засорением проб включениями Fe—Mg-минералов, а также с наличием в плагиоклазах эффузивов мелких и мельчайших включений вулканического стекла, от которых невозможно освободиться при подготовке проб. Однако закономерное увеличение содержаний Fe от натровых плагиоклазов к кальциевым (см. рис. 3, таблицу), даже когда кальциевые плагиоклазы весьма чистые (как в анортитсодержащих включениях), приводит к мысли, что существенная часть Fe (в виде Fe³⁺, судя по данным химических анализов) входит в решетку плагиоклазов. В этом случае часть Fe-содержащих минералов (главным образом магнетитов), даже выступающая как включения в плагиоклазах, может являться результатом распада твердых растворов высокотемпературных Fe-содержащих плагиоклазов. Подобное мнение, уже высказывавшееся ранее [15], основано главным образом на структурных особенностях распределения окислов Fe в плагиоклазах — четкой приуроченности их к системам спайности последних. Недавно оно было подтверждено также данными сравнительного изучения чистых и «облачных» (содержащих тонкие включения магнетита и гематита) плагиоклазов с помощью электронного микронзондирования, изотопного исследования кислорода плагиоклазов, рентгеновского анализа [16]. Добавим к тому же, что многочисленные новые микронзондовые данные, полученные при исследовании лунных образцов, показывают, что плагиоклазы могут содержать до 1,0—1,5% Fe [17], как это найдено для плагиоклазов морских базальтов Луны.

Концентрации Rb в плагиоклазах вулканических пород Курило-Камчатской зоны близки к таковым для плагиоклазов вулканических и интрузивных пород других районов мира: 0,9—5,5 $\mu\text{г}/\text{г}$ в кислых и средних лавах Новой Зеландии [18], 2—8 $\mu\text{г}/\text{г}$ в андезитах Сардинии [19], 0,5—8,5 $\mu\text{г}/\text{г}$ в плагиоклазах анортозитов Лабрадора [20] и др.*. Величины

* В свете указанных данных, приведенные в недавней статье Л. И. Лебедевой и Л. Н. Шатковой [21] относительно высокие содержания Rb во вкрапленниках андезина из кислых вулканических пород Забайкалья (10—110 $\mu\text{г}/\text{г}$, $x=55 \mu\text{г}/\text{г}$) кажутся сильно завышенными.

K/Rb-отношений в изученных плагиоклазах лежат в пределах 310—4520 и в большинстве случаев превышают 1000, что также соответствует данным, полученным для других регионов [18, 20, 22]. Отметим, что подавляющая часть плагиоклазов с относительно низкими (<1000) K/Rb-отношениями отобрана из Курильских лав (рис. 5), хотя содержание K и Rb в соответствующих типах вулканических пород Камчатки и Курил, судя по имеющимся у нас данным, близки. На рис. 5 также видно, что степень накопления Rb по отношению к K в плагиоклазах Курильских лав заметно более высокая, чем в плагиоклазах Камчатских

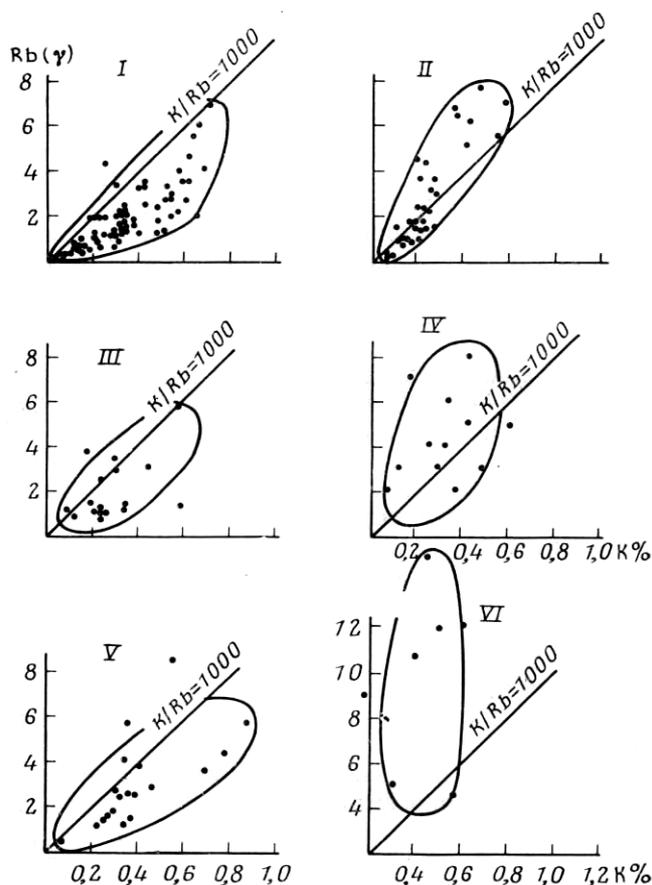


Рис. 5. Соотношение концентраций Rb и K в плагиоклазах

I — лавы Камчатки; II — лавы Курильских островов; III — лавы Новой Зеландии [18]; IV — лавы Сардинии [19]; V — анортозиты Лабрадора [20]; VI — спилиты и базальтовые порфириты хребта Малиновского, Корякское нагорье

лав. Анализ литературных данных (рис. 5) показывает, что обе тенденции имеют место в плагиоклазах магматических пород других регионов. Причины наблюдаемых отличий неясны. Некоторым указанием на направление поисков объяснения высокой степени накопления Rb могут служить высокие содержания Rb и низкие K/Rb-отношения в плагиоклазах подводных базальтовых порфиритов и спилитов (рис. 5, VI).

Полученные нами данные о закономерной связи содержаний K, Ba, Sr и Fe с валовыми составами плагиоклазов (увеличение содержаний первых трех элементов от анортозитов к натровым андезинам и обратная тенденция для Fe) хорошо согласуются с результатами предыдущих статистически представительных исследований [13, 14, 23]. Особый интерес представляет наличие обратной корреляции Sr с Ca в изученных

плагиоклазах. Это, очевидно, связано с тем, что на первых этапах кристаллизации в период образования основных плагиоклазов величина

коэффициента сокристаллизации $\left(\frac{\text{Sr}}{\text{Ca}} \text{ пл.} / \frac{\text{Sr}}{\text{Ca}} \text{ породы} \right)$ меньше единицы.

Поэтому к конечным этапам Sr накапливается по отношению к Ca, вследствие чего содержание Sr в кислых плагиоклазах увеличивается.

Наши материалы о наличии корреляции между содержаниями ряда микроэлементов в плагиоклазах и материнских породах подтверждают данные некоторых предыдущих исследователей [18, 24, 25], хотя нами впервые обращено внимание на множественный характер этой корреляции.

В работах Сена [24, 25] указывается, однако, что главным фактором, определяющим уровень содержания по крайней мере ряда микроэлементов в плагиоклазах, является температура образования плагиоклазов. По данным этого автора, изучавшего распределение K, Ba, Sr, максимальные концентрации этих элементов наблюдаются в плагиоклазах вулканических пород, несколько более низкие в плагиоклазах гранулитов, еще ниже в плагиоклазах гранитов и амфиболитов. Рис. 6 демонстрирует данные Сена относительно K в плагиоклазах, дополненные нашими материалами, а также некоторыми новыми литературными данными по плагиоклазам вулканитов [15, 18, 26], гранитов, пегматитов [15, 27] и мигматитов [28]. Как видно на рис. 6, плагиоклазы вулканитов и гранулитов действительно достаточно четко отличаются от плагиоклазов амфиболитов, гранитов, пегматитов и мигматитов (во всяком случае до наиболее кальциевых плагиоклазов) более высокими содержаниями Or-молекулы.

Однако низкотемпературные (по оптике и рентгену) плагиоклазы многих глубинных интрузивных пород, особенно анортозитов и габбро, характеризуются высокими содержаниями K [20]. На рис. 6 фигуративные точки их ложатся в поле высокотемпературных вулканических плагиоклазов. Сюда же попадают и плагиоклазы расслоенных интрузий. С другой стороны, промежуточные — высокотемпературные плагиоклазы хондритовых метеоритов [29] по содержанию Or-молекулы ($x = 3,6—5,8\%$ при An_{10-15}) ложатся в поле низкотемпературных плагиоклазов амфиболитов и гранитов. Таким образом, причина наблюдаемых отличий может быть связана не столько с температурой кристаллизации плагиоклазов, сколько с другими условиями образования их, например характером парагенетических ассоциаций плагиоклазов, временем выделения их по отношению к другим K-содержащим фазам, скоростью кристаллизации и т. д. Действительно, плагиоклазы гранитов, например, отличаются от плагиоклазов соответствующих по основности вулканических пород не только температурой образования, но и тем, что они кристаллизуются в условиях относительно медленного охлаждения обычно в ассоциации с другими K-содержащими фазами (слюдами, калишпатами). В изученных же кислых вулканитах плагиоклазы представляют собой раннюю кристаллическую фазу, объем которой по отношению к плохо раскристаллизованной основной массе пород невелик, кристаллизация их происходит в условиях быстрого охлаждения, K-содержащие кристаллические фазы в ассоциации с ними либо отсутствуют вовсе, либо проявлены в весьма незначительном количестве. Соответственно в первом случае (граниты) кристаллизуется существенно «чистая» плагиоклазовая фаза, а во втором (лавы) — фаза, содержащая заметно больше примесей.

Таким образом, содержание элементов-примесей в плагиоклазах определяется тремя группами причин: валовым составом плагиоклазов; химическим и редкоэлементным составом материнских пород; условиями кристаллизации плагиоклазов. Все эти три группы причин действуют

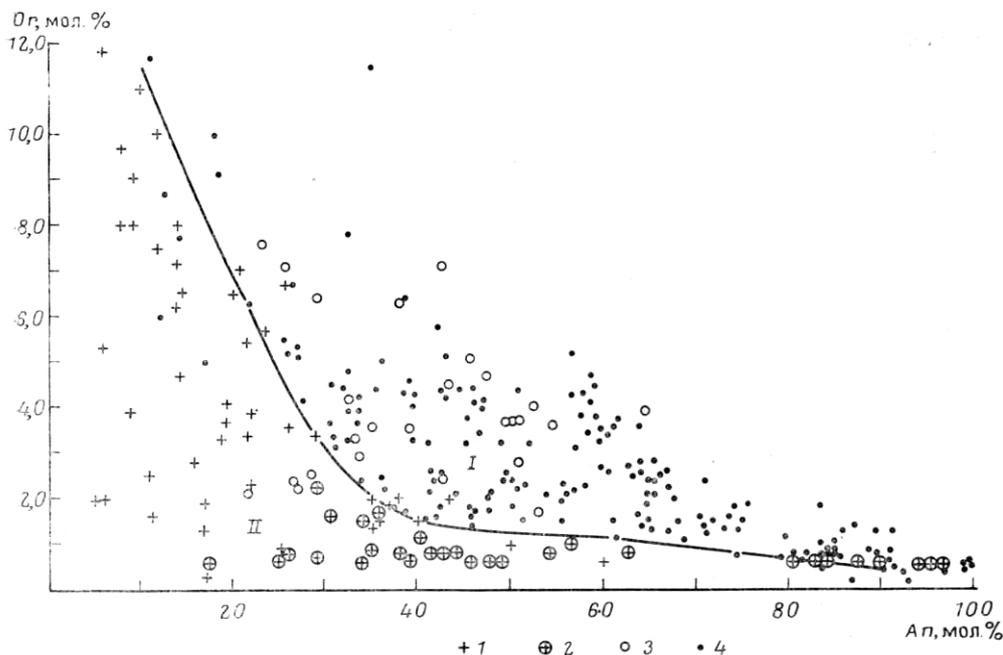


Рис. 6. Содержание $Oг$ -молекулы в плагиоклазах в зависимости от содержания $Ап$ -молекулы в них

I — граниты, пегматиты и мигматиты [24, 15, 27, 28]; *2* — амфиболиты [24]; *3* — гранулиты [24, 15]; *4* — вулканы Камчатки и Курил, а также других регионов [24, 26, 18, 15]. *I* — поле плагиоклазов вулкаников и гранулитов; *II* — поле плагиоклазов гранитов, пегматитов, мигматитов и амфиболитов

совместно и могут быть как однонаправлены (например, в сторону обогащения минерала элементами-примесями), так и разнонаправлены.

Наличие зависимости концентраций ряда микроэлементов в плагиоклазах от содержания их в материнских породах, равно как и связь валовых составов плагиоклазов в вулканиках с особенностями химизма и степенью газонасыщенности исходных расплавов, позволяет говорить, что большая часть вкрапленников плагиоклаза в вулканиках является «собственной» кристаллической фазой соответствующих расплавов.

Поступила в редакцию
31 марта 1976 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волынец О. Н., Колосков А. В.* Сов. геология, № 5, 1973.
2. *Волынец О. Н., Колосков А. В., Пополитов Э. И., Новиков В. М., Кирсанов И. Т., Флеров Г. Б., Дубик Ю. М.* Геохимия, № 3, 1975.
3. *Волынец О. Н., Долгова Т. В., Колосков А. В., Кутыев Ф. Ш.* Бюл. вулканол. ст. АН СССР, № 51, 1975.
4. *Волынец О. Н., Колосков А. В.* Плагиоклазы четвертичных эффузивов и малоглубинных интрузивов Камчатки. «Наука», Новосибирск, 1976.
5. *Ермаков В. А.* Изв. АН СССР. Сер. геол., № 10, 1971.
6. *Федорченко В. И., Родионова Р. И.* Ксенолиты в лавах Курильских островов. «Наука», Новосибирск, 1975.
7. *Влодавец В. И., Пийп Б. И.* Бюл. вулканол. ст. АН СССР, № 25, 1957.
8. *Богоявленская Г. Е., Дубик Ю. М., Кирсанов И. Т.* В сб.: Вулканизм и глубины Земли. «Наука», М., 1971.
9. *Бакуменко И. Т.* В сб.: Проблемы петрологии и генетической минералогии, т. II. «Наука», М., 1970.
10. *Гриб Е. Н.* Бюл. вулканол. ст. АН СССР, № 50, 1974.
11. *Селянгин О. Б.* Бюл. вулканол. ст. АН СССР, № 51, 1975.

12. Петрохимия кайнозойской Курило-Камчатской вулканической провинции. «Наука», М., 1966.
13. *Ribbe P. H., Smith J. V. J. Geol.*, v. 74, № 2, 1966.
14. *Corlett M., Ribbe J. H. Schweiz. mineral. und petrogr. Mitt.*, v. 47, № 1, 1967.
15. *Дур В. А., Хауи Р. А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. Т. IV. Каркасные силикаты. «Мир», М., 1966.
16. *Armbrustmacher T. J., Banks N. G. Amer. Mineralogist*, v. 59, № 7—8, 1974.
17. *Read A. M., Warner J. L., Ridley W. I., Brown R. W. Geochim. et cosmochim. acta*, v. 37, № 4, 1973.
18. *Ewart A., Taylor S. R. Contrib. miner. petrol.*, v. 22, № 2, 1969.
19. *Dupuy C., Coulon C. Compt rend. Acad. Sci. ser. D*, v. 277, № 16, 1973.
20. *Gill J. B., Murthy V. Rama. Geochim. et cosmochim acta*, v. 34, № 3, 1970.
21. *Лебедева Л. И., Шаткова Л. Н. Геохимия*, № 4, 1975.
22. *Murthy V. Rama, Griffin W. L. Chem. Geol.*, v. 6, № 4, 1970.
23. *Heier K. S. Norsk geol. tidsskr.*, v. 42/2, 1962.
24. *Sen S. K. J. Geol.*, v. 67, № 5, 1959.
25. *Sen S. K. J. Geol.*, v. 68, № 6, 1960.
26. *Sigurdsson K. Lithos*, v. 4, № 2, 1971.
27. *Hall A. Geochim. et cosmochim acta*, v. 31, № 5, 1967.
28. *Smith J. V., Steele I. M., Leake B. E. J. Geol.*, v. 81, № 5, 1973.
29. *Van-Schmus W. R., Ribbe P. H. Geochim. et cosmochim. acta*, v. 32, № 12, 1968.

COMPOSITION AND GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF PLAGIOCLASES FROM QUATERNARY VOLCANIC ROCKS OF KAMCHATKA AND THE KURIL ISLANDS

*O. N. VOLYNETS, E. I. POPOLITOV, G. B. FLEROV,
I. T. KIRSANOV*

Institute of Volcanology, FESC, Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky and Institute of Geochemistry, Siberian Branch, USSR Academy of Science, Irkutsk

The distribution of major (Ca and Na) and minor (K, Ba, Sr, Rb, Li, Fe, Mn and Mg) elements in phenocrysts of plagioclases from various Quaternary volcanic rock types of Kamchatka and the Kuril Islands has been studied on the basis of 30 complete and 110 specific analyses. Wide variations in plagioclase composition have been established in similar in basicity but different in alkalinity volcanic rock types. It has been shown that the concentration of minor and trace elements in plagioclases depends on the bulk composition of plagioclases, on trace element and bulk composition of parent rocks and on conditions of plagioclase formation.