

Д.Г. Гукасян

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА СОСУЩЕСТВУЮЩИХ ПИРОКСЕНОВ
ВЕРУНИДИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИТОВ АРАГАЦКОГО КОМПЛЕКСА

Пироксены являются главнейшими темновыми породообразующими минералами Арагацкого вулканического комплекса и представлены как моноклинной, так и ромбической разновидностями. Распределение их в различных типах и разновидностях пород далеко не одинаковое: оно колеблется в более или менее значительных пределах в зависимости от видового и химического составов других минеральных фаз и порядка их кристаллизации.

Вкрапленники пироксенов повсеместно представлены призматическими или изометричными кристаллами, обычно лишенными зональности. Величина зерен клинопироксенов в разных типах пород варьирует от 0,5 до 0,9 мм, а ортопироксенов — от 0,4 до 0,8 мм в среднем. В порфировых разновидностях лав основного состава содержание фенокристаллов клинопироксена не превышает 8,0%, ортопироксена — 2,5%; в андезитах их максимальное количество составляет 6,3 и 5,6%, соответственно. В кислых андезито-дацит-дацитовых породах их количество в целом понижается, составляя до 2,5%. Однако иногда наблюдаются отклонения от приведенных цифр и пироксены в породах содержатся в иных количественных соотношениях. Пироксены в вулканитах изученного комплекса представлены двумя сосуществующими равновесными минеральными фазами — магнетизально-железистого и магнетизально-железисто-кальциевого составов. Отсадка их из расплавов повсюду начиналась на интра-таллурической стадии. Для кислых пород кристаллизация пироксенов в основном ограничивалась этой стадией, и в основной массе пироксены либо отсутствуют, либо содержатся в ничтожном количестве. В расплавах основных и, частично, промежуточных составов она продолжалась и в эффузивную стадию, что привело к обра-

возрастание значительного количества мельчайших зернышек пироксенов, участвующих в строении основной массы пород. Часто в некоторых разновидностях пород сериально-порфирового сложения выдвигаются также микрофенокристаллы промежуточной (второй) генерации, отличающиеся размерности зерен 0,1-0,25 мм.

Оптические свойства

Ортопироксениты. Наиболее важные оптические константы ортопироксенов Арагацского комплекса сведены в табл. I. Угол оптических осей ортопироксенов колеблется от 64 до 72°, а показатели преломления варьируют в пределах $N_x = 1,699-1,702$; $N_y = 1,686-1,691$.

По оптическим параметрам изученные ортопироксениты относятся к бронзит-гиперстенам с колебанием ферросиликатового компонента в пределах 23 - 31%, что хорошо согласуется с данными химизма. На воспроизведенной из сводки У.А. Дира с соавторами /1/ диаграмме зависимости между оптическими свойствами и химическим составом ортопироксенов отчетливо иллюстрируется обратная связь между $2V_N$ и содержанием ферросиликатового компонента в ряду изученных ортопироксенов (рис. 1). На той же диаграмме видно, что значения углов оптических осей ортопироксенов Арагацского комплекса в целом высокие, что можно объяснить, по Х.Тессу /2/, несколько повышенной концентрацией катионов Са в их составе, а также высокими температурами их кристаллизации.

В кислых и промежуточных породах показатели преломления удовлетворительно соответствуют химическому составу ортопироксенов. Вместе с тем в основных (и частично среднекислых) породах комплекса они значительно более высокие, в целом оставаясь несколько ниже таковых в кислых породах. В итоге наблюдается очень слабая прямолинейная зависимость между N_x , N_y и составом изученных ортопироксенов, о чем свидетельствуют полого наклонные пунктирные линии на диаграмме (рис. 1). Причиной такого рода несоответствия может быть вхождение различных количеств ионов Al^{IV} в тетраэдрическую позицию, поскольку известно /3/, что при постоянной железности вхождение чермакитового компонента (или вообще R^{+3}) в состав ортопироксенов эффузивных пород вызывает увеличение показателей преломления. С другой стороны,

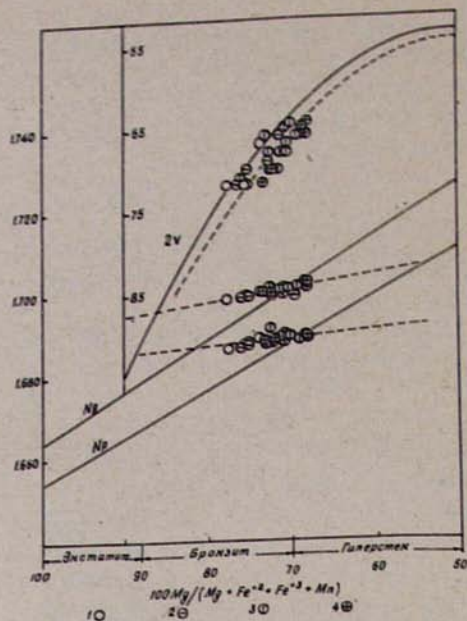


Рис. 1. Зависимость оптических свойств ортопироксенов Арагацкого комплекса от их составов. 1-4 - ортопироксены андезито-базальтов, андезитов, андезито-дацитов и дацитов соответственно.

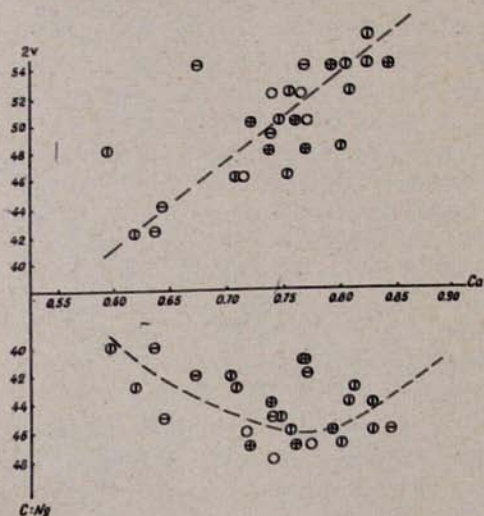


Рис. 2. Зависимость оптических констант клинопироксенов Арагацкого комплекса от их кальциевости. Условные знаки те же, что и на рис. 1.

многими исследователями /1,4,5,6/ твердо установлена положительная корреляционная связь между Ng , Np и Fe^{+3} в ортопироксенах. Влияние Al на Ng и Np последовательно уменьшается в ортопироксенах данного комплекса в направлении от основных пород к кислым по мере понижения содержания ионов Al^{IV} (табл. 1,3). Данные табл. 1,3 свидетельствуют о том, что в связи с возрастанием Fe^{+2} в составе ортопироксенов от андезитобазальтов к дацитам возрастают также показатели преломления. Итак, отмеченная выше слабая зависимость между показателями преломления и составом ортопироксенов в изученном ряду объясняется суммарным влиянием ионов Fe^{+2} (имеющих тенденцию к повышению) и Al^{IV} (обнаруживающих тенденцию к понижению) в ходе эволюции составов ортопироксенов.

Клинопироксены. Намного более сложна картина зависимости между оптическими свойствами и химическим составом клинопироксенов. Из данных табл. 1 видно, что вариации величин $2V$ и C:Ng клинопироксенов из различных пород комплекса довольно значительны ($42-56^\circ$ и $40-48^\circ$ соответственно), тогда как Ng и Np колеблется в относительно узких пределах ($1,712-1,718$ и $1,686-1,691$). Колебание оптических констант клинопироксенов различных типов пород отражено в табл. 2.

Как видно из приведенных данных, наименьшие вариации значений $2V$ обнаруживают клинопироксены крайних членов комплекса, а в клинопироксенах андезитов сравнительно устойчив C:Ng . Клинопироксены андезито-дацитов обнаруживают практически предельные вариации всех оптических величин, что согласуется с наибольшей вариацией их химического состава, иллюстрируемой на диаграмме (рис. 3). Из сопоставления вариаций $2V$ и химических составов клинопироксенов различных пород комплекса, отраженных на диаграмме (рис. 3), устанавливается полное соответствие между ними. На основании этого можно заключить, что из всех оптических параметров угол оптических осей относительно четко отражает химический состав клинопироксенов и может служить в рамках данной вулканической серии показателем для предварительной оценки их химизма.

На диаграмме зависимости между оптическими свойствами и составом клинопироксенов по Х.Хессу /7/ и Дж.Мхиру /8/, при-

Оптические константы пироксенов
Арагацкого вулканического комплекса

№ обр.	Ромбические пироксены			Моноклинные пироксены			
	-2V	N_g'	N_p'	+2V	cNg	N_g'	N_p'
I	72	I,699	I,688	52	41	I,715	I,690
32	72	I,699	I,686	50	47	I,712	I,688
58	67	I,700	I,688	46	46	I,715	I,690
67	72	I,699	I,687	52	48	I,715	I,691
22	66	I,699	I,688	54	42	I,715	I,687
61	69	I,700	I,688	49	45	I,715	I,691
72	72	I,699	I,686	54	42	I,715	I,691
44	70	I,699	I,687	42	40	I,715	I,690
45	66	I,701	I,688	44	45	I,714	I,688
31	66	I,700	I,687	42	42	I,718	I,687
54	65	-	-	48	40	I,715	I,691
13	64	-	-	48	47	I,716	I,688
16	71	I,702	I,691	54	44	I,718	I,686
3	67	I,700	I,688	52	43	I,712	I,688
59	70	I,701	I,688	46	43	I,714	I,688
5	68	I,700	I,687	52	46	I,716	I,687
20	70	I,699	I,688	54	46	I,712	I,686
8	68	I,701	I,689	56	44	I,718	I,690
70	68	I,700	I,688	46	42	I,712	I,688
46	66	I,701	I,688	50	45	I,714	I,690
52	72	I,700	I,688	54	46	I,714	I,688
34	68	-	-	48	44	I,715	I,690
51	70	I,700	I,688	48	41	I,716	I,686
41	66	I,702	I,688	50	47	I,715	I,690
42	64	I,701	I,689	54	46	I,712	I,688
56	65	I,702	I,689	50	47	I,712	I,688

Примечание: обр. I - андезито-базальт (I этап), каньон р. Амберд у с. Бюракан, нижняя пачка; 32 - андезито-базальт (II этап), каньон р. Амберд у с. Антарут, верхняя пачка; 58 - андезито-базальт (II этап), каньон р. Манташ, верхнее течение, нижняя пачка; 67 - андезито-базальт (IV этап), правый борт ущелья р. Амгур, лава вулкана Тирин-Катар; 22 - андезит (II этап), каньон р. Амберд у с. Дзорат; 61 - андезит (II этап), каньон р. Манташ, верхнее течение; 72 - андезит (III этап), ущелье р. Амгур, у г. Кара-даг (средний горизонт); 44 - андезит (III этап), западная вершина г. Арагац, седьмой поток снизу со стороны кратера; 45 - андезит (III этап), западная вершина г. Арагац, шестой поток снизу со стороны кратера; 31 - туфолава (I этап) каньон р. Амберд, у с. Бюракан, нижний горизонт; 54 - андезито-дацит (I этап), ущелье р. Манташ, верхнее течение; 3 - андезито-дацит (II этап), каньон р. Амберд, севернее с. Антарут; 16 - андезито-дацит (II этап), каньон р. Касах у с. Аппагюх; 13 - андезито-дацит (II этап), западный склон массива г. Арагац; 59 - андезито-дацит (II этап), ущелье р. Манташ, верхнее течение (р-н водохранилища); 5 - туф (II этап), между с.с. Бюракан,

веденной в книге У.А.Дира и др. /1/, моноклинные пироксены Арагацского комплекса по своим оптическим константам отвечают значениям с колебанием главных компонентов N_g 39-48 N_e 37-48 N_o 12-18, что близко соответствует составам, полученным по химическим анализам. На рис. 2 иллюстрируется прямая зависимость оптических величин $2V$ и $C:N_g$ от кальциевости изученных клинопироксенов.

Т а б л и ц а 2

Вариации оптических констант клинопироксенов
разнотипных пород Арагацского вулканического
комплекса

Клинопироксены	$2V$	eN_g	N_g'	N_p'
Андезит-базальтов	46-52	41-48	1,712-1,715	1,688-1,691
Андезитов	42-54	40-45	1,714-1,715	1,687-1,691
Андезит-дацитов	42-56	40-48	1,712-1,718	1,686-1,690
Дацитов	48-54	41-47	1,712-1,716	1,686-1,690

Укажем, что положительная корреляционная связь между Ca и $2V$ в клинопироксенах из эффузивных пород установлена М.М.Веселовской /9/, Н.Л.Добрецовым и др./3/ и др. Аналогичная зависимость обнаруживается между ионами Ca и $C:N_g$ (рис. 4) до значения Ca 0,74 на 6 атомов кислорода. Дальнейшее увеличение ионов Ca в клинопироксенах сопровождается постепенным уменьшением значения $C:N_g$, в результате чего кривая зависимости $C:N_g$ от Ca приобретает субсимметричную параболическую форму.

Известно, что на оптические свойства клинопироксенов, кроме главных катионов, по-разному влияет также высокое содержание таких второстепенных элементов, как Al и Ti /1,3,10/. Последнее, в зависимости от занимаемой в структуре кристаллической решетки позиции могут быть причиной некоторого несоответствия

Антарут; 8 - андезит-дацит (III этап), р-н с. Апаран; 70- андезит-дацит (III этап), верхний пояс вулкана Арагац, у оз. Каралыч; 46- андезит-дацит (III этап), западная вершина г. Арагац, третий поток снизу; 20 - туф (III этап), каньон р. Касах у с. Оганаван; 52 - дацит (II этап), СВ склон г. Арагац (высота 2461 м); 51 - дацит (III этап), западный склон г. Арагац (верхушка); 41 - дацит (III этап), южная вершина г. Арагац (верхушка); 56 - туфолавы (III этап), СЗ склон г. Арагац, у вулкана Арич; 34 - туфолавы (III этап), ущелье р. Касах у церкви Аствацкал.

между оптическими величинами и химическим составом изученных клинопироксенов.

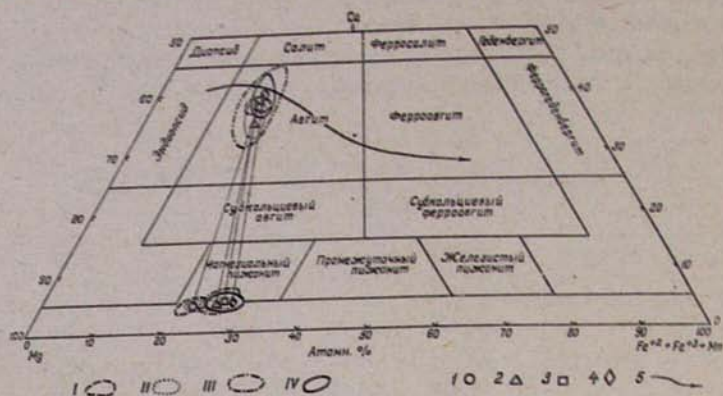


Рис. 3. Диаграмма Поддерваарта и Хесса, иллюстрирующая составы пироксенов Арагацкого комплекса. I, II, III, IV — поля фигуративных точек пироксенов андезито-базальтов, андезитов, андезито-дацитов и дацитов соответственно. I, 2, 3, 4 — фигуративные точки средних составов пироксенов из различных пород соответственно. 5 — кривая кристаллизации пироксенов насыщенной базальтовой магмы по Поддерваарту и Хессу.

Особенности химизма

Для характеристики особенностей химизма проанализирована серия образцов (26 сосуществующих пар) пироксенов из различных пород и стратиграфических горизонтов Арагацкого комплекса, результаты которых сведены в табл. 3, 4, где приведены также кристаллохимические формулы в пересчете на 6 атомов кислорода и атомные соотношения главных компонентов обеих пироксеновых фаз. Последние данные нанесены на четырехкомпонентную ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 - \text{CaFeSi}_2\text{O}_6 - \text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6 - \text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) диаграмму А.Поддерваарта и Х. Хесса /II/, где они графически изображены в виде отдельных полей, представляющих ареалы составов пироксенов из различных типов пород, и фигуративные точки, отражающие их средние составы (рис. 3).

Ортопироксены. По номенклатуре А.Поддерваарта /12/, также принятой У.А. Диром и соавторами /I/, И.В. Гинзбург

/13/ и Н.А.Добрыным и др. /3/, ортопироксены Арагацского комплекса соответствуют бронзиту и частично гиперстену в изоморфном ряду $MgSiO_3 - FeSiO_3$. Содержание главных компонентов ортопироксенов варьирует в пределах $Mg - 64,4-75,1\%$, $Fe - 21,6-30,4\%$, $Ca - 3,1-6,1\%$. Ортопироксены кислых пород обычно относятся к гиперстену, а основных - без исключения к бронзиту.

Роль составов ромбических пироксенов различных типов пород на диаграмме (рис. 3) занимает примерно одинаковое положение ближе к энстатитовому углу и от основных к кислым разностям, чаще

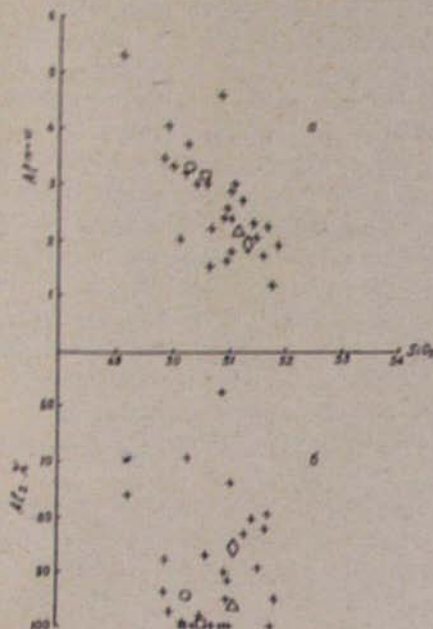


Рис. 4. Зависимость общей глиноземистости (поле а) и Al_2O_3 (поле б) от SiO_2 в клинопироксенах Арагацского комплекса. Крестики на диаграмме представляют фигуративные точки клинопироксенов. Остальные условные знаки соответствуют таковым на рис. 3.

тично, перекрывая друг друга, постепенно смещаются к ферросилитовому углу. Таким образом, устанавливается закономерное изменение составов ромбических пироксенов Арагацского комплекса, заключающееся в постепенном обогащении ферросилитовым компонентом (в среднем на $5,4\%$), от андезит-базальтов к дацитам.

Содержание кальция в ортопироксенах колеблется от 1,60 до 3,43 вес. % и лишь в некоторых образцах переваливает верхний предел (2,6 вес.%), установленный И.В.Гинзбург /13/ для ромбических пироксенов. Однако, этот предел, судя по экспериментальным данным, полученным Д.Х.Грином и А.Э.Рингвудом /14/ для сосуществующих пироксеновых пар должен быть несколько повышен (2,8 вес.%).

Воластонитовый компонент в ходе эволюции ортопироксенов от основных к кислым породам в общем проявляет слабую тенденцию возрастания (в среднем на 0,5%), что происходит за счет убывания энстатитовой составляющей.

Как видно из химических анализов ортопироксенов (табл.3), в их составе, кроме главных компонентов, в том или ином количестве присутствуют также примеси других - второстепенных по значению элементов (Ti , Al , Fe^{+3} , Mn , Na , K), незначительное содержание которых обычное явление для реальных составов этих минералов. Из указанных компонентов наиболее важное значение имеет глинозем, распределение которого в сосуществующих парах закономерно и имеет петрологическое значение. Содержание Al_2O_3 в ортопироксенах варьирует от 0,68 до 2,56 вес.% в среднем составляя 1,53-1,73 вес.%. Среднее его содержание в ромбических пироксенах различных типов пород комплекса почти одинаковое и каких-либо четких закономерностей в распределении глинозема в них не устанавливается. В структуре ортопироксенов катионы Al в основном группируются в четверной координации (группе Z), лишь небольшая часть его атомов входит в шестерную координацию (группу Y).

Сопоставление химизма ортопироксенов Арагацкого комплекса с их оптическими данными, исходя из сформированных Н.Д. Добрецовым и др. /3/ принципов позволяет предполагать следующий ряд изоморфных замещений: $Fe \rightarrow Mg$; $Al^{IV} \rightarrow Si$; $Ca, Mn, Ti \rightarrow Mg$; $Fe^{3+} \rightarrow Al$.

Клинопироксены. Из диаграммы рис. 3 видно, что изученные моноклинные пироксены по номенклатуре А.Полдерваарта и Х.Хесса /11/, располагаются в поле авгита, ближе к его верхнему левому углу, что указывает на тяготение составов изученных авгитов к эндиопсид-салитам. По систематике, предложенной

Таблица 3

Химический состав и кристаллические формулы
ромбических пироксенов Аригайского вулканичес-
кого комплекса

Компо- ненты	I	32	58	67	22
SiO ₂	53,05	53,53	52,53	52,28	52,00
TiO ₂	0,49	0,41	0,22	0,47	0,38
Al ₂ O ₃	2,05	1,35	1,65	1,64	1,27
Fe ₂ O ₃	3,72	сд.	2,88	2,18	2,08
FeO	11,52	13,53	13,25	13,10	16,70
MnO	0,28	0,44	0,45	0,32	0,31
MgO	26,20	27,39	25,37	26,32	23,70
CaO	2,21	1,69	2,52	2,52	2,22
Na ₂ O	0,16	0,22	0,30	0,25	0,28
K ₂ O	0,11	0,03	не одн.	не одн.	0,01
H ₂ O	-	не одн.	0,16	0,10	0,01
Н. п. п.	0,72	0,95	0,79	0,86	1,23
Сумма	100,51	99,54	100,32	100,04	100,19

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	Si	1,916	1,952	1,920	1,912	2,00
	Al	0,084	0,048	0,071	0,071	-
	Al	0,003	0,005	-	-	0,060
Y	Ti	0,013	0,011	0,006	0,013	0,010
	Fe ⁺³	0,101	-	0,079	0,060	0,060
	Mg	1,410	1,489	1,393	1,435	1,363
X	Fe ⁺²	0,348	0,413	0,405	0,401	0,539
	Mn	0,008	0,014	0,014	0,010	0,010
W	Ca	0,086	0,066	0,099	0,099	0,092
	Na	0,011	0,015	0,021	0,021	0,020

Соотношения атомов

Mg	72,2	75,1	70,0	71,5	66,0
2Fe	23,4	21,6	25,0	23,5	29,5
Ca	4,4	3,3	5,0	5,0	4,5
100·Mg Mg+2Fe	75,5	77,7	73,7	75,3	69,1

КОМПОНЕНТЫ	6I	72	44	45	3I
SiO ₂	52,22	51,76	52,51	52,00	53,36
TiO ₂	0,51	0,48	0,38	0,46	0,30
Al ₂ O ₃	1,15	1,15	1,70	2,38	2,04
Fe ₂ O ₃	2,12	0,10	1,50	1,54	2,89
FeO	14,83	14,40	15,26	15,84	13,54
MnO	0,62	0,63	0,31	0,23	0,32
MgO	25,49	26,85	25,26	24,18	25,00
CaO	2,03	3,43	2,25	2,42	1,65
Na ₂ O	сл.	0,25	0,25	0,25	0,24
K ₂ O	0,03	не обн.	-	-	-
H ₂ O-	0,30	0,25	-	0,02	0,02
П. п. п.	0,88	0,72	0,75	0,68	0,92
Сумма	100,18	100,02	100,17	100,20	100,28

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	[Si	1,925	1,920	1,943	1,915	1,943
	Al	0,050	0,050	0,057	0,085	0,057
Y	[Al	-	-	0,018	0,018	0,030
	Ti	0,014	0,013	0,011	0,013	0,008
	Fe ⁺³	0,058	0,003	0,042	0,043	0,074
X	[Mg ⁺²	1,401	1,485	1,399	1,327	1,354
	Fe	0,457	0,447	0,412	0,488	0,411
	Mn	0,019	0,020	0,010	0,007	0,010
W	[Ca	0,080	0,092	0,089	0,096	0,064
	Na	-	0,018	0,018	0,018	0,017

Соотношения атомов

Mg	69,5	72,5	71,7	67,7	70,6
ΣFe	26,5	23,0	23,7	27,4	26,1
Ca	4,0	4,5	4,6	4,9	3,3
100·Mg	72,8	76,0	75,1	71,2	73,0
Mg+ΣFe					

Компо- ненты	54	13	16	3	59
SiO ₂	50,62	52,02	51,52	50,64	52,08
TiO ₂	0,54	0,58	0,48	0,65	0,38
Al ₂ O ₃	1,59	1,71	2,33	0,88	1,70
Fe ₂ O ₃	11,29	5,72	5,10	1,09	1,47
FeO	8,03	12,60	11,68	16,99	15,55
MnO	-	0,92	0,44	0,57	0,60
MgO	24,03	24,42	25,20	24,86	24,50
CaO	3,08	2,38	2,94	3,00	2,31
Na ₂ O	0,40	0,30	0,30	0,30	0,42
K ₂ O	0,15	0,15	0,15	сл.	-
H ₂ O	0,64	-	0,20	0,23	0,03
П. п. п.	-	-	-	0,82	1,14
Сумма	100,37	100,80	100,32	100,03	100,18

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	Si	1,854	1,892	1,876	1,895	1,925
	Al	0,069	0,073	0,100	0,039	0,074
Y	Ti	0,015	0,016	0,013	0,018	0,011
	Fe ⁺³	0,311	0,156	0,140	0,031	0,041
	Mg	1,311	1,324	1,368	1,387	1,350
X	Fe ⁺²	0,246	0,383	0,356	0,532	0,480
	Mn	-	0,028	0,014	0,018	0,019
W	Ca	0,121	0,093	0,115	0,120	0,091
	Na	0,028	0,021	0,021	0,022	0,030

Соотношения атомов

Mg	65,9	66,7	68,6	66,4	68,1
Σ Fe	28,0	28,6	25,6	27,8	27,3
Ca	6,1	4,7	5,8	5,8	4,6
100·Mg	70,7	70,0	72,8	70,3	71,4
Mg+Σ Fe					

Продолжение таблицы 3

	5	20	8	70	46
SiO ₂	52,56	51,67	50,74	51,37	51,45
TiO ₂	0,52	0,87	0,52	0,42	0,45
Al ₂ O ₃	1,10	0,68	2,56	1,28	1,19
Fe ₂ O ₃	2,28	3,11	5,40	1,43	3,39
FeO	14,11	13,82	13,30	16,56	14,98
MnO	0,85	0,83	-	0,80	0,60
MgO	25,06	25,50	24,08	25,00	23,52
CaO	2,06	2,10	3,42	1,60	3,08
Na ₂ O	0,40	0,40	0,45	0,40	0,25
K ₂ O	сл.	сл.	0,22	не обн.	-
H ₂ O	0,17	0,26	-	0,08	-
П. п. п.	0,98	0,48	-	1,37	1,22
Сумма	100,09	99,72	100,69	100,31	100,13

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	[Si	1,936	1,910	1,868	1,905	1,916
	[Al	0,047	0,030	0,111	0,056	0,052
Y	[Al	-	-	-	-	-
	[Ti	0,014	0,024	0,014	0,012	0,012
	[Fe ⁺³	0,063	0,087	0,150	0,041	0,095
X	[Mg ⁺²	1,376	1,405	1,322	1,398	1,305
	[Fe	0,435	0,427	0,410	0,520	0,466
	[Mn	0,027	0,026	-	0,025	0,019
W	[Ca	0,081	0,083	0,095	0,064	0,123
	[Na	0,029	0,029	0,032	0,029	0,017

Соотношение атомов

Mg	69,4	69,3	66,9	68,3	65,0
ΣFe	26,5	26,6	28,3	28,6	28,9
Ca	4,1	4,1	4,8	3,1	6,1
100·Mg	72,4	72,2	70,2	70,9	69,2
Mg+ΣFe					

	52	34	51	41	42
SiO ₂	53,04	52,30	53,16	52,15	52,12
TiO ₂	0,38	0,32	0,40	0,34	0,45
Al ₂ O ₃	2,21	2,04	1,70	0,72	1,70
Fe ₂ O ₃	1,01	0,96	1,66	1,35	0,96
FeO	14,69	17,57	14,40	17,32	17,56
MnO	0,23	0,58	0,60	0,84	0,60
MgO	24,50	23,04	24,08	23,57	22,83
CaO	2,42	2,32	2,86	1,92	2,36
Na ₂ O	0,40	0,20	0,30	0,04	0,34
K ₂ O	-	-	-	0,03	0,01
H ₂ O	-	0,01	0,02	0,22	0,03
П. н. п.	1,20	0,84	1,12	1,37	1,15
Сумма	100,08	100,18	100,30	99,87	100,11

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	[	Si	1,944	1,938	1,949	1,955	1,938
		Al	0,056	0,062	0,051	0,032	0,062
Y	[	Al	0,040	0,027	0,023	-	0,013
		Ti	0,010	0,009	0,011	0,010	0,013
		Fe ⁺³	0,028	0,027	0,046	0,038	0,027
X	[	Mg	1,338	1,272	1,316	1,317	1,265
		Fe ⁺²	0,450	0,544	0,442	0,543	0,546
		Mn	0,007	0,018	0,018	0,027	0,019
W	[	Ca	0,095	0,092	0,112	0,077	0,105
		Na	0,028	0,014	0,021	0,003	0,025

Соотношение атомов

Mg	69,8	65,1	68,0	65,8	64,5
ΣFe	25,3	30,2	26,2	30,4	30,2
Ca	4,9	4,7	5,8	3,8	5,3
100·Mg	73,4	68,4	72,2	68,4	68,1
Mg+ΣFe					

	56	АБ	А	АД	Д
SiO ₂	52,32	52,85	52,10	51,64	52,51
TiO ₂	0,56	0,40	0,44	0,52	0,41
Al ₂ O ₃	2,02	1,67	1,53	1,55	1,73
Fe ₂ O ₃	8,51	2,20	1,47	3,92	2,41
FeO	10,50	12,85	15,41	13,74	15,34
MnO	0,74	0,37	0,42	0,54	0,60
MgO	23,06	26,37	25,10	24,66	23,50
CaO	2,52	2,23	2,48	2,51	2,40
Na ₂ O	0,22	0,23	0,21	0,35	0,25
K ₂ O	0,18	0,03	0,01	0,06	0,04
H ₂ O	-	0,06	0,12	0,15	0,05
П. п. п.	-	0,83	0,89	0,63	0,95
Сумма	100,63	100,09	100,18	100,27	100,19

Количество монов в пересчете на 6(0)

Z	[Si	1,899	1,925	1,921	1,902	1,937
	[Al	0,086	0,072	0,066	0,067	0,063
	[Al	-	-	-	-	0,012
Y	[Ti	0,015	0,011	0,012	0,014	0,017
	[Fe ⁺³	0,232	0,060	0,041	0,108	0,067
	[Mg ⁺²	1,247	1,432	1,379	1,353	1,294
X	[Fe	0,319	0,391	0,475	0,423	0,473
	[Mn	0,023	0,011	0,013	0,017	0,019
W	[Ca	0,098	0,087	0,098	0,099	0,095
	[Na	0,015	0,016	0,015	0,025	0,018

Соотношение атомов

Mg	65,0	72,3	68,7	67,7	66,4
ΣFe	29,9	23,3	26,4	27,4	28,7
Ca	5,1	4,4	4,9	4,9	4,9
100·Mg	68,5	75,6	72,3	71,2	69,8
Mg+ΣFe					

Примечание: номера образцов те же, что и в таблице I. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН АрмССР аналитиками Л.А.Оганисян, З.Ш.Гаспарян, В.А.Басаян и ИЧМ АН Укр.ССР - аналитиками Л.М.Гонедзиной и Г.А.Скрибник.

Т а б л и ц а 4
 Ионический состав и кристаллические формулы
 моноклиновых пироксенов Аргайского вулканического
 комплекса

Компо- ненты	I	32	58	67	22
SiO ₂	49,90	50,42	50,18	50,60	50,90
TiO ₂	0,66	0,11	0,58	0,89	0,62
Al ₂ O ₃	4,00	3,00	3,23	3,00	2,38
Fe ₂ O ₃	3,49	3,30	4,45	1,96	1,79
FeO	6,22	6,22	7,70	6,91	8,64
MnO	0,28	0,29	0,20	0,26	0,25
MgO	16,11	17,03	15,69	16,56	17,55
CaO	19,29	19,48	18,06	18,55	16,94
Na ₂ O	0,30	0,50	0,60	0,50	0,45
K ₂ O	-	0,04	0,15	не обн.	сл.
H ₂ O	-	-	-	0,06	0,01
П.п.п.	0,30	0,30	-	0,66	0,66
Сумма	100,62	100,69	100,84	99,97	100,19

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	[Si	1,845	1,865	1,860	1,885	1,888
	[Al	0,155	0,131	0,140	0,115	0,104
Y	[Al	0,021	-	0,001	0,017	-
	[Ti	0,018	0,003	0,016	0,025	0,020
	[Fe ⁺³	0,097	0,092	0,124	0,055	0,050
X	[Mg ⁺²	0,888	0,939	0,866	0,919	0,992
	[Fe	0,192	0,192	0,239	0,215	0,268
	[Mn	0,009	0,009	0,006	0,008	0,010
W	[Ca	0,764	0,772	0,717	0,740	0,673
	[Na	0,021	0,036	0,043	0,036	0,034

Соотношение атомов

Mg	45,5	46,9	44,6	47,4	49,8
Fe	15,3	14,6	18,5	14,4	16,4
Ca	39,2	38,5	36,9	38,2	33,8
f	0,25	0,24	0,29	0,23	0,25

	6I	72	44	45	3I
SiO ₂	50,68	50,97	51,45	51,70	51,00
TiO ₂	0,72	0,77	0,54	0,49	0,65
Al ₂ O ₃	2,21	1,64	2,32	2,26	2,89
Fe ₂ O ₃	3,11	1,66	2,98	2,37	2,52
FeO	6,91	7,20	7,48	8,04	7,49
MnO	0,41	0,43	0,38	0,38	0,20
MgO	16,05	16,54	17,11	17,20	18,50
CaO	18,43	19,12	15,96	16,20	15,67
Na ₂ O	0,57	0,50	0,60	0,60	0,70
K ₂ O	0,03	не обн.	0,01	0,01	0,01
H ₂ O	0,26	0,09	0,05	0,04	0,01
П.п.п.	0,81	0,62	1,08	1,11	0,60
Сумма	100,19	99,54	99,96	100,40	100,24

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	[Si	1,898	1,911	1,918	1,921	1,884
	[Al	0,098	0,073	0,082	0,079	0,116
Y	[Al	-	-	0,020	0,020	0,010
	[Ti	0,020	0,022	0,015	0,014	0,018
	[Fe ⁺³	0,088	0,047	0,083	0,066	0,070
X	[Mg	0,896	0,926	0,951	0,953	1,019
	[Fe ⁺²	0,216	0,226	0,233	0,250	0,231
	[Mn	0,013	0,014	0,012	0,012	0,006
W	[Ca	0,740	0,770	0,638	0,645	0,620
	[Na	0,041	0,037	0,043	0,043	0,050

Соотношение атомов

Mg	45,9	46,7	49,6	49,5	52,4
ΣFe	16,2	14,5	17,1	17,0	15,8
Ca	37,9	38,8	33,3	33,5	31,8
f	0,26	0,27	0,26	0,26	0,23

Продолжение таблицы 4

	54	13	16	3	59
SiO ₂	50,85	50,00	49,20	50,24	51,82
TiO ₂	0,58	0,09	0,09	0,89	0,51
Al ₂ O ₃	4,62	3,34	5,29	2,02	1,90
Fe ₂ O ₃	3,43	4,45	2,09	3,06	2,82
FeO	7,00	6,21	6,90	7,49	6,75
MnO	0,32	0,43	0,36	0,38	0,40
MgO	16,40	15,20	15,65	14,30	16,90
CaO	15,04	20,10	20,32	19,98	17,60
Na ₂ O	0,70	0,60	0,60	0,60	0,58
K ₂ O	0,15	0,09	0,09	не обн.	0,06
H ₂ O	-	-	0,10	0,21	не обн.
П. п. п.	0,08	0,15	0,20	0,71	0,74
Сумма	99,18	100,66	100,89	99,88	100,29

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	Si	1,884	1,858	1,824	1,899	1,921
	Al	0,116	0,142	0,176	0,090	0,079
Y	Al	0,086	0,004	0,055	-	0,004
	Ti	0,016	0,002	0,002	0,025	0,014
	Fe ⁺³	0,100	0,124	0,058	0,087	0,080
X	Mg ⁺²	0,905	0,842	0,859	0,805	0,934
	Fe	0,217	0,193	0,214	0,237	0,210
	Mn	0,010	0,014	0,011	0,012	0,012
W	Ca	0,597	0,801	0,807	0,809	0,707
	Na	0,050	0,043	0,043	0,044	0,042

Соотношение атомов

Mg	49,5	42,6	44,1	41,3	48,1
Σ Fe	17,9	16,8	14,5	17,2	15,5
Ca	32,6	40,6	41,4	41,5	36,4
f	0,27	0,28	0,25	0,29	0,24

Продолжение таблицы 4

	5	20	8	70	46
SiO ₂	51,08	49,85	50,26	50,68	50,96
TiO ₂	0,81	0,66	0,62	0,64	0,30
Al ₂ O ₃	3,02	3,47	3,70	1,52	2,55
Fe ₂ O ₃	1,78	3,08	3,20	1,45	3,48
FeO	6,04	6,59	6,20	6,62	6,91
MnO	0,43	0,28	0,38	0,60	0,20
MgO	16,21	15,06	13,45	18,26	15,80
CaO	18,89	20,72	20,58	18,78	18,70
Na ₂ O	0,70	0,32	0,70	0,50	0,71
K ₂ O	сл.	0,17	0,20	не обн.	-
H ₂ O-	0,21	-	0,56	0,10	-
H ₂ O	0,54	0,20	0,12	0,51	0,29
Сумма	99,71	100,47	99,97	99,66	99,90

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	[Si	1,902	1,858	1,886	1,894	1,899
	[Al	0,098	0,142	0,114	0,067	0,101
	[Al	0,034	0,010	0,050	-	0,011
Y	[Ti ⁺³	0,023	0,018	0,018	0,018	0,008
	[Fe	0,050	0,086	0,090	0,041	0,098
	[Mg ⁺²	0,899	0,836	0,752	1,017	0,877
X	[Fe	0,188	0,205	0,195	0,207	0,215
	[Mn	0,011	0,009	0,012	0,019	0,006
	[Ca	0,754	0,827	0,827	0,752	0,747
W	[Na	0,051	0,023	0,051	0,036	0,051

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Mg	47,3	42,6	40,1	50,0	45,1
ΣFe	13,1	15,3	15,8	13,1	16,4
Ca	39,6	42,1	44,1	36,9	38,5
f	0,22	0,26	0,28	0,21	0,27

Продолжение таблицы 4

	52	34	51	41	42
SiO ₂	51,04	51,26	51,52	51,75	51,60
TiO ₂	0,69	0,59	0,55	0,40	0,52
Al ₂ O ₃	1,77	2,72	2,04	1,21	1,70
Fe ₂ O ₃	2,44	3,01	2,74	3,01	2,27
FeO	6,48	6,34	6,39	7,63	7,20
MnO	0,45	0,34	0,82	0,38	0,46
MgO	14,77	16,26	15,45	16,33	14,85
CaO	20,92	18,59	19,20	18,00	19,66
Na ₂ O	0,58	0,70	0,81	0,60	0,60
K ₂ O	0,06	-	0,06	0,01	0,18
H ₂ O	на осн.	0,01	на осн.	0,03	0,36
П.п.п.	0,65	0,49	0,69	1,00	0,96
Сумма	100,16	100,31	100,21	100,35	100,36

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	Si	1,917	1,898	1,920	1,933	1,938
	Al	0,079	0,102	0,080	0,053	0,062
Y	Al	-	0,017	0,009	-	0,013
	Ti	0,019	0,016	0,015	0,011	0,015
	Fe ⁺³	0,068	0,084	0,077	0,085	0,064
X	Mg ⁺²	0,826	0,897	0,858	0,909	0,831
	Fe	0,204	0,196	0,199	0,238	0,226
	Mn	0,014	0,011	0,026	0,012	0,014
W	Ca	0,842	0,738	0,767	0,720	0,791
	Na	0,042	0,050	0,059	0,043	0,044

Соотношение атомов

Mg	42,2	46,6	44,5	46,3	43,1
Σ Fe	14,7	15,1	15,7	17,0	15,8
Ca	43,1	38,3	39,8	36,7	41,1
f	0,26	0,25	0,26	0,27	0,27

Продолжение таблиц 4

	56	АБ	А	АД	Д
SiO ₂	51,00	50,28	51,14	50,54	51,31
TiO ₂	0,54	0,56	0,63	0,53	0,55
Al ₂ O ₃	2,40	3,32	2,16	3,12	1,97
Fe ₂ O ₃	3,63	3,30	2,38	2,85	2,85
FeO	6,57	6,76	7,65	6,75	6,77
MnO	0,46	0,26	0,37	0,36	0,48
MgO	15,40	16,35	16,89	15,98	15,51
CaO	19,00	18,85	17,33	18,78	19,23
Na ₂ O	0,70	0,48	0,54	0,61	0,66
K ₂ O	0,11	0,05	0,01	0,07	0,07
H ₂ O	0,72	0,01	0,09	0,11	0,19
П. п. п.	0,16	0,32	0,86	0,38	0,66
Сумма	100,69	100,54	100,05	100,08	100,25

Количество ионов в пересчете на 6(0)

Z	[Si	1,900	1,863	1,909	1,882	1,914
	[Al	0,100	0,137	0,091	0,118	0,086
	[Al	0,005	0,008	0,004	0,019	0,001
Y	[Ti	0,015	0,016	0,018	0,015	0,015
	[Fe ⁺³	0,102	0,092	0,067	0,080	0,080
	[Mg ⁺²	0,855	0,903	0,940	0,897	0,862
X	[Fe	0,205	0,209	0,239	0,210	0,211
	[Mn	0,015	0,008	0,012	0,011	0,015
	[Ca	0,759	0,748	0,693	0,750	0,780
W	[Na	0,051	0,034	0,039	0,044	0,047

Соотношение атомов

Mg	44,2	46,1	48,2	45,8	44,3
ΣFe	16,6	15,7	16,3	15,5	15,7
Ca	39,2	38,2	35,5	38,7	40,0
f	0,27	0,25	0,25	0,25	0,26

Примечание: номера образцов те же, что и в табл. I. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН АрмССР аналитиками Л.А.Огани-сян, З.Ш.Гаспарян, В.А.Бабаян и ИГМ АН Укр.ССР - аналитиками - Л.М.Гонедзянковой и Г.А.Скрипник.

И.В.Гинзбург /13/, изученные клинопироксены относятся к собственно авгитам, а по Н.А.Добротину и др. /3 / - к субнальзивным авгитам, с содержанием главных компонентов в пределах

$\text{Mg}_{40,1-52,5} \text{Ca}_{31,8-44,1} \text{Fe}_{13,1-18,5}$. Существенных различий в составе клинопироксенов в одновитных породах разных этапов не наблюдается. Вариации их составов определяются кремнекислотностью и магнезиальностью вмещающих пород. Клиннопироксенными основными пород комплексы отличаются сравнительно меньшими вариациями состава главных компонентов, что графически хорошо отражается на диаграмме. Относительно больший контраст составов проявляют авгиты андезитов, андезито-дацитов и дацитов, поля роств которых на диаграмме значительно удалены одно от другого. В то же время на небольшом участке, соответствующем полям авгитов основных пород, они несколько перекрывают друг друга. Авгиты андезито-дацитов характеризуются относительно большей вариацией содержания главных компонентов, однако средний их состав мало отличается от такового крайних членов вулканического комплекса. В среднем наибольшей магнезиальностью отличаются авгиты андезитов. Точка, изображающая средний состав клинопироксенов этих пород на диаграмме занимает несколько обособленное положение, тяготея, в общем, к магнезиальному ее углу. Из диаграммы явствует также, что авгитовый тренд в изученном комплексе в целом вытянут субпараллельно магнезиально-кальциевой стороне трапеции, что может указывать на более широкое изоморфное замещение катионов магния и железа при относительно постоянном содержании ферросилитовой молекулы. На рис. 4а, отражающей зависимость Al_2O_3 от SiO_2 в клинопироксенах изученного комплекса четко видна обратная пропорциональность между содержаниями этих двух элементов.

Как известно, Al в кристаллической решетке пироксенов обычно играет двойную роль. Количество ионов Al в структуре изученных авгитов находится в соответствии с количеством ионов Si, что отражается на рис. 4б. Рассмотрение диаграммы показывает, что основная часть ионов Al (подобно Al^{IV} в ортопироксенах) имеет тетраэдрическую координацию, и что она находится в обратной зависимости от ионов Si. Лишь незначительная часть Al входит в октаэдрическую позицию вместе с другими ионами R^{+3} .

По результатам статистических исследований /3,15,16/ выясняется, что пропорция ионов Al в четверной координации кристаллической решетки клинопироксенов имеет петрогенетическое значение и может стать индикатором степени насыщенности SiO_2 исходной базальтовой магмы. Н.Л.Добрецов и др. /3/ считают, что в ассоциациях недосыщенных SiO_2 ортопироксены и клинопироксены богаче Al , т.к. чермакит ($CaAl_2SiO_6$) можно рассматривать как недосыщенный аналог анортита.

На диаграмме (рис. 5), построенной по данным М.Ле Баса /15/ и Я.Куширо /17/, частично Н.Л.Добрецова и др. /3/ и отражающей вариацию содержания Si и Al в клинопироксенах из различных формационных типов пород, нанесены точки составов изученных клинопироксенов. Из диаграммы видно, что фигуративные точки клинопироксенов Арагацкого комплекса, располагаясь в пределах поля клинопироксенов "орогенных андезитовых формаций", выделенных Н.Л.Добрецовым и др., ложатся в основном на "линии насыщенности" тетраэдрической позиции, или близко подходят к ней. Лишь некоторые точки, соответствующие клинопироксенам кислых пород, заметно смещены в обе стороны от указанной линии, проявляя обратные соотношения ионов Si и Al . Однако, как явствует из диаграммы рис.5, точки средних составов клинопироксенов различных пород указанного комплекса ложатся на вышеуказанную линию, что означает насыщенность тетраэдрической позиции ионами Si и Al .

Некоторые детали химизма изученных авгитов иллюстрирует диаграмма (рис. 6), отражающая зависимость между железистостью и кальциевостью клинопироксенов с одной стороны и железистостью и содержанием Al^{IV} ($Ca - Al$ чермакита) с другой, построенная по принципу Добрецова и др./3/. На этой диаграмме ясно, что вариации коэффициента железистости (f) очень невелики, тогда как вариации $Ca - Al$ чермакита и волластонита обнаруживают значительный диапазон, причем относительно больший контраст по содержанию волластонитового компонента обнаруживают авгиты андезитов и андезито-дацитов. Авгиты андезито-базальтов и андезито-дацитов содержат почти одинаковое количество волластонитового компонента и близки по содержанию $Ca-Al$ чермакита. Авгиты андезитов и дацитов резко отличаются по содержанию Ca , причем в первых наименьшее, во-вторых, наоборот, наибольшее. Вместе с

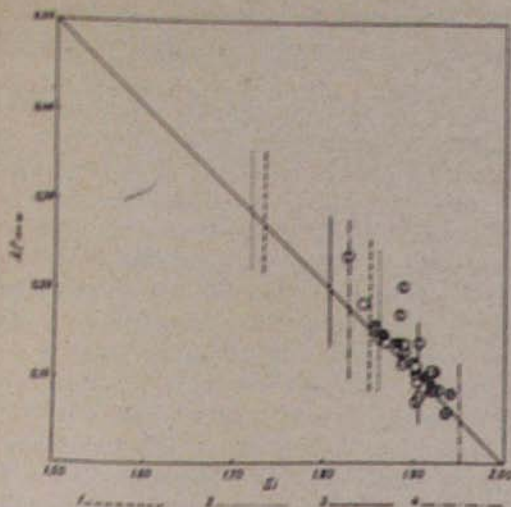


Рис. 5. Соотношение атомов Si и Al IV-VI в

клинопироксенах Арагацского комплекса. Поля клинопироксенов: 1 - целочных пород без фельдspathoidов (по Куширо и Ле Басу), 2 - континентальной олигит-базальтовой формации, 3 - океанической олигит-базальтовой формации, 4 - оротенных андезитовых формаций (2-4 по Добрецову и др.). Усл. знаки те же, что и на рис. 1 и 3.

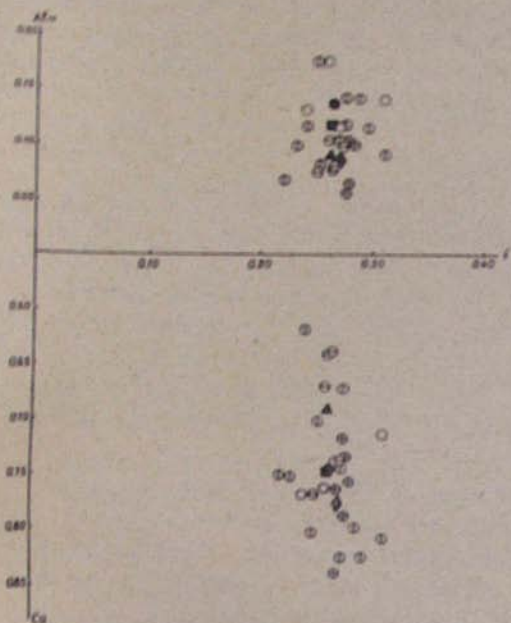


Рис. 6. Зависимость между содержаниями Ca - Al чермакита, волластонита и железистость в клинопироксенах Арагацского комплекса. Усл. знаки соответствуют таковым на рис. 5.

тем по содержанию Са-Al чермакита они почти не отличаются и в целом содержат меньше этого компонента, чем авгиты основных пород и андезитов-дацитов.

Для изучения характера изоморфных замещений в моноклинных пироксенах Арагацкого вулканического комплекса использован статистический метод главных компонент /17/. Расчеты выполнены по программе ВСКГЕМ "факторный анализ" в лаборатории математических методов ИГиН АН Армянской ССР. Полученные результаты показывают, что ведущим трендом (I фактор) изменчивости клинопироксенов изученного комплекса является авгитовое замещение $Mg_{-1}Si_7Fe_6^{+2} \longleftrightarrow Ca_8Al_7Fe_5^{+3}$ отвечающее гетеровалентным замещениям в тетраэдрической и октаэдрической позициях. Формула второго фактора имеет вид $Fe_5^{+3}Al_4Na_3Mg \longleftrightarrow Ti_7Ca_6$. Этот тренд отвечает сопутствующим замещениям шестерной позиции и крупном полиэдре (восьмерная координация). Установленный тренд свойственен высокомагнезиальным мажолезистым клинопироксенам натриево-калиевых ассоциаций вулканитов. Для изученной серии характерна обратная корреляция между Са-Al чермакитом и Fe^{+2} , т.е. за счет возрастания Fe^{+2} происходит объединение клинопироксенов Са-Al чермакитом, что особенно заметно при переходе от основных пород к среднекислым.

Рентгенометрические данные.

Для изучения структурных особенностей пироксенов Арагацкого комплекса и сопоставления их с химизмом проведены рентгенометрические исследования восьми образцов (по четыре из каждой фазы) в рентгеноструктурной лаборатории ИГиН АН Армянской ССР аналитиком Э.Х.Хуршудян. Образцы сняты на дифрактометре УРС-50 ИМ на железном излучении при режиме на трубке 25 кВ, 10 мА. Рентгенограммы сняты при скорости сканирования 2° в минуту, а для расчета параметров и содержания энстатитовой молекулы - 1° в минуту.

Ортопироксены. Рентгенометрические данные ромбических пироксенов приведены в табл.5. Ортопироксены, диагностированные по методу, предложенному П.С.Званом /18/ по разнице межплоскостных отношений (d_a) линий (10.31) и (060) относятся к бровзиту (а обр.№ 70 - к энстатиту) с колебанием

экстатитового компонента от 72 до 81 %. Аномально высокое содержание экстатитовой молекулы получено только для обр. № 70. Небезинтересно отметить, что содержание экстатитовой молекулы, полученной по рентгеновским параметрам, везде несколько завышено по сравнению с таковой, полученной по результатам химических анализов.

Клинопироксен. Для диагностирования использованы интенсивные рефлексы (221), (310), (311), (131), изолированный и сильный рефлекс (531), а также сильная пара рефлексов (260) и (531). Параметры "b" и $a \cdot \sin \beta$ по линиям (510) и (150) и по линии (060) рассчитаны по номограмме, предложенной Е.П.Солововой и др./19/. Поправка введена по NaCl.

По классификации, предложенной П.С.Звяном /18/ все клинопироксены входят в группу B_1 и относятся к авгитам и эндопсидам (обр. № 1). Величины параметров "b" и $a \cdot \sin \beta$, приведенные в табл. 5 обнаруживают значительные вариации. В той же таблице приведены составы пироксенов, рассчитанные с помощью диаграмм, построенных К.М.Брауном /20/ и К.Висванатаном /21/ по величине параметров "b" и $a \cdot \sin \beta$, а также моль % главных компонентов, рассчитанных по результатам химических анализов. Сравнение данных таблицы указывает на значительное расхождение по содержанию экстатитового и ферросилитового компонентов, тогда как по волластонитовому компоненту получается в основном удовлетворительные результаты. Укажем, что вышеупомянутыми авторами при составлении диаграмм не были учтены более высокие (выше 2-3%) содержания второстепенных компонентов - окислов

Fe^{+3} , Al, Ti, Na и др., первые два из которых содержатся в изученных нами образцах клинопироксенов в несколько повышенном количестве и могли стать причиной указанных расхождений. В работах У.А.Дира и др. /1/ и Н.Виттинда /22/ указывается на то, что из примесей второстепенных элементов наибольшее влияние на величину параметров "b" и $a \cdot \sin \beta$ имеет алюминий ($Al^{IV} + Al^{VI}$). Это подтверждается и на примере проведенного нами изучения клинопироксенов, о чем свидетельствует построенная нами диаграмма (рис. 7), иллюстрирующая обратную зависимость между параметром "b" и общей глиноземистостью.

Постоянное увеличение параметра "b" в связи с уменьшением содержания глинозема в клинопироксенах от основных к кислым

Т а б л и ц а 5

Рентгенометрические данные и состав пироксенов
различных пород Арагацкого вулканического комплекса

Обр.	Моноклинные пироксены						Ромбические пироксены					
	Параметры		Состав по рент. данным				Состав по хим. анализам			Параметры	Сост. по рент. данным	Сост. по хим. анализам
	b	asin β	En	Wo	Fs		En	Wo	Fs		En	En
I	8,904	9,354	51	44	5		45,5	39,2	15,3	0,012	81	75,5
45	8,914	9,317	52	35	13		49,5	33,5	17,0	0,014	72-75	71,2
58	8,910	9,322	52	38	10		44,6	36,9	18,5	0,014	74-75	73,7
70	8,924	9,365	44	43	13		50,0	46,9	13,1	0,015	95	70,9

Примечание: номера образцов соответствуют таковым на рис.7

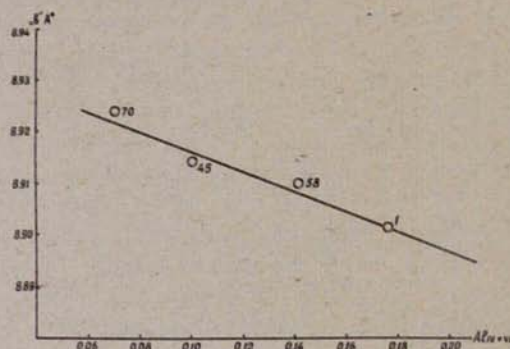


Рис. 7. Зависимость параметра "b" от общей глиноземистости в клинопироксенах Арагацкого комплекса. Номера кружков соответствуют таковым в табл. I.

породам подтверждает гетеровалентное изоморфное замещение типа $Si^{+4} Mg^{+2} \rightarrow 1/3 Al^{+3} 1/3 Al^{+3}$. На диаграммах рис. 8 улавливается прямая зависимость между параметром $a \cdot \sin \beta$ (а) и $"b"$ (б) и ферросиликовым компонентом в изученных клинопироксенах. Более крутой наклон линии вариации $a \cdot \sin \beta$ по сравнению с $"b"$ определяется более сильным влиянием замещения $Mg \rightarrow Ca$, чем $Mg \rightarrow Fe^{+2}$.

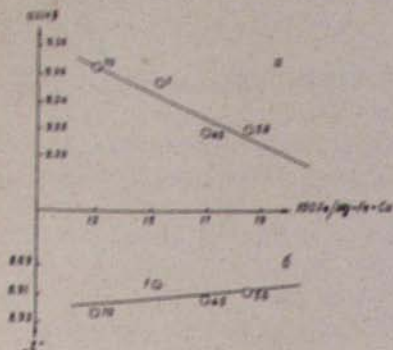


Рис. 8. Зависимость параметров $a \cdot \sin \beta$ и $"b"$ от железистости в клинопироксенах Арагацского комплекса. Номера кружков те же, что и в табл. I.

Завершая рассмотрение оптических свойств, химизма и рентгенометрических данных для пироксенов Арагацского комплекса, подчеркнем следующие закономерности:

1. Как для ортопироксенов, так и клинопироксенов характерны устойчивость состава, вариации в сравнительно узких пределах и принадлежность к магнезиальным членам соответствующих изоморфных рядов. В возрастной последовательности заметной изменчивости их составов не наблюдается. Устанавливаемые различия связаны с переходом от андезитов-базальтов к андезитам и далее к кислым разностям.

2. Вариации в ряду ортопироксенов в указанном направлении состоят в закономерном возрастании ферросилитового компонента (от 22,3 до 31,9%) и в переходе от бронзита к магнезиальному гиперстену.

3. Изученные клинопироксены по химизму близки, имеют авгитовый состав, несколько смещенный к полю эндиопсида. Вариации их составов в том же направлении от основных пород к кислым,

во-первых, приобретают большой размах и, во-вторых, связаны с изменчивостью содержания Са-Al чермакитового и волластонитового компонентов при почти постоянной железистости.

4. Бедущий тренд клинопироксенов изученного комплекса авгитовый ($Si, Mg, Fe^{+2} \longleftrightarrow Al, Ca, Fe^{+3}$), свойственный высокомагнезильным, маложелезистым клинопироксенам натриево-калиевых ассоциаций вулканов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дир У.А., Хаун Р.А., Зусман Дж. - Породообразующие минералы, т.2, Изд. "Мир", М., 1965.

2. Hess H.H. - Orthopyroxenes of the Bushveld type, ion substitutions and changes in unit cell dimensions. Amer. J. Sci., 250, P.1, 1952.

3. Добрецов Н.Л., Кочкин Ю.Н., Кривенко А.П., Кутюлин В.А. Породообразующие пироксены. Изд. "Наука", М., 1971.

4. Добрецов Н.Л. О взаимосвязи между главными ионами ромбических пироксенов и их влиянии на оптические свойства минерала. Зап. ВМО, сер.П, ч.88, вып.6, Изд.АН СССР, М.-Л., 1959.

5. Henriques A. - The influence of cations on the optical properties of orthopyroxenes. Arkiv Min., Geol., 2, 1958.

6. Hori F. - Effects of constituent cations on the refractive indices of orthopyroxenes. Jap. Mineral. j., 1, 1956.

7. Hess H.H. - Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes. Amer. Mineral., 34, N 9-10, 1949.

8. Muir I.D. - The clinopyroxenes of the Skaergaard intrusion, eastern Greenland. Min. Mag., 29, N 214, 1951.

9. Веселовская М.М. Химико-минералогические исследования в области пироксенов диопсид-авгитового ряда. Тр. ИГиН АН СССР, петрографическая серия, вып.86, 1950.

10. Hori F. - Effects of constituent cations on the optical properties of clinopyroxenes. Univ. Coll. Gen. Educ., Sci., Papers, 4, Tokyo, 1954.

11. Poldervaart A., Hess H.H. - Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. Journ. Geol., 59, N 5, 1951.

12. Foiderwaart A. - The relationship of orthopyroxenes to pigeonite. *Min.Mag.*, 28, 1947.
13. Гинзбург И.В. Обзор систематики пироксенов. В сб.: "Минералы Саянских в связи с вопросами петрогенезиса". Изд. "Наука", М., 1970.
14. Грин А.Л., Рингвуд А.С. и др. Петрология верхней мантии. Изд. "Мир", М., 1968.
15. Le Bas M.I. - The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their percentage. *Amer.Journ.Sci.*, v.260, N 4, 1962.
16. Kushiro I. - Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. *Amer.Journ.Sci.*, v.258, N 8, 1960.
17. Дуденко Л.Н., Центер И.И., Румянцева Н.А., Марковский Б.А., Порошин Е.Е. Типы трендов и изоморфных замещений в авгитах вулканических ассоциаций. *Зан. ВМО*, ч. CVI, вып.4, 1977.
18. Zwaan P.C. - On the determination of pyroxene by X-ray powder diagrams. *Leidse Geologische Mededelingen*, v.19, 1955.
19. Соколова Е.П., Шнай Г.Х., Орлова М.П. Типоморфные особенности клинопироксенов пород щелочно-габброидной формации (на примере Алданского комплекса). В сб.: "Минералы и парагенезис минералов горных пород и руд". Изд. "Наука", Л., 1979.
20. Brown G.M. - The effect of iron substitution on the unit cell dimensions of the common clinopyroxenes. *Amer.Min.*, 45, 1960.
21. Viswanathan K. - Unit cell dimensions and ionic substitutions in clinopyroxenes. *Amer.Min.*, 51, N 3-4, 1966.
22. Witkind I.I. - Clinopyroxenes from acidic, intermediate, and basic rocks, Little Belt Mountains, Montana. *Amer.Min.*, v.54, N 7-8, 1969.