

*Е.К. Мархинин, П.С. Долганова, Р.О. Радкевич,
Г.С. Шутова*

Институт вулканологам ДВНЦ АН, САХКНИИ ДВНЦ АН СССР

**ПЕПЛЫ ВУЛКАНОВ АЛАИД (ИЗВЕРЖЕНИЕ 1972 г.)
И ТЯТЯ (ИЗВЕРЖЕНИЕ 1973 г.)**

В 1972-1973 гг. на Курилах произошло два крупных извержения в северной и южной частях островной дуги. Извержения эти имели как общие черты, так и отличия.

Общими чертами обоих извержений являются: локализация извержений на склонах, а не на вершинах вулканов; образование мааров, шлаковых конусов и большого количества пепла; базальтовый состав продуктов значительная интенсивность; общее количество изверженного материала, в каждом близкое к 0,2—0,25 км³.

Отличия заключаются в следующем: продолжительность извержения Алаида составила несколько месяцев, Тяти - две недели; у Алаида образовались лавовые потоки, извержение Тяти было чистовзрывным. Извержение Алаида локализовалось на одном, северо-западном склоне. Извер-

женис Тяти происходило на разных склонах — северном и восточном: на северном склоне возникли маары, на восточном — шлаковые конусы.

Специфичным для Тяти явилось образование трещины разрыва длиной свыше 300 м при ширине 5—10 м. Трещина эта на всем протяжении служила отверстием, через которое выделялись вулканические пары и газы. Местами она была осложнена небольшими воронками взрывов. По видимому, трещина эта представляет собой несостоявшийся прорыв, где извержение должно было локализоваться, если бы не произошел прорыв на восточном склоне вулкана.

При извержениях вулканов Алаид и Тятя образовались следующие разновидности вулканогенно-обломочного материала: вулканокласты новых лавовых потоков; обломки взорванных старых лавовых потоков; реэксплозивные продукты; переотложенные взрывом делювиально-аллювиальные отложения; ювенильные бомбы; ювенильные шлаки ювенильные пеплы. Охарактеризуем их вкратце.

Вулканокласты новых лавовых потоков у вулкана Алаид в 1972 г. составили значительную часть общей массы излившейся лавы. Процесс их образования имел свою специфику вследствие излияния лавы в море.

Как на Алаиде, так и на Тяте при последних извержениях были взорваны отдельные старые лавовые потоки, слагающие склоны вулканов, выброшены и переотложены взрывные продукты прежних извержений выброшен и переотложен делювиально-аллювиальный материал склонов. Все эти продукты были перемешаны взрывами между собой и отчасти с ювенильным пепловым материалом. В силу частичной направленности взрывов они были отброшены от очагов взрывов в ряде случаев на 2—3 км. Возникновение этих отложений явилось главным образом следствием одноактных взрывов, образовавших маары. Мощность их достигает двух-трех десятков метров у кромки мааров, а общий объем приблизительно соответствует объему мааров. Он значителен так как поперечники и глубина мааров составляют сотни метров. Так объем маара Влодавца на северном склоне вулкана Тятя оценивается в $(7-10) \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Объем всех мааров в несколько раз больше.

Согласно расчету А.Н. Земцова и А.А. Троня общий объем силикатных продуктов, изверженных из маара Влодавца, составляет приблизительно $22 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Это более чем в два раза больше объема маара, т.е. доля ювенильных материалов, выброшенных из мааров, превышает 50%. Площадь покрытая отложениями мааров, составляет многие десятки километров. Зона падения крупных камней на вулкане Тятя равна приблизительно 20 квадратным километрам.

Ювенильные бомбы, шлаки и пеплы при последних извержениях вулканов Алаид и Тятя явились следствием длительного (от двух недель до нескольких месяцев) действия кратеров, сопровождавшегося постепенным ростом шлаковых конусов.

На Алаиде основной шлаковый конус расположен на одной линии с маарами, ниже них по склону; на Тяте маары и шлаковые конусы возникли на разных склонах.

Ювенильные бомбы на Алаиде и на Тяте нередко в длину превышают один метр. Они часто имеют специфическую четко выраженную форму, указывающую на вращение в пластическом состоянии. Текстура их большей частью пузыристая, шлаковатая и поэтому бомбы хрупкие. Высота полета их составляла от нескольких сотен метров до первых километров. На такое же расстояние они обычно разлетались и в горизонталь-направлении. При извержении Алаида некоторые бомбы падали в море.

Между бомбами и кусками ювенильного шлака резкой границы нет. Основная масса шлака отлагалась на шлаковых конусах и в пределах первых двух-трех километров от них. У вулкана Тятя объем его внутри трехкилометровой зоны составил приблизительно $5 \cdot 10^6$ м.

Ювенильный вулканический пепел был главным продуктом последних извержений обоих вулканов. Для вулкана Тятя объем пепла был подсчитан тремя разными методами и разными лицами, причем результаты подсчетов практически совпали.

В табл. 1 приведены объемы продуктов извержений вулканов Алаид (1972 г.) и Тятя (1973 г.) по основным генетическим разновидностям. Особенный интерес вызывает пепловая составляющая силикатных продуктов этих извержений: в вытяжках из свежих пеплов вулкана Тятя были найдены сложные органические и в том числе предбиологические соединения.

Было отобрано более 150 пепловых проб. Большинство из них было отобрано во время извержений непосредственно после выбросов. Это позволило выяснить некоторые закономерности в изменении гранулометрического и химического состава пеплов.

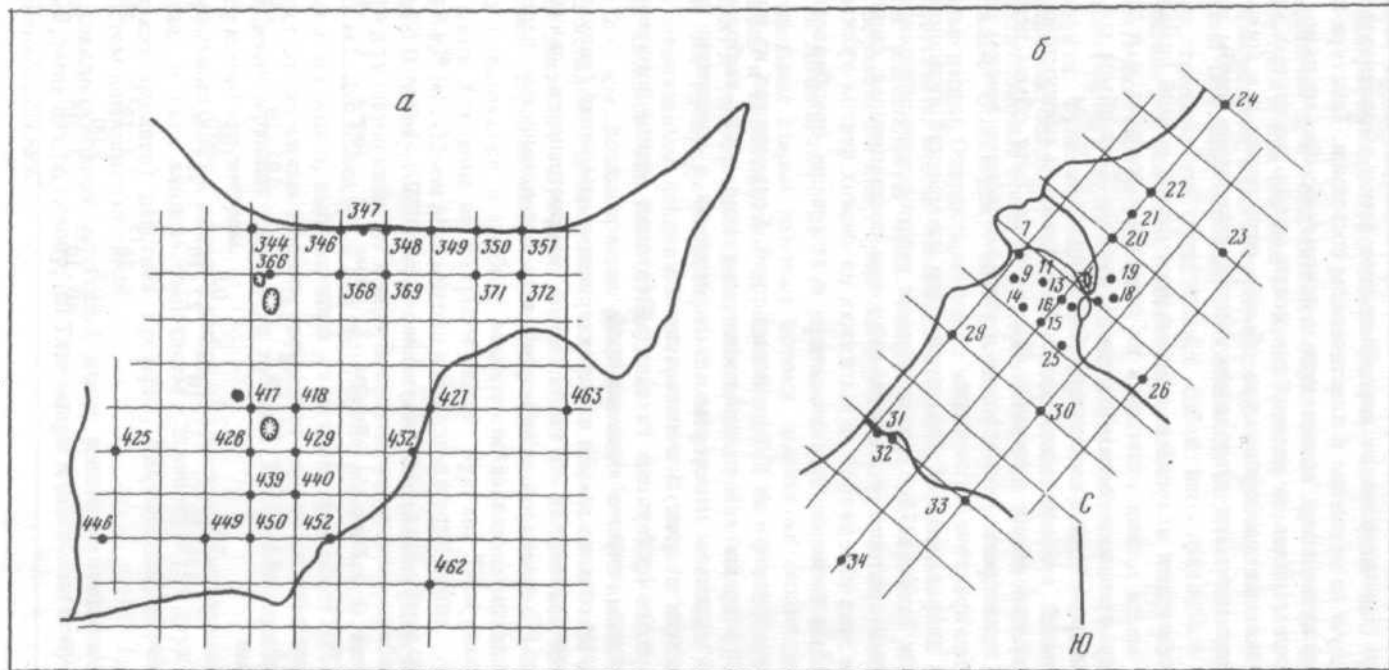
На рисунках 1,а (вулкан Тятя) и 1,б (вулкан Алаид) показаны места взятия основных анализированных проб.

Прежде всего остановимся на характеристике изменений гранулометрического состава пеплов на площади их распространения, связанных с расстоянием от центров извержений и с интенсивностью пеплопадов (направлений переноса).

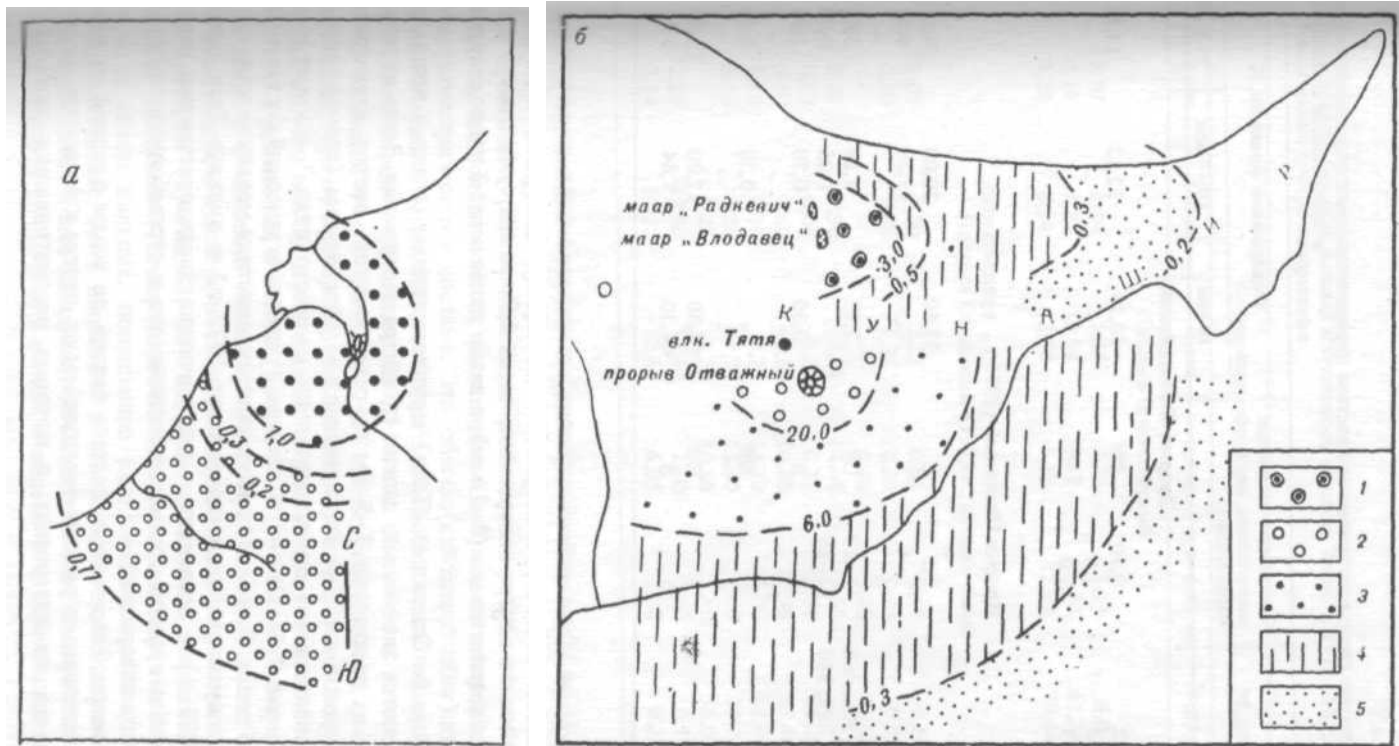
Таблица 1

Объем продуктов извержений вулканов Алаид (1972 г.) и Тятя (1973 г.)

Параметры	Лава	Бомбы	Шлак	Пепел	Итого
Вулкан Алаид					
Объем в см ³	$52 \cdot 10^{12}$	$16 \cdot 10^{12}$	$27 \cdot 10^{12}$	$105 \cdot 10^{12}$	$200 \cdot 10^{12}$
Удельный вес в г/см ³	2,5	2,0	0,8	1,00	—
Общий вес	$130 \cdot 10^{12}$	$32 \cdot 10^{12}$	$22 \cdot 10^{12}$	$105 \cdot 10^{12}$	$289 \cdot 10^{12}$
Вулкан Тятя					
Объем в см ³	—	—	$5 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{14}$	$250 \cdot 10^{12}$
Удельный вес в г/см ³	—	—	0,8	1,00	—
Общий вес	—	—	$40 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{14}$	$240 \cdot 10^{12}$



Р и с. 1. Схемы отбора проб пирокластических отложений на вулканах Тятя (а) и Алаид (б) (извержения 1972, 1973 гг.)



Р и с. 2. Распределение пирокластических отложений на вулканах Алаид (а) и Тятя (б) по данным гранулометрического анализа (извержения 1972,1973 гг.)

**Изменение гранулометрического состава пирокластических отложений прорывов
в зависимости от положения**

Проба, №	Расстояние от центра извержения, км и направление		Содержание фракции, %		
			10 мм	10-7 мм	7-5 мм
Прорыв Олимпийский					
5-12	0,50	ЮЗ	30,15	22,12	13,37
29-30	1,0	"	-	-	-
31-33	3,0	"	-	-	-
Прорыв Отважный (1973 г., вулкан Тятя)					
СВК	0,1	С	37,40	20,08	18,15
417, 429	1-4	"	71,20	17,20	6,50
344	9	"	-	-	-
345, 346, 366, 368	7-10	СВ	2,32	2,18	3,66
371, 388, 349, 350	12-16	"	-	0,05	0,20
432	7	В	0,30	0,70	1,40
463	15	"	-	-	-
452	6	ЮВ	-	0,30	0,60
462	9	"	-	-	-
446	5	ЮЗ	18,80	12,00	15,50
425	5	З	44,30	7,84	5,04

На прорыве Олимпийский (Алаид) в направлениях на юго-запад и северо-восток более крупнозернистые шлаки и пеплы распространяются на 0,5-1 км от центра извержения; через 1,5 км они существенно изменяются до псаммитовых (2-1 мм), а затем далее через 3 км до алевроитопелитовых (табл. 2, рис. 2, а).

На прорыве Отважный (Тятя) крупнозернистые шлаки и пеплы распространяются значительно дальше от центра извержения. Здесь их можно встретить на расстоянии 3-5 км на северо-восток, восток и юго-запад, запад. Переход к более мелкозернистым отложениям (псаммитовым и алевроитопелитовым) происходит лишь на расстояниях 7-9 км от жерла (табл. 2, рис. 2, б). На рис. 3 показан гранулометрический состав типичных проб пепла. В табл. 3 приведена характеристика механического состава пеплов вулкана Алаид (извержение 1972 г.) и вулкана Тятя (извержение 1973 г.) в сравнении с аналогичными характеристиками пеплов Ключевского вулкана для стромболианского и стромболианско-вулканского типов извержений.

Извержение химического состава пеплов по зонам с разной интенсивностью пеплопада и разным расстоянием от центра извержения, т.е. примерно в тех же интервалах, в которых рассматривались наиболее за-

Олимпийский (вулкан Алайд) и Отважный (вулкан Тятя) в 1972-1973 гг. относительно центра извержения

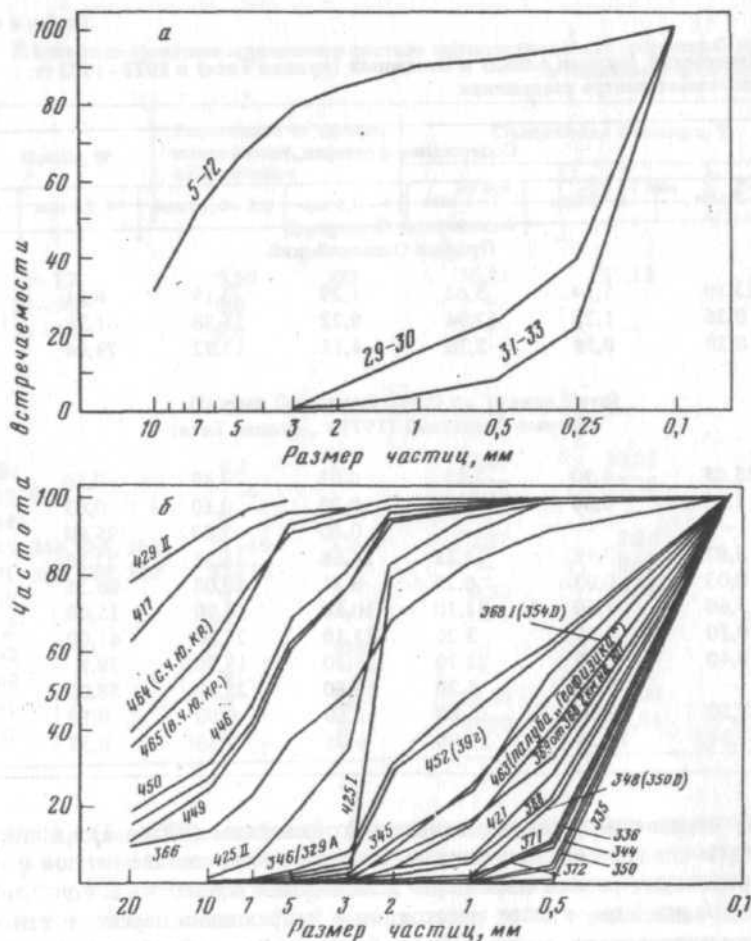
Содержание фракции, %						
5-3 мм	3-2 мм	2-1 мм	1-0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25 мм	Итого
Прорыв Олимпийский						
13,10	5,14	5,63	1,29	3,19	6,01	100
0,26	1,23	12,94	8,72	15,38	61,38	100
0,29	0,54	2,76	4,15	12,92	79,44	100

Прорыв Отважный (1973 г., вулкан Тятя)

15,05	4,30	2,15	0,05	0,40	0,10	100
2,80	0,80	1,25	0,20	0,10	0,03	100
-	-	-	0,40	3,80	95,60	100
5,87	7,90	13,11	14,68	16,52	33,56	100
0,03	0,05	0,25	0,71	10,08	88,25	100
3,60	7,60	41,10	10,80	18,90	15,60	100
0,10	0,30	3,20	11,10	24,00	61,00	100
0,40	3,20	23,70	15,40	15,70	39,7	100
-	0,40	5,20	10,80	25,60	58,00	100
22,20	12,50	15,40	2,60	0,90	0,10	100
7,34	10,25	12,60	6,05	2,30	0,32	100

метные изменения гранулометрического состава (табл. 3), приводит авторов к следующим результатам. В химическом составе пеплов и шлаков происходит резкое изменение количества кремнезема и полуторных окислов, зависящее как от расстояния и направления переноса, так и от гранулометрического состава. Это обычно связывается с дифференциацией материала в процессе аэриального переноса, с высотой выбросов пепла и силой взрывов (Соколов, 1973).

В таблицах 4 и 5 мы видим, что пеплы, собранные на расстоянии до 0,6 километра от кратеров прорыва Олимпийский, имеют более основной характер, чем пеплы, взятые на более удаленных участках. Они содержат меньше кремнезема и калия (пробы 14-21), больше глинозема и окиси кальция, а отношение окислов железа приближается в них к единице. В юго-западном и северо-восточном направлениях на расстояниях 2-3 км от кратеров (пробы 23, 26) наблюдается хорошо выраженная тенденция к повышению содержания кремнезема, резкому снижению глинозема и окиси кальция, повышению количества окиси калия. Эта тенденция наиболее ярко выражена в северо-восточном направлении и несколько слабее в юго-западном. Объясняются эти более резкие изменения в содержаниях глинозема и окислов железа на северо-востоке, очевидно,



Р и с. 3. Гранулометрический состав пирокластических отложений вулканов Алайд (а) и Тятя (б) (извержения 1972, 1973 гг.)

не только влиянием аэральной дифференциации, но также увеличением примеси резургентных пеплов более кислого состава.

На прорыве Отважный (вулкан Тятя) также наблюдаются колебания в химическом составе пирокластических отложений, зависящие от факторов, рассмотренных при описании отложений прорыва Олимпийский. Но в отличие от последнего здесь изменения происходят на значительно больших расстояниях от центра извержения и не столь явно. Это видно по данным таблиц 6 и 7, характеризующим химический состав пирокластов на разных расстояниях от очага извержения. В ближайших (до 1 км) зонах интенсивного пеплопада устанавливается более основной состав отложений: пробы 417, 429-Н по химизму близки к базальтам. В удаленных

зонах, на расстояниях 3, 5, 7, 15 километров от жерла, с понижением интенсивности пеплопада наблюдаются заметные колебания в содержаниях кремнезема (51—53%) и глинозема (14—18%), в содержаниях окислов железа (5—7%) и магнезия (3—5%). Наибольшие колебания, как мы видим (табл. 6, 7), связаны с изменением направления и дальности аэрального переноса пепловых туч. Они возникают в пеплах (96/73, 97/73, 463), расположенных к востоку и юго-востоку от вулкана, на расстоянии 3-5 км от центра и к юго-западу и западу (пробы 440,450). Пеплы (пробы 371—388), расположенные к северо-востоку от вулкана, почти не изменяют своего состава даже с увеличением дальности переноса. Зональность интенсивности пеплопада, замеченная Соколовым (1973), здесь подчеркивается повышением содержания кремнезема до 53,76% и небольшим понижением содержания окисного железа. Количество глинозема остается почти без изменения даже с увеличением расстояния от очага извержения (7—12 км). Очевидно, в этом направлении происходило расширение границ зоны интенсивного пеплопада за счет отложения рэзургентных пеплов, выброшенных направленным взрывом при образовании мааров (Радкевич и Влодавец) на северном склоне. Состав материала на месте взрыва отвечает среднему составу базальтов.

В восточном, южном и западном направлениях от кратера Отважный изменения химического состава вулканокластов заметны только при сравнении их состава с составом пеплов, взятых из зоны интенсивного пеплопада. В этом случае отчетливо видно (см. табл. 6, 7) поведение всех элементов в зависимости от увеличения расстояния от центра извержения и направления переноса.

Особенно интересно поведение глинозема и окислов железа. Глинозем во всех пеплах однозначно снижается до 15—14%. Закисное железо снижается до 5—8% на востоке, но достигает более высокого содержания и составе пеплов на юге и западе. Окисное железо в этих же пробах, как правило, возрастает до 8,33% на востоке, а на юге и западе составляет 6,5-7%, не опускаясь ниже уровня содержания в пеплах зоны интенсивного пеплопада (пробы 417, 429-И). Аналогичные тенденции в изменениях содержания отмечаются также для окислов натрия и калия. Поведение первого отвечает в некоторой степени характеру количественных изменений закисной формы железа, второго — окисной. Снижение содержания окисного железа и увеличение закисной формы в пеплах можно объяснить гравитационной дифференциацией при аэральном переносе пирокластики (Гущенко, 1965). Но повышение его количества даже на небольших расстояниях или резкое колебание (см. табл. 5) уже свидетельствует, согласно данным Дж. Кеннеди (1950) и И.И. Гущенко (1965), о наступлении иного или неустойчивого режима эруптивной деятельности вулкана. Об этом также свидетельствуют выбросы черных пеплов в конце извержения кратера Отважный. Их образование, так же как и образование окисной формы железа, связано с повышенным парциальным давлением кислорода в канале вулкана (Кеннеди, 1950; Гущенко, 1965) в моменты усиления активности извержения.

Таблица 3

Сравнение механического состава пеплов и шлаков по типам извержения

Вулкан	Время извержения	Тип извержения	Расстояние от центра извержения, км	Проба, №	Содержание фракций, %		
					10 мм	10-7 мм	7-5 мм
Прорыв Олимпийский (Алаид)	1972, VI-VIII	-	0,5	1-12	30,29	20,47	10,55
			1;0-1,5	29-30	-	-	-
			3,0	31-33	-	-	-
Прорыв Отважный (Гятя)	1973, VI	-	1-3	417-429	71,20	17,20	6,50
			9	462	-	-	-
			15	463	-	-	-
Ключевской*	1962, 20-22/XI	Стромболианский	8	-	-	-	-
			21	-	-	-	-
	1962, 28-29/XI	Стромболианско-вулканский	11	-	-	-	-
			21	-	-	-	-
Ключевской*	1962, 8/XII	Вулканский	32,5	-	-	-	-
	1962, 9/XII		32,5	-	-	-	-

* Данные И.И. Гущенко (1965).

Таблица 3 (окончание)

Вулкан	Содержание фракций, %						Итого	Средний размер зерен, мм
	5-3 мм	3-2 мм	2-1 мм	1-0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25 мм		
Прорыв Олимпийский (Алаид)	13,23	5,73	7,06	2,36	3,82	6,37	100	
	0,26	1,23	12,94	8,72	15,38	61,38	100	
	0,29	0,54	2,76	4,15	12,92	79,44	100	
Прорыв Отважный (Тятя)	2,80	0,80	1,25	0,20	0,10	0,03	100	
	-	0,40	5,20	10,30	25,10	58,00	100	
	0,10	0,30	3,20	11,10	24,00	61,00	100	
Ключевской*	-	-	-	-	15,1	84,9	100	0,066
	-	-	-	-	0,57	99,43	100	
	-	-	-	-	25,06	74,94	100	0,0312
Ключевской*	-	-	-	-	31,13	68,87	100	0,066
	-	-	-	-	1,15	98,85	100	0,0605
	-	-	-	-	-	100,0	100	0,1420

**Изменение химического состава пирокластических отложений прорыва Олимпийский
(вулкан Алай) в зависимости от положения относительно центра извержения
и направления выбросов**

Проба, №	Расстояние от центра извержения, км	Направление от центра извержения, км	Компоненты, вес. %				
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
14	0,6	К юго-западу	49,63	0,82	18,40	5,68	5,71
18	0,6	То же	48,98	0,82	18,61	5,57	5,63
19	0,6	"	49,40	0,89	18,34	6,01	4,37
21	0,6	"	49,42	0,80	18,60	4,72	6,47
Среднее		"	49,35	0,83	18,48	5,49	5,54
23	2,0	К северо-востоку	50,08	1,00	16,24	7,43	5,54
24	3,0	К востоку	50,11	1,03	16,35	7,67	5,26
Среднее			50,09	1,01	16,29	7,55	5,09
33	3,0	К юго-западу	50,70	0,82	17,06	6,18	5,14
36	3,0	То же	50,23	0,73	17,32	5,71	5,35
Среднее			50,46	0,77	17,18	5,94	5,24

Таблица 4 (продолжение)

Проба, №	Расстояние от центра извержения, км	Направление от центра извержения, км	Компоненты, вес. %				
			MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
14	0,6	К юго-западу	0,23	3,91	11,27	3,48	0,90
18	0,6	То же	0,14	3,48	12,14	3,53	0,94
19	0,6	"	0,17	4,12	12,16	3,38	0,98
21	0,6	"	0,16	3,46	12,13	3,37	0,99
Среднее		"	0,17	3,74	11,92	3,44	0,95
23	2,0	К северо-востоку	0,19	4,68	9,64	3,62	1,23
24	3,0	К востоку	0,20	4,65	9,84	3,48	1,20
Среднее			0,19	4,66	9,74	3,55	1,21
33	3,0	К юго-западу	0,20	4,42	9,96	3,68	1,16
36	3,0	То же	0,23	4,80	10,01	3,67	1,13
Среднее			0,21	4,61	9,98	3,67	1,14

Таблица 4 (окончание)

Проба, №	Расстояние от центра извержения, км	Направление от центра извержения, км	Компоненты, вес. %				
			P ₂ O ₅	S _{общ}	H ₂ O	П.п.п.	Сумма
14	0,6	К юго-западу	0,22	0,22	0,09	—	100,56
18	0,6	То же	0,32	0,18	0,14	—	100,48
19	0,6	"	0,25	0,12	0,12	—	100,91
21	0,6	"	0,23	0,07	0,14	—	100,56
Среднее		"	0,25	0,15	0,12	—	100,43
23	2,0	К северо-востоку	0,26	0,08	0,05	—	100,04
24	3,0	К востоку	0,25	0,06	0,04	—	100,14
Среднее			0,25	—	—	—	99,63
33	3,0	К юго-западу	0,23	0,04	0,11	0,08	99,78
36	3,0	То же	0,20	0,07	0,12	0,44	100,01
Среднее			0,21	0,05	0,11	0,26	100,19

В таблицах 4 и 6 приведены величины отношений закисного и окисного железа. В первые сутки извержения на вулкане Тятя количество закисной и окисной формы железа находилось в отношении, равном 0,81, в последующие сутки и затем почти до конца эруптивной деятельности оно достигало значений от 1 до 1,49. Максимальные его величины отмечались в зоне преимущественного распространения резургентных пеплов, содержащих больше закисного железа, чем окисного (см. табл. 5, проба 388). Неустойчивые значения величины отношений наблюдаются на востоке, юге и юго-западе, т.е. в зоне отложения преимущественно ювенильного материала (пробы 446 и 450, см. табл. 6).

Приведенные данные по гранулометрическому и химическому составу и описанные особенности их количественных изменений на площади распространения пирокластики дают основание считать, что аэральный перенос вулканогенного материала при извержениях на прорывах Олимпийский и Отважный сопровождался однонаправленной гравитационной дифференциацией вещества, близкой к типу Квицапу (Larssen, 1937). Дифференциация здесь, как в типичном случае, приводила к повышению количества кремнезема и окиси калия и снижению количества других элементов в составе пирокластики по мере увеличения дальности переноса. В колебаниях содержания других компонентов наблюдаются, однако, отклонения от общей направленности их к снижению и иногда настолько существенные, что по характеру колебания, например, окиси магния в пеплах в зависимости от дальности переноса можно было бы выделить другой тип дифференциации (Геклы). В этом отношении интересными являются изменения в содержании окислов магния в пробах 440—450 (см. табл. 6) на прорыве Отважный, аномальные для хода аэраль-

Числовые характеристики по А.Н. Заварицкому

Проба, №	a	b	c	s	a ²	c ²
6	8,6	23,0	8,4	60,0	—	15,0
8	9,1	22,4	8,5	60,0	—	15,5
11	9,4	23,4	7,9	59,4	—	19,6
12	9,1	24,4	7,9	58,6	—	20,7
14	9,2	23,7	8,0	59,1	—	25,8
16	9,6	23,4	8,0	59,0	—	32,0
18	9,3	23,8	8,2	58,7	—	30,0
19	9,4	34,0	7,9	58,7	—	30,3
21	9,2	23,6	8,3	58,9	—	30,0
23	9,8	25,6	6,1	58,5	—	22,6
24	9,6	25,7	6,3	58,5	—	22,6
33	9,8	23,8	6,8	59,6	—	23,7
36	9,9	24,2	6,9	59,0	—	22,7

Таблица 5 (окончание)

Проба, №	f	m	n	t	Q
6	51,0	34,0	83,5	1,19	26,6
8	49,5	35,0	85,3	1,95	23,4
11	47,2	33,2	85,0	2,03	22,9
12	45,0	34,3	84,6	1,30	20,5
14	45,5	28,7	85,4	1,19	21,4
16	44,3	23,7	85,0	1,20	30,4
18	44,4	25,6	86,0	1,21	20,5
19	40,2	29,5	84,5	1,32	22,2
21	44,5	25,5	83,8	1,20	17,3
23	46,2	31,2	82,3	1,53	24,7
24	46,2	31,2	81,2	1,53	25,8
33	44,4	31,9	85,0	1,15	22,8
36	43,1	34,2	84,2	1,06	20,7

Аналитик Д.Г. Воронова (СахКНИИ).

ной дифференциации типа Квицапу и характерные для дифференциации типа Геклы. В последнем случае, как известно, количество магния возрастает с увеличением расстояния от центра извержения. Характерно, что при этом типе дифференциации это возрастание происходит одновременно с понижением количества кремнезема в периферических зонах пеллопада, чего на самом деле мы не наблюдаем (обр. 440-450, табл. 6, 7). Дело здесь, по-видимому, во влиянии магматической дифференциации. Сравнение состава пирокластов и магматических дифференциатов (табл. 8—11) показывает, что изменения в процессе кристаллизационной дифференциации магмы в очаге извержения существенно влияют на характер и направленность аэральную дифференциации в рыхлых продуктах извержения.

Изменение химического состава пирокластических отложений прорыва Отважный (вулкан Тятя) в зависимости от положения относительно центра извержения 1973 г.

№ пробы	Расстояние от вулкана, км	Направление переноса	Содержание окислов				
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
СКЮКР	0,1	Север	52,49	1,26	15,74	5,59	7,92
425-I	4	СЗ	51,79	1,25	17,34	4,62	7,71
417	3	"	50,71	0,84	18,64	5,26	6,13
429-II	1	"	50,54	0,83	17,91	5,11	5,47
Среднее		"	51,01	0,97	17,96	5,00	6,44
97/73	7	ЮВ	52,57	0,90	15,10	11,6	2,74
96/73	7	"	52,07	1,32	15,31	5,50	7,63
Среднее		"	52,32	-	15,20	8,33	5,18
371	15	СВ	53,68	0,83	18,12	4,23	5,68
372	16	"	53,84	0,83	19,04	3,35	5,70
388	16	"	53,75	0,83	18,44	3,98	5,86
Среднее		"	53,77	0,83	88,53	3,85	5,85
463	15	В	53,54	1,16	14,60	7,62	6,20
440	1	"	52,23	1,33	14,39	5,89	7,51
446	5	Юг	52,37	1,36	13,81	7,22	7,64
449	3	"	52,85	1,25	14,55	5,67	7,99
450	4	"	52,82	1,27	14,86	5,14	7,98
Среднее		"	52,57	1,30	14,40	5,98	7,78

Аналитик Л. Г. Воронова (СахКНИИ).

Таблица 6 (продолжение)

№ пробы	Расстояние от вулкана, км	Направление переноса	Содержание окислов				
			MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
СКЮКР	0,1	Север	0,20	3,50	9,12	3,37	0,75
425-I	4	СЗ	0,23	4,04	8,59	3,42	0,61
417	3	"	0,21	5,01	9,37	2,70	0,55
429-II	1	"	0,22	5,20	9,42	4,91	0,51
Среднее		"	0,22	4,75	9,12	3,67	0,56
97/73	7	ЮВ	0,20	4,02	9,57	2,57	0,60
96/73	7	"	0,14	4,44	9,81	3,27	0,64
Среднее		"	-	4,23	9,69	2,92	0,62
371	15	СВ	0,23	4,06	8,53	3,01	0,67
372	16	"	0,25	4,03	8,58	3,01	0,49
388	16	"	0,22	3,89	8,48	3,05	0,59
Среднее		"	0,23	3,99	8,54	3,02	0,56
463	15	В	0,19	4,00	8,47	3,64	0,67
440	1	"	0,24	5,53	8,76	3,18	0,60
446	5	Юг	0,21	5,09	8,99	2,94	0,60
449	3	"	0,18	4,84	9,29	3,21	0,58
450	4	"	0,16	4,81	9,38	2,90	0,63
Среднее		"	0,20	5,07	9,10	3,06	0,60

Таблица 6 (окончание)

№ пробы	Расстояние от вулкана, км	Направление переноса	Содержание окислов				
			P ₂ O ₅	Собщая	H ₂ O	П.п.п.	Сумма
СКЮКР	0,1	Север	0,07	Нет	Нет	Нет	100,01
425-1	4	СЗ	0,01	0,03	0,08	Н/обн	99,72
417	3	"	0,08	0,8	0,11	0,02	99,71
429-П	1	"	0,01	0,13	0,08	Н/обн	100,34
Среднее		"	0,03	0,08	0,09	"	99,90
97/73	7	ЮВ	0,07	Нет	Нет	Нет	99,50
96/73	7	"	0,06	0,02	"	"	100,21
Среднее		"	0,06	0,01	-	-	99,85
371	15	СВ	0,01	0,08	0,15	0,46	99,74
372	16	"	0,01	0,13	0,12	0,27	99,65
388	16	"	0,01	0,08	0,06	0,45	99,69
Среднее		"	0,01	0,09	0,11	0,39	99,69
463	15	В	0,09	0,05	0,06	0,18	100,27
440	1	"	0,08	0,01	0,12	-	99,87
446	5	Юг	0,08	0,08	-	-	100,39
449	3	"	0,07	0,03	0,02	-	100,53
450	4	"	0,07	0,07	-	-	100,09
Среднее		"	0,08	0,06	0,05	-	100,25

Это видно на диаграммах, построенных по методу А.Н. Заварицкого (1950), на основании данных химического анализа пирокластических отложений на прорывах Олимпийский (рис. 4) и Отважный (рис. 5). В том и другом случаях заметно, что в ходе аэральной дифференциации рыхлые продукты извержения в своем распределении на площади повторяют общую направленность изменения состава в магматическом расплаве. Так, на рис. 4 (см. табл. 8, 9) порядок распределения фигуративных точек 49—57, отвечающих составу магматических дифференциатов, отражается в расположении фигуративных точек (табл. 12, 13), характеризующих состав продуктов аэральной дифференциации, перенесенных на разные расстояния от центра извержения прорыва Олимпийский.

Рассматривая состав вулканических бомб в качестве приближенных представителей продуктов кристаллизационной дифференциации магмы в очаге извержения, мы видим, что они, согласно химической классификации А.Н. Заварицкого (1955), относятся к породам нормального ряда, слегка недосыщенным кремнеземом (класс 5), бедным щелочами (гр. 19), богатым железом и магнием (подгруппа Б). Их состав (см. рис. 4) изменяется в порядке расположения фигуративных точек, объединенных вариационными кривыми I, II, III, характеризующими изменение химизма пород в I, II, III циклах кристаллизационной дифферен-

Числовые характеристики по А.Н. Заварицкому

Проба, №	a	b	c	S	a ^p
СКЮКР	8,55	23,50	6,35	61,60	—
425-1	8,58	21,96	7,66	61,80	—
417	7,00	22,50	5,90	61,00	—
429-II	11,50	23,80	6,30	58,40	—
97/73	6,6	24,3	7,1	62,0	—
96/73	8,0	25,3	6,20	60,5	—
371	7,7	18,8	8,9	64,6	—
372	7,6	17,6	9,6	65,2	—
388	7,9	18,6	9,0	64,5	—
463	8,9	24,3	5,3	65,5	—
440	7,8	26,4	5,6	60,2	—
446	7,2	27,3	5,3	60,2	—
449	7,8	26,2	5,6	60,4	—
450	7,2	25,8	5,9	61,2	—

Аналитик Л.Г. Воронова (Сах КНИИ).

Таблица 7 (окончание)

Проба, №	e	f	m	n	t	Q
СКЮКР	20,60	53,80	25,60	88,60	1,8	20,6
425-1	14,10	53,80	32,1	90,00	1,80	18,6
417	10,8	49,8	39,3	89,3	1,17	21,1
429-II	21,80	41,10	37,10	94,00	1,72	18,50
97/73	19,8	51,5	28,7	87,0	1,23	40
96/73	22,3	47,8	29,9	90,5	1,83	18,4
371	10,6	51,1	38,2	88,5	1,10	20,1
372	8,2	51,1	40,7	90,2	1,15	17,1
388	10,4	52,2	37,4	89,0	1,11	19,3
463	20,4	51,9	27,7	91,0	1,11	26,9
440	18,4	46,5	35,1	90,3	1,91	19,0
446	19,5	49,2	31,3	89,6	1,91	22,3
449	21,2	47,8	31,0	90,5	1,78	18,3
450	21,3	47,4	31,3	88,7	1,78	17,2

циации. Этот порядок подчеркивает изменения состава магмы в сторону увеличения ее мелановократовости и щелочности в каждом цикле в связи с накоплением в расплаве то Fe, Ca, Mg, то Na и K, входивших в состав пород с непостоянным соотношением. Накоплению щелочей (Na, K) в расплаве отвечает все больший сдвиг вариационных кривых I, II, III (см. рис. 4) вправо. Повышение содержания фемических

**Химический состав магматических дифференциатов прорыва
Олимпийский (1972 г.)**

№ пробы	Наименование	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
Б-1	Бомба	50,40	0,76	17,64	5,77	6,13
Ф-53	"	49,90	0,73	17,67	4,28	6,76
118	"	49,89	0,76	17,62	6,13	4,95
136	"	49,88	0,79	17,83	5,64	5,82
Б-3	"	49,42	0,75	18,00	6,30	4,62
115	"	49,94	0,65	17,90	5,61	5,00
114	"	49,46	0,67	18,14	5,77	5,71
139	Шлак	49,23	0,18	17,30	7,32	4,38
138	"	49,33	0,66	18,19	5,94	4,38

Таблица 8 (продолжении)

№ пробы	Наименование	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Б-1	Бомба	0,19	4,00	9,24	3,75	1,95
Ф-53	"	0,17	3,53	10,56	3,65	2,04
118	"	0,18	5,70	8,95	3,73	1,99
136	"	0,16	4,68	8,84	3,88	2,02
Б-3	"	0,17	5,28	9,24	3,61	1,90
115	"	0,16	3,61	11,07	3,45	1,82
114	"	0,12	4,44	9,41	3,57	1,94
139	Шлак	0,17	4,64	9,68	3,50	1,16
138	"	0,14	4,45	9,96	3,49	1,17

Таблица 8 (окончание)

№ пробы	Наименование	P ₂ O ₅	S общая	H ₂ O	П.п.п.	Сумма
Б-1	Бомба	0,4	0,03	Нет	Нет	100,07
Ф-53	"	0,34	0,07	"	"	99,52
118	"	0,42	0,08	"	"	100,40
136	"	0,41	0,01	"	"	99,96
Б-3	"	0,41	0,09	"	"	99,79
115	"	0,41	0,21	"	"	99,63
114	"	0,28	0,09	0,09	0,09	99,78
139	Шлак	0,18	0,05	0,63	1,27	100,32
138	"	0,22	0,40	0,60	0,87	99,80

Числовые характеристики, рассчитанные по А. Н. Заварицкому

№ пробы	a	b	c	S	a
Б-1	11,3	23,3	6,4	59,0	—
Ф-53	11,2	23,0	6,4	59,4	—
118	11,2	24,5	6,4	57,9	—
136	11,7	23,4	6,4	58,5	—
Б-3	10,6	24,1	6,9	58,4	—
115	10,4	23,2	7,2	59,2	—
114	10,7	23,2	7,2	58,9	—
139	9,7	23,7	7,3	59,3	—
138	9,8	22,7	7,9	59,6	—

Таблица 9 (окончание)

№ пробы	f	m	c'	n	t	Q
Б-1	48,3	29,8	21,9	74,7	1,2	22,6
Ф-53	46,0	25,4	28,6	74,0	1,7	16,6
118	41,3	39,6	19,1	74,9	1,2	21,3
136	45,5	34,6	19,9	75,1	1,2	20,8
Б-3	42,1	38,6	19,3	74,5	1,8	23,3
115	45,5	25,4	29,1	75,0	1,7	21,2
114	46,4	33,5	20,1	74,4	1,8	21,9
139	43,7	34,8	21,5	82,4	1,2	24,7
138	43,5	35,1	21,4	82,4	1,1	23,4

Таблица 10

Химический состав магматических дифференциатов в продуктах извержения 1973 г. прорыва Отважный (вулкан Тятя)

Магматические дифференциаты	№ пробы	Компоненты				
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
Район воронки Влодавец	39/73	53,17	1,52	14,97	4,77	8,24
Район мыса Рубежный, 18 июня 1973 г.	20/73	52,65	1,14	15,94	5,57	6,92
1,5 км на юго-восток от Отважного на глубине 30 см (шурф, 1,40 м)	120/73	52,71	1,29	15,10	6,61	6,85
Кратер Отважный	72/73	51,86	1,39	15,72	4,08	9,89

Таблица составлена по данным А. И. Абдурахманова.

Таблица 10 (продолжение)

Магматические дифференциаты	№ пробы	Компоненты					
		MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Район воронки Влодавец	39/73	0,18	3,89	9,56	2,92	0,83	0,06
Район мыса Рубежный, 18 июня 1973 г. 1,5 км на юго-восток от Отважного на глубине 30 см (шурф, 1,40 м)	20/73	0,21	3,75	10,30	2,94	0,79	0,04
Кратер Отважный	120/73	0,22	3,38	9,35	3,15	0,82	0,06
	72/73	0,19	4,57	8,36	3,33	0,69	0,03

Таблица 10 (окончание)

Магматические дифференциаты	№ пробы	Компоненты				Породы
		S общая	H ₂ O	П.п.п.	Сумма	
Район воронки Влодавец	39/73	0,02	Нет	Нет	100,13	Первая порция лавы
Район мыса Рубежный, 18 июня 1973 г. 1,5 км на юго-восток от Отважного на глубине 30 см (шурф, 1,40 м)	20/73	Нет	"	"	100,25	Шлаковые бомбы (лапилли)
Кратер Отважный	120/73	"	0,02	0,11	99,67	Лапилли
	72/73	"	Нет	Нет	100,20	Последняя порция лавы

Таблица 11

Числовые характеристики, рассчитанные по методу А.Н. Заварицкого

№ пробы	a	b	c	s	a'	c'	f
39/73	7,7	24,1	6,2	62,0	—	22,7	49,8
20/73	7,8	23,8	6,9	61,5	—	24,3	48,7
120/73	8,2	23,8	6,0	62,0	—	23,0	52,6
72/73	8,1	24,8	6,5	60,6	—	15,5	53,6

Таблица 11 (окончание)

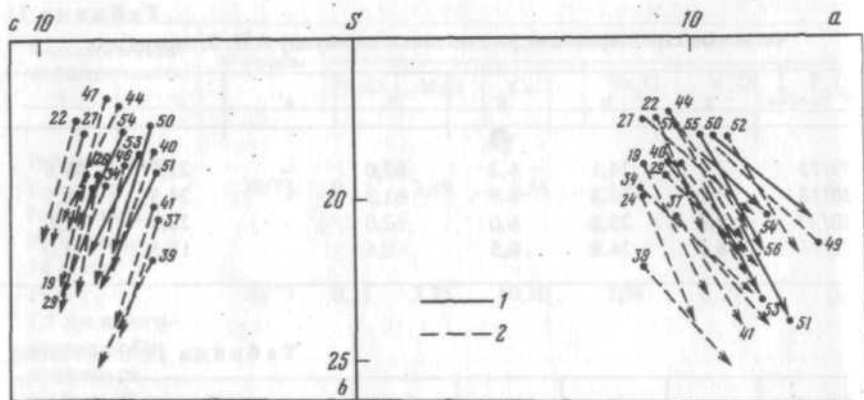
№ пробы	m	n	t	Q	Породы
39/73	27,5	84,00	2,1	16,7	Первая порция лавы
20/73	27,0	83,8	1,57	20,0	Шлаковые бомбочки (лапилли)
120/73	24,4	84,9	1,79	23,8	Лапилли
72/73	31,2	89,0	2,04	14,3	Последняя порция лавы

Таблица 12

Кристаллизационные дифференциаты в очаге извержения (к рис. 4)

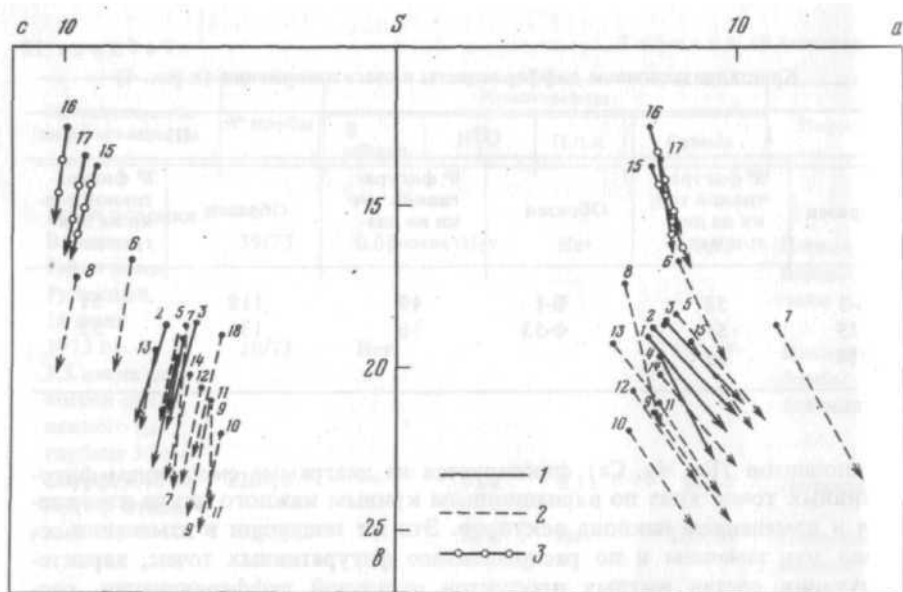
I		II		III	
Образец	№ фигуративной точки на диаграмме	Образец	№ фигуративной точки на диаграмме	Образец	№ фигуративной точки на диаграмме
Б-3	53	Б-1	49	118	51
115	54	Ф-53	50	136	52
114	55				

компонентов (Fe, Mg, Ca) фиксируется на диаграмме смещением фигуративных точек вниз по вариационным кривым каждого цикла извержения и изменением наклона векторов. Эти же тенденции в изменении состава мы замечаем и по распределению фигуративных точек, характеризующих состав рыхлых продуктов аэральной дифференциации, расположенных на разных расстояниях от центра извержения. Здесь также происходит увеличение щелочности и мелановократовости в каждом последующем продукте аэральной дифференциации по отношению состава первого из них, занимающего самое крайнее левое положение в роле фигуративных точек и, следовательно, наиболее бедного щелочами в сравне-



Р и с. 4. Петрохимическая характеристика продуктов аэральной дифференциации пирокластов, отложенных в районе извержения прорыва "Олимпийский" (вулкан Алайд, 1972 г.)

1 — магматические дифференциаты (фигуративные точки 50—55); 2 — аэральные дифференциаты рыхлой пирокластики, отложенной на разных расстояниях от центра извержения (все остальные точки)



Р и с. 5. Петрохимическая характеристика продуктов аэральной дифференциации пирокластов, отложенных на разных расстояниях от центра извержения на прорыве "Отважный" (вулкан Тятя, 1973 г.)

1 - магматические дифференциаты (фигуративные точки 1—4); 2 - пирокласты (фигуративные точки ювенильных пеплов 5-14); 3 — резургентные пеплы (фигуративные точки 15-17)

Аэральные дифференциаты пирокластов (к рис. 4)

V			VI		
Расстояние, км	№ образца	№ фигуративной точки	Расстояние, км	№ образца	№ фигуративной точки
0,4	13	27	0,6	5	19
0,5	10	24	0,6	21	34
			0,6	8	22

Таблица 13 (окончание)

VII			VIII		
Расстояние, км	№ образца	№ фигуративной точки	Расстояние, км	№ образца	№ фигуративной точки
2	31	44	1	24	37
0,6	27	40	2,3	26	39
0,6	28	41			

нии с магматическим дифференциатом. При всех описанных вариациях в составе аэральных дифференциатов пирокластов в целом, однако, следует отметить, что все они происходят только в пределах колебаний, присущих для того же химического (по А.Н. Заварицкому) класса (5),

группы (19), подгруппы (Б), которые ограничивают и состав магматических дифференциатов. Исключение в этом составляют резургентные пеплы Алаида и особенно вулкана Тятя, занимающие на диаграммах обособленное положение (см. рис. 4, фигуративные точки 37, 39; см. рис. 5, фигуративные точки 15—17).

ЛИТЕРАТУРА

- Шдурахманов А.И., Федорченко В.И. О вулканической активности Курильских островов в 1973 г. - Бюлл. вулканол. станций, вып., 50, 1974.
- Гущенко И.И. Пеплы северной Камчатки и условия их образования. М., "Наука", 1965.
- Заварицкий А.Н. Введение в петрохимию. М., Изд-во АН СССР, 1944.
- Кеннеди Дж. Равновесие между летучими и окислами железа в изверженных породах. - В сб.: Вопросы физико-химии в минералогии и петрографии. М., ИЛ, 1950.
- Соколов И.А. Вулканизм и почвообразование. М., "Наука", 1973.