

1.3. Отложения пирокластических потоков

Для обозначения всех видов потоков, сложенных раскаленными обломками, С.Арамаки предложил в 1957 г. общее название - пирокластические потоки [4].

Пирокластические потоки представляют собой газонасыщенную смесь разноразмерного пирокластического материала, имеющую в основном ламинарное течение, доля обломков в которой значительно превышает газовую составляющую [139, 8].

Главными *механизмами образования* пирокластических потоков считаются: 1. коллапс эруптивной колонны; 2. коллапс экструзивного купола или фронта лавового потока на его склоне (рис. 10) [120, 147, 148 и др.].

В первом случае образование потоков происходит в результате обрушения части вертикальной колонны, в которой скорость подъема и несущая способность газопепловой струи достигают минимума (рис. 10 а) [118, 120, 141]. Такой механизм образования потоков называется "суфриерским" [72], по вулкану Суфриер, где он четко проявляется. Движущая сила потоков в основном определяется количеством движения, гравитацией, но велика роль также газонасыщенности и автоэксплозивности материала [117].

Второй тип механизма образования потоков получил название "тип мерابي", по вулкану Мерابي, о. Ява [72] (рис. 10 б). По мере роста экструзивного купола вулкана его отдельные секторы постепенно становятся неустойчивыми и обрушиваются, в результате чего по склону вулкана скатываются пирокластические массы, похожие на лавины. Такие же лавины формируются в результате обрушения крутых фронтальных частей лавовых потоков на куполе вулкана.

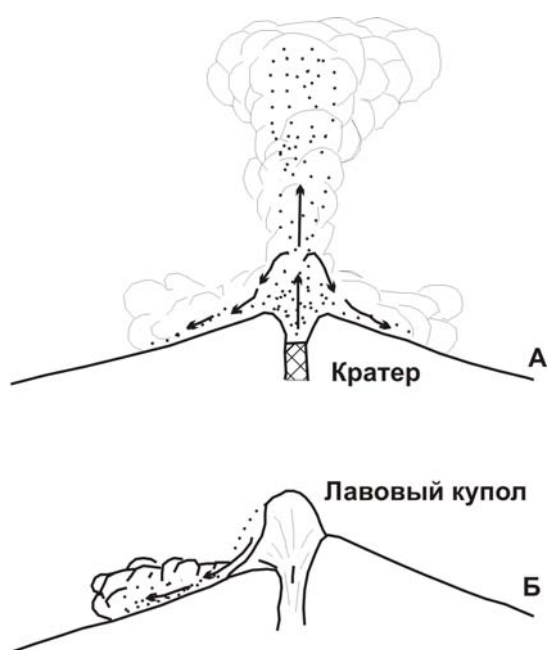
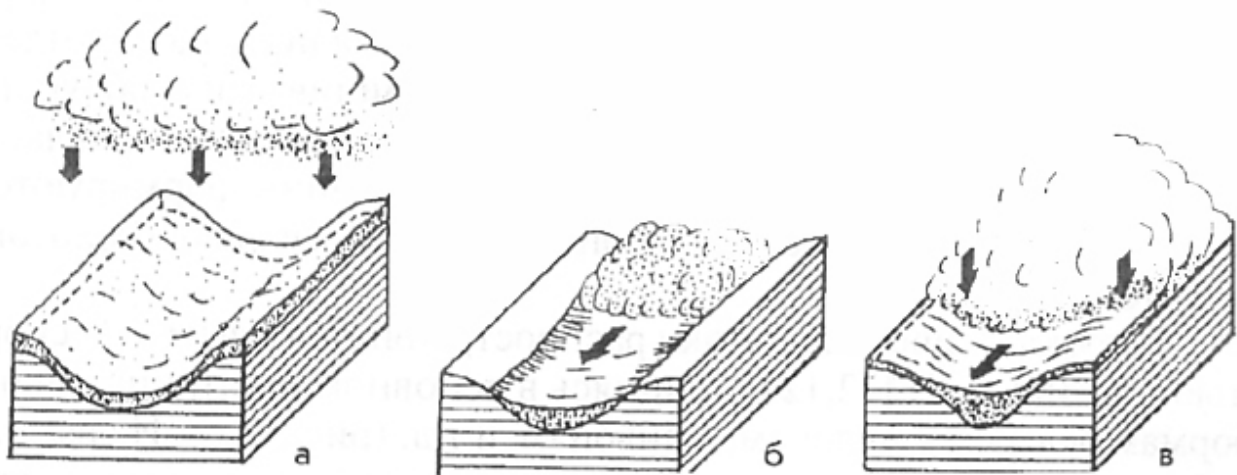


Рис. 10. Механизм образования пирокластических потоков: а) коллапс эруптивной колонны (суфриерский тип); б) коллапс экструзивного купола или фронта лавового потока на его склоне (тип мерابي). Из работы [72], с уточнениями.

Пирокластические потоки распространяются с высокой скоростью - до 100 км/ч [72, 120], двигаясь в основном по отрицательным формам рельефа - желобам, каньонам, и т.д. (рис. 11 б). Их высокая мобильность объясняется выделением растворенного газа из ювенильных стекловатых частиц и при разрушении литоидных обломков, обуславливающих явление автоэксплозивности; нагреванием и расширением воздуха, захваченного фронтом и боковыми частями потока [117, 119, 131, 138, 144, 145]. Кроме этого, при формировании эруптивной колонны происходит засасывание в нее воздуха, который затем способствует мобильности пирокластических потоков, образующихся при коллапсе колонны [113]. Пирокластические потоки могут преодолевать высокие препятствия, что связано, по мнению Т.Миллера и Р.Смита [127], не с расширением газов, а с количеством движения.



Отложения пирокластических потоков состоят из обломков разного размера и формы, преимущественно хаотически распределенных в пепловом заполнителе. Обломки представлены полуокатанными ювенильными пемзовидными породами и резургентными, состав которых многообразен: магматические "корки" с границ очага, породы выводного канала вулкана, обломки с подошвы и боковых частей долины, по которой следует поток и т.д. [120]. "Резургентными" считают также породы разрушающегося растущего экструзивного купола.

Для вулканов Безымянный и Шивелуч характерны пирокластические потоки двух типов - ювенильных пористых андезитов ("суфриерский тип") и пеплово-глыбовые ("мерапийский тип") [2, 8, 9, 29, 30, 31, 33, 120 и др.].

Отложения *пирокластических потоков пористых андезитов* (рис. 12) несортированы, содержание обломков (частиц размером более 2 мм) в них



а



б

Рис. 12. Отложения пирокластических потоков ювенильных пористых андезитов: поверхность потоков катастрофического извержения вулк. Шивелуч в 1964 г.(а); разрез отложений потока некатастрофического извержения вулк. Безымянный в 1985 г. (б).

составляет не более 40-30 %, заполнителя, соответственно - 60-70 %; глыбы достигают размера 1-1,5 м. Потоки залегают согласно рельефу, протяженность их от кратера в зависимости от масштаба извержения может достигать 10-20 км. Содержание ювенильного вещества в них бывает до 80 % [9]. Поверхность отложений - ровная.

Отложения *пеплово-глыбовых пирокластических потоков* (рис. 13) также несортированы и залегают согласуясь с рельефом, но количество обломков в их составе повышено до 40-50 %, размер глыб может достигать 7-10 м. Длина потоков небольшая - до 10 км, содержание собственно ювенильного вещества в них - до первых десятков процентов. На поверхности потоков четко выражены бортовые и фронтальные валы высотой до 10-15 м.

Исследования отложений пирокластических потоков преследуют одну из важнейших целей - восстановление эруптивного механизма образования пирокластики. Детальное изучение морфологии, структурно-текстурных особенностей отложений; соотношения количества обломков и заполнителя, а также содержания ювенильных и резургентных обломков в потоках; вещественного состава, физических и физико-механических их свойств позволяет решать эту задачу относительно уверенно.



Рис. 13. Поверхность отложений пеплово-глыбовых пирокластических потоков извержения вулк. Безымянный в 1986 г.

Химический и минеральный состав отложений

В составе пирокластических потоков содержится различное количество ювенильного и резургентного вещества. Если в пеплово-глыбовых потоках собственно ювенильные породы могут составлять 20-30 %, то в потоках пористых андезитов - 80 % [9].

Состав ювенильных обломков потоков наилучшим образом отражает состав магматического вещества, поступившего на поверхность при извержении вулкана.

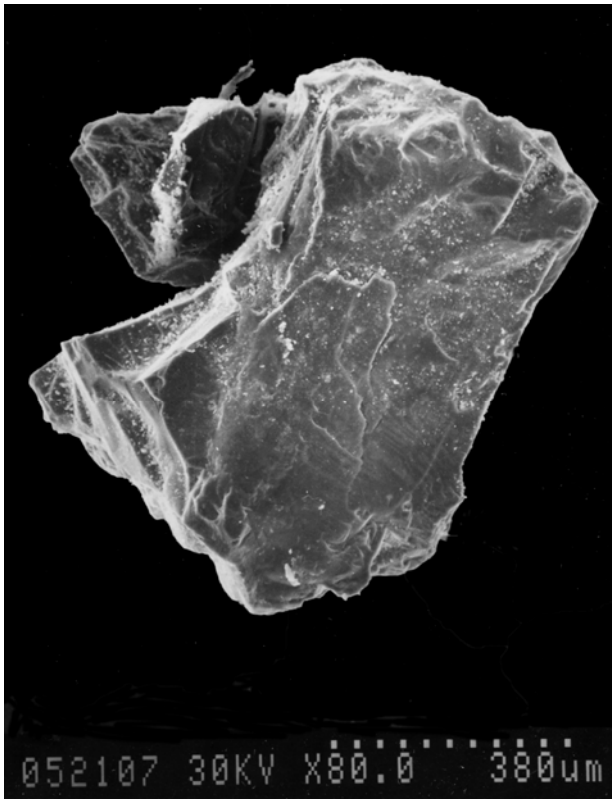
Материал заполнителя пирокластического потока при движении по склону вулкана перемешивается, и его состав очень хорошо отражает средний состав продуктов конкретного извержения вулкана [29]. В таблице 1 показаны средние химические составы обломков и заполнителей обеих разновидностей пирокластических потоков извержений вулкана Безымянный в 1984-1989 гг., так как по своему составу пеплово-глыбовые и ювенильные потоки этих извержений были достаточно близки.

Заполнитель пирокластических потоков вулкана Безымянный состоит из обломков кристаллов (в основном, плагиоклаза, пироксена, амфибола, магнетита), их сростков, вулканического стекла, обломков пород (рис. 14). Минеральный состав заполнителя пирокластического потока ювенильных пористых андезитов извержения вулкана в 1985 г., (фракция 0,1-0,063 мм), по данным В.Ю.Кириянова, следующий: вулканическое стекло - 34, плагиоклаз - 46, темноцветные минералы - 8, обломки пород - 4, пироксен - 8 %. Состав заполнителя потока этого вулкана извержения 1956 г., таковой: вулканическое стекло - 16, плагиоклаз - 36, темноцветные минералы - 5, обломки пород - 27, зеленая роговая обманка - 15, пироксен - 1 % [9].

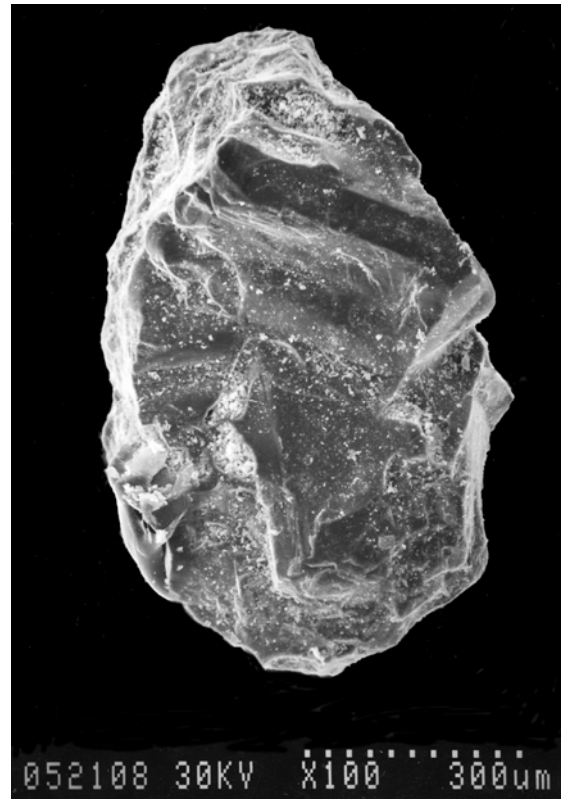
Частицы заполнителя пирокластических потоков вулкана Шивелуч представляют собой отпрепарированные обломки кристаллов минералов (в основном, плагиоклаза, пироксена, роговой обманки), их сростков, вулканического стекла, обломки пород. Состав заполнителя потока извержения вулкана в 1964 г., следующий: вулканическое стекло - 24, плагиоклаз - 39, темноцветные минералы - 6, обломки пород - 9, зеленая роговая обманка - 20, пироксен - 2 % [9].

Структурно-текстурные особенности пород

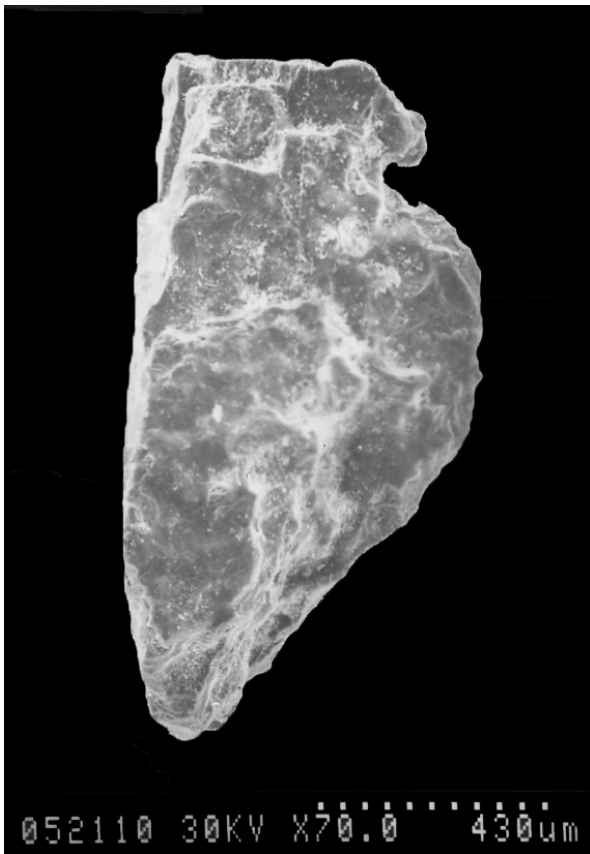
Для всех пирокластических потоков вулканов Безымянный и Шивелуч характерно хаотическое распределение разноразмерных обломков в заполнителе, хотя в разрезах отложений (например, в р.Сухая Хапица или рр.Байдарная, Кабеку и др.) наблюдается также концентрация обломков полосами в средних или верхних частях потоков. Поверхность же потоков катастрофических извержений вулканов сложена обломками пемзовидных андезитов размером преимущественно до 30-40 см (рис. 12 а).



а



б

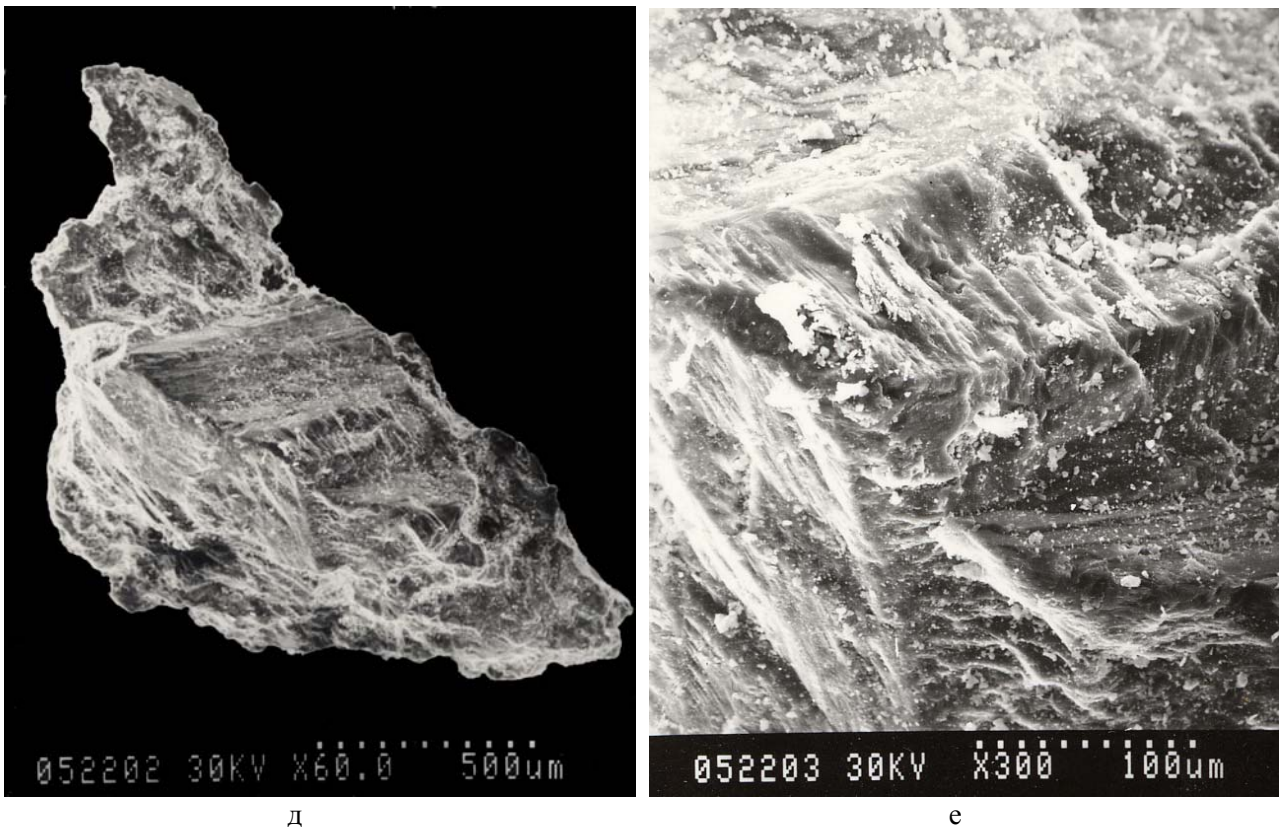


в



г

Рис. 14. Частицы заполнителей пирокластических потоков вулк. Безымянный: кристаллы плагиоклаза (а); клинопироксена (б); сростки плагиоклаза, пироксена, вулканического стекла (в); сростки плагиоклаза, клинопироксена в "рубашке" стекла (г) при увеличениях 80, 100, 70 и 100, соответственно; эродированная поверхность частицы при увеличениях 60 (д) и 300 (е).



д

е

Продолжение рис. 14

Некоторые частицы заполнителей потоков представлены на рис. 14. Видно, что поверхность как отдельных кристаллов минералов, так и их сростков значительно эродирована. Наблюдаются как бы высверленные округлые углубления, заполненные мелкими частицами стекла, неровно-ступенчатые сколы минералов, трещиноватость их участков и т.д. Кроме этого, встречаются пористые сростки минералов (например, плагиоклаза и клинопироксена) в облегающей их "рубашке" стекла (рис. 14). В зоне перехода минерала к стеклу отмечается хорошее перемешивание их микролитов, стекло местами вспенено (данные изучения частиц на микрозонде Camebax, ИВ ДВО РАН).

Гранулометрический состав отложений

Крупные обломки на поверхности пеплово-глыбовых пирокластических потоков вулкана Безымянный составляют, по данным автора, в целом, 45-55 %: размером 0,5-5,0 м - 8-10 %, размером 0,05-0,49 м - 35-45 %, остальное приходится на долю заполнителей потока. Наряду с преобладанием обломков размером 0,3-0,5 м (20 %), отмечается большая доля крупных глыб диаметром более 1 м (10-12 %).

На поверхности ювенильного потока вулкана Безымянный извержения 1985 г. содержание глыб разного размера распределяется примерно следующим образом: обломки размером 0,5-5,0 м составляют 5-7 %, 0,05-0,49 м - 25-30 %, при общем преобладании обломков диаметром 0,3-0,5 м. На долю

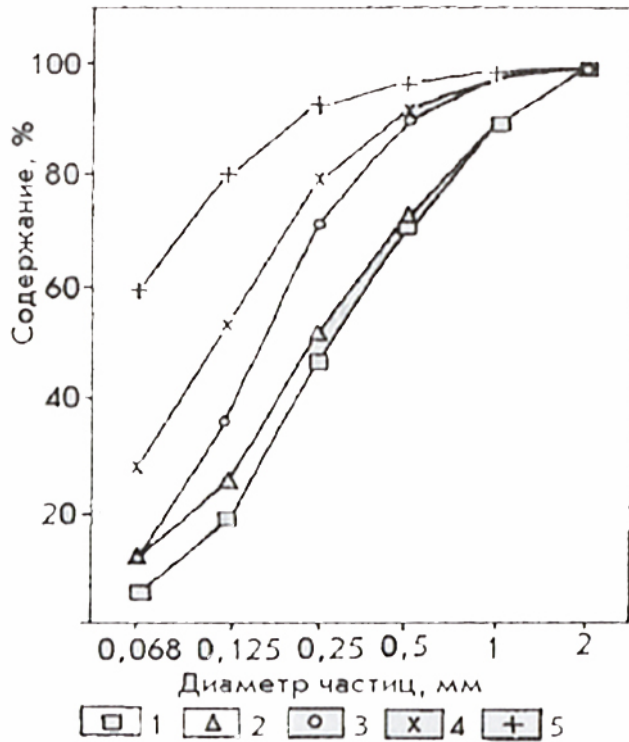


Рис. 15. Кумулятивные кривые гранулометрического состава заполнителей пирокластических отложений вулк. Безымянный извержений 1984-1989 гг. 1- пирокластический поток № 1, 2- пирокластический поток № 2, 3- приземная пирокластическая волна, 4- пирокластическая волна пеплового облака, 5- пепел облака пирокластического потока.

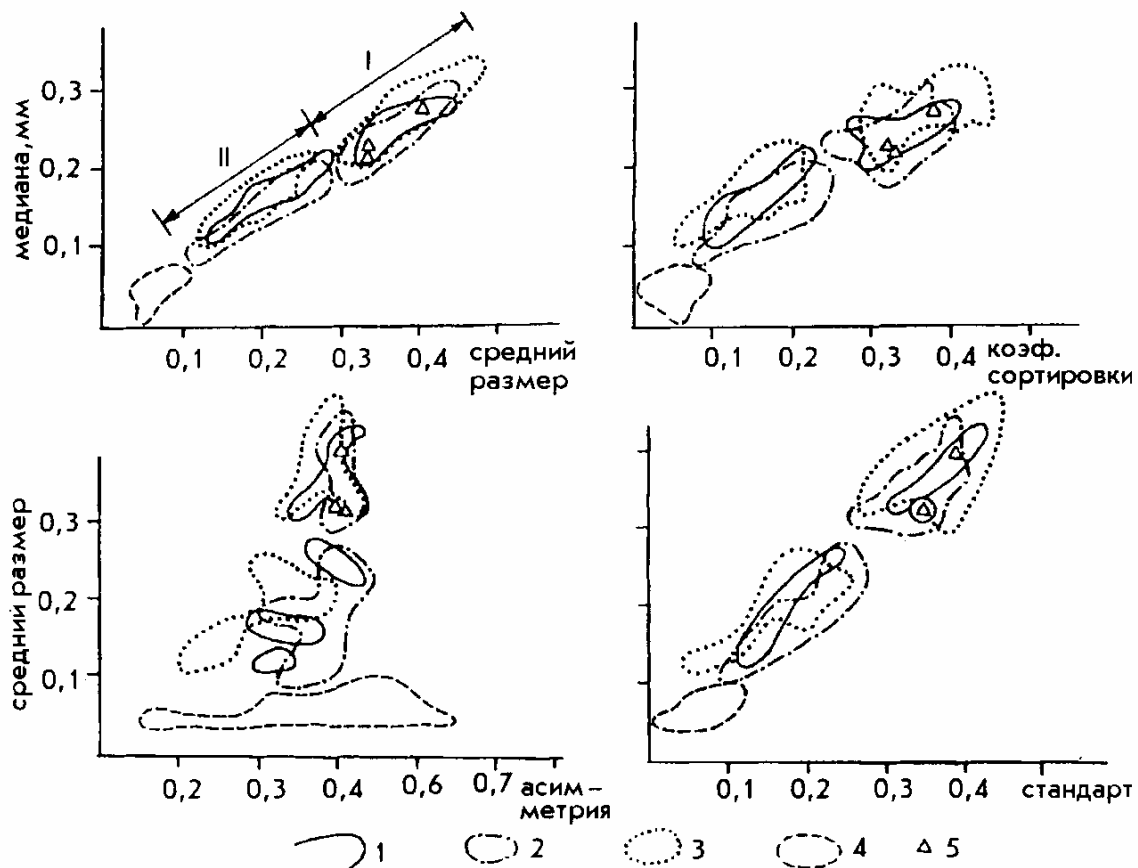


Рис. 16. Графики соотношения гранулометрических характеристик заполнителей отложений вулк. Безымянный извержений 1984-1989 гг. Отложения: I- пирокластических потоков, II- пирокластических волн, 4- тефры и пепловых облаков пирокластических потоков. Извержения вулкана: 1- 1984 г., 2- 1985 г., 3- 1986 г., 5- 1989 г.

заполнителя потока приходится примерно 60-70 % .

Большая часть заполнителей пирокластических потоков вулкана Безымянный извержений 1984-1989 гг. относится к пескам средней крупности и небольшая - к пескам мелким (рис. 15).

Заполнители пеплово-глыбовых потоков отличаются от ювенильных главным образом количеством тонких пеплов. По весовому содержанию разных фракций и по их соотношению эти типы потоков очень близки. Поля значений гранулометрических характеристик заполнителей обеих разновидностей потоков извержений разных лет перекрываются, средние их значения почти одинаковы (рис. 16, табл. 3).

Таблица 3

**ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ ВУЛК. БЕЗЫМЯННЫЙ ИЗВЕРЖЕНИЙ 1984-1989 ГГ.**

Генетический тип пирокластических отложений	Медиана, мм	Средний размер, мм	Коэффициент сортировки, мм
Поток пеплово-глыбовый (28)	0,26 0,21-0,37	0,38 0,32-0,50	0,33 0,24-0,41
Поток ювенильных пористых андезитов (24)	0,25 0,19-0,32	0,38 0,30-0,47	0,35 0,28-0,42
Приземная волна (ground surge) (26)	0,17 0,12-0,21	0,22 0,13-0,27	0,16 0,07-0,23
Волна пеплового облака (ash cloud surge) (9)	0,12 0,09-0,15	0,16 0,12-0,23	0,14 0,09-0,22
Пеплы облака пирокластического потока (9)	0,05 0,01-0,07	0,07 0,05-0,10	0,05 0,01-0,08

Примечание. В числителе - среднее значение, в знаменателе - максимальное и минимальное. В скобках - количество образцов.

Среди пирокластических потоков вулкана Безымянный извержения 1956 г. выделяются две разновидности. Кумулятивные кривые гранулометрического состава заполнителей этих потоков почти совпадают с таковыми пирокластических потоков извержений вулкана 1984-1989 гг., но гранулометрические характеристики имеют несколько большие значения (рис. 17, 18, 19, табл. 4). У заполнителей потоков извержений вулкана в 1984-1988 гг. преобладающими фракциями являются 0,125 - 0,25 мм, у заполнителей потоков

1956 г. - кроме них также и 0,25-0,5 мм (см. Приложение, стр. 88, 90). Медианные диаметры заполнителей этих потоков варьируют от 0.18 до 0.34 мм, составляя в среднем - 0.28 мм (17 определений).

Среди пирокластических потоков вулкана Шивелуч по гранулометрическому составу их заполнителей выделяются три разновидности, различающиеся по распределению фракций и гранулометрическим характеристикам (рис. 20, табл. 5). Преобладающими фракциями их заполнителей являются 0.125 - 0.25 мм и 0.125 - 0.5 мм (см. Приложение, стр. 93). Медианные диаметры имеют значения от 0.19 до 0.34 мм, составляя в среднем 0.25 мм (15 определений).

Известно, что медианные диаметры являются в некоторой степени показателями силы извержения, что неоднократно рассматривалось для тефры [62]. Для пирокластических потоков, как видно из таблиц 4-6, это не характерно. Хотя масштабы извержений разные, значения медианных диаметров и других гранулометрических характеристик заполнителей пирокластических потоков вулканов Безымянный и Шивелуч сходны.

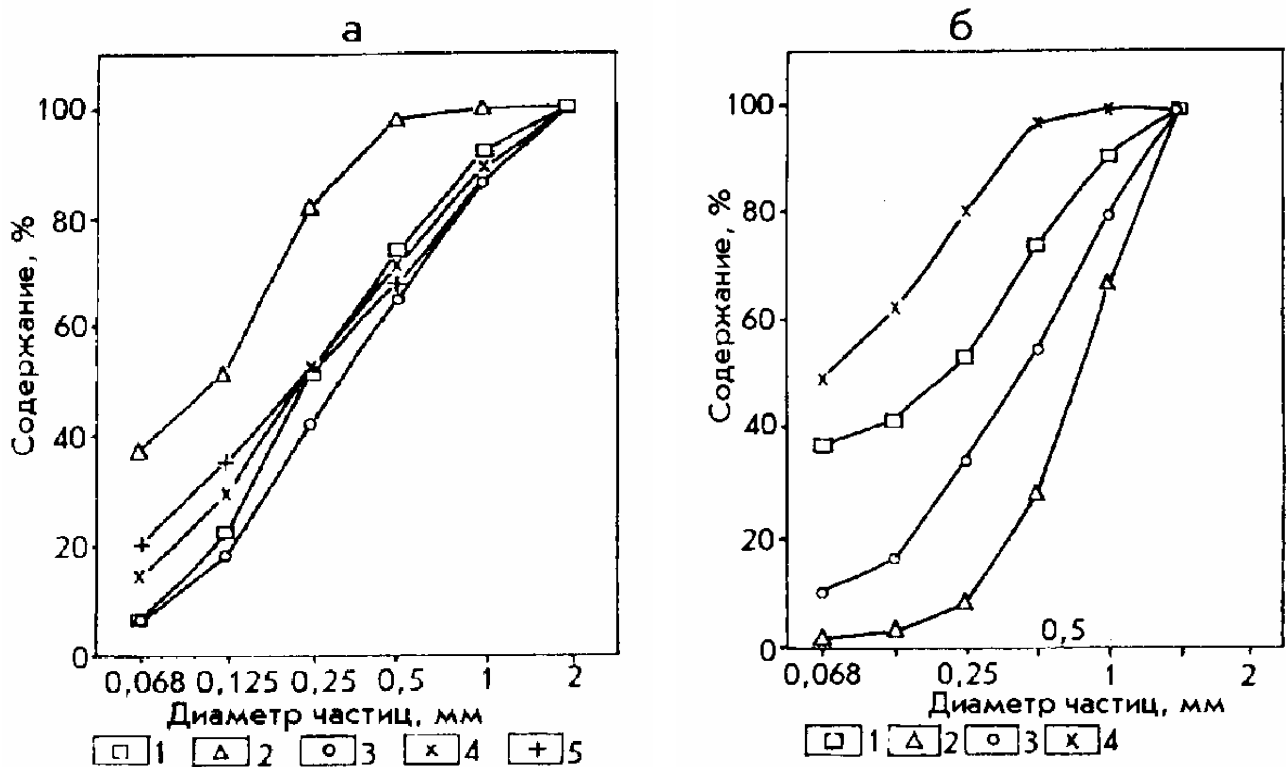


Рис. 17. Кумулятивные кривые (а и б) гранулометрического состава заполнителей пирокластических отложений вулкана Безымянный извержения 1956 г.

а: 1- приземная пирокластическая волна, 2- пепел облака пирокластического потока, 3- пирокластический поток № 1, 4- пирокластический поток № 2, 5- агломерат направленного взрыва; б: 1- пирокластическая волна пеплового облака, 2- песок направленного взрыва № 1, 3- песок направленного взрыва № 2, 4- пепел облака пирокластического потока.

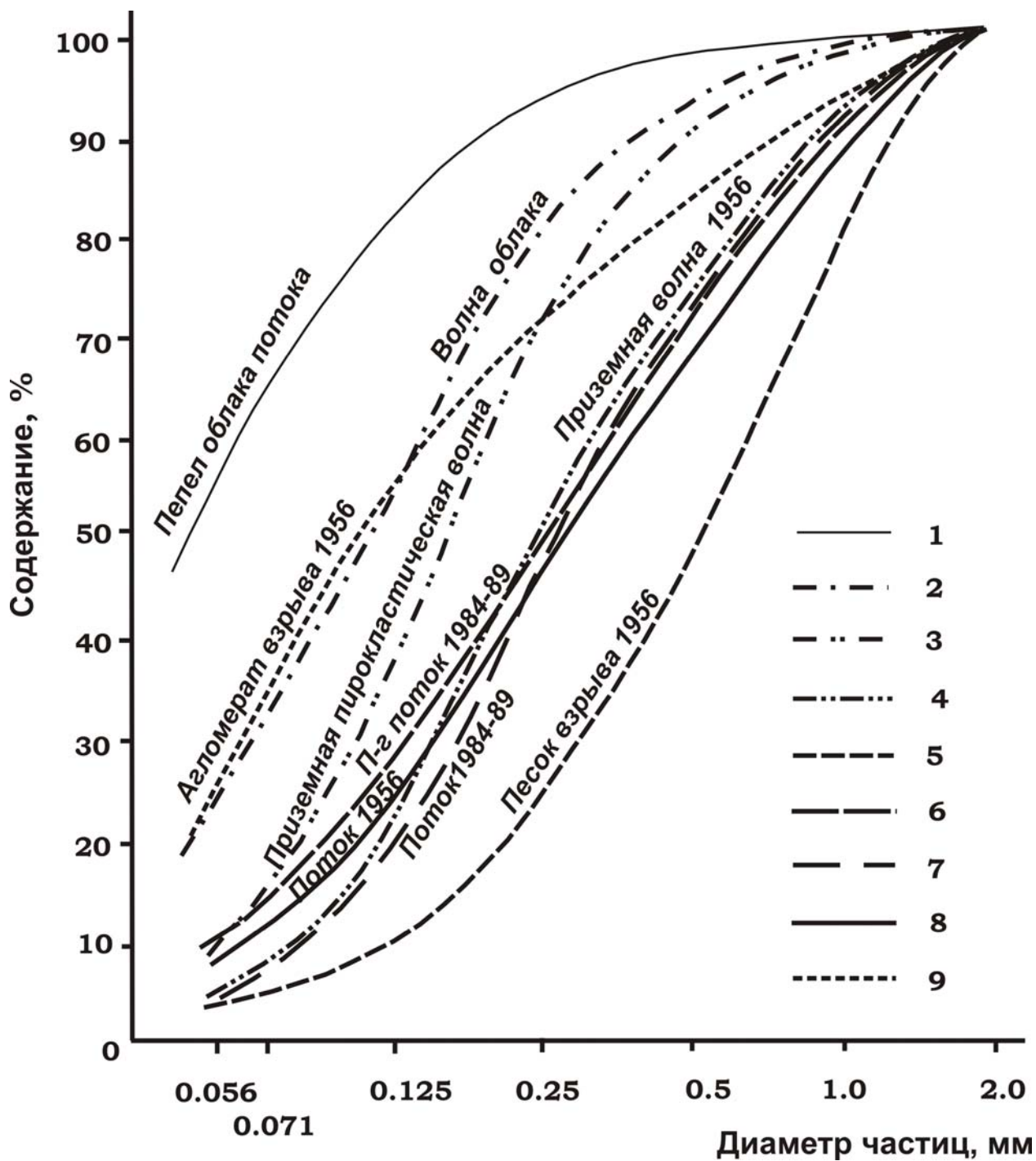


Рис. 18. Кумулятивные кривые гранулометрического состава заполнителей пирокластических отложений вулк. Безымянный извержений 1984-1989 гг. и 1956 г. Отложения 1984-1989 гг.: 1- пепловых облаков пирокластических потоков, 2- волн пепловых облаков, 3- приземных волн, 6- пеплово-глыбовых пирокластических потоков, 7- потоков ювенильных пористых андезитов; 1956 г.: 4- приземных волн, 5- песка направленного взрыва, 8- потока ювенильных пористых андезитов, 9- агломерата направленного взрыва.

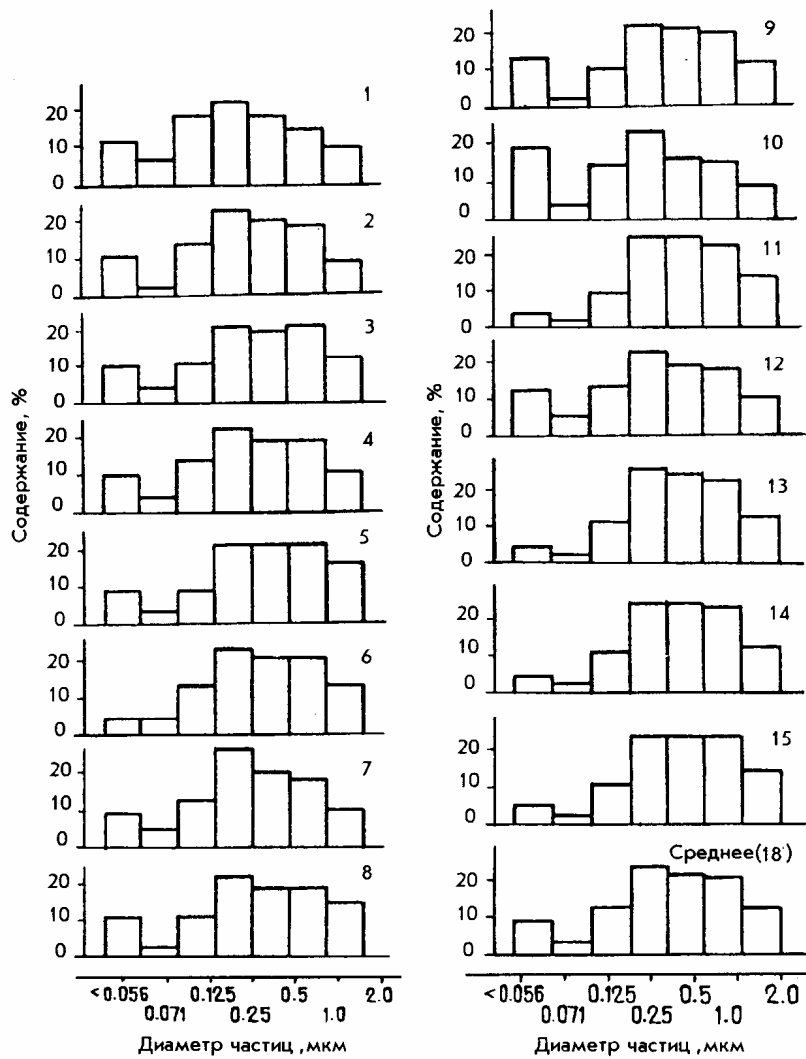


Рис. 19. Гистограммы распределения частиц разного диаметра заполнителей пирокластического потока вулк. Безымянный извержения 1956 г.

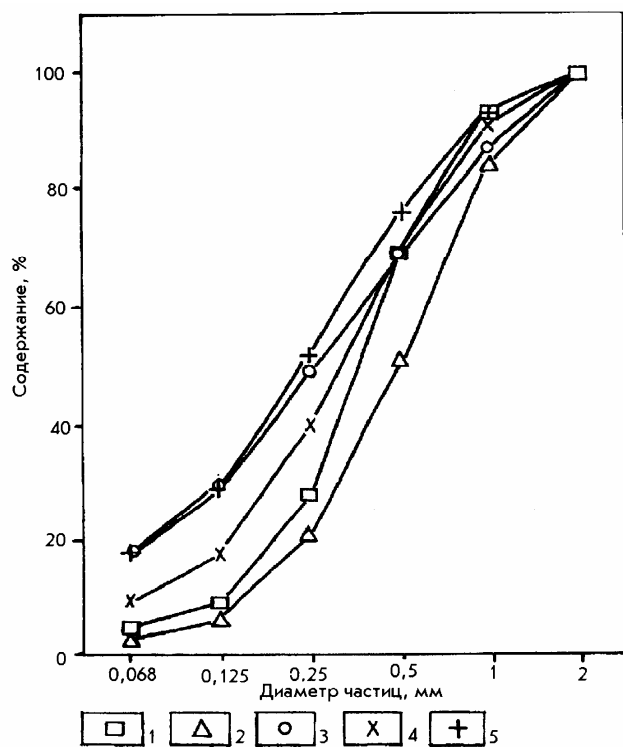


Рис. 20. Кумулятивные кривые гранулометрического состава заполнителей пирокластических отложений вулк. Шивелуч извержений 1964 г. и более древних. 1- приземная пирокластическая волна, 2- пирокластическая волна, 3- агломерата направленного взрыва, 4- пирокластический поток № 1, 5- пирокластический поток № 2.

**ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ ВУЛК. БЕЗЫМЯННЫЙ ИЗВЕРЖЕНИЯ 1956 Г.**

Генетический тип пирокластических отложений	Медиана, мм	Средний размер, мм	Коэффициент сортировки, мм
Поток N 1 (9)	0,24 0,18-0,29	0,38 0,31-0,44	0,37 0,33-0,44
Поток N 2 (8)	0,32 0,29-0,34	0,45 0,42-0,47	0,40 0,37-0,45
Приземная волна (ground surge) (2)	0,24 0,24-0,25	0,35 0,34-0,36	0,30 0,29-0,32
Волна пеплового облака (ash cloud surge) N 1 (5)	0,12	0,13	0,12
Волна пеплового облака (ash cloud surge) N2 (3)	0,22	0,32	0,37
Песок направленного взрыва N 1 (2)	0,77 0,70-0,85	0,82 0,75-0,89	0,49 0,48-0,49
Песок направленного взрыва N 2 (19)	0,42 0,37-0,60	0,56 0,50-0,66	0,50 0,40-0,54
Агломерат направленного взрыва (7)	0,24	0,39	0,41

Примечание. В числителе - среднее значение, в знаменателе - минимальное и максимальное.
В скобках - количество образцов.

**ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ**

Генетический тип пирокластических отложений	Медиана, мм	Средний размер, мм	Коэффициент сортировки, мм
Поток N1 (6)	0,31 0,28-0,34	0,40 0,39-0,41	0,32 0,30-0,34
Поток N 2 (5)	0,25 0,24-0,27	0,34 0,32-0,38	0,32 0,30-0,36
Поток N 3 (4)	0,19 0,19-0,20	0,32 0,31-0,32	0,33 0,32-0,35
Приземная волна (ground surge) (2)	0,36 0,35-0,38	0,41 0,41-0,42	0,26 0,24-0,28
Пирокластическая волна (surge) (2)	0,50 0,49-0,52	0,58 0,58-0,59	0,40 0,38-0,41
Агломерат направленного взрыва (4)	0,24 0,24-0,26	0,38 0,38-0,41	0,39 0,39-0,42

Примечание. В числителе - среднее значение, в знаменателе - минимальное и максимальное значения. В скобках - количество образцов.

Физические свойства отложений

Естественная **влажность** заполнителей потоков, как правило, небольшая - изменяется от 2 до 32 % и в среднем составляет 6 % (120 определений) (табл. 6).

Плотность твердой фазы заполнителей пирокластических потоков вулкана Безымянный варьирует от 2,64 до 2,74 г/см³, составляя в среднем 2,69 г/см³ (20 определений). Для вулкана Шивелуч значение плотности твердой компоненты равняется 2,74 г/см³ (2), (табл. 6).

Плотность отложений потоков вулкана Безымянный в их естественном сложении изменяется, в целом, от 1,27 до 1,88 г/см³, составляя в среднем 1,54 г/см³ (200). Для отложений потоков извержения 1986 г. плотность изменяется от 1,40 до 1,76 г/см³, в среднем - 1,59 г/см³ (9), для пород извержения 1989 г., соответственно, 1,50-1,59 г/см³, в среднем - 1,55 г/см³ (5).

Для потоков вулкана Шивелуч значения плотности находятся в пределах 1,19-1,50 г/см³, составляя в среднем 1,33 г/см³ (5), (табл. 6).

Пористость отложений потоков вулкана Безымянный находится в пределах 30-49 %, составляя в среднем 42 % (200). Для вулкана Шивелуч эти значения несколько больше; 45-56 и 51 % (5), соответственно, (табл. 6).

Таблица 6

**ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛОЖЕНИЙ
ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ВУЛК. БЕЗЫМЯННЫЙ И ШИВЕЛУЧ**

Названия характеристик	Вулк. Безымянный, извержения 1984-1989 гг.			Вулк. Шивелуч, извержение 1964 г. Потоки ювенильных пористых андезитов
	Потоки ювенильных пористых андезитов	Потоки пеплово-глыбовые	Общее по двум типам	
Плотность, г/см ³	1,55(8) 1,41-1,72	1,56(127) 1,27-1,88	1,54(200) 1,27-1,88	1,33(5) 1,19-1,50
Плотность твердой фазы, г/см ³	2,68(6) 2,64-2,70	2,69(14) 2,64-2,74	2,69(20) 2,64-2,74	2,74(2)
Влажность, %	-----	6(120) 2-32	6(120) 2-32	10,6
Коэффициент пористости, единица	0,74(8) 0,53-0,90	0,74(127) 0,50-0,91	0,75(200) 0,43-0,96	1,07(5) 0,83-1,30
Пористость, %	42(8) 35-47	42(127) 33-47	42(200) 30-49	51(5) 45-56
Сцепление, МПа	0,02(3) 0-0,04	0,02(4) 0-0,05	0,02(7) 0-0,05	0,02(2) 0-0,04
Угол внутреннего трения, градус	51(3) 50-53	34(13) 22-51	42(7) 22-53	25(2)
Модуль общей деформации, МПа	10,8(3) 7,6-16,6	5,0(4) 2,2-7,8	7,9(7) 2,2-16,6	-----

Примечание. В числителе - среднее значение, в знаменателе - минимальное и максимальное. В скобках - количество образцов.

Физико-механические свойства отложений

На *деформационные свойства* пород наибольшее влияние оказывают структурно-текстурные особенности их частиц. Модуль общей деформации заполнителей потоков вулкана Безымянный изменяется от 2,2 до 16,6 МПа, составляя в среднем 7,9 МПа (7), (табл. 6).

Прочностные характеристики пирокластических отложений близки со стандартными их значениями для обыкновенных песков, но в некоторых случаях значительно от них отличаются. Так, например, прочностные характеристики заполнителей потоков вулкана Безымянный, определенные на норвежском стабилометре, дали следующие результаты; сцепление - 0.005 и 0.06 МПа, угол внутреннего трения - 30 и 22 град. Повышение сцепления для второй пробы до 0.06 МПа связано, вероятно, с содержанием в ней частиц диаметром менее 0.056 мм в 2,5 раза большим, чем в первой. Тонкий материал явился своеобразным "цементом", повысившим прочностные характеристики заполнителя потока.

В целом, значения сцепления для вулканов Безымянный и Шивелуч варьируют в пределах 0-0.05 МПа, составляя в среднем 0,02 МПа(9). Угол внутреннего трения пород вулкана Безымянный лежит в пределах 22 - 53, в среднем - 42 (7) град., вулкана Шивелуч равен 25 (2) град. (табл. 6).

ВЫВОДЫ

1. Вулканам Безымянный и Шивелуч присущи две разновидности пирокластических потоков - потоки ювенильных пористых андезитов и пеплово-глыбовые.

2. Гранулометрический состав ювенильных и пеплово-глыбовых потоков извержений 1984-1989 гг. вулкана Безымянный отличается в основном содержанием тонких фракций, значения их гранулометрических характеристик практически одинаковы.

3. Состав заполнителей ювенильных потоков вулкана Безымянный 1956 г. и 1984-1989 гг. очень похож, но значения гранулометрических характеристик потока 1956 г. более высокие (табл. 3-4).

4. Несмотря на разные масштабы извержений вулкана Безымянный в 1956 и 1984-1989 гг., преобладающая фракция заполнителей их пирокластических потоков - одна и та же - 0.125- 0.25 мм (Приложение, стр. 88, 90).

5. Гранулометрические составы и значения их характеристик разновидностей ювенильных потоков вулкана Шивелуч (1964 г. и более древних) похожи на ювенильные потоки вулкана Безымянный 1956 и 1984-1986 гг., но преобладающими фракциями для заполнителей потоков вулкана Шивелуч являются 0.125 - 0.5 мм (Приложение, стр. 93).

6. Несмотря на то, что масштабы извержений вулканов разные, значения медианных диаметров и другие гранулометрические характеристики

заполнителей пирокластических потоков вулканов Безымянный и Шивелуч сходны.

7. Частицы вулкана Безымянный представлены в основном изометричными монолитного облика обломками кристаллов плагиоклаза и пород, удлиненные частицы вулкана Шивелуч большей частью представлены вулканическим стеклом, плагиоклазом и роговой обманкой.

8. Плотность твердой фазы заполнителей потоков вулкана Безымянный ниже, чем вулкана Шивелуч, что обусловлено различиями их минерального состава. Плотность твердой фазы, структурный облик частиц заполнителей потоков обуславливают более высокую плотность и меньшую пористость отложений в естественном залегании вулкана Безымянный по сравнению с породами вулкана Шивелуч. Прочностные характеристики заполнителей пирокластических потоков вулканов Безымянный и Шивелуч практически одинаковы.