

Глава 3

Сравнительная характеристика инженерно-геологических особенностей пирокластических образований андезитовых и базальтовых вулканов

Пирокластические отложения базальтовых и андезитовых вулканов рассматривались на примере продуктов вулканов Камчатки. Была изучена тефра исторических и доисторических извержений региональной зоны шлаковых конусов вулкана Толбачик [16, 17, 31, 94 и др.], а также тефра, отложения пирокластических потоков и волн, направленного взрыва, пепловых облаков пирокластических потоков современных катастрофических и некатастрофических извержений вулканов Безымянный и Шивелуч.

Химический и минеральный состав отложений

Породы вулкана Толбачик относятся к типичным базальтам [18, 19, 25, 27, 45, 50, 94 и др.], Безымянного - к типичным андезитам (см. Гл. 1).

Тефра базальтовых вулканов состоит преимущественно из вулканического стекла базальтового состава с содержанием вкрапленников породообразующих минералов (плаггиоклаза, пироксена, оливина, магнетита) не превышающим 20-30 % объема породы.

Минеральный состав генетических типов пирокластике андезитовых вулканов одинаков по компонентному содержанию (отложения состоят в основном из кристаллов плаггиоклаза, пироксена, магнетита, роговой обманки и их сростков, вулканического стекла андезитового состава и обломков пород), но различен по их количественным соотношениям (рис. 23). Характерной чертой минерального состава всех типов пирокластике андезитовых вулканов является преобладание плаггиоклаза над вулканическим стеклом. Для вулкана Безымянный также характерно присутствие в отложениях большого количества обломков пород - большего, чем на вулкане Шивелуч, в пирокластике которого преобладает вулканическое стекло андезито-дацитового состава и кристаллы роговой обманки.

Структурно-текстурные особенности пирокластике

Базальтовые и андезитовые магмы имеют различные составы, температуры, газонасыщенность, вязкость и т.д., что обуславливает различный генезис пирокластических образований (см. Гл. 1) и габитус частиц пирокластике разных вулканов.

Для базальтовых вулканов характерны частицы тефры изометричной и удлиненной формы. Они угловатые, имеют колющие выступы, обладают высокой пористостью, в том числе и открытой [27]. Состоят они в основном из стекла базальтового состава.

Для андезитовых вулканов также присущи частицы изометричной и удлиненной формы. Но если на базальтовых вулканах разная форма частиц, обусловленная вариациями состава базальтов, может наблюдаться на одном вулкане - например, на вулкане Толбачик (изометричные частицы стекла на Северном прорыве и удлиненные - на Южном Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) 1975-1976 гг.), то на андезитовых - для каждого из вулканов существует характерная лишь ему форма и структура частиц пироклаستيки. Например, для отложений вулкана Безымянный присущи изометричные частицы монолитного облика, хотя иногда встречаются и пемзовидные, как бы вспененные, количество которых значительно меньше, чем частиц монолитного облика. Для вулкана Шивелуч характерны тонкие, несколько удлиненные частицы. Их структура говорит о том, что они являются продуктом разрушения высокопористой, с шарообразными порами лавы, а, возможно, и разного размера полых шариков вулканического стекла андезитового состава (остывавших лавовых пузырей, лопавшихся в воздухе, как мыльные пузыри). Примером таких полых шариков вулканического стекла может служить находка, описанная в работе [34]. Есть в отложениях вулкана Шивелуч и высокопористые частицы, и изометричные монолитного облика с мелкой пористостью отпрепарированные кристаллы минералов, но все же преобладают тонкие удлиненные обломки вулканического стекла.

В результате многочисленных эксплозивных извержений в окрестностях базальтового вулкана формируется мощный слоистый пирокластический чехол. В ближней зоне вулкана преобладают слои лапиллей (шлаков), на удалении от него все большее распространение получают пеплы. Мощности отложений от 20-30 м у вулкана быстро (на протяжении нескольких километров) уменьшаются до первых метров и далее - на протяжении 100-200 км - до сантиметров и миллиметров. Отложения слоисты.

Пирокластические отложения андезитовых вулканов распространяются на различные расстояния от центра извержения. Тефра может откладываться на удалении первых сотен километров от вулкана, остальные генетические типы пироклаستيки - в радиусе первых десятков километров (до 40-50 км). Характерной чертой отложений андезитовых вулканов (кроме тефры и песка направленного взрыва) является неравномерность их распространения по площади; агломерат направленного взрыва залегает локально у подножия вулкана, продукты пирокластических потоков тяготеют к долинам, пирокластических волн - откладываются на потоках и вокруг них, пеплы облаков потоков - при безветренной погоде в форме эллипса, осью которого является поток, залегают на отложениях этого потока, пирокластических волн, направленного взрыва. При сильном ветре отложения пепловых облаков потока и тефры перекрываются. Отложения всех генетических типов пироклаستيки (кроме агломерата взрыва, пирокластических потоков, пеплов облаков потоков) могут обладать четкой или неясновыраженной слоистостью.

В ближней зоне андезитового вулкана разделение толщ пироклаستيки на продукты разных его извержений можно проводить по отложениям пепловых

облаков пирокластических потоков, которые всегда присутствуют при извержениях таких вулканов. Пеплы облаков потоков сплошным чехлом перекрывают другие типы отложений извержения и могут служить, поэтому, своеобразными маркирующими горизонтами ближней зоны вулкана, разделяющими отложения разных его извержений. Габитус частиц андезитовых вулканов в перерывах между извержениями изменяется незначительно, так как перерывы эти на таких вулканах продолжаются от нескольких лет до нескольких месяцев, в отличие от базальтовых вулканов, где они имеют продолжительность от первых десятков до первых сотен лет.

Гранулометрический состав отложений

Изученные отложения тефры базальтового состава относятся к пескам крупным и средней крупности и гравийным и дресвяным грунтам [27,31]. Заполнители отложений разных генетических типов пирокластике андезитовых вулканов относятся к пескам широкого спектра зернистости - от крупнозернистых до пылеватых.

Состав, облик частиц, их структурные особенности, генезис пирокластических образований обуславливают их физические и физико-механические свойства (табл. 12).

Физические свойства пирокластики

Стекла базальтового состава обладают большей плотностью твердой фазы, чем андезитового ($2.70 - 2.85 \text{ г/см}^3$ и $2.40 - 2.57 \text{ г/см}^3$, соответственно). Плотность породообразующих минералов выше, чем стекла базальтового состава. Частицы пеплов состоят, как правило, из стекла с включениями минералов, поэтому и плотность твердой фазы отложений, ими сложенных, выше плотности как андезитовых, так и базальтовых стекол (табл. 12).

Средняя **плотность твердой компоненты** тефры базальтового состава (2.93 и 2.56 г/см^3 для магнезиальных и глиноземистых базальтов, соответственно) почти одинакова с плотностью лав вулкана Толбачик - $2.91 - 2.98$, в среднем - 2.96 (7 образцов) г/см^3 и $2.85 - 2.88$, в среднем - 2.86 (9) г/см^3 (лавы Северного и Южного прорывов БТТИ, соответственно, данные В.М.Ладыгина, Геологический факультет МГУ). Средняя плотность заполнителей пирокластических отложений андезитовых вулканов (в среднем 2.72 (64) г/см^3) почти равна плотностям лав андезита. Например, плотность роговообманковых андезитов купола вулкана Шивелуч 1980-1981 гг. имеет значения $2.69 - 2.72 \text{ г/см}^3$, плотность лав вулкана Безымянный (извержение 1979 г.) - $2.69 - 2.80$, в среднем - 2.75 (11) г/см^3 (данные В.М. Ладыгина, МГУ).

Плотности пирокластики в ее естественном залегании варьируют в широких пределах - $0.55 - 1.72 \text{ г/см}^3$ тефры базальтовых вулканов и $0.87 - 1.90 \text{ г/см}^3$ отложений андезитовых вулканов - (табл. 12). Замечательно то, что в отложениях андезитовых вулканов наименьшей плотностью обладают пеплы

облаков потоков, то есть самые тонкие пирокластические отложения ($0.87 - 1.20 \text{ г/см}^3$), в тефре базальтовых - шлаки ($0.62 - 1.16 \text{ г/см}^3$).

Таблица 12

**ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ БАЗАЛЬТОВЫХ И АНДЕЗИТОВЫХ ВУЛКАНОВ
СЕВЕРНОЙ ГРУППЫ КАМЧАТКИ**

Названия характеристик	Базальтовые вулканы	Андезитовые вулканы
Плотность, г/см^3	1,05(80) 0,55-1,72	1,77(310) 0,87-1,90
Плотность твердой фазы, г/см^3	2,97(20) 2,54-3,01	2,72(64) 2,46-2,76
Влажность, %	13(30) 0,25-22,7	6(170) 0-32
Коэффициент пористости, единица	2,37(30) 0,71-3,77	0,77(310) 0,43-2,06
Пористость, %	66(30) 41-80	42(310) 30-67
Сцепление, МПа	0,03(30) 0-0,11	0,01(27) 0-0,08
Угол внутреннего трения, градус	30(30) 19-55	39(27) 22-58
Модуль общей деформации, МПа	7,4(30) 1,5-11	5,2(23) 2,2-16,6

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

Аналогичная картина наблюдается с **пористостью**. Пористость отложений шлаков базальтового состава обусловлена структурой и высокой пористостью частиц, рыхлым сложением пород. Высокая пористость тефры андезитовых вулканов, вероятно, обусловлена более сильным дроблением андезитовой магмы, нежели базальтовой, и образованием более тонких частиц, на поверхности которых адсорбируются газы и пары воды, способствующие агрегации пепловых частиц и препятствующие их плотной упаковке.

В целом, пирокластик базальтовых вулканов, по сравнению с андезитовыми, имеет меньшую плотность в естественном залегании (в среднем

1.05 и 1.77 г/см³, соответственно) и несколько большую пористость (в среднем 66 % и 42 %, соответственно).

Физико-механические свойства отложений

Деформационные характеристики заполнителей пирокластических отложений базальтовых и андезитовых вулканов варьируют в разных пределах (1.5 -11 и 2.2 - 16.6 МПа, соответственно), но средние их значения выше у тефры базальтового состава (7.4 и 5.2 МПа, соответственно) (табл. 12). В связи с своеобразными структурой частиц и гранулометрическим составом тефра базальтового состава более подвержена деформационным воздействиям, чем заполнители отложений разных генетических типов пирокластике андезитовых вулканов.

Прочностные показатели пирокластике базальтовых и андезитовых вулканов практически одинаковы. Сцепление тефры базальтового состава равно в среднем 0.03 МПа, заполнителей пирокластике андезитового состава - 0.01 МПа (табл. 12). Углы внутреннего трения составляют в среднем 30 и 39 град., соответственно. Вероятно, на прочностные показатели тефры базальтового состава большее влияние оказывает сцепление частиц механической природы, а пирокластике андезитового состава - большая плотность сложения отложений и наличие значительного количества тонких частиц.

В целом, физические и физико-механические свойства пирокластических отложений базальтовых и андезитовых вулканов различны. Это обусловлено, в первую очередь, составом и характеристиками (газонасыщенностью, температурой, вязкостью и т.д.) магм этих вулканов. Состав магм и генезис пирокластике предопределяют структурно-текстурные особенности ее частиц и отложений. Габитус частиц, гранулометрический состав отложений в основном и определяют различия физических и физико-механических свойств пирокластике базальтовых и андезитовых вулканов.