

## Глава 2

### **Сравнительная характеристика инженерно-геологических особенностей генетических типов пирокластических отложений андезитовых вулканов Камчатки**

В пирокластических продуктах извержений андезитовых вулканов выделяются пять генетических типов пирокластики: тефра, отложения 2) пирокластических потоков, 3) пирокластических волн, 4) пепловых облаков пирокластических потоков и 5) направленного взрыва.

#### *Химический и минеральный состав отложений*

Заполнители отложений пирокластических потоков имеют примерно такую же кислотность, что и обломки лав пирокластических потоков, заполнители пирокластических волн - меньшую, чем отложения пепловых облаков потоков и большую, чем отложений пирокластических потоков (табл. 1). Следует отметить, что такая же тенденция постепенного уменьшения содержания компонента от заполнителей отложений пирокластических потоков к заполнителям отложений пирокластических волн и к пеплам облаков потоков наблюдается в отношении оксида железа и менее выраженная - в отношении оксидов магния и кальция (табл. 1).

Наибольшее содержание  $\text{SiO}_2$  присуще тефре дальнего разноса (отобранной в 20-50 км от вулкана и далее) (табл. 1, рис. 22). Это обусловлено эоловой гравитационной дифференциацией пирокластики, выражающейся в том, что в ближней зоне от вулкана из эруптивной тучи выпадают не только наиболее крупные частицы тефры, но и минералы, наиболее тяжелые по плотности твердой фазы. По мере удаления от вулкана тефра постепенно обогащается легкими компонентами (в основном, плагиоклазом и вулканическим стеклом).

Несколько меньшее содержание оксида кремния присуще отложениям пепловых облаков пирокластических потоков, так как в процессе конвективной гравитационной дифференциации пирокластики (см. Главу 4) пепловые облака пирокластических потоков (ash cloud of flow) насыщаются самыми легкими частицами - плагиоклазом и вулканическим стеклом.

Минеральный состав отложений генетических типов пирокластики практически одинаков, за исключением отложений катастрофических извержений вулканов, в составе которых наряду с "обычными" ("стандартными" - для заполнителей типов отложений андезитовых вулканов) минеральными компонентами встречаются минералы зеленой и бурой роговой обманки (содержание которых в заполнителях отложений может достигать 20 %). В целом, для всех генетических типов отложений характерно высокое

содержание в их заполнителях плагиоклаза (от 30 до 50 %), вулканического стекла (от 15 до 35 %), пироксена (от 1 до 10 %), магнетита (от 4 до 10 %), (данные В.Ю.Кирьянова - ИВГиГ ДВО РАН).

В составе заполнителей всех типов отложений пироклаستيки наблюдается также высокое содержание обломков пород - от 5 до 35 %.

При рассмотрении минерального состава каждого из заполнителей отложений генетических типов можно проследить следующую тенденцию (в порядке убывания); содержание **плагиоклаза** = отложения пирокластических волн (до 50 %) - пирокластических потоков (до 46 %) - направленного взрыва (до 44 %), **вулканического стекла** = отложения пирокластических потоков (до 35 %) - направленного взрыва (до 25 %) - пирокластических волн (до 15 %), **пироксена** = отложения пирокластических волн (до 10 %) - пирокластических потоков (до 7 %) - направленного взрыва (до 2 %); **магнетита** = отложения пирокластических волн (до 10 %) - пирокластических потоков (до 8 %) - направленного взрыва (до 5 %), **обломков пород** = отложения направленного взрыва (до 35 %) - пирокластических потоков (до 25 %) - пирокластических волн (до 15 %); **зеленой роговой обманки** = отложения пирокластических потоков (до 20 %) - направленного взрыва (до 5 %); **бурой роговой обманки** = отложения направленного взрыва (до 15 %), (по данным В.Ю. Кирьянова, ИВГиГ ДВО РАН, Камчатка).

### **Структурно-текстурные особенности отложений**

Для каждого из генетических типов пироклаستيки андезитовых вулканов характерна своя, отличающаяся от других форма залегания отложений (табл. 11).

Отложения пирокластических потоков залегают локально, согласуясь с рельефом и заполняя каньоны на склоне и долины у подножия вулкана. Для пеплово-глыбовых пирокластических потоков характерна протяженность до 10 км, для ювенильных потоков пористых андезитов - до 20-25 км, при мощности первых до 10 м и вторых - до 3-5 м при некатастрофических и до 20 м - при катастрофических извержениях вулкана.

Локальное распространение отложений характерно также для агломерата направленного взрыва. Отличие залегания агломерата взрыва от отложений пирокластических потоков состоит в том, что его образования в плане занимают некий сектор (около 60-70 град.) поверхности окрестностей вулкана, а основная масса агломерата находится в интервале от 2-5 до 15 км от кратера вулкана. Некоторые холмы отложений агломерата взрыва встречаются между центром извержения и основной массой образований, но в пределах вышеуказанного сектора. Дальность распространения отложений - около 15 км, мощность их на этих расстояниях достигает 15-20 м. Отмечается гнездообразный характер скоплений крупных обломков и примерно одинаковая мощность отложений на склонах и вершинах возвышенностей и на

днищах отрицательных форм рельефа; перепад высот подошвы отложений может достигать 100-150 м.

Распространение всех остальных отложений генетических типов пирокластики - площадное, в форме эллипса.

Для отложений обеих разновидностей пирокластических волн типично залегание как в основании, так и на поверхности образований пирокластических потоков, а также вне связи с ними. "Эллипс" отложений пирокластических волн в зависимости от масштаба извержений вулкана на десятки или сотни метров шире "тела" пирокластического потока.

Отличительной чертой приземных пирокластических волн является нечеткий, постепенный переход их отложений в образования пирокластических потоков и небольшая их мощность - до 10-15 см при некатастрофических и до 2-3 м при катастрофических извержениях вулканов.

Характерной чертой отложений пирокластических волн пепловых облаков является то, что они перекрываются образованиями пепловых облаков пирокластических потоков. Мощность этой разновидности пирокластических волн достигает 1-2 м при некатастрофических и 3-5 м при катастрофических извержениях вулканов. Слоистость отложений пирокластических волн четкая, иногда неясновыраженная.

Отложения песка направленного взрыва формируются при катастрофических или крупномасштабных извержениях андезитовых вулканов. Форму их распространения можно описать широким сектором (более 100 град. ) или эллипсом, начала которых находятся в привершинной части вулкана; дальность иногда превышает 30-35 км.

Отличительной чертой распространения песка направленного взрыва является несогласованность их отложений с рельефом - они имеют одинаковую мощность как в долинах, так и на возвышенностях окрестностей вулкана.

Мощность песка направленного взрыва вблизи вулкана равна 1-2 м, вдали от него породы песка постепенно выклиниваются. Отложениям присуща четкая слоистость (рис. 32).

Залегание и его форма отложений тефры и отложений пепловых облаков потоков одинаковы, однако ось распространения эллипса образований тефры совпадает с направлением ветра, пеплов облаков потоков - с протяженностью пирокластического потока (при сильном ветре распространение пеплов облаков потоков смещается в его направлении). Протяженность эллипса образований пеплов облаков потоков оценивается в десятки, тефры - в сотни километров. Мощность отложений зависит от масштаба извержений: пеплов облаков потоков - до 2-5 см при некатастрофических и до 10 см при катастрофических извержениях вулканов; тефры - от нескольких десятков сантиметров до первых метров вблизи вулкана до 2-5 см на расстояниях 50-70 км от центра извержения.

В связи с тем, что формирование пород пепловых облаков пирокластических потоков происходит одноактно, их отложения неслоисты, везде одинакового монолитного облика, в подошве их могут встречаться

прослой аккреционных лапиллей. Отложения тефры, напротив, в любой из точек изучения стратифицированы, что связано с эоловой гравитационной дифференциацией пород.

Изучение микростроения частиц заполнителей отложений генетических типов пирокластики андезитовых вулканов (параллельно с исследованием их на микрозонде Института вулканологии ДВО РАН, Камчатка), а также микростроения образцов ненарушенного сложения тефры вулкана Шивелуч и отложений обеих разновидностей пирокластических волн вулкана Безымянный показало, что для Безымянного более характерны изометричные монолитного облика частицы, представленные обломками плагиоклаза, сростков других минералов, вулканического стекла и пород. Вулкану Шивелуч в большей мере присущи удлиненные частицы, представленные вулканическим стеклом, обломками плагиоклаза и роговой обманки. Это связано, вероятно, с разными глубинами зарождения и составами магм этих вулканов.

Также было показано, что различие микростроения образцов двух разновидностей пирокластических волн состоит, в частности, в том, что отложения пирокластических волн пепловых облаков агрегированы, а приземных - нет. С другой стороны, образования тефры и волн пепловых облаков похожи тем, что материал обоих типов пирокластики агрегирован, так как формировался из "пепловых облаков" (тефра из эруптивной тучи, отложения волны пеплового облака - из "волны пеплового облака"-промежуточного "слоя" между пирокластическим потоком и пепловыми облаками пирокластического потока, которые формируются в результате конвективной гравитационной дифференциации пирокластической массы при низвержении ее на склон вулкана в кульминационные стадии извержения) (см. Гл.4). Различные условия формирования отложений (высота пепловых облаков, влажность слоев атмосферы, скорость отложения частиц на поверхность и т.д.) обусловили разную крупность их агрегатов, на что указывает большая внутриагрегатная, по сравнению с межагрегатной, пористость тефры, то есть агрегаты тефры крупнее, чем агрегаты отложений волн пепловых облаков.

Следовательно, использование электронного сканирующего микроскопа позволяет уточнять диагностику как современных, так, вероятно, и древних отложений генетических типов пирокластики.

### ***Гранулометрический состав пород***

Различия в содержании обломков и их максимальных размерах в разных типах пирокластики показаны в табл. 11. Повторим, что наибольшее количество обломков (до 80 %) при их максимальном размере (до 10 м) присуще несортированным продуктам агломерата направленного взрыва, в хорошоотсортированных отложениях пепловых облаков потоков обломки отсутствуют.

Помимо содержания ювенильного вещества (см. Гл. 1), разновидности пирокластических потоков различаются размером обломков пород и их

количеством: потокам ювенильных пористых андезитов присущи обломки размером до 1 м, пеплово-глыбовым - до 5-7 м (содержание обломков в них оценивается как 30-40 и 40-50 %, соответственно). Также они различаются содержанием тонких частиц - размером менее 0.056 мм (до 5 и до 10-15 %, соответственно). Материал обеих разновидностей потоков несортирован.

Разновидности отложений пирокластических волн хорошо различаются: количество обломков в материале приземных волн не превышает 10 %, при том, что максимальный их размер при некатастрофических извержениях равен 1 см, при катастрофических - 10 см; в материале волн пепловых облаков содержится не более 20-25 % обломков, размер их не превышает 3-5 см. Отложения приземных волн однородны, хорошо сортированы, волн пепловых облаков - отсортированы в каждом из слоев.

По содержанию обломков отсортированные породы "песка направленного взрыва" занимают промежуточное положение между разновидностями пирокластических волн (10-20 %, табл. 11), однако максимальный размер их обломков - 10-20 см - отличает их от отложений пирокластических волн.

Гранулометрический состав заполнителей (частиц диаметром менее 2 мм) генетических типов пирокластических отложений различен. Это обстоятельство можно использовать для диагностики генетических типов голоценовых или более древних толщ пирокластики.

В Главе 1 показано, что всем вулканам андезитового состава присуще одинаковое распределение фракций заполнителей их пирокластических потоков, в то же время каждому вулкану характерна определенная, отличающаяся от других, превалирующая фракция заполнителей потоков. Например, для заполнителей потоков разных извержений вулкана Безымянный типична фракция 0.125-0.25 мм (рис. 22, Приложение, стр. 88, 90), для вулкана Шивелуч - 0.125-0.5 мм (Приложение, стр. 93). Численные значения гранулометрических характеристик (медианы, среднего размера, коэффициента сортировки и др.) заполнителей пирокластических потоков обоих вулканов сходны, разновидностей этих потоков ("ювенильных" и пеплово-глыбовых) - практически одинаковы (табл. 11).

Численные значения гранулометрических характеристик заполнителей пирокластических потоков почти одинаковы с таковыми заполнителей агломерата направленного взрыва (табл. 11), однако распределение фракций заполнителей агломерата, а также содержание в них тонких фракций, не говоря уже о структурно-текстурных особенностях, различных с таковыми пирокластических потоков, не позволяют перепутать эти два типа пирокластики.

Яркой особенностью заполнителей отложений приземных пирокластических волн является одномодальное распределение фракций - резкое преобладание частиц диаметром 0.125-0.25 мм (до 30-42 %, вулкана Безымянный) или 0.25 - 0.5 мм (до 37-45 %, вулкана Шивелуч). То есть, в заполнителях отложений приземных волн преобладают такие же фракции, как

и у заполнителей пирокластических потоков, с которыми отложения пирокластических волн взаимосвязаны.

Отличительной чертой отложений волн пепловых облаков является бимодальное распределение фракций их заполнителей, одна из которых совпадает с преобладающей фракцией заполнителей материала пирокластических потоков, а другая - самая тонкая (частицы диаметром менее 0.056 мм), содержание которой может достигать 35 % (табл. 11).

Похожее на отложения приземных волн распределение фракций заполнителя имеют образования "песка направленного взрыва", однако их преобладающая фракция - 0.5 - 1.0 мм, а содержание тонкой фракции не превышает 5 % (Приложение, стр. 92).

Численные значения гранулометрических характеристик (медианы, среднего размера, коэффициента сортировки и др.) заполнителей пород пирокластических волн меньше, чем пирокластических потоков и образований направленного взрыва, но большие, чем материала пепловых облаков пирокластических потоков (табл. 11). Так как отложения приземных волн более крупнозернисты (содержание тонких фракций в их отложениях составляет 5, реже 10 %, в отложениях волн пепловых облаков - до 35 %), численные значения их гранулометрических характеристик несколько большие по величине, чем волн пепловых облаков.

Величины медианы, среднего размера и других характеристик заполнителей песка направленного взрыва - наибольшие среди генетических типов пирокластики (табл. 11). Это является отличительной чертой отложений песка направленного взрыва.

Наименьшими величинами вышеуказанных гранулометрических характеристик обладают отложения пепловых облаков потоков (табл. 15) и тефры дальнего разноса [30], содержание тонких фракций в породах пепловых облаков потоков достигает 55-65 %, тефры на расстояниях сотен километров от вулкана - до 90-100 %.

Преобладающими фракциями заполнителей отложений агломерата направленного взрыва являются 0.125 - 0.25, 0.25 - 0.5, 0.5 - 1.0 и менее 0.056 мм, то есть все те фракции, которые преобладают у заполнителей других генетических типов пирокластики андезитовых вулканов. Возможно, такое количество преобладающих фракций в заполнителях отложений агломерата является следствием недифференцированности его массы, которая включает в себя породы всех генетических типов пирокластики. Это связано, вероятно, с тем, что отложения агломерата направленного взрыва сформировались быстро (в результате мощной или мощных эксплозий), не успели разделиться в процессе перемещения на типы пирокластики. Отложения других генетических типов обладают одной или двумя преобладающими фракциями.

Кумулятивные кривые гранулометрического состава заполнителей пирокластических отложений различных генетических типов имеют разный наклон и занимают определенное место на графиках (рис. 18). Графики гранулометрического состава заполнителей отложений, формирование которых

происходило при движении по земле (пирокластические потоки) имеют вид тангенциальных кривых; тех, которые формировались из высоких пепловых облаков (отложения тефры, пепловых облаков пирокластических потоков) - пологих парабол или дуг. Кумулятивные кривые состава отложений, сформированных из массы, находящейся в воздухе, но тяготеющей к земле (приземных пирокластических волн и волн пепловых облаков) - имеют вид одной ветви параболы иногда с элементами "тангенциальности".

Судя по виду кумулятивных кривых гранулометрического состава заполнителей агломерата направленного взрыва, его отложения формировались из воздуха (рис. 18). Это, вероятно, может служить указанием на эксплозивное происхождение этих отложений, а также на то, что название типа пирокластики "агломерат направленного взрыва" - генетически верное.

### **Физические свойства отложений**

**Плотность твердой компоненты** заполнителей генетических типов пирокластики андезитовых вулканов в целом почти одинакова (табл. 11). Различия в ее значениях для разных генетических типов пирокластических отложений хорошо проявляются при рассмотрении типов отложений отдельных некатастрофических, но достаточно крупных извержений вулканов [30].

В целом, средние значения плотности твердой фазы заполнителей агломерата направленного взрыва ( $2.76 \text{ г/см}^3$ , 4 определения) несколько выше, а отложений пепловых облаков потоков ( $2.58 \text{ г/см}^3$ , 10) - ниже других типов пирокластики (в среднем, значения их варьируют от  $2.69$  до  $2.73 \text{ г/см}^3$ ). Плотности твердой фазы пород косвенно подтверждают то, что отложения агломерата направленного взрыва содержат больше тяжелых минералов, а пеплы облаков потоков - легких.

**Плотность естественного сложения** отложений пирокластики в среднем варьирует в пределах  $0.89 - 1.60 \text{ г/см}^3$ . Самые высокие ее значения характерны для пород песка направленного взрыва (от  $1.50$  до  $1.77 \text{ г/см}^3$ ), самые низкие - для тефры дальнего разноса и пеплов облаков потоков ( $0.89-1.06$  и  $1.09 \text{ г/см}^3$ , соответственно). Плотность отложений пеплово-глыбовых потоков, в связи с большим содержанием в них мелких обломков пород и заполнителя, несколько выше, чем "ювенильных" (в среднем,  $1.56$  (127) и  $1.44$  (13)  $\text{г/см}^3$ , соответственно).

Отложения волн пепловых облаков агрегированы, и, хотя они и содержат большее количество обломков, плотность их пород меньшая по сравнению с отложениями приземных волн (вероятно, в связи с большей газонасыщенностью продуктов волн пепловых облаков), (в среднем  $1.41$  (10) и  $1.53$  (55)  $\text{г/см}^3$ , соответственно).

Плотность отложений агломерата направленного взрыва (в среднем,  $1.47 \text{ г/см}^3$  (10)) занимает промежуточное положение между разновидностями

образований и потоков, и пирокластических волн, вероятно, благодаря большому содержанию в них тонких фракций.

**Пористость** пирокластики в естественном залегании наибольшая у отложений пепловых облаков потоков (в среднем, 59 % (3)) - благодаря высокой агрегированности материала, наименьшая - у "песка направленного взрыва" (в среднем, 41 % (2)), в связи с крупнозернистостью и высокой плотностью пород.

Плотность сложения, количество обломков и тонких фракций в заполнителе, агрегированность материала повлияли на то, что пористость отложений пеплово-глыбовых потоков ниже, чем "ювенильных" (в среднем, 42 (127) и 47 (13) %, соответственно), а пористость пород волн пепловых облаков выше, чем отложений приземных волн (в среднем, 49 (10) и 43 (55) %, соответственно).

Пористость отложений агломерата сравнима с таковой продуктов пирокластических потоков ювенильных пористых андезитов и волн пепловых облаков, пористость тефры - с пеплами облаков потоков (табл. 11).

### **Физико-механические свойства отложений**

**Модули общей деформации** заполнителей отложений генетических типов пирокластики в среднем имеют примерно одинаковые величины - около 4-6 МПа, хотя вариации их значений значительны - от 2.2 до 16.6 МПа (табл. 11).

Наименьшие значения модуля общей деформации принадлежат тефре и заполнителям отложений агломерата направленного взрыва (в среднем, 2.7-4.4 и 2.7 МПа, соответственно), наибольшие - заполнителям пирокластических потоков и волн (до 16.6 и 15.6 МПа, соответственно).

**Прочностные характеристики** заполнителей типов пирокластических отложений варьируют в узких пределах; сцепление - в среднем, от 0 до 0.04 МПа, угол внутреннего трения - в среднем от 34 до 55 град. (табл. 11).

Таким образом, комплексное изучение пирокластики андезитовых вулканов показало, что при некотором сходстве физических и физико-механических свойств заполнителей отложений, генетические типы пирокластики обладают определенными инженерно-геологическими особенностями, отличающими каждый из них от других. Этот фактор играет существенную роль при диагностике генетических типов не только современных, но голоценовых и более древних пирокластических образований.



**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ  
АНДЕЗИТОВЫХ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ**

Названия характеристик	Пирокластические потоки		Пирокластические волны		Пеплы облаков потоков	Тефра	Агломерат направленно-го взрыва	Песок направленно-го взрыва
	пепло-глыбовые	ювенильных пористых андезитов	приземные	пеплового облака				
Залегание отложений	Согласуются с	рельефом	Площадное, в основании потоков, вне связи с ними. В разрезе - постепенный переход к потоку	Площадное; на поверхности, за пределами, в основании потоков. На верхней границе - пеплы облака потока	Площадное, эллипсообразной формы, ось эллипса совпадает с протяженностью потока	Площадное, эллипсообразной формы, ось эллипса совпадает с направлением ветра	Локальное, узким сектором у подножия вулкана	Площадное, широким сектором, не согласуясь с рельефом
Протяженность отложений	до 10 км	до 20- 25 км	Соизмеримы с длиной потоков и превышают ее	Соизмеримы с длиной потоков и превышают ее	десяtkи км	сотни км	до 15 км	до 30-35 км
Мощность отложений	до 10 м	до 3-5 м - некатастроф. до 20 м - катастрофич.	до 10-15 см до 2-3 м	до 1-2 м некатастроф. до 3-5 м - катастрофич.	до 2-5 см - некатастроф. до 10 см - катастрофич.	до 2-5 см на расстоянии 50-70 км от вулкана	до 15-20 м в 10-15 км от вулкана	до 1-2 м вблизи, 1-2 см вдали от вулкана
Слоистость отложений	Неслоисты	Неслоисты, иногда локальные линзы крупных обломков	Слоистость неясновыраженная	Слоистость четкая, иногда монолитный облик отложений	Неслоисты, в подошве может быть слой аккреционных лапиллей	Стратифицированы в каждом из слоев	Неслоисты, хаотическое распределение материала	Слоистость четкая
Количество обломков, (> 2 мм), % Максимальный размер обломков	до 40-50	до 30-40	до 10	до 20-25	нет	вблизи вулкана - до 70-90	до 80	до 10-20
	до 5-7 м	до 0,8-1 м	до 1 см - некатастроф. до 10 см - катастрофичес.	до 3-5 см - некатастроф.	нет	вблизи вулкана - бомбы, лапилли	до 10 м	до 10-20 см
Отсортированность отложений	Несортированы	Несортированы	Хорошо сортированы, однородны	Сортированность каждого слоя	Хорошо сортированы, однородны	Сортированы	Несортированы	Сортированы
Плотность сложения отложений, г/см <sup>3</sup>	1,56(127)	1,44(13)	1,53(55)	1,41(10)	1,09(3)	0.89-1,06	1,47(10)	1,60(4)
	1,27-1,88	1,19-1,72	1,30-1,64	1,30-1,67	0,87-1,20		1,09-1,75	1,50-1,77
Пористость, %	42(127)	47(13)	43(55)	49(10)	59(3)	56(2)	47(10)	41(2)

Преобладающая фракция заполнителя, мм	некатастрофические 0,125-0,25 катастрофические 0,125-0,25 0,25-0,50	еские изверженные 0,125-0,25 0,125-0,25 0,25-0,50	Такая как потока 0,125-0,25 или 0,25-0,50	Некатастрофические изверженные 0,125-0,25 катастрофические извержения 0,125-0,25 или 0,25-0,50	Менее 0,056	По мере удаления от вулкана - меняется	0,125-0,25 0,25-0,50 0,50-1,00 менее 0,056	0,50-1,00
Содержание частиц менее 0,056 мм	некатастрофические до 10-15 % катастрофические до 15 %	еские извержения до 5 % катастрофические до 15 %	до 5-10 %	до 35 %	до 55-65 %	На расстояниях до сотен км - 90-100 %	до 20 %	до 5 %
Медиана, мм	некатастрофические 0,26(28) 0,21-0,37 катастрофические 0,19-0,32	еские извержения 0,25(24) 0,19-0,32 катастрофические 0,26(15) 0,19-0,34	некатастрофические 0,17(26) 0,12-0,21 катастрофические 0,24(2)	еские извержения 0,12(9) 0,09-0,15 катастрофические 0,17(8)	0,05(9) 0,01-0,07 некатастрофические извержения		0,24(11) 0,24-0,26	0,42(19) 0,37-0,60
Средний размер, мм	некатастрофические 0,38(28) 0,32-0,50 катастрофические 0,32-0,50	еские извержения 0,38(24) 0,30-0,47 катастрофические 0,36(15) 0,31-0,41	некатастрофические 0,22(26) 0,13-0,27 катастрофические 0,35(2)	еские извержения 0,16(9) 0,12-0,23 катастрофические 0,22(8)	0,07(9) 0,05-0,10 некатастрофические извержения вулканов		0,38(11) 0,38-0,41	0,56(19) 0,47-0,62
Коэффициент сортировки, мм	некатастрофические 0,33(28) 0,24-0,41 катастрофические 0,24-0,41	еские извержения 0,35(24) 0,28-0,42 катастрофические 0,32(15) 0,30-0,36	некатастрофические 0,16(26) 0,07-0,23 катастрофические 0,30(2)	еские извержения 0,14(9) 0,09-0,22 катастрофические 0,25(8)	0,05(9) 0,01-0,08 некатастрофические извержения вулканов		0,40(11) 0,39-0,42	0,50(19) 0,40-0,54
Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup> .	2,69(14) 2,64-2,74	2,71(10) 2,64-2,74	2,69(16) 2,56-2,75	2,70(6) 2,69-2,71	2,58(10) 2,46-2,66		2,76(4) 2,72-2,76	2,73(4) 2,72-2,74
Сцепление, МПа	0,02(4)	0,02(5)	0(7)	0,04(2)	0,04(2)	0-0,02	0,01(4)	0(4)
Угол внутреннего трения, градус	34(13) 22-55	38(5) 25-53	42(7) 24-58	41(2) 30-52	55(2) 54-56	33-38	35(4) 29-50	47(3) 33-55
Модуль общей деформации, МПа	5,0(4) 2,2-7,8	10,8(3) 7,6-16,6	6,0(8) 2,5-15,6	5,3(3) 3,8-8,1	5,0(1)	2,7-4,4	2,7(1)	5,9(3) 2,9-9,0

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