

## Глава 5

### Критерии выделения генетических типов пирокластических отложений андезитовых вулканов

Различия инженерно-геологических особенностей генетических типов пирокластики андезитовых вулканов описаны в Главе 2. Здесь показано, как на практике - в полевых условиях различать типы пирокластических отложений, а также с помощью каких характеристик уточнять приведенную диагностику. Другими словами, определены главные критерии, по которым выделение генетических типов пирокластики андезитовых вулканов является наиболее достоверным.

Напомним, что тефра образуется в результате преимущественно вертикальных эксплозий из кратера вулкана, образования направленного взрыва - более мощных направленных под углом к горизонту эксплозий из привершинных частей вулканов, породы пирокластических потоков, волн и пеплов облаков потоков, находясь в парагенетической связи между собой, формируются из пирокластической массы, низвергающейся на склон вулкана в результате коллапса эруптивной колонны (вертикальной или наклоненной к горизонту) (см. Гл. 1).

В таблице 11 показаны основные характеристики генетических типов пирокластики андезитовых вулканов. Для сравнения особенностей разновидностей типов отложений (потоков, волн, направленного взрыва), они помещены рядом. Также рядом расположены похожие типы отложений - тефра и пеплы облаков пирокластических потоков.

Итак, остановимся перед незнакомым разрезом пирокластических отложений в 5-7 км от центра извержения. На таких расстояниях от кратера вулкана проявляются почти все генетические типы пирокластики его извержений и некатастрофических и катастрофических масштабов, влияние экзогенных факторов - невелико.

Что мы можем увидеть в разрезе, по каким критериям выделим в нем типы отложений ?

В разрезе сразу обращают на себя внимание крупные "слои" мощностью до 3-5 м, в которых хаотически распределены разноразмерные обломки (рис. 21). Снизу и сверху этого крупного "слоя" лежат слои песчаного и алевропелитового материала, количество обломков в которых незначительно.

Визуально выделенный "крупный слой", по всей вероятности, будет отложениями пирокластического потока. Качественные характеристики потоков (большие мощности, высокое содержание хаотически распределенных крупных обломков и глыб, размеры которых не превышают первых метров, плохая сортированность материала и т.д.) сходны лишь с агломератом направленного взрыва (табл. 11). Но если отложения потоков имеют светлые, в целом равномерные окраски обломков и заполнителя, то образования агломерата - пестрые. Обломки в агломерате представляют собой породы

разрушенных взрывом куполов или постройки вулкана, долгие годы (периоды покоя между активизациями вулкана - до сотен лет) подвергавшиеся постмагматическому преобразованию. Их размер достигает 10 и более метров, а содержание - 80 %.

Отложения пирокластических потоков всегда окаймляются образованиями пирокластических волн, отложениями пепловых облаков пирокластических потоков, но нередко также и тефрой. При катастрофических извержениях вулканов с пирокластическими потоками часто соседствуют образования песка направленного взрыва.

Песчаные отложения с небольшим содержанием обломков размером до 10 см, лежащие ниже и выше пирокластического потока, будут, вероятно, соответствовать отложениям пирокластических волн или песка направленного взрыва.

Отложения приземной пирокластической волны отличаются от других вышеназванных типов отложений небольшой мощностью (часто раз в 10 меньшей, чем мощность вышележащего пирокластического потока), хорошей отсортированностью материала, неясновыраженной слоистостью. Мощности отложений волны пеплового облака и песка взрыва сопоставимы, для них характерна слоистость, сортированность материала в каждом из слоев (табл. 11).

Характерным отличительным признаком отложений приземной волны, залегающих в основании потока, является постепенный переход их отложений в породы потока. В случае залегания под потоком материала волн пепловых облаков, отдифференцировавшихся от первых порций потока, имевших меньшую, чем 5-7 км протяженность (напомним, что мы рассматриваем разрез пирокластических отложений в 5-7 км от кратера вулкана), граница между отложениями волны пеплового облака и потока будет четко зафиксирована слоем алевропелита пепловых облаков потоков, отложившимся на кровле слоя материала волны пеплового облака.

Наиболее тонкозернистыми, однородными, хорошоотсортированными будут отложения пепловых облаков пирокластических потоков. Они слоем равной мощности перекрывают поток и его окрестности, а на расстоянии 1-5 км от боковых частей потока постепенно выклиниваются. По направлению ветра их отложения могут распространяться на десятки километров.

Отложения тефры охватывают большую площадь, чем пепловых облаков потоков, так как эруптивные облака, из которых происходит выпадение частиц тефры, поднимаются на большую высоту, чем пепловые облака потоков (см. Гл.1), и распространение их целиком подвластно ветру.

Мощность тефры у кратера вулкана - небольшая (тефра как бы перебрасывается эксплозиями на некоторое от него удаление), что отмечено в работах [30,47 и др.], на некотором расстоянии от вулкана - максимальная, затем на протяжении сотен километров постепенно уменьшается и выклинивается. В каждой из точек рассмотрения отложения тефры имеют различный гранулометрический состав [61,62], но везде стратифицированы,

что обусловлено эоловой гравитационной дифференциацией. Отложения пепловых облаков пирокластических потоков одного извержения везде (в ближней и дальней зонах вулкана) однородны и одинаковы по гранулометрическому составу - процесс отложения пеплов - одноактный, завершающий кульминационную фазу извержения вулкана.

Итак, в полевых условиях благодаря стратиграфическим и структурно-текстурным особенностям отложений можно четко различать образования агломерата направленного взрыва и пирокластических потоков, но отложения пепловых облаков потоков можно перепутать с тефрой, а породы разновидностей пирокластических волн - между собой и с песком направленного взрыва.

Для достоверной диагностики генетических типов пирокластики необходимо воспользоваться лабораторными методами изучения отложений, и, в первую очередь, рассмотреть гранулометрический состав этих образований и их заполнителей (в Гл. 2 было показано, что гранулометрический состав является наиболее информативной количественной характеристикой пирокластики, а в некоторых случаях - единственной, с помощью которой можно различать генетические типы пирокластических отложений).

Содержание обломков, а также их максимальный размер в породах каждого из генетических типов пирокластики своеобразно, что позволяет, например, различать разновидности типов пирокластических потоков (пеплово-глыбовых и "ювенильных") и пирокластических волн (приземных и волн пепловых облаков) (табл.11).

Как видно из диаграмм гранулометрического состава заполнителей пирокластических отложений (см. Приложение), каждый из генетических типов пирокластики обладает определенным распределением фракций, и, следовательно, определенной формой и местоположением на графике кумулятивных кривых состава, а также и гранулометрическими статистическими коэффициентами (медианой, средним размером частиц и т.д.), отличающими один тип от других.

Заполнители потоков и других типов пирокластических отложений очень хорошо различаются по гранулометрическому составу. Своего рода эталонным в этом отношении может служить рис. 18, на котором показаны обобщенные кумулятивные кривые гранулометрического состава заполнителей пирокластики вулкана Безымянный извержений 1984-1989 гг. и 1956 г. Заполнители потоков наиболее крупнозернисты, поэтому их кривые занимают нижнее положение на графике, на гистограммах, отражающих распределение разных фракций заполнителя, видно, что частицы крупных размеров преобладают (см. Приложение, стр. 88, 90).

Кумулятивные кривые гранулометрического состава заполнителей агломерата направленного взрыва резко отличаются от других типов пирокластики (рис. 17, 18, 20). У заполнителей каждого из типов отложений преобладают или одна или две фракции, у заполнителей агломерата

преобладающими являются четыре фракции (примерно одинакового содержания) (табл. 11, Приложение, стр. 91, 92).

Заполнители отложений приземных пирокластических волн имеют одну преобладающую фракцию - такую же, как и заполнители потоков, но содержание этой фракции у отложений приземных волн достигает 40-45 %, а у заполнителей потоков - до 25 %. Для отложений волн пепловых облаков характерны две превалирующие фракции: такая же, как у потоков и частицы размером менее 0.056 мм (до 35 %). Преобладающая фракция отложений пепловых облаков потоков - менее 0.056 мм (до 55-60 %), доля каждой из других не превышает 15 %, обломков нет.

У заполнителей песка направленного взрыва преобладающей является одна, но крупнозернистая фракция - 0.5-1.0 мм (до 35 %), совпадающая с наибольшей фракцией заполнителя агломерата направленного взрыва (табл. 11).

Средние медианные диаметры и средний размер частиц заполнителей пирокластических потоков и агломерата направленного взрыва одинаковы, хотя у потоков большие вариации этих значений (табл. 11). Коэффициенты сортировки заполнителей отложений показывают худшую отсортированность материала агломерата направленного взрыва.

Гранулометрические характеристики заполнителей отложений пирокластических волн по величине занимают промежуточное положение между таковыми характеристиками заполнителей потоков и тефры дальнего разноса и отложений пепловых облаков потоков. Таковые величины песков направленного взрыва - самые высокие среди пирокластических андезитовых вулканов (табл. 11), что является хорошим отличительным признаком этих отложений от других.

Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что гранулометрический состав заполнителей потоков (распределение фракций, наклон и местоположение кумулятивных кривых состава на графике, величины гранулометрических характеристик) может являться достоверным критерием выделения типов пирокластических отложений.

Изучение микростроения образцов ненарушенного сложения пирокластической массы показало, что отложения тефры и волн пепловых облаков агрегированы, а приземных - нет. Кроме этого, выяснилось, что агрегаты тефры более крупные по размерам, чем агрегаты волн пепловых облаков (см. Гл. 2,3,5). Это еще раз доказывает факт, что материал тефры и волн пепловых облаков формируется из "пепловых облаков" (тефра из эруптивных туч, а отложения пирокластических волн пепловых облаков - 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 фазы извержения)). Таким образом, изучение микростроения образцов

пирокластических отложений может существенно уточнять диагностику их генетических типов.

Критерием выделения генетических типов пирокластики может служить также вещественный состав (химический и минеральный) заполнителей отложений. Например, если содержание ювенильного вещества в заполнителе потоков может достигать 60-80 %, то в заполнителе агломерата взрыва оно очень мало - часто первые проценты или до 10-15 % (табл. 11). Различия в химическом и минеральном составах генетических типов пирокластики показаны в Гл. 1,2, 4. Повторим, что наибольшим содержанием оксида кремния обладают породы тефры дальнего разноса, несколько меньшим - пеплы облаков потоков, состав других типов отложений (за исключением агломерата взрыва), в разной мере похож на состав обломков пород извержения вулкана (см. Гл. 4, рис. 22).

Таким образом, с помощью изучения вещественного состава пород можно уточнять диагностику некоторых генетических типов пирокластических отложений вулканов.

Содержание "тяжелых" по плотности твердой фазы и "легких" минералов в заполнителях типов пирокластики различно (см. Гл. 1, 2, 4). Это находит отражение в том, что плотности твердой фазы заполнителей типов отложений одного масштаба извержений вулкана хорошо различаются, хотя в среднем, за исключением пеплов облаков потоков, они похожи (см. Гл. 4, табл. 11).

Плотность естественного сложения недавно сформировавшейся пирокластики (в зависимости от масштаба извержения вулкана это время измеряется от нескольких дней до нескольких месяцев) различна для каждого из ее типов. Наименьшей плотностью сложения обладают отложения пепловых облаков пирокластических потоков ( $0.87 - 1.20 \text{ г/см}^3$ ), наибольшей - образования песка направленного взрыва ( $1.50-1.77 \text{ г/см}^3$ ) (табл. 11). Сразу после окончания кульминационной фазы извержения наиболее рыхлое сложение имеют породы волн пепловых облаков (до  $1.43 \text{ г/см}^3$ ) - благодаря формированию их из пеплового облака, они обладают высокой газонасыщенностью, газ сохраняется в составе этих отложений продолжительное время (до нескольких месяцев - оценки по отложениям вулкана Безымянный).

Пористость отложений зависит, в основном, от их гранулометрического состава и плотности сложения в естественном залегании. Наибольшей пористостью обладают отложения пепловых облаков потоков, наименьшей - породы пеплово-глыбовых пирокластических потоков, хотя в среднем, пористость типов отложений, за исключением пеплов облаков потоков и тефры, достаточно похожа.

Таким образом, комплексные - качественные и количественные - методы исследования пирокластических отложений андезитовых вулканов позволяют с достаточной степенью достоверности проводить диагностику их генетических типов.

Основными критериями выделения генетических типов пирокластики являются: **стратиграфический** (залегание, протяженность, мощность отложений, границы с ниже- и вышележащими), **структурно-текстурный** (слоистость, количество и распределение обломков в заполнителе отложений).

Подтвердить и уточнить диагностику генетических типов пирокластики помогут критерии: **гранулометрический состав заполнителей отложений** (распределение фракций, наклон и местоположение кумулятивных кривых состава на графике, численные значения гранулометрических статистических коэффициентов), **химический и минеральный составы пород** (содержание кремнезема и других элементов, ювенильного вещества), **физические свойства отложений** (плотность твердой фазы, плотность естественного сложения, пористость).