

А. Н. СИРИН

### РАЗНОВИДНОСТИ СТОЛБЧАТОЙ ОТДЕЛЬНОСТИ В ЛАВОВОМ ПОТОКЕ И УСЛОВИЯ ЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ

На водораздельной возвышенности между реками Левая Тополовая и Малая Быстрая, расположенной к северу от Виллючинского вулкана на Камчатке, имеется группа шлаковых конусов, отмеченная Е. М. Крохиной (1954). К северо-западу от этой группы на расстоянии 1,5—2 км были встречены еще два небольших, сильно разрушенных шлаковых конусов, густо поросших ольхой и кустарником. Из западного конуса вытек поток оливинового базальта длиной 200—250 м, шириной 6—12 м и мощностью 4—5 м. Концевая часть потока спустилась на дно небольшой округлой впадины, по-видимому, эксплозивного происхождения. Вблизи от конуса поток засыпан темноцветными шлаками, на остальном протяжении задернован и зарос, и только в той части его, которая расположена в упомянутой котловине, в трех местах встречены участки обнаженной лавы, общей площадью 250—300 м<sup>2</sup> (рис. 1).

На этих участках видно, что поток состоит из лавовых столбов, плотно прижатых друг к другу. В осевой части потока лавовые столбы вертикальны, в краевых частях слабо наклонны. Высота столбов колеблется от 2 до 2,7 м, диаметр — от 15 до 70 см. На высоте 1,2—1,3 м от основания столбы пересечены горизонтальной трещиной, разбивающей каждый столб на две примерно равные части.

Поперечное сечение столбов различно. У большинства столбов оно имеет вид более или менее правильного круга, примерно у трети столбов сечение представляет собой сочетание окружности с правильным шестиугольником. Поперечное сечение остальных столбов обычно представляет правильными шестигранниками, реже — многоугольниками.

Боковая поверхность цилиндрических столбов, там, где она видна, ровная, слабо шероховатая, без каких-либо признаков граней. У столбов промежуточного типа (комбинация цилиндра с шестигранной призмой) на боковых поверхностях видно чередование плоских граней с участками ровной цилиндрической поверхности (рис. 2). От последних плоские грани заметно отличаются меньшей шероховатостью.

Вышеописанные формы лавовых столбов образуют непрерывный ряд, крайними членами которого являются шестигранная призма и цилиндр. Остальные члены ряда образуют переходные формы, отличающиеся друг от друга соотношением между суммарной площадью плоских граней ( $\sum S_p$ ) и суммарной площадью цилиндрических поверхностей ( $\sum S_c$ ). Просматривая изменение форм от колонны к призме, мы увидим, что  $\sum S_c$  будет сокращаться до 0 (у призмы), а  $\sum S_p$  соответственно возрастать.

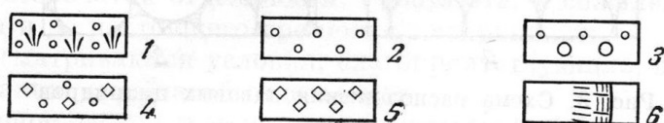
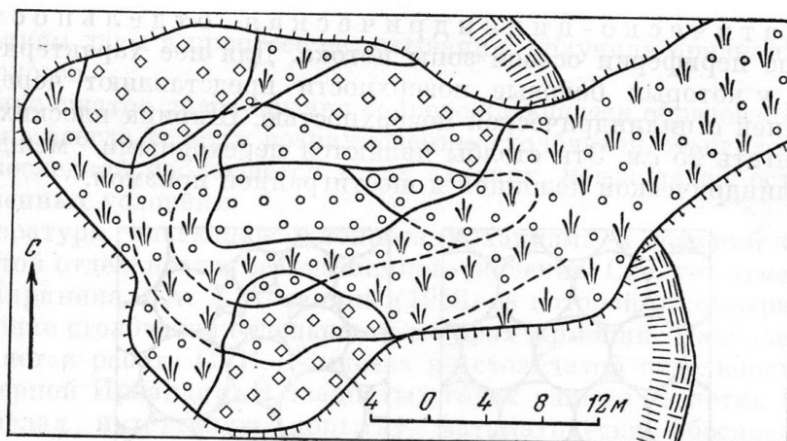


Рис. 1. Схема концевой части лавового потока

1 — участки, задернованные и заросшие; 2 — участки с совершенной цилиндрической отдельностью лав; 3 — участки с неправильной цилиндрической отдельностью; 4 — участки с призматическо-цилиндрической отдельностью; 5 — участки с призматической отдельностью; 6 — склон Explosивной воронки. Пунктиром показано предполагаемое распространение разновидностей столбчатой отдельности

Преобладание лавовых столбов определенной формы и взаимоотношения между ними определяют характер столбчатой отдельности. В конкретных случаях могут быть выделены следующие разновидности столбчатой отдельности.

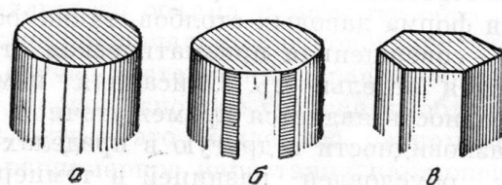


Рис. 2. Формы лавовых столбов

a — цилиндр; б — комбинация цилиндра с шестигранной призмой; в — шестигранная призма

Совершенная цилиндрическая отдельность наблюдается в осевой части потока; образована правильными, плотно стоящими ровными цилиндрами диаметром 40—50 см. Расположение цилиндрических столбов таково, что каждый из них окружен шестью другими (рис. 3). В местах соприкосновения столбов на их боковых поверхностях иногда появляются узкие (3—5 см) грани. Промежутки между лавовыми столбами заполнены мелкими обломками лавы и шлаками.

Неправильная цилиндрическая отдельность также образована лавовыми колоннами цилиндрической формы, однако диаметры более разнообразны, а в расположении не наблюдается той геометрической правильности, которая характерна для совершенной цилиндрической отдельности. Диаметр колонн колеблется от 15 до 70 см. Соответственно размеру лавовая колонна может соприкасаться с различным количеством соседних лавовых колонн, обычно от трех до восьми. Ширина граней в местах соприкосновения колонн не более 5—7 см. Такая отдельность также полагается в осевой части потока.

Призматическо-цилиндрическая отдельность наблюдается по периферии осевой зоны потока. Для нее характерны лавовые столбы, у которых боковые поверхности представляют чередование плоских граней с цилиндрической поверхностью. Ширина плоских граней может достигать 25 см. Эти столбы являются переходными между правильной цилиндрической колонной и шестигранной призмой.

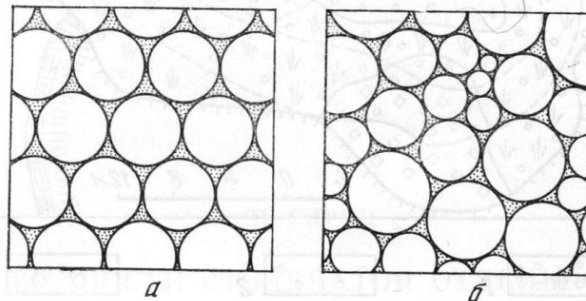


Рис. 3. Схема расположения лавовых цилиндров  
 а — в совершенной цилиндрической отдельности;  
 б — в неправильной цилиндрической отдельности

В краевых частях потока имеются участки с обычной призматической отдельностью, не отличающейся от столбчатой отдельности, многократно описанной в литературе.

\* \* \*

Характер той или иной разновидности столбчатой отдельности обуславливается формой и взаимоотношением составляющих ее лавовых столбов, форма которых в рассматриваемом примере образует непрерывный ряд колонна — призма. Соответственно этому и отдельности, для которых характерна та или иная форма лавовых столбов, также образуют ряд, крайние члены которого — совершенная призматическая отдельность и совершенная цилиндрическая отдельность. Описанная нами призматическо-цилиндрическая отдельность является промежуточной.

Переход одной разновидности в другую в пределах одного лавового потока, по-видимому, обусловлен разницей в температурных условиях существовавших в различных частях лавового потока в момент образования отдельности.

Поскольку столбчатая отдельность имеет ряд разновидностей, целесообразно употреблять этот термин лишь в собирательном значении. В каждом конкретном случае в названии должна быть отражена форма столбов образующих столбчатую отдельность, например, «цилиндрическая разновидность столбчатой отдельности».

Наблюдаются также и другие формы отдельностей, постепенно переходящие одна в другую в пределах одного лавового потока. Так, довольно распространен ряд: совершенная столбчатая отдельность — неправильная столбчатая отдельность — неправильная глыбовая отдельность — глыбовая отдельность (или, реже, пластовая отдельность). Конкретные примеры таких рядов мы находим у А. Н. Заварицкого (1955) для лав Баш-Гарн в Армении, а также у С. И. Томкеева (Tomkeieff, 1940) для лав Северно-Ирландии.

Для объяснения происхождения столбчатой отдельности был предложен ряд гипотез, важнейшие из которых кристаллизационная, кристаллизационно-контракционная, конвекционная и контракционная. Из них три первые в настоящее время представляют лишь исторический интерес. Контракционная теория, объясняющая образование столбчатой отдельности

сти сжатием лавы в процессе ее остывания, получила признание большинства геологов.

Однако сжатие лавы, обычно сопровождающееся образованием трещин, далеко не всегда ведет к возникновению столбчатой отдельности. Образование последней наблюдается в тех случаях, когда лава остывает при определенных условиях.

Литература, касающаяся вопроса механизма и условий образования столбчатой отдельности, весьма немногочисленна. Следует отметить работу К. Г. Шириняна и А. Т. Асланияна (1956), в которой рассматривается происхождение столбчатой отдельности в туфах Армении. Наиболее капитальной является работа С. И. Томкеева по столбчатой отдельности в базальтах Северной Ирландии. В двадцатых годах нашего столетия Н. Н. Ермолаев сделал интересную попытку математически обосновать процесс образования столбчатой отдельности. Работа эта, к сожалению, опубликована не была и до настоящего времени не сохранилась.

Ниже рассматриваются условия, благоприятствующие, по нашему мнению, образованию столбчатой отдельности.

Закономерное расположение призматических столбов в лавовом потоке, их симметрия и постоянство диаметров указывают на равномерное распределение напряжений в лаве потока в момент образования трещин, которое, по данным С. И. Томкеева, носит характер взрыва, т. е. практически происходит мгновенно.

Величина напряжения ( $\sigma$ ), возникающая в какой-либо точке потока в результате его остывания, определяется известной в теории сопротивления материалов формулой:

$$\sigma = \alpha \cdot E (t_1 - t_2),$$

где:  $\alpha$  — коэффициент линейного температурного расширения,

$E$  — модуль упругости. Поскольку  $\alpha$  и  $E$  для одного лавового потока постоянны, то необходимым условием равенства напряжений во всех точках остывающего лавового объема к моменту образования трещин является равенство разностей начальных и конечных температур ( $t_1 - t_2$ ), что возможно лишь в случае постепенной и равномерной теплоотдачи.

Таким образом, первое основное условие, необходимое для образования столбчатой отдельности, — это медленное равномерное остывание лавы, обуславливающее равномерное нарастание напряжений.

В естественной обстановке такие условия могут осуществляться в наиболее глубоких частях лавового потока, причем более или менее мощные вышележащие части лавового потока выполняют в этих случаях роль теплового экрана, изолирующего нижележащие слои лавы от влияния атмосферных условий. Это подтверждается многочисленными примерами, показывающими, что совершенная столбчатая отдельность обычно располагается в нижних частях лавовых потоков. В верхних частях потоков, где сказывается влияние атмосферных условий, совершенная столбчатая отдельность обычно сменяется другими, более неправильными формами отдельности, причем суммарная площадь трещин с приближением к поверхности потока возрастает, а расположение трещин становится все более беспорядочным. Описание подобного характерного разреза лавового потока в Баш-Гарни сделал А. Н. Заварицкий:

«Правильная колоннада прилегающих один к другому призматических столбов в потоках и покровах лавы, в высоту достигающая десятков метров, сверху обычно покрывается, наподобие энтаблемента архитектурных сооружений, сперва слоем, где призматическая отдельность становится неправильной, состоя из искривленных и расходящихся и в то же время менее толстых столбов, переходящих еще выше в грубопризматическую или глыбовую отдельность, и, наконец, следует шлаковый верхний слой».

Другим замечательным примером может служить разрез лавового

комплекса в Северной Ирландии, составленный С. И. Томкеевым. Лавовый комплекс состоит из четырех потоков. Разрез каждого из этих потоков отдельности напоминает процитированное описание А. Н. Заварицкого.

Иногда столбчатая отдельность может образовываться по всей толщине лавового потока. В этих случаях роль теплового экрана выполняют вышележащие лавовые потоки, если они излились непосредственно вслед за излиянием нижнего потока.

Условия, благоприятные для образования столбчатой отдельности, создаются и в том случае, если раскаленная лава защищена от быстрого остывания окружающими горными породами, как это иногда имеет место в дайках и некках.

Изменение характера столбчатой отдельности по вертикали в лавовых потоках обуславливается различиями в температурных режимах на разной глубине потока.

Лане (Lane, 1898; 1928) вычислил кривые, показывающие распределение температур в определенном временном интервале, а также кривые скоростей остывания в лавовом потоке. Характер этих кривых в различных структурных зонах одного потока различен, причем минеральный или химический состав лавы при переходе из одной зоны в другую не меняется либо меняется очень постепенно и незначительно.

Остывание лавы в глубинных частях лавового потока происходит чрезвычайно медленно. Об этом можно судить по тому, что даже в верхней, подверженной влиянию атмосферных условий, части потока лава остывает весьма постепенно. По данным Б. И. Пийпа (1956), лавовый поток кратера Заварицкого (Ключевской вулкан) в своей приповерхностной части за два месяца остыл всего на  $110^{\circ}$ . Величина суточного спада температуры для данного примера составляет около  $2^{\circ}$ .

Дополнительное условие образования столбчатой отдельности — отсутствие явлений вторичного разогрева лавы, искажающих процесс ее равномерного остывания. По мнению Перрета (Perret, 1914), причина такого разогрева — дистилляты самой лавы. Б. И. Пийп полагает, что это явление связано с экзотермическим процессом окисления лавы при прохождении через нее огромных масс воздуха.

Равномерное и медленное остывание в лаве может быть обусловлено и другими обстоятельствами. Так, Ширинян и Асланиян предложили гипотезу формирования столбчатой отдельности в замкнутой водной среде, когда раскаленный материал врывался в русло реки и ввиду быстрого охлаждения покрывался твердой оболочкой достаточно большой мощности. В образованной таким образом закрытой системе создавались благоприятные условия для медленного и равномерного остывания.

По всей вероятности, аналогичную роль играла вода и в образовании отдельности, описанной в настоящей статье. На это указывает то обстоятельство, что описанная столбчатая отдельность развита только в той части лавового потока, которая находится в котловине. Последняя в момент излияния лавы могла быть заполнена водой.

Если учесть, что скорости течения лавы на различной глубине потока неодинаковы, то отсутствие (за сравнительно редкими исключениями) искривленных вертикальных столбов свидетельствует об образовании столбчатой отдельности после того, как лавовый поток перестал двигаться.

С другой стороны, имеющиеся в настоящий момент данные позволяют полагать, что процесс растрескивания лавы, ведущий к образованию столбчатой отдельности, происходит при довольно высоких температурах, когда лава еще обладает способностью двигаться.

Так, на основании экспериментов, М. П. Воларович и другие (1936) утверждают, что при температуре  $800-900^{\circ}$  базальт достигает вязкости, особо перспективной для образования разломов. С. И. Томкеев считает, что растрескивание имеет место еще в стекловатой или в полустекловатой

стадии кристаллизации, что также свидетельствует о довольно высоких температурах в момент образования трещин. М. П. Волярович и другие экспериментально показали, что кристаллизация в незначительно вязких лавах начинается довольно рано: в базальте при температуре  $1160^{\circ}$ , а в андезитобазальте при температуре  $1050^{\circ}$ . Данные экспериментов Холла (Hall, 1805), Фуке и Леви (Fouque, Levi, 1882), Германа и Родвелла (Rutley, 1886) также показывают, что условия, благоприятные для образования трещин, наступают раньше, чем кристаллизация закончится.

В то же время, непосредственные наблюдения ряда исследователей показывают, что лава еще способна течь при температурах  $700-800^{\circ}$ . Так, по данным Вольфа (Wolff, 1938), андезитовая лава Санторинского вулкана текла еще при температуре  $840^{\circ}$ . С. И. Набоко (1947) приводит пример, когда лава при извержении Билукая, побочного кратера Ключевского вулкана, двигалась при температуре  $690^{\circ}$ .

Из вышесказанного следует, что столбчатая отдельность, по-видимому, образуется в лаве, прекратившей свое движение, но еще достаточно раскаленной и обладающей способностью к движению. Это второе условие имеет место в случаях, когда еще жидкая лава в результате какого-либо препятствия (например, при заполнении котловины) внезапно прекращает свое движение.

При движении лавового потока по неровностям рельефа, при изменении направления движения, а также при излиянии последующих порций, в потоке лавы возникают дополнительные напряжения. В случае, если лава обладает значительной вязкостью, напряжения, если они не ведут к образованию трещин в процессе движения, сохраняются и суммируются с напряжениями, возникающими при остывании лавы. В таком случае напряжения в лавовом объеме будут распределены весьма неравномерно и правильная столбчатая отдельность не образуется. Отсюда следует, что третье условие образования столбчатой отдельности — умеренная вязкость лавы. Этому условию наиболее удовлетворяют лавы основного состава; доказательством служит тот общеизвестный факт, что столбчатая отдельность обычно образуется в базальтах и очень редко в более кислых породах, если они образуют дайки или некки. В этих случаях лава в процессе остывания не перемещается, и ее вязкость не имеет упомянутого значения.

В некоторых случаях в образовании столбчатой отдельности значительную, а иногда (например, при образовании столбчатой отдельности в осадочных породах) и решающую роль играет давление вышележащих пород. При равномерно постоянном или равномерно нарастающем давлении в нижележащих породах возникают горизонтальные силы растяжения, которые в отдельных специфических случаях могут обусловить образование столбчатой отдельности.

Апельт (Apelt, 1934) и Смекал (Smekal, 1936) считают, что при резком увеличении вертикальной нагрузки возможность накопления силовых напряжений, ведущих к образованию трещин, резко увеличивается.

Размеры (длина) образующихся призм зависят от соотношения мощности всего потока или мощности комплекса лавовых потоков и тех частей их, которые выполняют роль теплового экрана.

Диаметры призм зависят от вязкости потока в момент их образования. Силы сжатия в остывающей однородной массе приурочены к равномерно распределенным центрам притяжения, дающим начало гексагональной сети трещин. В остывающей лаве каждая частица (за исключением тех, которые располагаются на оси будущих призм-столбов) испытывает смещение по направлению к оси призмы. Максимальное смещение испытывают частицы, расположенные на краю будущей призмы. Чем больше радиус призмы, тем большее центростремительное смещение испытывают краевые частицы. Величина максимального возможного смещения без разрыва

породы определяется ее вязкостью. При прочих равных обстоятельствах средний радиус призм тем больше, чем меньше вязкость лавы в момент их образования.

Все вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы.

1. Столчатая отдельность имеет ряд разновидностей, которые могут переходить одна в другую в пределах одного потока.

2. Для образования столчатой отдельности в каком-либо лавовом потоке необходимо, во-первых, чтобы лава обладала умеренной вязкостью, отвечая по составу базальтам или андезито-базальтам, во-вторых, чтобы по условиям рельефа движение лавы прекратилось до того, как она потеряет способность течь, и, в-третьих, чтобы процесс остывания лавы был постепенным и равномерным.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Воларович М. П., Толстой А. М., Корчемкин Л. И. Исследование вязкости расплавленных лав с Алагеца. Докл. АН СССР, т. I(X), № 8(85), 1936.
- Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. Изд-во АН СССР, 1955.
- Крохин Е. М. О некоторых вулканических образованиях в бассейне рек Малой Быстрой,левой Тополовой и Большой Саранной. Бюлл. вулканол. ст. АН СССР, № 22, 1954.
- Набоко С. И. Извержение Билюкая, побочного кратера Ключевского вулкана в 1938 г. Труды Лаб. вулканол. АН СССР, вып. 5, 1947.
- Пийп Б. И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944—1945 гг. и в прошлом. Труды Лаб. вулканол. АН СССР, вып. 11, 1956.
- Шпринян К. Г. и Аслаян А. Т. Совершенная столчатая отдельность в породах вулканических туфов Армении в связи с их происхождением (Макарашен-гидарлинское месторождение). Сб. научн. трудов Ереванского политехнического университета, № 13, вып. 3, Ереван, 1956.
- A p e l t G. Einfluss von Belastungsgeschwindigkeit und Verdrenungsverformung auf die ZerreiBfestigkeit von Glasstäben. Zs. Physik, Vol. 91, 1934, S. 336—343.
- Fougue F., Michel Levy A. Synthèse des minéraux et des roches. Paris, 1882.
- Hall J. Experiments on Whinstone and Lava. Trans. Roy. Soc., Edinburgh, 1805, vol. 5.
- Lane A. C. Geological report on Isle Royal, Michigan Geol. Survey, Michigan, 1898, vol. 6.
- Lane A. C. Genetic significance of grain. Tufts College Studies, 1928, vol. 5, № 6.
- Perret F. The volcanic eruption at Teneriffe in the autumn of 1909. Zs. vulkan. Bd. 1, H. 1, 1914.
- Rutley F. Notes on Alteration Induced by Heat in Certain Vitreous Rocks Based on the Experiments of Douglas Herman, F. J. C., and C. F. Rodwell, late Science Master in Marlborough college. Proc. Roy. Soc. vol. 40, London, 1886, p. 430—441.
- Smekal A. The influence of specimen width on the breaking strength of sheet glass. J. Soc. Glass Techn., vol. 20, 1936, p. 449—453.
- Tomkiewic S. J. The basalt of the Giant's Causeway district of Northern Ireland. Bull. Volcanologique. Organe de L'Association de volcanologie de l'Union géodésique et géophysique internationale. Série II, t. VI. Napoli, 1940.
- Wolff F. Die Zustandsgrößen des Santorinausbruchs 1925—1926. Ein Beitrag zur Theorie andesitischer Vulkanausbrüche. J. Geol., 1938, H. IV—V.