

## НАПРАВЛЕННЫЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ВЗРЫВЫ

При эксплозивных извержениях некоторых вулканов пирокластический материал выбрасывается не вертикально вверх, а наклонно, иногда горизонтально или почти горизонтально. Извержения такого рода можно назвать направленными вулканическими взрывами. Впервые близкий термин «пелейская туча направленного взрыва» (*nuées peleeenne d'explosion dirigée*) ввел А. Лакруа [14] для наиболее сильных эксплозий вулкана Мон-Пеле — 8, 20 мая и 30 августа 1902 г. Каждый из этих взрывов был направлен горизонтально или наклонно вниз и охватывал определенные секторы у подножия вулкана, вызывая независимо от рельефа разрушения на площади до 60—70 кв. км. От этих взрывов А. Лакруа четко отделял «палящие лучи лавин» (*nuées ardentes d'avalanche*), возникавшие при обрушении отдельных частей распушего экструзивного купола и следовавшие под действием силы тяжести по речным долинам. Такие же лавины возникают и эксплозивным путем при относительно слабых взрывах (чаще вертикальных или почти вертикальных) на периферии куполов.

Очень часто в вулканологической литературе под единым наименованием «палящих туч» (*nuées ardentes*) объединяют все три явления: направленные взрывы, охватывающие более или менее обширные площади и распространяющиеся независимо от неровностей рельефа, эксплозивные раскаленные лавины, путь которых всецело определяется условиями рельефа и силой тяжести, и такие же лавины, образующиеся путем обрушения. Действительно, оба типа раскаленных лавин (эксплозивные и обвальные) достаточно близки друг к другу по характеру движения, особенностям отложений и т. д. Вместе с тем направленные взрывы резко отличаются по условиям распространения, характеру отложений и другим характеристикам от раскаленных лавин любого типа.

Традиционное объединение этих по сути совершенно различных явлений вызывает различного рода недоразумения. Автор уже останавливался на этом в свое время [2].

Под «направленными взрывами» мы подразумеваем только те взрывы, взрывная волна которых охватывает ту или иную площадь и пирокластический материал которых распространяется с силой по этой площади независимо от рельефа.

Впервые направленные взрывы были изучены в 1902 г. на вулкане Мон-Пеле [4, 11, 13 и др.].

Взрывом 8 мая, который охватил в юго-западном секторе подножия площадь около 60 кв. км, был разрушен г. Сен-Пьер, находящийся в 7—8 км от кратера и отделенный от вулкана двумя речными долинами; все население города погибло. Корабли, стоявшие на рейде в бухте Сен-Пьер, были сильно повреждены, некоторые из них затонули, а значительная часть экипажа погибла. Немногочисленные оставшиеся в живых очевидцы сообщили, что вначале из кратера вырвался темный клуб пепла, который через 1—2 минуты достиг города. Ощущался ураганный порыв раскаленного ветра, который длился только одно мгновение (взрывная волна). Затем стали падать горячий пепел, песок и грязь, которые и вызвали все жертвы. Одежда на трупах не обуглилась, но на открытых местах кожа имела следы ожогов как бы от горячего

пара. Смерть была вызвана не столько ожогами, сколько удушьем в результате разрушения легких от вдыхания раскаленных частичек пепла. Мощность песка в городе составляла всего несколько сантиметров, а крупный материал отсутствовал вообще. Пирокластический материал этих взрывов распространялся более или менее равномерно, независимо от рельефа. Такие же взрывы повторились 20 мая и 30 августа 1902 г. После извержения Мон-Пеле направленные взрывы наблюдались и были изучены и на других вулканах.

Сравнительно слабые направленные взрывы произошли 19 и 22 мая 1915 г. на вулкане Лассен-Пик (Калифорния). В результате их на расстоянии до 5—6 км от кратера в узком секторе к северо-востоку от вулкана на площади 10—12 км. кв. были сломаны и повалены деревья. Кора местами была сорвана, а в древесину на глубину до 2 см внедрились песчинки. Пепла выпало очень мало, тем не менее раскаленный пепел вызвал таяние снега и образование грязевых потоков [7].

По-видимому, сходными по силе были направленные взрывы 4 и 6 декабря 1951 г. на вулкане Хибок-Хибок (о. Камигуин, Филиппинские острова). Здесь на площади около 10 кв. км и на расстоянии до 6 км от кратера к северо-востоку были повалены и сломаны кокосовые пальмы. В отличие от Лассен-Пика на этом вулкане направленные взрывы сопровождалась раскаленными лавинами [3, 15].

Значительно более сильным был направленный взрыв 21 января 1951 г. на вулкане Ламингтон в Новой Гвинее. Здесь площадь, охваченная взрывом, превышала 200 кв. км; на расстоянии до 13 км к северу от кратера была уничтожена вся растительность и разрушены дома. Кора с деревьев была содрана, и на 3 км от кратера была даже содрана почва. Многочисленные человеческие жертвы были вызваны, как и в Сен-Пьере, главным образом удушьем в результате ожога легких.

Автор настоящей статьи изучал гигантский направленный взрыв 30 марта 1956 г. на вулкане Безымянном (Камчатка). Взрыв разрушил значительную часть вулканической постройки; на расстоянии до 25—30 км к юго-востоку от кратера деревья были сломаны и частично обожжены; раскаленный пепел выпал на площади около 500 кв. км, снег на этой площади стаял, и образовался огромный грязевой поток. Вслед за направленным взрывом из нового кратера по долинам прилегающих рек хлынул раскаленный агломератовый поток длиной в 18 км и мощностью до 60 м [1].

Анализ литературных данных об извержении вулкана Катмаи на Аляске в 1912 г. привел автора к выводу, что это был такой же мощный взрыв, как и на вулкане Безымянном. Взрыв был направлен к северо-западу и югу; растительность на расстоянии до 30 км от кратера была сломана и частично повалена. Песчаный поток Долины десяти тысяч дымов автор связывает с вершинным кратером Катмаи [10].

Очень интересное извержение произошло 15 июля 1888 г. на вулкане Бандай-сан в Японии [12, 16]. Обычно это извержение приводится в качестве примера фреатического взрыва, однако теперь, сравнивая это извержение с другими, его с полным основанием можно отнести к категории «направленных взрывов». Извержение длилось меньше одного часа и состояло из 15—20 сильных взрывов, из которых последний имел наибольшую силу и был направлен горизонтально в северном направлении. В результате на северном склоне горы образовался обширный подковообразный кратер с максимальной шириной в 2463 и глубиной до 2274 м, высота этой части горы уменьшилась на 165 м. В северном направлении с огромной силой было выброшено более 1 куб. км рыхлого пирокластического материала; обломки падали на расстоянии до 9 км от кратера. Межгорная котловина площадью около 70 кв. км у северного подножия вулкана была погребена под мощным слоем «земли и камней», и на месте слабо всхолмленной поверхности образовалась плоская песчаная пустыня. В верховья р. Нагасе спустился агломератовый поток длиной более 4 км и мощностью до 40 м. Направленный взрыв охватил также юго-восточную часть вулкана. Здесь на 5 км от кратера деревья были повалены, а по ущелью Бива-сава прошел агломератовый поток длиной до 5 км и мощностью свыше 60 м. В результате извержения 5 деревень были полностью погребены под пирокластическим материалом, а 7 деревень разрушены частично. Разрушения были вызваны взрывной волной, которая описывалась как порыв «ураганного ветра».

Пирокластические или агломератовые потоки, наблюдавшиеся позже на других вулканах, здесь, на Бандай-сане, по-видимому, наблюдались впервые и не были поняты до конца. Они описывались здесь и как потоки «земли и камней», и как просто обвалы или оползни.

Направленный взрыв имел место и на другом японском вулкане — Асама — 5 августа 1783 г. [5]. Взрыв охватил довольно узкий сектор к северу от вулкана, а вслед за взрывом спустился мощный агломератовый поток, который подпрудил реку и послужил причиной образования огромного грязевого потока.

Весьма вероятно, что грандиозное извержение вулкана Мерапи в Индонезии, уничтожившее в 1006 г. княжество Матарам [6], имело также характер направленного взрыва.

Направленные вулканические взрывы принадлежат к категории наиболее разрушительных извержений. Площадь, охватываемая взрывами, достигает иногда сотен квадратных километров; на этой площади происходит полное или частичное разруше-

ние построек, уничтожение лесов, а все живое, как правило, погибает. Извержение Мон-Пеле в 1902 г. унесло около 30000 человеческих жизней, извержения вулканов Асама, Бандай-сан, Камингуин и Хибок-Хибок также привели к значительным разрушениям и сотням или тысячам человеческих жертв. При наиболее сильных извержениях такого рода вулканическая постройка частично разрушается, образуются мощные агломератовые и грязевые потоки, часто выходящие за пределы площади собственно направленного взрыва и еще более усугубляющие разрушения и жертвы.

Как правило, направленные взрывы происходят после длительного покоя вулканов, длящегося столетия или тысячелетия. Часто эти вулканы считаются потухшими (Ламингтон, Безымянный). Пирокластическим продуктом собственно направленного взрыва является резургентный пепел, что указывает на взрыв полностью затвердевшего материала. Температура пепла достигает 400—500°. Нередко возникают пожары. Чаще температура более низкая и жертвы вызываются не столько поверхностными ожогами, сколько асфиксией в результате ожога легких. В случае значительного разрушения вулканической постройки (Бандай-сан, Безымянный) взрывом выбрасываются и более крупные глыбы, иногда в десятки кубических метров объемом, но температура этой части материала всегда низкая.

Энергия направленных взрывов весьма велика, в сотни и тысячи раз превосходит энергию обычных вулканических взрывов. Так, энергия воздушной волны взрыва 30 марта 1956 г. на вулкане Безымянном определена в  $10^{23}$  эргов; энергия взрыва Катмаи, возможно, была еще больше.

Энергия сравнительно умеренного взрыва 30 августа 1902 г. на вулкане Мон-Пеле определена в  $10^{21}$  эргов [9]. Взрывы на Лассен-Пик были еще слабее. Однако и эти значения эквивалентны взрывам крупных атомных и водородных бомб.

Для одного из наиболее детально изученных примеров направленных взрывов — вулкана Безымянного — инструментально была зарегистрирована длительная сейсмическая подготовка. Землетрясения начались за три недели до пробуждения вулкана и за 5 месяцев до пароксизмального взрыва. Во многих других случаях предварительные землетрясения отмечались непосредственно жителями окрестных селений.

Можно полагать, что направленные взрывы во всех случаях предваряются слабыми или умеренными землетрясениями. С этой точки зрения появление устойчивой сейсмической деятельности с гипоцентрами под андезитовыми вулканами, которые считаются уснувшими или потухшими, являются крайне опасным признаком.

Азимут направленного взрыва может определяться топографией прикратерной части (Мон-Пеле, частично Ламингтон), местом выхода фумарольных полей (Бандай-сан) или местом предварительной деформации вулканической постройки (Безымянный).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков Г. С. Извержение сопки Безымянной. Бюлл. вулкан. станции, № 26, стр. 19—72, 1957.
2. Горшков Г. С. К вопросу о классификации некоторых типов взрывных извержений. Сб. Вопр. вулканизма. М., Изд-во АН СССР, 1962.
3. Alcaraz A., Abad L. F., Quem a J. C. Hibok-Hibok Volcano, Philippine Islands and its activity since 1948. The Volcano Letter, No. 516—517, 1952.
4. Anderson T., Flett J. S. Report on the eruption of the Santriére in St. Vincent in 1902 and on a visit to Montagne Pelée in Martinique, pt. L. Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A, vol. 203, 1903.
5. Agramaki Sh. The 1783 activity of Asama Volcano. Pt. I. Japan. J. Geol. and Geogr., vol. 27, No. 2—4, p. 189—229, 1956.
6. Van Bemmelén R. W. The influence of geologic events on human history Gedenboek H. A. Brouwer. Verhandeligen van het Koninklijk Nederl. Geol. Mijnbouwkundig Genootschap, Deel 16, 1956.
7. Day A. L., Allen E. T. The volcanic activity and hot springs of Lassen Peak. Publ. Carnegie Inst. Wash. No. 360, 1925.
8. Gorshkov G. S. Gigantic eruption of the Bezymianny Volcano. Bull. Volc., 2 ser., t. 20, p. 77—109. Napoli, 1959.
9. Gorshkov G. S. Determination of the explosive energy in some volcanoes according to barograms. Ibid., t. 23, p. 141—144, 1960.
10. Gorshkov G. S. On the classification and terminology of Pelée and Katmai type eruptions. Ibid., t. 24, 1962.
11. Jaggar T. A. Steam blast volcanic eruptions. 4-th Special Report of the Hawaiian Volcano Observatory. Honolulu, 1949.
12. Knott C. G., Smith C. M. Notes on Bandai-san. Trans. Seismol. Soc. Japan. vol. 13, pt. 2, p. 223—257, Yokohama, 1890.
13. Lacroix A. La Montagne Pelée et ses éruptions. Paris, 1904.
14. Lacroix A. Remarques sur les matériaux de projection des volcans et sur la genèse

- des roches pyroclastiques qu'ils constituent. Livre Jubilaire. Centenaire de la Société Géologique de France. 1830—1930. T. 2, p. 431—472, 1930.
15. Macdonald G. A., Alcaraz A. Nuées ardentes of the 1948—1953 eruption of Hibok-Hibok. Bull. Volc., 2 ser., t. 18, p. 169—178, 1956.
  16. Sekiya S. Kikuchi Y. The eruption of Bandai-san. J. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo, vol. 3, p. 91—172, 1889.
  17. Taylor G. A. The 1951 eruption of Mount Lamington, Papua. Commonwealth of Australia, Dept. of National Development. Bureau of Mineral Resources. Geol. and Geophys. Bull. No. 38. Canberra, 1958.

*Институт вулканологии  
Сибирского отделения АН СССР,  
Петропавловск-Камчатский*

*Статья поступила в Редакцию  
4 апреля 1963 г.*