



УДК 550.34+551.24

А. А. Долгая, Д. Р. Акманова, А. В. Викулин

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: adolgaya@kscnet.ru*

Вулканизм как волновой процесс

Исследуются волновые свойства вулканического процесса в пределах наиболее геодинамически активных регионов планеты. Показано, что извержения группируются и образуют миграционные цепочки, а зависимости между энергетической характеристикой событий в цепочках и их скоростью имеют обратно-пропорциональный характер. Полученные данные позволяют рассматривать вулканическую активность, распространяющуюся с определённой скоростью, как проявление волнового вулканического процесса.

Введение

Данные о повторяемости [5], миграции [6, 9, 11–13], группировании вулканической активности по географическим широтам и долготам [4, 8] и по величине [3, 7, 10, 14] послужили основой для исследования вулканизма в пределах самых активных поясов планеты: окраины Тихого океана, Альпийско-Гималайского пояса и Срединно-Атлантического хребта, как волнового процесса.

Исследование проводилось на основании данных составленного авторами электронного каталога извержений вулканов мира, содержащего сведения о 627 вулканах мира, извергавшихся 6850 раза в последние ~12 тыс. лет: 9650 г. до н.э. – 2010 г. В качестве энергетической характеристики для извержений используется величина W , значениям которой $W = 1, 2, \dots, 5, \dots, 7$ соответствуют объёмы выброшенного материала $10^{-(4-5)}$, 10^{-3} , ..., 1, ..., 10^2 км³ [1].

Миграция вулканической активности

Изучение пространственно-временных закономерностей вулканической активности проводилось с помощью разработанной ранее методики в пределах трёх наиболее геодинамически активных регионов на плоскостях с осями: расстояние вдоль пояса l ($0 \leq l \leq L_{max}$) – время t ($0 \leq t \leq T_{max}$), где L_{max} – длины поясов, T_{max} – максимальные по продолжительности каталоги извержений вулканов [1, 2]. Расстояния событий рассчитывались вдоль линий, условно проведённых по стыкам тектонических плит и наибольшему скоплению вулканов и очагов землетрясений (рис. 1).

Протяжённости построенных линий составили: окраина Тихого океана, от вулкана Бакл Айленд (Антарктика) $L_1 = 0$ до вулкана Десепсьон (Южные Шетландские о-ва) – $L_{1,max} = 45\,000$ км; Альпийско-Гималайский пояс, от $L_2 = 0$, о. Тимор (Индонезия) до Азорских о-вов – $L_{2,max} = 20\,500$ км; Срединно-Атлантический хребет, от $L_3 = 0$, Южные

Сендвичевы о-ва (Южная Атлантика) до о. Исландия (Северная Атлантика) – $L_{3,max} = 18\,600$ км.

В результате исследования были получены данные, убедительно показывающие, что извержения вулканов в пределах всех изучаемых поясов группируются в миграционные цепочки – последовательно возникающие в пространстве и времени цепи событий. При этом события в цепочках демонстрируют линейную зависимость между временем T их возникновения и координатой вдоль пояса l (рис. 2). Наклон такой линейной зависимости характеризует скорость перемещения вулканических извержений в пространстве и времени, т. е. скорость миграции V вулканической активности.

В пределах всех энергетических диапазонов для всех изучаемых регионов выявляется большое количество миграционных цепочек, что позволяет с уверенностью считать, что миграция является характерным свойством вулканической активности Земли. Параметры всех выявленных цепочек вулканической активности представлены в таблице.

Анализировалось географическое положение миграционных цепочек с $W \geq 6$ в пределах окраины Тихого океана с 7480 г. до н.э. по 1991 г. (рис. 3). На рис. 3 видно, что первые (I и II) цепочки, перекрываясь, охватывают большую часть всей окраины. Последующие (III – VI) цепочки покрывали, в основном, северную её часть. Последние (VII и VIII) цепочки – её восточную (VII) и юго-восточную (VIII) части. При этом, несмотря на различия в продолжительности и протяжённости миграционных цепочек, значимого изменения скорости миграции извержений вулканов не наблюдается.

Обсуждение результатов

В результате дальнейшего анализа полученных данных о миграции вулканических извержений было выявлено, что логарифмы скоростей миграции извержений вулканов $\lg V$ в пределах изучаемых поясов вполне определённым образом зависят от энер-

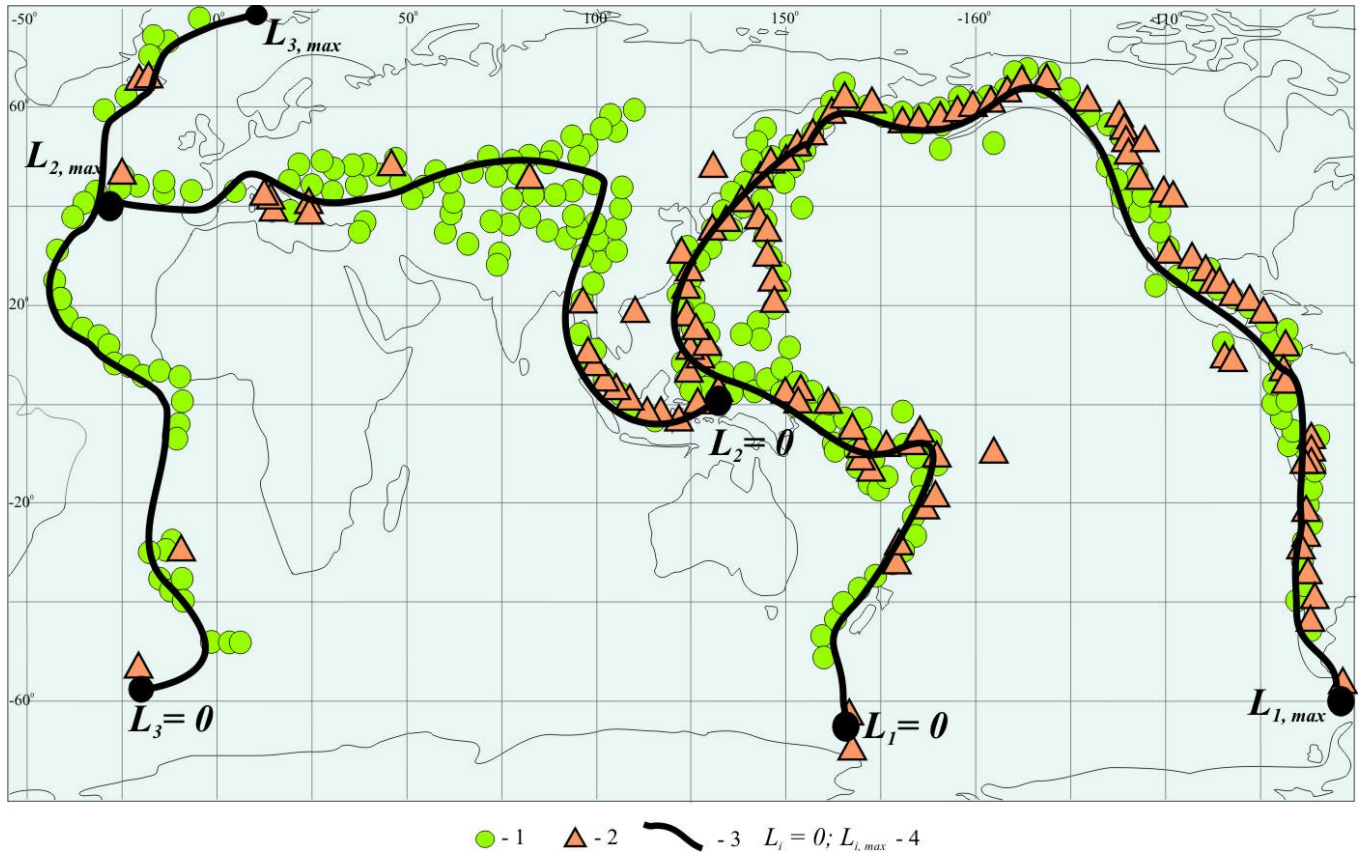


Рис. 1. Активные пояса планеты. 1 — очаги землетрясений; 2 — извергавшиеся вулканы; 3 — координатные линии вдоль поясов; 4 — начала ($L_i = 0$) и окончания ($L_{i,max}$) поясов: $i = 1$ — окраина Тихого океана, $i = 2$ — Альпийско-Гималайский пояс, $i = 3$ — Срединно-Атлантический хребет.

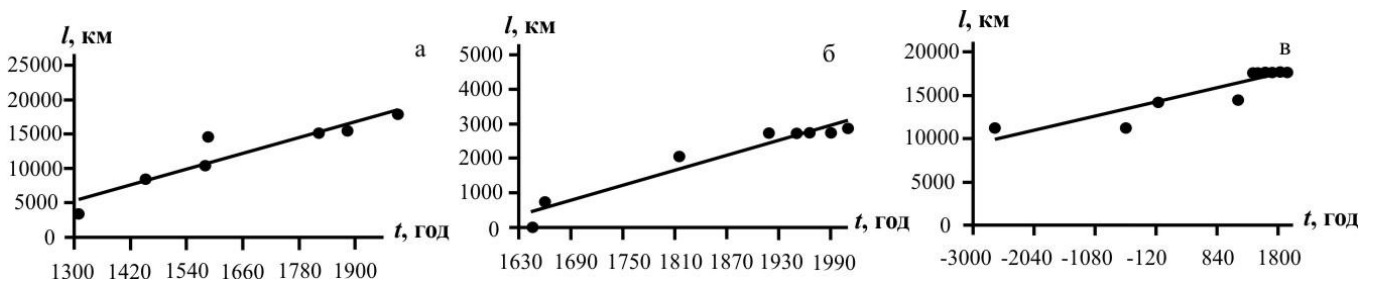


Рис. 2. Примеры миграционных цепочек вулканических извержений: а) с $W \geq 5$ в пределах окраины Тихого океана; б) с $W \geq 4$ в пределах Альпийско-Гималайского пояса; в) с $W \geq 4$ в пределах Срединно-Атлантического хребта. Значения скоростей миграции V для представленных цепочек составляют $V = 90; 20; 2$ км/год соответственно.

гетической характеристики событий W (рис. 4):

$$W = (-2,3 \pm 0,3) \lg V + 7,2;$$

$$W = (-3,8 \pm 1,2) \lg V + 6,6;$$

$$W = (-2,0 \pm 2,1) \lg V + 3,6.$$

Представленные данные получены на большом статистическом материале. И, несмотря на то, что рассматриваются извержения различных типов у разных вулканов, расположенных в регионах с различными геодинамическими обстановками, а каждое значение скорости определено с большим диа-

пазоном отклонений, средние значения скоростей миграции демонстрируют линейную зависимость от энергетических характеристик извержений.

Полученные зависимости $\lg V \approx p_{W_i} W$ для всех трёх изучаемых регионов имеют обратно пропорциональный характер, то есть с увеличением энергии вулканических извержений скорость их миграции уменьшается, что объясняется, по-видимому, растягивающими напряжениями, создаваемыми внедряющейся из глубины магмой в пределах всех вулканических поясов. Выявленная зависимость между скоростными и энергетическими характеристиками

Таблица. Значения параметров выявленных миграционных цепочек вулканических извержений в пределах изучаемых регионов

$W \geq W_0$	k	$N \pm \Delta N$	$T \pm \Delta T$	$L \pm \Delta L$	$V \pm \Delta V$
Окраина Тихого океана					
$W \geq 1$	110	51 ± 17	2150 ± 2790	$19\,900 \pm 8400$	70 ± 50
$W \geq 2$	103	45 ± 16	2280 ± 2890	$19\,400 \pm 8900$	60 ± 40
$W \geq 3$	56	23 ± 9	3490 ± 3370	$20\,300 \pm 8300$	60 ± 80
$W \geq 4$	34	14 ± 5	4470 ± 3390	$21\,800 \pm 7800$	20 ± 20
$W \geq 5$	18	9 ± 3	5010 ± 3120	$22\,700 \pm 9700$	13 ± 14
$W \geq 6$	10	6 ± 2	5050 ± 2370	$15\,400 \pm 5200$	3 ± 1
Альпийско-Гималайский пояс					
$W \geq 1$	43	37 ± 15	1130 ± 1420	4700 ± 3300	13 ± 7
$W \geq 2$	42	31 ± 14	1150 ± 1440	4700 ± 3300	11 ± 6
$W \geq 3$	23	13 ± 6	1890 ± 2020	4300 ± 3400	9 ± 8
$W \geq 4$	10	6 ± 2	2750 ± 2860	4300 ± 3400	4 ± 3
$W \geq 5$	5	4 ± 1	3390 ± 2500	4900 ± 3600	3 ± 2
Срединно-Атлантический хребет					
$W \geq 1$	12	21 ± 12	3360 ± 2840	4200 ± 3500	2 ± 2
$W \geq 2$	12	20 ± 13	3110 ± 2770	3400 ± 2900	3 ± 4
$W \geq 3$	7	16 ± 9	4260 ± 2450	6100 ± 3300	$1 \pm 0,5$
$W \geq 4$	4	14 ± 4	5620 ± 1220	6200 ± 3100	$1 \pm 0,7$
$W \geq 5$	2	5 ± 1	1690 ± 1560	2700 ± 2100	$0,30 \pm 0,01$

Примечание: W — «энергетическая» характеристика извержения; W_0 — наименьшее значение W событий в рассматриваемых совокупностях; k — число выявленных миграционных цепочек; N — среднее число вулканических извержений в одной миграционной цепочке; T — средняя продолжительность миграционной цепочки [лет]; L — средняя протяжённость миграционной цепочки [км]; V — средняя скорость миграции вулканических извержений для разных «энергетических» диапазонов [км/год]; ΔN , ΔT , ΔL и ΔV — среднеквадратичные разбросы значений N , T , L и V , соответственно.

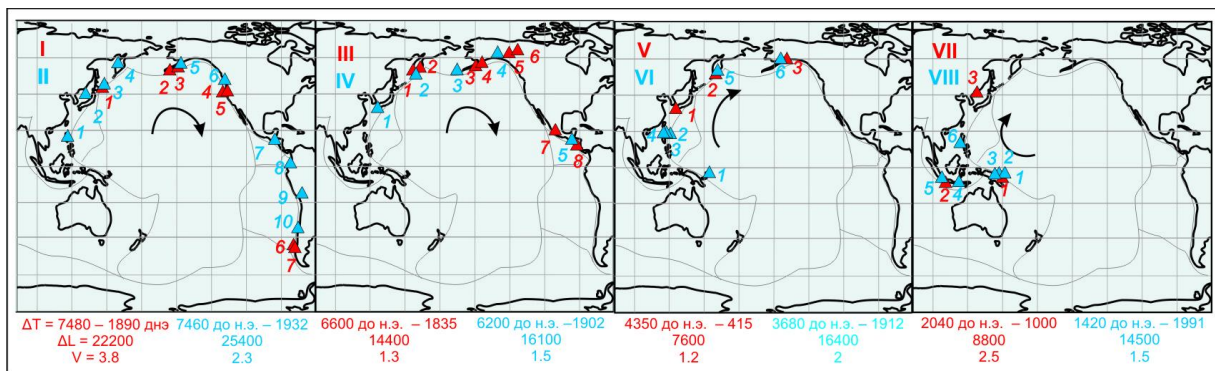


Рис. 3. Положение восьми последовательных цепочек вулканических извержений с $W \geq 6$ в пределах окраины Тихого океана в 7480 г. до н.э. — 1991 г. I = I — VIII — порядковый номер цепочки; $i = 1 - 10$ — порядковый номер события в цепочке; ΔT (год) = $t_2 - t_1$ — продолжительность цепочки, t_1 и t_2 — времена первого и последнего событий в цепочке; ΔL (км) = $l_2 - l_1$ — протяжённость цепочки, разность координат между последним l_2 и первым l_1 — событиями в цепочке; стрелкой обозначено направление миграции извержений в цепочке.

вулканического процесса подтверждает выдвинутое авторами предположение о его волновой природе.

Полученные данные позволяют обоснованно рассматривать вулканическую активность, распространяющуюся с определённой скоростью и периодич-

ностью, как проявление волнового вулканического процесса. Это позволяет использовать аппарат физики волновых процессов при построении моделей, описывающих распределения вулканических извержений в пространстве и времени.

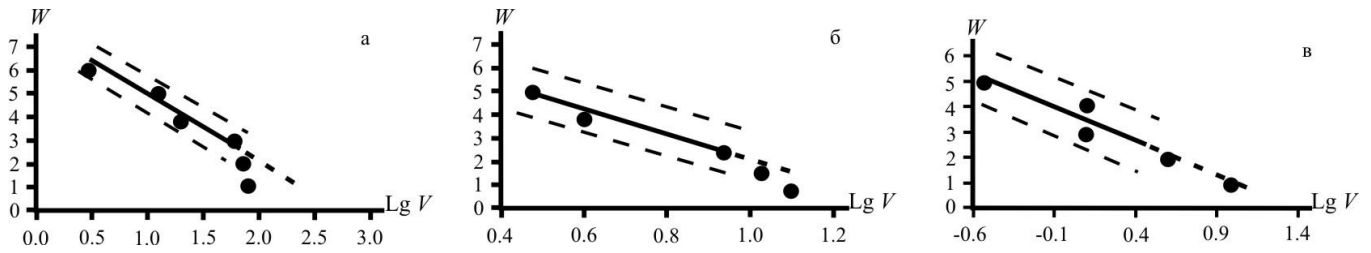


Рис. 4. Зависимости скоростей миграции V вулканических извержений от энергетических характеристик событий W : а) окраина Тихого океана; б) Альпийско-Гималайский пояс; в) Срединно-Атлантический хребет.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН 12-Ш-А-08-164 и гранта РФФИ 12-07-31215.

Список литературы

1. Викулин А. В., Акманова Д. Р., Викулина С. А. и др. Миграция сейсмической и вулканической активности, как проявление волнового геодинамического процесса // Геодинамика и тектонофизика. 2012. Т. 3. № 1. С. 1-18.
2. Викулин А. В., Акманова Д. Р., Осипова Н. А. Вулканизм, как индикатор геодинамических процессов // Литосфера. 2010. № 3. С. 5-11.
3. Голицын Г. С. Объяснение зависимости частота-объём извержений вулканов // Докл. АН. 2003. Т. 390. № 3. С. 394-396.
4. Гуценко И. И. Закономерности размещения центров вулканической активности по земному шару // Вулканонология и сейсмология. 1983. № 6. С. 10-29.
5. Гуценко И. И. Цикличность извержений вулканов мира // Вулканонология и сейсмология. 1985. № 2. С. 31-43.
6. Леонов В. Л. О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканонология и сейсмология. 1991. № 2. С. 28-40.
7. Токарев П. И. Активность вулканов Камчатки и Курильских островов в XX в. и её долгосрочный прогноз // Вулканонология и сейсмология. 1991. № 6. С. 52-58.
8. Федоров В. М. Особенности широтного распределения вулканических извержений // Вулканонология и сейсмология. 2002. № 4. С. 39-43.
9. Berg E., Sutton G. H. Dynamic interaction of seismic and volcanic activity of the Nazca plate edges // Physics of the Earth and Planetary Inter. 1974. № 9. P. 45-68.
10. Hedervari P. On the energy and magnitude of volcanic eruptions // Bulletin volcanism. 1963. Vol. 25. P. 1-18.
11. Kenneth L., Tanaka E. M., Shoemaker G. et al. Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field, Arizona // GSA Bulletin. 1986. Vol. 97. № 2. P. 129-141.
12. Lonsdale P. Geography and history of the Louisville hot spot chain in the southwest Pacific // Journal Geophysical Research. 1988. Vol. 93. № 34. P. 3078-3104.
13. Sauers J. The westward migration of geophysical events in the Aleutians, Springs, 1986 // Cycles. 1986. 37. № 9. P. 203-204.
14. Tsuya H. Geological and petrological studies of volcano Fuji. Part 5: On the 1707 eruption of volcano, Fuji // Bulletin Earthquake Research Institute of Tokyo University. 1955. Vol. 33. P. 341-384.