УДК 550.34 + 551.24 ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Викулин А.В., Акманова Д.Р.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск–Камчатский vik@kscnet.ru

Введение

В работе анализируются параметры вулканов планеты и Курило-Камчатской дуги: размеры вулканических форм (кальдер и конусов), $D = 0.03 \div 150$, и объемы изверженного материала, $V = 1 \div 825$. Показано, что толщины магматических очагов, питающих извержения, являются величиной постоянной, равной примерно 0.5-1 км, и, таким образом, не зависимой от вулканического процесса. Сформулирован вывод, согласно которому магматические очаги вулканов отражают, по сути, состояние земной коры.

О параметрах вулканов планеты

Параметры вулканических форм и извержений (время образования *T*, диаметр *D* и площадь *S* кальдеры, объем изверженного материала *V*, высота бортов кальдеры *h*, глубина h^1 и диаметр *d* кратера конуса, рассчитанные по формуле $\Delta h = V/S$ толщины магматических очагов) [2, 3, 13-24, 26-29, 31] представлены в табл. 1, 2.

Вулканическая область	N	Т, лет	D, км	S, км ²	V, км ³	h, км	$\Delta h [=V/S],$ _{KM}
Азия	7	2.8 млн÷800 г.	4÷15	12÷177		150	
Антарктида	3		3÷10				
Африка	26	1 млн÷4000 д.н.э.	2÷22	10÷80	12	1	0.4
Европа	27	0.3 млн÷79 г.	2÷20	3÷300	10÷70	2.4	0.7÷1.2
Индонезия	35	0.074 млн ÷ 1815 г.	2÷100	2÷1775	18÷100		0.5÷3
Исландия	9	0.7 млн ÷1875 г.	4÷18	12÷250	2	0.7	0.03
Меланезия	18	0.016 млн÷0.001 млн	2÷13	3÷130	24		0.2
Полинезия	7	0.4 млн ÷180 г.	3÷150		100		0.03
Россия	103	1.7 млн÷1975 г.	2÷44	7÷450	1÷825	0.008÷1.6	0.03÷3.49
С. Америка	54	33 млн÷1912 г.	2÷85	62÷202	10÷600	0.18÷3	0.2÷2
Ц. Америка	11	0.5 млн ÷260 г.	3÷20		25÷150		0.4÷18
Ю. Америка	24	8.3 млн÷0.1 млн.л.	2÷50				
Филиппины	3	0.036 млн	2÷20				
Япония	45	0.18 млн÷1888 г.	2÷27	4÷357	1÷175	1	0.003÷0.49
ср. значение			11±8	162±151	145±219	0.4±0.3	0.5±0.2

Таблица 1. Параметры вулканов и их кальдер

Таблица 2. Параметры вулканических конусов

Вулканическая область	Ν	Т, лет	d, км	S, км2	h ¹ , км
Азия	5		0.3÷1.5	0.07÷2	0.05÷0.06
Антарктида	2		1÷1.5	0.8÷2	
Африка	6		0.09÷1.7	0.006÷2.3	0.18
Индонезия	53		0.08÷1.8	0.005÷2.5	0.08÷0.5
Меланезия	16		0.07÷1.5	0.004÷1.8	0.05÷0.2
Полинезия	3	1905 г.	0.14÷0.3	0.02÷0.1	0.004
Россия	15		0.05÷1.6	0.002÷2	0.02÷0.3
С. Америка	21	0.002 млн ÷1883 г.	0.03÷1.68	0.001÷2	0.06÷0.51
Ц. Америка	14	1835 г.	0.03÷1.9	0.001÷3	0.05÷0.5
Ю. Америка	14	0.014 млн÷1600 г.	0.2÷2	0.03÷7	0.08÷0.3
Филиппины	5		0.3÷0.5	0.07÷0.2	0.05÷0.1
Япония	21	0.3 млн÷ 1935 г.	0.06÷1.5	0.003÷1.8	0.01÷0.2
ср. значение			0.8±0.6	2±3	0.2±0.11

Вулканический процесс, описываемый данными табл. 1 и 2, характеризует все вулканические регионы планеты в течение последних 33 млн.л; объемы выброшенного материала, а также диаметры образованных при извержениях форм представлены в достаточно широком диапазоне.

На рис. 1-3 приведены, построенные с использованием данных таб. 1 и 2 зависимости, аналитическое выражение которых дается формулами (1) – (3): LgN = f(LgD), рис. 1; LgN = f(LgS), рис. 2; LgN = f(LgV), рис. 3.

Приведенные на рис. 1 и 2 данные о вулканических конусах (табл. 2), как можно видеть, не могут существенным образом изменить зависимости (1) – (2). Поэтому извержения, сопровождающиеся образованием и конусов и кальдер, могут быть отнесены к одному классу явлений.



Рис. 1. Распределение кальдер по их диаметрам D [км]. Треугольниками отмечены данные о вулканических конусах



Рис. 2. Распределение кальдер по их площадям S [км²]. Треугольниками отмечены данные о вулканических конусах



$$LgN = (2.14 \pm 0.11) - (0.97 \pm 0.09)LgD$$
, [D] = KM (1),

$$LgN = (1.87 \pm 0.11) - (0.49 \pm 0.05) LgS, \quad [S] = \kappa m^2$$
(2),

$$LgN = (1.41 \pm 0.19) - (0.42 \pm 0.09) LgV, \quad [V] = \kappa m^3$$
(3),

Из соотношений (2) и (3) видно, что углы наклонов распределений площадей S (2) и объемов изверженного материала V (3) близки, что позволяет сформулировать предположение, согласно которому отношение объема изверженного материала к площадям образовавшихся кальдер и конусов – по сути, толщина магматического очага, является величиной постоянной:

$$\frac{V}{S} = \Delta h \approx const \tag{4}.$$

Значения рассчитанных по формуле (4) толщин магматических очагов (табл. 1) представлены на рис. 4, из которого видно, что вертикальные размеры магматических очагов действительно не зависят ни от вулкана, ни от времени его извержения, ни от региона и примерно равны:





Таким образом, полученные данные показывают, что толщина магматического очага не зависит от вулканического процесса и является постоянной величиной.

Как видно из табл. 1, диаметры кальдер и толщин магматических очагов соотносятся как:

$$D_{cp,nn.} \gg \Delta h_{cp,nn.}$$
(6),

что позволяет в качестве модели магматического очага, по данным для всей планеты (табл. 1, 2), принять объем в виде тонкого слоя, по сути – «блин».

О толщине магматических очагов вулканов Курило-Камчатской дуги

Для 70 достаточно детально [4, 5, 6, 11, 29, 31] исследованных вулканов Курило-Камчатской дуги, извергавшихся 676 раз за последние 9.5 тыс. лет, аналогичным (как и на рис. 1 – 3) образом получены следующие распределения:

$$LgN = (2.36 \pm 0.32) - (0.86 \pm 0.21)LgD, \quad [D] = \kappa M \tag{7},$$

$$LgN = (2.32 \pm 0.16) - (0.47 \pm 0.14)LgS, \quad [S] = \kappa M^2 \tag{8},$$

$$LgN = 1.15 - (0.49 \pm 0.06)LgV, \quad [V] = \kappa M^3 \tag{9}.$$

Видно, что, как и для вулканов планеты (2), (3), углы наклонов распределений площадей S (8) и объемов изверженного материала V (9) также имеют близкие значения. Рассчитанные по (4) толщины магматических очагов для Курило-Камчатской дуги оказались равными:

$$\Delta h_{\mathcal{CD},\mathcal{K}-\mathcal{K}} = 0.5 \pm 0.1 \text{ KM} \tag{10}.$$

Диаметры кальдер и толщин очагов Курило-Камчатской дуги соотносятся как:

$$D_{cp,\kappa-\kappa} >> \Delta h_{cp,\kappa-\kappa}$$
(11).

Таким образом, независимый анализ параметров вулканов планеты, извергавшихся в течение последних 33 млн. лет, и Курило-Камчатской дуги – в течение последних 9.5 тыс. лет, дает, по сути, близкие результаты. А именно, магматический очаг представляет собою тонкий слой (5) – (6) и (10) – (11), толщина которого является величиной постоянной и, по сути, не зависимой от вулканического процесса [5].

Обсуждение результатов

Как было показано в работе [5], толщины магматических очагов образуют достаточно компактную группу значений, примерно равны как для отдельно взятых вулканов, вулканических комплексов, так и для всей Курило-Камчатской дуги: $\Delta h \approx 0.5 - 1$ км и, по сути, отражают определенное состояние земной коры. А именно – существование тонких по толщине прослоев «твердого» перегретого вещества, расположенных по геофизическим данным [2, 5, 13, 15, 16, 22, 23, 28] между ее слоями на глубинах 2 – 60 км. Характерные особенности границы Мохо [25] можно объяснить в рамках модели «перегретого» тонкого слоя.

Полученные результаты позволили предложить модель магматического очага с пластическим течением [8], суть которой сводится к следующему. В результате теплового расширения при локальных плавлениях, вокруг магматического очага создается поле упругих напряжений и за счет этого появляется дополнительное давление. Под действием такого давления «твердое» вещество очага оказывается в перегретом (нагретом выше точки плавления) состоянии и, следовательно, способно и отражать и пропускать сквозь себя объемные сейсмические волны. Расчеты показывают, что созданная дополнительным давлением энергия упругого поля вокруг такого «твердотельного» очага порядка 10^{15} Дж на 1 км³ перегретой породы. Как видим, по величине упругой энергии перегретые «твердотельные» магматические очаги близки очагам наиболее сильных землетрясений с магнитудами M = 8 и более, что, в принципе, позволяет в рамках модели блоковой геосреды объяснить и взаимодействие вулканов между собой (миграцию вулканической активности [6]) и взаимодействие вулканизма и сейсмичности [4].

В рамках такой модели достаточно просто объясняется [5] миграция вулканической активности вдоль отдельно взятого вулканического комплекса на Камчатке [20], Гавайских островах [23], равнине Снейк Ривер [18], отдельно взятых вулканических дуг [7] и, в целом, тектонических активных регионов [32]. Миграция вулканической активности в рамках такого подхода не есть перетекание магматического вещества, как предполагают в рамках ныне существующих моделях магматических очагов [13, 16, 22, 23, 28], полагают в настоящее время, а, как и миграция сейсмической и тектонической активности, по сути, является миграцией упругих напряжений, осуществляемой посредством ротационных волн [5].

В рамках такого подхода просто понять «одну общую особенность вулканов Балаган–Тос и Анюйского», которые «выросли на цоколе, сложенном мезозойскими породами, то есть породами, не имеющими отношения к деятельности этих вулканов. Оба они стали извергаться на глазах человека в таких местах, где их существованию не предшествовал непосредственно относительно более древний вулканизм. Вспышка вулканической активности в обоих случаях была внезапной» [22].

Список литературы

- 1. Апродов В.А. Вулканы. М.: Мысль. 1982. 367 стр.
- 2. Балеста С.Т. Земная кора и магматические очаги областей современного вулканизма. М.:Наука, 1981. 135 с.
- 3. Болт Б.А., Хорн У.Л., Макдоналд Г.А., Скотт Р.Ф. Геологические стихии. Землетрясения, цунами, извержения вулканом лавины, оползни, наводнения. М.: Мир, 1978. 440 с.
- 4. Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика. Сборник трудов. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2011. 463 с
- Викулин А.В Кальдеры обрушения магматические очаги строение коры флиюд // Тезисы конференции, посвящено Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск– Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013.
- Викулин А.В., Водинчар Г.М., Гусяков В.К. и др. Миграция сейсмической и вулканической активности в зонах напряженного состояния вещества наиболее геодинамически активных мегаструктур земли // Вестник Камчатского государственного технического университета. Вып. 17. 2011. Петропавловск– Камчатский: КамчатГТУ. С. 5–15

- 7. Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р. и др. Информационно-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17. № 3. С. 34–54.
- Викулин А.В, Иванчин А.Г. Фазовый переход твердое тело жидкость в блоковой геосреде как механизм извержения // Материалы конференции, посвящено Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск–Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012.
- Викулин А.В., Иванчин А.Г. О природе Мохо как фазовой границе раздела между блоковой земной корой и неблоковой верхней мантией // Материалы 45 Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2013. С. 38–42.
- 10. Влодавец В.И. Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.
- 11. Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Кальдера Карымская: строение и состав пирокластический потоков // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. №1. Вып. 17. С. 61-76
- 12. Гущенко И.И. Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 676 с.
- Действующие вулканы Камчатки. В 2-х Т. / Ред. С.А. Федотов, Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1991. Т. 1, 320 с. Т. 2, 415 с.
- 14. Дирксен В.Г., Дирксен О.В. Реконструкция восстановления растительности после катастрофического извержения Курильское озеро-Ильинская 7700 14С л.н. на южной Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2004. №3. С. 57-85
- 15. Ермаков В.А.Ю, Штейнберг Г.С. Вулкан Кудрявый и эволюция кальдеры Медвежья (о-в Итуруп, Курильские о-ва) // Вулканология и Сейсмология. 1999. №3. С. 19-40
- 16. Кирюхин А.В., Кирюхин В.А., Манухин Ю.Ф.. Гидрогеология вулканогенов. СПб: Наука, 2010. 395 с.
- 17. Козлов Д.Н., Жарков Р.В. Новые данные по морфологии внутрикальдерных озер островов Кунашир и Симушир // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. №2. Вып. 14. С. 159-164
- 18. Короновский Н. Йеллоустонский супервулкан // Наука и жизнь. 2012. № 5. С. 110–113.
- 19. Лаверов Н.П. (ред.) Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2005. 604 с.
- 20. Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.
- Леонов В.Л., Рогозин А.Н. Геологическое строение южного борта кальдеры Половинка и история ее развития (Карымский вулканический центр, Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. №5. С. 103-112
- 22. Лучицкий И.В. Основы палеовулканологии. Т. 1. М.: Наука, 1971. 480 с.
- 23. Макдональд Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.
- 24. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. «Век» вулканических катастроф в раннем голоцене Курило-Камчатской области // Глобальные изменения природной среды / Ред. Л.Н. Добрецов, В.И. Коваленко. Новосибирск: СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1998. С. 146-152.
- 25. Павленкова Н.И. Природа границы М по геофизическим данным // Материалы 45 Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2013. С. 138–141.
- Пономарева В.В., Мелекесцев И.В., Базанова Л.И. и др., Вулканические катастрофы на Камчатке в среднем плейстоцене- голоцене // Экстримальные природные явления и катастрофы: в 2-х т. / Отв. Ред. А.О. Глико. Т.1. М.: ИФЗ РАН, 2010. С. 219-238
- 27. Селянгин О.Б., Пономарева В.В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра Южная Камчатка // Вулканология и Сейсмология. №2. 1999. С. 3-23
- 28. Слезин Ю.Б. Механизм вулканических извержений (стационарная модель). М.: Научный мир, 1998. 127 с.
- 29. Newhall C.G., Dzurisin D. Historical unrest at large calderas of the world // U.S. Geol. Surv. Bull. 1855. 1988. V.2. P.627-674.
- Siebert L., Simkin T., Kimberly P. Volcanoes of the World. Third edition. Smithsonian Institution. Washington DC. University of California Press. 2010. 551 p.
- Spera F.J., Crips J.A. Eruption volume, periodicity, and caldera area: relationships and inferences on development of compositional zonation in silicic magma chambers // J. of Volcanology and Geothermal Research. 1981. V. 11. No. 1–2. P. 169–187.
- 32. Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A., Dolgaya A.A. Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics&Tectonophysics. 2012. V. 3.