

ТОКАРЕВ П. И.

ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ

Введение

QUANTITATIVE CHARACTERISTICS AND RECURRENCE OF VOLCANIC ERUPTIONS, by Tokarev P. I. The volume of erupted material, magma discharge, and coefficient of explosivity are considered as the main factors that essentially specify the power, intensity, and character of the eruption. The data on eruptions of the world for the last 10 000 years and on eruptions in the Kuril-Kamchatka zone that occurred in 1901—1980 show a linear dependence between the frequency of occurrence (in logarithmic scale) and classes of eruptions.

(Received May 19, 1986)

Institute of Volcanology, Far East Scientific Center, USSR Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, USSR

Вулканология — молодая наука, носившая в начале своего возникновения описательный характер. Лишь постепенно возникла необходимость количественного описания отдельных явлений вулканизма, стали вводиться различные шкалы и единицы измерения, новые понятия и термины, характеризующие извержения [2, 4—9]; на подробном описании и анализе их мы останавливаться не будем, вулканологам они хорошо известны. При этом существовало две тенденции. Первая стремилась для всего разнообразия извержений создать единую шкалу, вторая — использовать не общепринятые физические величины, а относительные, традиционно применяемые в смежных науках, такие, как баллы, магнитуды, индексы и даже «эквивалент атомной бомбы». Само понятие «извержение» до сих пор точно не определено и различные вулканологии вкладывают в него различный смысл [1, 3]. Всё это создает определенные трудности при практической работе.

Общеизвестно, что чем сильнее извержения, тем реже они происходят. Однако количественные соотношения между частотой и силой извержений пока не установлены.

В этой статье сделана попытка уточнить определения «извержение» и «вулканическая активность», а также методы их количественной характеристики. При этом автор неставил задачи пересмотра вулканологической терминологии и количественных характеристик извержений, а стремился только пояснить и уточнить термины и понятия, которые наиболее часто употребляются при изучении сейсмического режима вулканов и разработке методов прогноза вулканических извержений. Он попытался также найти количественную зависимость между частотой извержений и их величиной. Следует указать, что приводимые в статье термины и характеристики извержений в подавляющем большинстве не являются новыми предложенными автором.

Вулканический цикл

По определению, вулкан — это место выхода магмы на поверхность Земли. Этим термином обозначаются и конические горы, возникшие в результате отложения материала во время извержений. В более широ-

ком смысле под словом вулкан понимается система, состоящая из конусообразной горы на поверхности Земли с кратером на вершине, подводящего канала в земной коре, первичного магматического очага и зоны его питания в верхней мантии Земли. По форме строения наземных аппаратов и их корневых частей вулканы весьма разнообразны. В их деятельности выделяются два основных состояния: **покоя и извержения**. С развитием инструментальных наблюдений стало возможным и необходимым выделение третьего состояния, промежуточного между основными, отражающего скрытые, глубинные процессы, связанные с движением магмы на глубине перед выходом ее на поверхность Земли. Оно определяется как **состояние подготовки извержения**. Во время извержения и после его прекращения происходит резкое уменьшение давления в выводном канале и снижение напряжений, возникших в период подготовки извержения. Назовем его **состоянием релаксации напряжений**. Таким образом, в деятельности вулкана кроме двух основных выделяются еще два промежуточных состояния. Скрытые процессы в период подготовки извержений и релаксации напряжений отражаются в значительных аномальных деформациях земной поверхности, в резком изменении частоты и энергии вулканических землетрясений, в изменении фумарольной деятельности вулкана и т. п.

У полигенных вулканов извержения происходят периодически, дискретно, разделяясь интервалами покоя. Состояние вулкана между концами двух смежных извержений назовем вулканическим циклом, а его продолжительность — **периодом вулканического цикла**. Обозначим его через T . Вулканический цикл делится на четыре фазы: фазу I — **покоя**, фазу II — **подготовки извержения**, фазу III — **извержения** и фазу IV — **релаксации напряжений**. Продолжительность каждой фазы будем обозначать соответственно через T_1 , T_2 , T_3 и T_4 ; $T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$. Каждая фаза может подразделяться на несколько этапов, их будем обозначать номером фазы с индексом. Например, III₁, III₂ и т. д., что означает первый и второй этапы фазы извержения. Схема вулканического цикла и характер изменения давления в выводном канале в продолжение цикла показаны на рис. 1.

Состояние покоя вулкана — такое его состояние, когда вулкан не проявляет никаких видимых признаков деятельности, кроме обычной для него фумарольной деятельности, т. е. когда нет извержения.

Фумарольная деятельность — выделение вулканических газов и паров воды из кратера вулкана или на его внешних склонах. Фумарольная деятельность наблюдается также на лавовых и агломератовых потоках, воронках взрывов, трещинах и т. п. Интенсивность фумарольной деятельности вулкана варьирует в больших пределах — от незначительного слабого парения до обильного и интенсивного выделения газов, сопровождающегося сильным шумом. К фумарольной деятельности следует относить выделение из кратера газов любой интенсивности, если при этом на поверхность Земли не выносится магма. При фумарольной деятельности форма и глубина дна кратера не изменяются, так как магма или холодный твердый материал не выносятся из выводного канала на поверхность.

Извержение вулкана (первое значение) — процесс выхода магмы на поверхность Земли через устье выводного канала вулкана.

Извержение вулкана (второе значение) — состояние вулкана, когда магма из кратера выходит на поверхность Земли.

Понятие «извержение» используется и как единица состояния вулкана. Мы говорим: «Произошло столько-то извержений». Однако разные исследователи в понятие «извержение» вкладывают различный смысл. Одни под извержением понимают каждый отдельный взрыв или короткий выброс магмы, другие — обособленную серию взрывов, разделенных относительно небольшими интервалами времени. Третий — только па-

роксизмальный взрыв [1, 2, 8]. Такая неопределенность объясняется как сложностью самого явления, так и отсутствием строгой терминологии. Поясним понятия «непрерывное и прерывистое извержения».

Непрерывное извержение — такое, когда магма от начала и до конца извержения поступает на поверхность Земли непрерывно или перерыв между отдельными взрывами τ_n не больше продолжительности самого взрыва τ_b ($\tau_n \leq \tau_b$). Например, извержения стромболианского или плинианского типов, излияние лавы и т. п.

Прерывистое извержение — извержение, состоящее из серии последовательных взрывов, когда перерыв между отдельными взрывами τ_n больше продолжительности самого взрыва τ_b ($\tau_n > \tau_b$), но сами взрывы

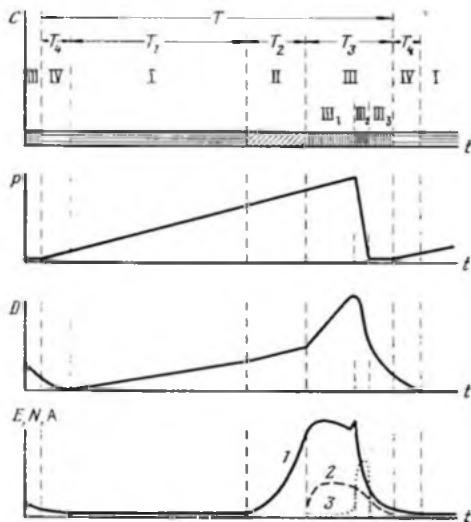


Рис. 1. Схема вулканического цикла центрального полигенного вулкана (C), характера изменения давления (P) в выхлопном канале, деформаций земной поверхности (D) и сейсмичности (E, N, A) вулкана. Фазы I—IV: I — покой; II — подготовка извержения; III — извержение; IV — релаксация напряжений. III₁ — III₃ — этапы: III₁ — начала извержения, III₂ — его пароксизма и III₃ — затухания; T — период вулканического цикла; T_1, T_2, T_3 и T_4 — продолжительность фаз; t — текущее время; E — энергия вулканических землетрясений II и III типов (кривая 1); N — частота землетрясений IV (взрывного) типа (кривая 2); A — амплитуда вулканического дрожжания (кривая 3). Все величины и времена на рисунке взяты в произвольном масштабе

составляют обособленную серию. В этом случае к одному извержению следует относить серию взрывов, в которой $\tau_n \leq \omega T_1$, где T_1 — средняя продолжительность фазы покоя вулканических циклов данного вулкана, а $\omega \ll 1$ — постоянный коэффициент для данного вулкана, определяемый эмпирически. При анализе извержений Карымского вулкана коэффициент ω принимался равным 0,01. Условимся принимать для всех вулканов и всех типов извержений $\omega = 0,01 - 0,03$. Примерами прерывистых извержений являются извержения вулканического типа, извержения, связанные с ростом куполов, и т. п.

Следует подчеркнуть, что границу между отдельными фазами вулканического цикла не всегда можно точно установить, однако по сейсмологическим данным (вулканическим землетрясениям I—V типов) особенности каждой фазы выделяются довольно уверенно и четко. Кроме того, надо иметь в виду, что термин «вулканический цикл» в вулканологии употребляется очень часто и имеет различное смысловое значение [2, 3, 5]. В этой работе приводится одно из значений этого термина.

Характеристики извержений

Масса магмы m . Извержение определяется как выход магмы на поверхность Земли. Поэтому его естественной количественной мерой является **масса магмы m** , поступившая на поверхность Земли за все время извержения. Масса магмы при извержении определяется по формуле $m = \Sigma (\rho V)_n$, где ρ и V — плотность и объем различных твердых, жидких и газообразных продуктов извержений (пепла, шлака, агломерата, газов, лавы и др.).

Таблица 1

Шкала классов вулканических извержений $K_B^{T_{\text{в}}}$

$K_B^{T_{\text{в}}}$	$m, \text{ кг}$	$V, \text{ м}^3$	$H, \text{ км}$	Величина извержения
4	$2,5 \cdot 10^3 - 2,5 \cdot 10^4$	$1 - 10$		
5	$2,5 \cdot 10^4 - 2,5 \cdot 10^5$	$10 - 10^2$		
6	$2,5 \cdot 10^5 - 2,5 \cdot 10^6$	$10^2 - 10^3$		
7	$2,5 \cdot 10^6 - 2,5 \cdot 10^7$	$10^3 - 10^4$	0,1	Очень слабое
8	$2,5 \cdot 10^7 - 2,5 \cdot 10^8$	$10^4 - 10^5$	0,1 - 0,3	
9	$2,5 \cdot 10^8 - 2,5 \cdot 10^9$	$10^5 - 10^6$	0,2 - 1	Слабое
10	$2,5 \cdot 10^9 - 2,5 \cdot 10^{10}$	$10^6 - 10^7$	1 - 3	Умеренное
11	$2,5 \cdot 10^{10} - 2,5 \cdot 10^{11}$	$10^7 - 10^8$	3 - 15	Небольшое
12	$2,5 \cdot 10^{11} - 2,5 \cdot 10^{12}$	$10^8 - 10^9$	10 - 25	Большое
13	$2,5 \cdot 10^{12} - 2,5 \cdot 10^{13}$	$10^9 - 10^{10}$	20 - 50	Очень большое
14	$2,5 \cdot 10^{13} - 2,5 \cdot 10^{14}$	$10^{10} - 10^{11}$	40 - 80	Катастрофическое
15	$2,5 \cdot 10^{14} - 1,5 \cdot 10^{15}$	$10^{11} - 10^{12}$	50	
16	$2,5 \cdot 10^{15} - 2,5 \cdot 10^{16}$	$10^{12} - 10^{13}$	50	

Примечание. m и V — масса и объем изверженных продуктов; H — высота подъема пепловой тучи над кратером вулкана. Шкала классов вулканических (В) извержений $K_B^{T_{\text{в}}}$ составлена П. И. Токаревым (Т) в 1985 г. (85).

Класс извержения K — количественная характеристика извержения, численно равная десятичному логарифму из массы магмы m , вышедшей на поверхность Земли в течение всего извержения и выраженной в килограммах: $K = \lg(m, \text{ кг})$. Шкала классов извержений приведена в табл. 1. При измерениях массы с ошибками не более 12% классы берутся с точностью до 0,1 единицы класса.

Энергия извержения E — полная энергия (тепловая, кинетическая, воздушных взрывных волн и т. п.), выносимая на поверхность Земли через устье выводного канала за все время извержения (T_3). Основная доля энергии приходится на тепловую, заключенную в магме, поэтому с достаточной точностью [4] за полную энергию извержения можно принимать тепловую энергию, которая равна массе магмы извержения, умноженной на ее теплосодержание $E = mQ$. Теплосодержание $Q = C_m(T_m - T_a) + q$. При температуре магмы $T_m = 1300$ К, теплопроводности магмы $C_m = 1,3 \cdot 10^3$ Дж/кг·град., температуре воздуха на поверхности Земли $T_a = 300$ К и теплоте кристаллизации магмы $q = 4,2 \cdot 10^5$ Дж/кг. $Q = 1,7 \cdot 10^6$ Дж/кг, а энергия извержения $E = 1,7 \cdot 10^6 \cdot m$, Дж. Таким образом, полная энергия извержения является производной величиной от массы.

Масса магмы, класс и энергия извержения определяют величину извержения.

Расход магмы α при извержении численно равен отношению массы магмы извержения m к длительности фазы извержения (T_3), т. е. является средним расходом магмы за все время извержения. $\alpha = m/T_3, \text{ кг/с}$. Для характеристики отдельных этапов извержения можно использовать понятия мгновенного и максимального расходов магмы.

Мощность извержения W — средняя мощность за все время извержения (T_3). $W = E/T_3 = Q \cdot \alpha = 1,7 \cdot 10^6 \cdot \alpha$ Вт. Она является производной величиной от расхода магмы при извержении.

Расход магмы и мощность извержения характеризуют интенсивность извержения.

Коэффициент взрывности K_a определяется как отношение массы тафры (m_t) ко всей массе магмы при извержении (m): $K_a = m_t/m$. При спокойном (без взрывов) излиянии лавы или выжимании купола $K_a = 0$. По мере того как извержение приобретает все более взрывчатый характер, коэффициент K_a растет и в пределе когда весь магматический мате-

риал во время взрыва из кратера выбрасывается в раздробленном виде, $K_a=1$. Коэффициент эксплозивности отражает взрывчатость (характер) извержения.

Таким образом, основными характеристиками следует считать массу (m), расход магмы (α) и коэффициент эксплозивности (K_a), так как они в достаточной мере определяют величину, интенсивность и характер извержения, причем имеют конкретный и ясный физический смысл. При исследовании извержений основные характеристики могут дополняться и другими количественными и качественными характеристиками, такими, как высота подъема пепловой тучи; скорость истечения из кратера газоагломератовой струи; площадь, мощность и дальность отложения различного твердого материала; скорость движения лавового потока; энергия и мощность вулканического дрожания и взрывных вулканических землетрясений; энергия воздушных волн, вызванных взрывами в кратере; кинетическая энергия взрывов; мощность эксплозивной деятельности вулканов; тип извержения; описание характера извержения и другие.

Характеристики вулканической активности

Понятие «вулканическая активность» получило в вулканологии широкое распространение, однако оно точно не определено. Обычно, под вулканической активностью понимается любое проявление деятельности вулкана, отличное от состояния полного покоя. С другой стороны, этим же термином обозначается частота и интенсивность извержений, когда говорят, что один вулкан активнее другого. В настоящее время термины «вулканическая активность», «активность вулкана», «активность вулканов» настолько вошли в обиход, что заменить их другими терминами почти невозможно, да и делать это не имеет особого смысла. Необходимо только по мере возможности придать им более точное определение и дать количественное выражение.

Активность вулкана характеризуется частотой его извержений и их мощностью. Остановимся на рассмотрении некоторых количественных характеристик активности вулканов.

Расход вулкана α . Средний расход магмы за длительный период, включающий n вулканических циклов $\left(\alpha = \sum_1^n m_i / \sum_1^n T_i \right)$, $i=1, 2, \dots, n$.

Он является наиболее общей характеристикой мощности вулкана в советской вулканологии (этот термин систематически употребляется с 1974 г. [4]). Однако расход вулкана не дает полного представления об активности вулкана, так как извержения у различных вулканов имеют различную продолжительность и силу. У разных вулканов расход α различен и варьирует в пределах от 25 до 2900 кг/с, а, возможно, и в больших пределах [4].

Коэффициент активности вулкана K_a — отношение длительности фазы извержения T_3 к периоду вулканического цикла T . $K_a = T_3/T$ обычно определяется как средняя величина нескольких (n) вулканических циклов $\left(K_a = \sum_1^n T_{3i} / \sum_1^n T_i \right)$. Он показывает, какую долю времени вулкан находится в состоянии извержения. По величине K_a можно судить о характере извержений. У вулканов с открытым жерлом извержения более слабые, но частые и коэффициент K_a велик, а у вулканов с закрытым жерлом — мал.

Частота извержений — количество всех извержений данного вулкана или района в единицу времени. За единицу времени принимается 1 год. Однако в каждом отдельном случае могут быть приняты и другие интер-

валы времени, например 100 или 1000 лет, что должно быть специально оговорено.

Чтобы иметь возможность сравнивать активность различных вулканов, необходимо их частоту рассматривать для извержений начиная с какого-то одного уровня, одного класса K_0 , для которого каталоги являются полными, и обозначать такие величины индексом у буквы N . Например, частота $N_{K \geq 9}$ означает, что при ее определении были использованы только извержения класса $K \geq 9$.

Наиболее полное представление об активности вулканов дает частота извержений, определенная для каждого класса извержений отдельно. Обозначим ее через N_K , где индекс K обозначает класс извержения. Например, N_{10} означает число извержений класса $K=10$ данного вулкана, произошедших за один год.

Частота извержений N может относиться к одному вулкану, к группе вулканов, к отдельному району или целиком к земному шару. Это оговаривается в каждом конкретном случае.

Период вулканического цикла T . Понятие среднего периода вулканического цикла $T=1/N$, так же как и частоты извержений N , может использоваться при анализе активности вулканов. При этом, как и при рассмотрении частоты извержений, можно рассматривать или все извержения, или извержения только определенных классов.

Годы извержений. Извержения вулканов происходят сравнительно редко, и при исследовании их активности приходится брать большие интервалы времени. Однако полнота каталогов и количественных характеристик извержений в различное время различны. Поэтому иногда вместо извержений удобнее и проще брать годы, в которые происходили извержения вулкана, и каждый такой год считать одним извержением. При этом могут возникать некоторые искажения количества извержений, так как одно извержение может продолжаться несколько лет подряд и вместо одного будет взято несколько извержений. С другой стороны, иногда в один год происходит не одно, а несколько извержений. В этом случае число «извержений» будет занижено. Однако такие случаи редки, и в среднем число лет, в которые происходили извержения, будет близко к числу извержений за это время. Поэтому при общем исследовании активности вулканов можно пользоваться и тем и другим способом. Но при детальных исследованиях активности вулканов необходимо рассчитывать коэффициент активности K_a .

Полнота каталогов вулканических извержений в различные времена различна, но общие правила таковы: 1) чем дальше отстоит время извержения от настоящего времени, тем меньше полнота каталога; 2) чем больше извержения, тем полнее они представлены в каталогах; 3) абсолютно полными (без пропусков) можно считать только каталоги, составленные по данным обсерваторий, ведущих наблюдения за состоянием определенного вулкана. На полноту каталогов влияет и характер деятельности вулкана. У одних вулканов извержения бывают очень слабыми, но происходят часто, а у других — наоборот. В первом случае вероятность того, что извержение не будет замечено, больше, а во втором — меньше. Поэтому, чтобы иметь возможность сравнивать активность различных вулканов, необходимо их частоту рассматривать для извержений начиная с какого-то уровня, одного какого-то класса K_0 , для которого каталоги являются полными.

Таблица 2

Распределение извержений вулканов по классам К

К	Район			К	Район		
	Весь мир		Камчатка и Курильские острова		Весь мир		Камчатка и Курильские острова
	N_{K1}	N_{K2}	N_{K3}		N_{K1}	N_{K3}	
7	—	10	—	15	1	0	0
8	443	13	3	16	0	0	0
9	361	14	29	7—16	4 815	275	180
10	3108	40	113	τ , годы	10 000	3500	80
11	720	118	26	a	0,66	0,68	0,58
12	131	70	7	b	10,08	10,06	7,85
13	35	15	2				
14	16	3	0				

Примечание. Число извержений вулканов: N_{K1} — мира, по каталогу Т. Симкина и др. [8]; N_{K2} — мира, по каталогу И. И. Гущенко [2]; N_{K3} — Камчатки и Курильских островов за 1901—1980 гг. τ — интервал времени, за который взяты данные; a и b — коэффициенты уравнения (1).

Повторяемость извержений

В настоящее время в мире накоплен значительный материал по количественным характеристикам извержений вулканов, который позволяет определить классы извержений и рассмотреть достаточно обоснованно вопрос о повторяемости извержений, т. е. зависимости числа извержений N_K от величины их классов К.

Для анализа нами были выбраны три группы извержений и для них определены классы извержений. Первая группа — извержения мира за последние 10 тыс. лет, взятые из каталога извержений Т. Симкина и др. [8]. Классы извержений определены по табл. 1. Вторая группа — извержения мира за последние 3,5 тыс. лет, взятые из каталога извержений И. И. Гущенко [2]. Классы извержений определены по формуле $K = \lg m$, где масса изверженного материала выражена в килограммах. Третья группа — извержения вулканов Камчатки и Курильских островов

за 1901—1980 гг., взятые автором из различных каталогов и публикаций. Все данные об извержениях приведены в табл. 2.

При нанесении данных табл. 2 на график было установлено, что зависимость $N(K)$ при $K \geq 10$ имеет линейную форму вида

$$\lg N_K = aK + b, \quad (1)$$

Рис. 2. Зависимость числа извержений N от класса извержения K . 1 — извержения вулканов мира за 10 тыс. лет по данным [8], $a = -0,66$; 2 — извержения вулканов мира за 3,5 тыс. лет по данным [2], $a = -0,68$; 3 — извержения вулканов Камчатки и Курильских островов за 1901—1980 гг., $a = -0,58$

где N_K — число извержений класса K , a и b — постоянные коэффициенты. Коэффициенты a и b , определенные методом наименьших квадратов для всех трех групп извержений, приведены в нижней части табл. 2.

Зависимость $\lg N = f(K)$ для всех трех групп извержений (см. табл. 2) представлена на рис. 2. Как видно из рисунка, во всех трех случаях в области больших значений K зависимость линейная. Коэффициенты уравнения a и b в первых двух случаях имеют близкие значения, и это указывает

на то, что оба каталога имеют одинаковую полноту для извержений $K \geq 12$. Наклон графика повторяемости для извержений вулканов Камчатки и Курильских островов несколько отличается от первых двух. Возможно, это связано с тем, что взят очень короткий период наблюдений.

Линейность графика повторяемости при больших извержениях, по-видимому, является общей закономерностью в деятельности вулканов Земли, так как она четко выражена и для извержений всего мира, и для извержений отдельного региона. Если это так, то полученная зависимость является важным результатом. Она может быть использована при анализе вулканической активности как отдельных вулканов, так и различных регионов.

Например, на основании графиков (см. рис. 2) можно заключить, что данные о массе изверженного материала в каталоге И. И. Гущенко [2] являются достаточно полными только для извержений класса $K \geq 12$. Спад графиков повторяемости на рис. 2 при $K < 10$ может быть связан как с существованием естественного нижнего предела величины извержений, так и с неполнотой данных. При детальном анализе извержений отдельных вулканов или извержений вулканических районов по величине коэффициента a в уравнении 1, по-видимому, можно будет выявить некоторые особенности деятельности вулканов. Зная величину коэффициентов уравнения 1, по известной частоте некоторых классов (N_K) извержений можно определить частоту извержений других классов (N_{K_0}), если она неизвестна:

$$N_{K_0} = N_K \cdot 10^{a(K-K_0)} \quad (2)$$

Более точное значение N_{K_0} получится, если его определить как среднюю величину:

$$N_{K_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{K_i} \cdot 10^{a(K_i-K_0)}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Возможны и другие варианты использования коэффициентов уравнения 1 при анализе деятельности вулканов.

Заключение

В статье уточнены некоторые основные понятия, используемые в вулканологии, дано подробное описание вулканического цикла и характеристики его отдельных фаз.

Величина, интенсивность и характер извержения определяются тремя основными величинами: классом извержения, расходом магмы и коэффициентом эксплозивности. Полученная линейная зависимость между логарифмом частот и величиной классов извержений может быть использована при анализе активности вулканов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влодавец В. И. Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.
2. Гущенко И. И. Извержения вулканов Мира. Каталог. М.: Наука, 1979. 476 с.
3. Гущенко И. И. Цикличность извержений вулканов Мира//Вулканология и сейсмология. 1985. № 2. С. 27—48.
4. Токарев П. И. Некоторые закономерности вулканического процесса//Магмообразование и его отражение в вулканическом процессе. М.: Наука, 1977. С. 25—40.

5. Токарев П. И. Долгосрочный прогноз извержений вулканов//Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 27—90.
6. Токарев П. И. Предвестники вулканических извержений//Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С. 108—119.
7. Hedervari P. On the energy and magnitude of volcanic eruptions//Bull. Volcanol. 1963. V. 25. N 2. P. 374—385.
8. Simkin T., Siebert L., McClell L., Bridge D., Newhall C., Latter J. Volcanoes of the World//Smith. Inst., Hutchinson Ross Publ. Comp. 1981. 240 p.
9. Tsuya H. Geological and petrological studies of volcano Fuji. 5. On the 1707 eruption of volcano Fuji//Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ. 1955. V. 33. P. 341—384.

Институт вулканологии
ДВО АН СССР

Поступила в редакцию
19.V.1986