

УДК 550.34 + 551.24

О ВЗАИМОСВЯЗИ СЕЙСМИЧЕСКОГО И ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ ОКРАИН ТИХОГО ОКЕАНА

© 2007 Д.Р. Акманова, Н.А. Осипова

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: Dinara@kscnet.ru*

С целью изучения особенностей геодинамических движений была составлена база, включающая все известные данные о землетрясениях и извержениях вулканов планеты в едином формате. В качестве «энергетической» характеристики извержения был выбран объем изверженных продуктов. Для окраин Тихого океана, в пределах которых происходят не менее 80-90% землетрясений и извержений вулканов планеты, получены новые данные о скоростях миграции землетрясений и показано, что извержения вулканов также имеют тенденцию мигрировать. Оказалось, что скорости миграции наиболее сильных землетрясений и извержений по порядку величин соизмеримы. Это позволяет предположить, что волны миграции сейсмической и вулканической активности являются проявлениями общего геодинамического планетарного процесса, имеющего «разные цвета» в различных геофизических полях. Данные позволяют полученные пространственно-временные особенности распределения сейсмической и вулканической активности заложить в основу более общей геодинамической модели.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о взаимосвязи сейсмического и вулканического процессов неоднократно обсуждался многими исследователями. Например, известно, что для разных регионов имеет место корреляция между временами извержений вулканов и сильных землетрясений с гипоцентрами, расположенными в пределах сейсмических поясов: для Курило-Камчатской островной дуги (Абдурахманов, Федорченко, 1976; Токарев, 1959; Широков, 1978), для сильных и сильнейших землетрясений с нормальной глубиной очага в пределах Центральной Америки, Чили и северных Антилских островов (Berg, Sutton, 1974; Carr, Stoiber, 1977). Краткий обзор этих работ приведен в (Викулин, 2003). Сопоставление расположения зон современного вулканизма с областями повышенной сейсмичности свидетельствует об их пространственной близости. Эти участки литосферы представляют собой области максимального высвобождения вулканической и сейсмической энергии, в которых в современную эпоху происходят активные геодинамические процессы. Совпадение во времени и в пространстве проявлений сейсмичности и вулканизма может свидетельствовать о, возможно, едином энерге-

тическом источнике данных процессов (Белов, 1986).

Одним из главных свойств сейсмического процесса является миграция очагов землетрясений в пространстве и во времени (Быков, 2005). Наиболее полная библиография работ на 2000 г. по миграции землетрясений в пределах различных сейсмических поясов и их скоростям приведена в (Викулин 2001, 2003). В работах (Леонов, 1991; Berg, Sutton, 1974; Sauers, 1986; и др.) показано, что и вулканическая активность в пределах Центральной и Южной Америки, Аляски-Алеутских островов и в других регионах планеты имеет тенденцию мигрировать, что также может указывать на генетическую взаимосвязь сейсмического и вулканического процессов.

Однако, некоторые исследователи (Горячев, 1962; Дуничев, 2003; Эрлих, 1973) считают, что взаимосвязи между сейсмическими событиями и извержениями вулканов в пределах окраины Тихого океана, не существует.

И, тем не менее, многие исследователи склоняются к тому, что сейсмичность и вулканизм, рассматриваемые как процессы планетарного масштаба, взаимосвязаны: причины, приводящие к накоплению сбрасываемых при землетрясениях напряжений и к движению изливающейся при

извержения вулканов магмы, имеют общий генетический корень (Абдурахманов, Федорченко, 1976; Акманова, 2007; Викулин и др. 2007; Осипова, 2007; Токарев, 1959; Широков, 1978).

В данной работе показаны пространственно-временные закономерности проявления сейсмического и вулканического процессов и взаимосвязь между ними в пределах тихоокеанских окраин.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Составленная база данных включает все известные (датированные) землетрясения (2150 г. до н.э. – август 2007 гг.) «до начала инструментального периода» (до XX в.) и с $M \geq 6.0$, произошедших в течение «инструментального периода» (с XX в. по настоящее время), и $n = 6228$ извержений $N = 562$ вулканов планеты за последние 12 тыс. лет: 9850 г. до н.э. – 2005 гг. (Викулин и др., 2007). Эта база составлена на основании анализа имеющихся доступных мировых и региональных каталогов землетрясений и извержений вулканов (Викулин и др., 1983а; Викулин и др., 1983б; Гущенко, 1979; Новый каталог..., 1975; Соловьев, Го, 1974, 1975; Catalogue of Major Earthquakes....., 1958, 1966, 1968; Duda, 1965, 1992; ISC; JMA; NEIC; Simkin, Siebert, 1993; Smithsonian Institution).

Сейсмические события в базе характеризуются следующими параметрами: время в очаге (год, месяц, день, час, минута, секунда), координаты очага (долгота и широта в градусах), глубина очага (в км) и магнитуда. Всего в базе приведены сведения о 12145 землетрясениях.

На рис. 1 представлен график повторяемости землетрясений, содержащихся в базе: $\lg N = -0.87M + 8.5$.

Наклон графика повторяемости, определенный по представительным данным с $M \geq 6$, составляет $A = -0.9 \pm 0.3$ и совпадает с наклоном, определяемым по известным мировым базам данных землетрясений, что позволяет судить о полноте имеющихся данных.

Извержения вулканов в базе характеризуются следующими параметрами: дата извержения (год,

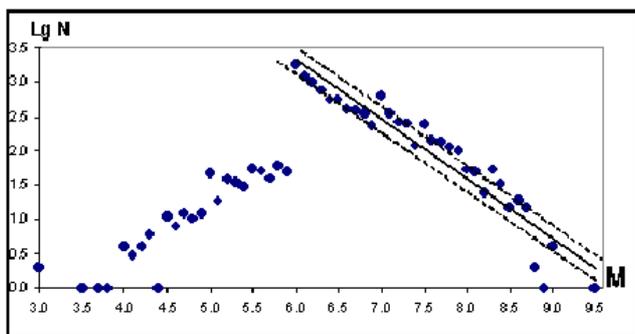


Рис. 1. График повторяемости содержащихся в базе 12145 землетрясений, 2150 г. до н.э. – 08.2007 г.

месяц, день), координаты вулкана (долгота и широта в градусах), объем изверженного ювенильного материала ($W, \text{м}^3$).

В соответствии со шкалой, принятой в (Simkin, Siebert, 1993; Smithsonian Institution), все извержения в базе классифицировались нами по величине $W = 1, 2, \dots, 7$, которая соответствует объемам $10^{4.5}, 10^6, \dots, 10^{11} \text{ м}^3$ соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Значения чисел извержений и объемов изверженного материала, содержащихся в базе в период с 9850 г. до н.э. – 2005 г. по (Гущенко, 1979; Simkin et al., 1993; Smithsonian Institution)

Значения объемов изверженного материала, W	1	2	3	4	5	6	7
Объем, м^3	$10^{4.5}$	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}
Число извержений в базе, n	1067	3658	954	356	128	61	5

При определении объемов некоторых наиболее сильных извержений нами использовались неопубликованные данные, любезно предоставленные И.В. Мелекесцевым.

Было предположено (Викулин и др., 2007), что объем изверженного ювенильного материала может служить энергетической характеристикой. С этой целью по аналогии с землетрясениями для всей базы был построен график повторяемости извержений вулканов, представленный на рис. 2.

На рис. 2, показано, что все исходные точки в диапазоне $W \geq 2$ хорошо ложатся на прямую: $\lg N = -0.53W + 4.6$. Для отдельно взятых вулканов, для которых статистика извержений представлена достаточно большим объемом данных, наклон оказался также равным -0.5 .

Приведенные данные, по-видимому, позволяют предположить, что, во-первых, извержения с $W \geq 2$ в базе содержатся с достаточной полнотой, и, во-вторых, параметр W в первом приближении можно предложить в качестве энергетической характеристики вулканического процесса. Необходимо отметить, что первая попытка оценки

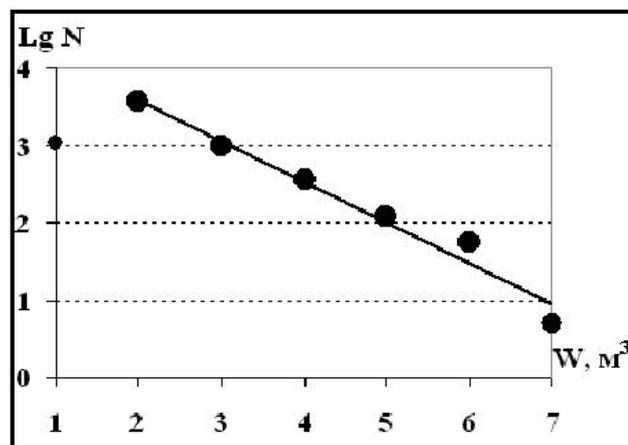


Рис. 2. График повторяемости извержений вулканов мира за последние 12 тыс. лет $n = 6228$, с $W \geq 1$.

энергии вулканических извержений была предпринята П.И. Токаревым. В своей работе Токарев П.И. (1987) анализирует три группы данных: 1) извержения вулканов мира за последние 10 тыс. лет; 2) извержения вулканов мира за последние 3.5 тыс. лет; 3) извержения вулканов Камчатки и Курильских островов за период с 1901-1980 гг., взятые автором из различных публикаций. В результате П.И. Токаревым для трех групп данных: извержения вулканов мира за последние 10 тыс. лет, извержения вулканов мира за последние 3.5 тыс. лет, и извержения вулканов Камчатки и Курильских островов, были получены близкие значения наклонов графиков повторяемости извержений: $A = -(0.6 - 0.7) \pm 0.1$.

Таким образом, результаты, полученные П.И. Токаревым и нами, при использовании разного числа извержений за разные годы, имеют близкие значения.

По-видимому, выполненные исследования показывают, что вулканический процесс, как и сейсмический, рассматриваемый как планетарное явление, может характеризоваться законами, имеющими вполне определенное пространственное масштабирование.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Значения скоростей миграций землетрясений, как известно, лежат в больших пределах: $10^2 \text{ см/с} \leq V \leq 1 \text{ км/с}$ (Викулин, 2001, 2003). Анализ данных о миграции землетрясений показал: между магнитудами мигрирующих землетрясений M и скоростями миграции V существуют две прямопропорциональные зависимости: $M_{1,2} = M_{1,2}(V)$. Одна из таких зависимостей:

$$E_1 \sim V_1^5 \quad (1)$$

определяет энергетический спектр нелинейных (солитонного типа (Николаевский, 1995) волн миграции в пределах всего Тихоокеанского кольца, другая:

$$E_2 \sim V_2^2, \quad (2)$$

энергетический спектр экситонного типа волн миграции форшоков и афтершоков в пределах очагов сильных землетрясений $M_{1,2} = \lg E_{1,2}$ (Викулин, 2003; Vikulin, 2006).

Далее остановимся на новых данных, характеризующих процесс миграции землетрясений в пределах всех Тихоокеанских окраин: $M_1 = M_1(V)$.

Ранее процесс миграции землетрясений в пределах сейсмического пояса исследовался в диапазоне магнитуд: $1 \leq M \leq 8$. Предельное значение скорости миграции, равное $V = 250 \pm 30 \text{ км/год} \approx 1 \text{ см/сек}$, было получено для сильных землетрясений магнитудного диапазона $M = 7.5-8.3 \approx 8$ (Викулин, 2001, 2003). Прогнозируемые значения

скоростей миграций землетрясений с $M > 8$ на основании приведенной выше зависимости (1) для магнитуд $M = 8.5, 8.7$ и 9.0 должны соответствовать значениям: $V \approx 550 \pm 300, 800 \pm 300$ и $2000 \pm 500 \text{ км/год}$, соответственно. Составленный нами каталог землетрясений мира позволяет проверить эти прогнозные значения (Викулин и др., 2007).

В табл. 2 приведен список землетрясений с $M \geq 8.4-8.5$, с глубинами очагов $H < 60 \text{ км}$, произошедших в пределах окраин Тихого океана в 1361-1965 гг. (Викулин и др., 2007). Наименьшие даты, представленных в табл. 2 землетрясений, определяются первыми землетрясениями, содержащимися в каталогах японских (Catalogue ..., 1958, 1966, 1968; JMA) и южноамериканских (Соловьев, Го, 1975) землетрясений. Расположение эпицентров тихоокеанских землетрясений, представленных в табл. 2, изображено на рис. 3.

Значения магнитуд землетрясений, представленных в табл. 2, не унифицировались. В целом, можно принять, что значения магнитуд соответствуют моментным магнитудам M_w .

Определение скоростей миграции тихоокеанских землетрясений, как и в работах (Вилькович, 1974; Mogi, 1968), будем проводить в плоскости с осями «расстояние вдоль дуги L – время в очаге t ». В качестве расстояния вдоль дуги L нами выбрана линия, совпадающая с осями глубоководных желобов и простирающимся сейсмофокальными зонами (рис. 3). Математический алгоритм определения этой линии приводится в работах (Викулин, Водинчар, 2005, 2006). Общая протяженность выбранной нами линии L составляет

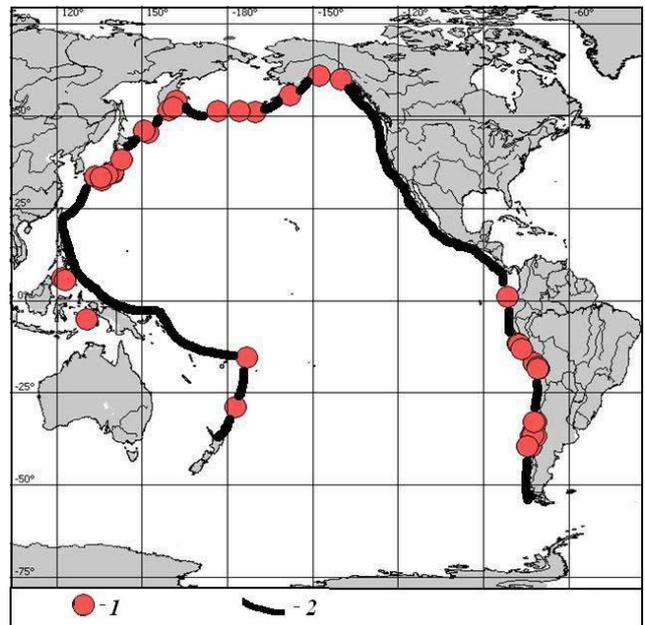


Рис. 3. Расположение эпицентров 46-и тихоокеанских землетрясений с $M \geq 8.4-8.5$, 1361-2005 гг. 1- эпицентры тихоокеанских землетрясений с $M \geq 8.4-8.5$; 2- линия, совпадающая с глубоководными желобами, вдоль которой в работе определяется расстояние L .

О ВЗАИМОСВЯЗИ СЕЙСМИЧЕСКОГО И ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОВ

Таблица 2. Список тихоокеанских землетрясений, данные о которых используются в работе.

№	Дата					Координаты		Н, км	M _w	M _Σ
	Год	Мес	Число	Час	Мин	Широта	Долгота			
1	1361	8	3	18	20	33.40	135.00	0	8.4	
2	1498	9	20	0	0	34.10	138.20	0	8.6	
3	1513	0	0	0	0	-17.20	-72.30	30	8.7	
4	1555	11	15	0	0	-11.90	-77.60	30	8.4	
5	1575	12	16	20	0	-39.50	-73.10	0	8.5	
6	1584	3	17	0	0	-11.80	-77.80	30	8.4	
7	1604	11	24	16	30	-18.50	-70.40	0	8.4	
8	1605	1	31	0	0	33.40	133.30	0	7.9	≈8.5?
9	1605	2	3	0	0	34.30	140.40	0	7.9	
10	1609	10	20	1	0	-11.90	-77.40	40	8.6	
11	1615	9	16	0	0	-18.20	-71.00	40	8.8	
12	1647	5	14	3	30	-35.00	-72.00	0	8.5	
13	1687	10	20	10	30	-13.20	-76.50	30	9.0	
14	1703	12	31	18	0	34.70	139.80	0	8.4	≈8.9
15	1707	10	28	4	0	33.50	133.50	0	8.4	
16	1707	10	28	6	15	32.50	136.00	0	8.4	
17	1730	7	8	9	45	-33.00	-72.00	0	8.5	≈8.9
18	1730	7	8	10	0	-33.10	-71.60	0	8.7	
19	1751	3	25	0	0	-36.90	-73.00	0	8.5	≈8.8
20	1751	5	25	5	30	-36.80	-71.60	0	8.5	
21	1780	1	19	0	0	45.50	152.00	40	7.0±1.0	≈8.5?
22	1780	6	29	0	0	46.00	151.00	40	7.5±1.0	
23	1792	8	22	18	0	54.00	162.00	40	8.4	≈8.5-8.6
24	1792	8	22	0	0	51.40	159.60	0		
25	1835	2	20	16	30	-36.50	-72.60	0	8.5	
26	1854	12	23	0	0	34.10	137.80	0	8.4	≈8.7
27	1854	12	24	8	0	33.20	135.60	0	8.4	
28	1868	8	13	21	45	-18.50	-71.00	25	8.5	
29	1897	8	5	0	12	38.00	143.00	0	8.7	

около 45000 км. Она протягивается между эпицентрами землетрясений 1917 г. вблизи о-ов Кермадек, $M = 8.6$ (табл. 2, № 36, $L = 0$) и чилийским землетрясением 1960 г. с $M = 9.5$ (табл. 2, № 44, $L = 45000$ км).

Расположение эпицентров тихоокеанских землетрясений с $M \geq 9.0$ и с $M \geq 8.7$ на пространственно-временной карте $L-t$ в течение

«инструментального» периода 1897-2005 гг. представлено на рис. 4а и 4б, соответственно.

Из данных, представленных на рис. 4а видно, что эпицентры всех 5 землетрясений с $M \geq 9.0$ группируются в пределах двух прямолинейных цепочек, скорости миграций вдоль которых составляют $V_1 \approx 700$ и $V_2 \approx 2700$ км/год. В среднем - $V_{M \geq 9.0} \approx 1700 \pm 1000$ км/год. Из данных на рис. 4б

Таблица 2 (окончание)

30	1897	9	20	19	6	6.00	122.00	60	8.6	≈8.9-9.0
31	1897	9	21	5	12	6.00	122.00	0	8.7	
32	1898	6	5	0	12	38.00	143.00	60	8.7	
33	1899	9	10	21	30	60.00	-140.00	25	8.6	
34	1906	1	31	15	36	1.00	-81.50	60	8.9	≈8.9-9.0
35	1906	8	17	0	40	-33.00	-72.00	25	8.6	
36	1917	5	1	18	26	-29.00	-177.00	60	8.6	
37	1917	6	26	5	49	-15.50	-173.00	25	8.7	
38	1918	8	15	12	13	5.50	123.00	10	8.5	
39	1929	3	7	1	34	51.00	-170.00	50	8.6	
40	1938	2	1	19	4	-5.20	130.50	25	8.6	
41	1938	11	10	20	18	55.50	-158.00	25	8.7	
42	1952	11	4	16	58	52.30	161.00	40	9.0	
43	1957	3	9	14	22	51.30	-175.80	33	8.8	
44	1960	5	22	19	11	-39.50	-74.50	60	9.5	
45	1964	3	28	3	36	61.00	-147.70	20	9.0	
46	1965	2	4	5	1	51.30	178.60	40	8.7	

Примечание: M_{Σ} - значения «суммарных» магнитуд, которые использовались нами при выполнении работы; φ - широта (северная - положительная; южная - отрицательная) и λ - долгота (восточная - положительная; западная - отрицательная); M_w - моментная магнитуда.

видно, что землетрясения магнитудного диапазона $M \geq 8.7$, по-прежнему, группируются в пределах тех же двух цепочек. При этом среднее значение скорости миграции землетрясений с $M \geq 8.7$, определенное по данным, сгруппированным в цепочке 1, равно $V_{M \geq 8.7} \approx 500 \pm 200$ км/год.

Эпицентры тихоокеанских землетрясений с $M \geq 8.5$ инструментального периода 1897-1965 гг. на пространственно-временной карте укладываются в пределах тех же двух миграционных цепочек (рис. 5).

При этом цепочка 1 «расщепляется» на две - 1а и 1б, имеющие примерно одинаковые наклоны, которые соответствуют скоростям миграции $V_1 \approx 625 \pm 80$ и $V_2 \approx 429 \pm 30$ км/год. Среднее значение скорости миграции, таким образом, для землетрясений с $M \geq 8.5$ можно принять равным $V_{M \geq 8.5} \approx 350 \pm 90$ км/год.

Расположение эпицентров землетрясений с $M \geq 8.9$, произошедших 1361-1730 гг., представлено на рис. 6. Японские землетрясения 1703-1707 гг. (табл. 2, № 14-16) и южноамериканский двойной толчок 1730 г. (табл. 2, № 17-18), имеющие суммарную амплитуду $M \approx 8.9$, могут быть объединены одной линейной цепочкой, скорость миграции вдоль которой составляет $V_{M \geq 8.9} \approx 900 \pm 80$ км/год.

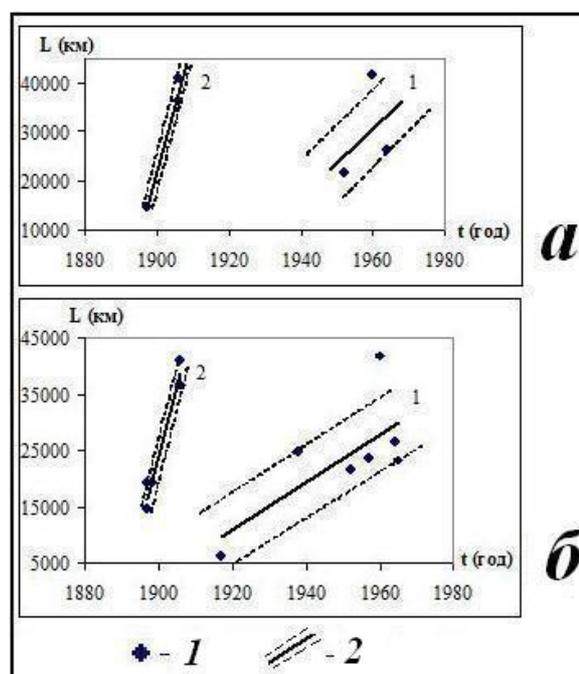


Рис. 4. Пространственно-временные карты очагов тихоокеанских землетрясений (1) 1897-1965 гг. с $M \geq 9.0$ (а) и с $M \geq 8.7$ (б) и определенные по ним методом наименьших квадратов две прямые линейные цепочки миграции (2). Цифрами (1, 2) на рисунке обозначены цепочки миграции.

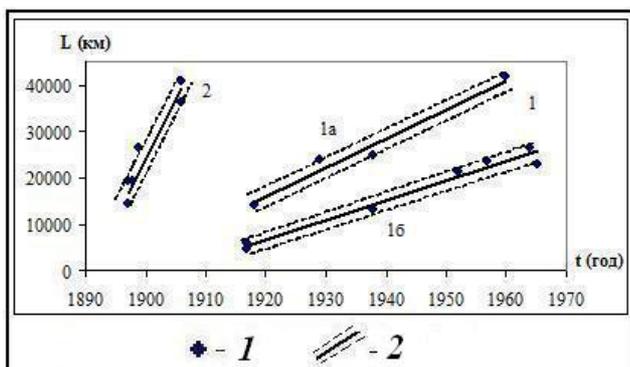


Рис. 5. Пространственно – временная карта очагов тихоокеанских землетрясений (1) 1897-1965 гг. с $M \geq 8.5$ и определенные по ним методом наименьших квадратов три прямолинейные цепочки миграции (2). Цифрами (1а, 1б, 2) на рисунке обозначены цепочки миграции.

Расположение эпицентров землетрясений 1361-1896 гг., с $M \geq 8.4-8.5$ на пространственно-временной карте представлено на рис. 7.

Видно, что эпицентры всех землетрясений группируются в пределах пяти «узких» зон - миграционных цепочек (3-7), при достаточно широких «пустых» коридорах между ними. При этом цепочка (3) «объединяет» два землетрясения с $M = 8.9$ (рис. 6) и два землетрясения 1751 г. – двойной толчок с суммарной магнитудой $M = 8.8$ (табл. 2, № 19-20). Скорость миграции вдоль такой цепочки составляет $V_{8.8+8.9} = 540 \pm 110$ км/год. Остальные четыре цепочки (4-7), объединяющие эпицентры землетрясений с $M \geq 8.5$, имеют близкие наклоны, значения которых соответствуют значениям скоростей миграций: $V_4 \approx 247 \pm 80$, $V_5 \approx 240 \pm 10$, $V_6 \approx 158 \pm 15$ и $V_7 \approx 115 \pm 20$ км/год. Среднее значение скорости миграции землетрясений с $M \geq 8.5$ определенное по этим данным, составляет $V_{M \geq 8.5} \approx 200 \pm 60$ км/год.

Полученные данные о скоростях миграции землетрясений $V_{расч}$ с $M \geq 8.5$ сведены в табл. 3.

В этой же таблице приведены и прогнозные значения скоростей миграции $V_{прогн}$, определенные на основании зависимости (1) и ранее полученных данных (Викулин, 2001, 2003; Vikulin, 2006). Как видим, рассчитанные и прогнозные значения скоростей миграции землетрясений в магнитудном

Таблица 3. Прогнозные $V_{прогн}$ и рассчитанные в работе $V_{расч}$ и значения скоростей миграции тихоокеанских землетрясений магнитудного диапазона $M > 8$.

Магнитудные диапазоны	$V_{прогн}$, км/год	$V_{расч}$, км/год
$M \geq 9.0$	$\approx 2000 \pm 500$	$\approx 1700 \pm 1000$
$M \geq 8.9$	-	$\approx 900 \pm 80$
$M \geq 8.8$	-	$\approx 540 \pm 110$
$M \geq 8.7$	$\approx 800 \pm 300$	$\approx 500 \pm 200$
$M \geq 8.5$	$\approx 550 \pm 300$	$\approx 230 \pm 40$

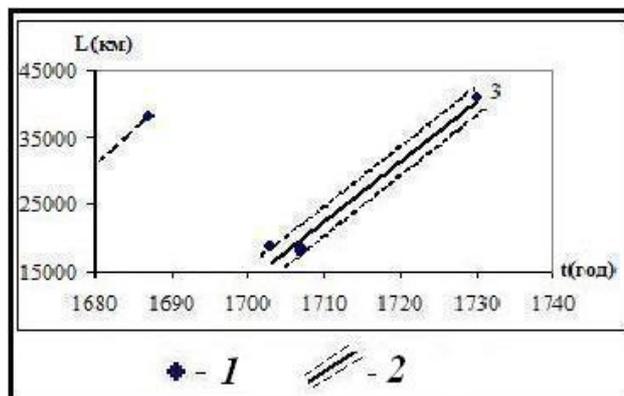


Рис. 6. Пространственно (L) – временная (t) карта очагов тихоокеанских землетрясений (L) 1361-1896 гг. с $M \geq 8.9-9.0$ и определенная по ним прямолинейная цепочка миграции землетрясений с $M = 8.9$ (2). Цифрами (3) на рисунке обозначены цепочки миграции.

диапазоне $8.5 \leq M \leq 9.0$ с учетом точности их определения совпадают, что позволяет определенные в работе значения скоростей миграций $V_{расч}$ отнести к солитонному решению (1).

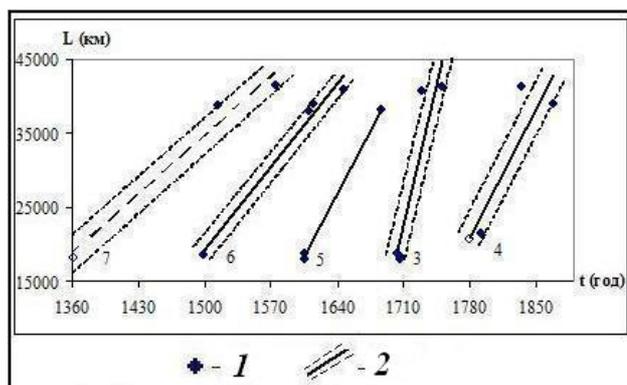


Рис. 7. Пространственно – временная карта очагов тихоокеанских землетрясений (L) 1361-1896 гг. с $M \geq 8.4-8.5$ и определенные по ним методом наименьших квадратов пять прямолинейных цепочек миграции (2). Цифрами (3, 4, …, 7) на рисунке обозначены цепочки миграции.

ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Зависимость числа n содержащихся в нашей базе данных об извержениях с $W \geq 1$ от времени приведена на рис. 8. Показано, что число содержащихся в базе данных монотонно увеличиваются со временем, что, скорее всего, определяется «скоростью» освоения европейцами новых территорий планеты. Видно, что график чисел извержений вулканов $N(t)$ имеет некоторую гармоническую составляющую, для выявления которой зависимость $N(t)$ была разложена в ряд Фурье (рис. 9).

Как показано на рис. 9, наибольшие значения ~ 0.3 имеют амплитуды двух гармоники с периодами $T_1 = 1600 \pm 110$ лет и $T_2 = 2400 \pm 140$ лет.

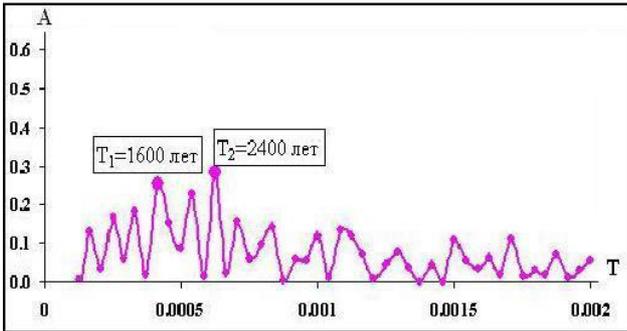


Рис. 8. Числа извержений вулканов мира за последние 12 тыс. лет (с усреднением по 250 лет).

Исследовались распределения чисел извержений n_i , $i = 4, 5, 6$: n_4 для извержений с $W \geq 4$, n_5 – с $W \geq 5$ и n_6 – с $W \geq 6$ (рис. 10).

Видно, что зависимости $n_{4,5,6}(t)$, в целом, повторяют зависимость $N(t)$ на рис. 8. При этом локальные максимумы вулканической активности на разных уровнях $n_{4,5,6}$ можно связать с наиболее сильными извержениями. Разности между датами этих сильных извержений составляют $T_1 = 2840$ ($\approx T_2$), $T_2 = 2600$ ($\approx T_2$) и $T_3 = 3855$ лет ($\approx T_1 + T_2$), и являются примерно кратными выделенным с помощью Фурье-анализа гармоникам T_1 и T_2 .

Миграция вулканической активности отмечена рядом авторов (табл. 4) как в пределах отдельно взятых вулканических центров (Леонов, 1991; Clague, Dalrymple, 1987; Kenneth et al, 1986; Lonsdale, 1988), так и в пределах вулканических дуг (Викулин, 2003; Berg, Sutton, 1974; Sauers, 1986).

Как видим, значения скоростей миграции вулканической активности оказались расположенными в диапазоне $V = 3 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-3}$ км/год (Леонов, 1991; Clague, Dalrymple, 1987; Gresta et al., 1994; Lonsdale, 1988). В пределах островных дуг, выявлены два протяженных региона, в пределах которых скорости миграции вулканической активности оказались, равными $V = 100$ (Sauers, 1986) и 900 км/год (Berg, Sutton, 1974).

Как видим разными авторами независимо друг от друга были выявлены пространственно-временные закономерности в распределении извержений вулканов – их миграции, значения скоростей которой лежат в пределах многих порядков по величине: $10^{-5} - 10^3$ км/год (табл. 4). По-видимому, большая величина диапазона скоростей миграции вулканических извержений определяется «разномасштабностью» закономерностей, которые были характерны для разных вулканических центров планеты в течение различных временных интервалов.

При изучении пространственно-временных закономерностей вулканического процесса нами в качестве расстояния вдоль дуги, как и при сейсмическом процессе, была выбрана та же линия (рис. 3).

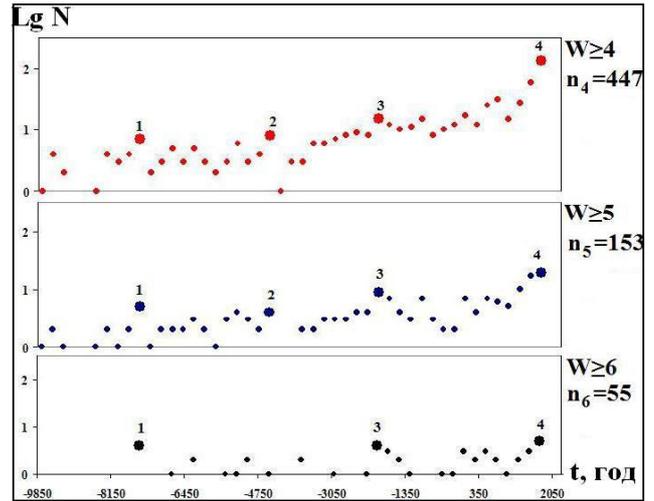


Рис. 9. Фурье-анализ чисел извержений. А – относительная амплитуда гармоник, T – период.

Для исследования миграции вулканической активности были выбраны наиболее сильные извержения тихоокеанских вулканов с $W \geq 6$ ($\geq 10^{10}$ м³), произошедшие в течение последних 2250 лет. Их количество составляет $n = 25$, $N = 22$. Данные об этих извержениях приведены в табл. 5.

Карта расположения извержений на плоскости приведена на рис. 11. Извержения с $W \geq 6$ ($N = 19$, $n = 21$) в период с 250 до н.э.-1932 гг. имеют тенденцию группироваться в пределах достаточно узких областей, обозначенных на рис. 11 цифрами 1, 2, ..., 7.

Выделенные на рис. 11 области миграции извержений имеют примерно одинаковые наклоны, разделены друг от друга протяженными

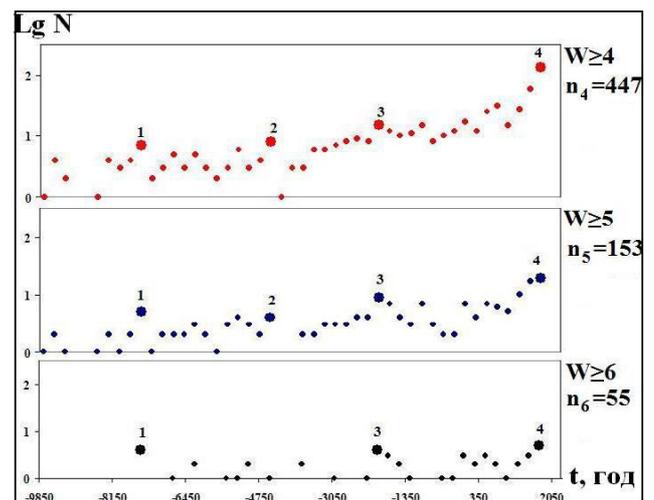


Рис. 10. Распределение чисел разных по величине извержений: n_4 с $W \geq 4$, n_5 – $W \geq 5$ и n_6 – $W \geq 6$. 1 – 4 – максимумы чисел извержений, по времени совпадающие с сильными извержениями: 1 – Льявина Пасть (7480 г. до н.э., $W = 6$, Курильские о-ва); 2 – Апоэуз (4640 г. до н.э., $W = 5$, Центральная Америка); 3 – Лонг Айленд (2040 г. до н.э., $W = 6$, Новая Гвинея); 4 – Тамбора (1815 г., $W = 7$, Индонезия).

О ВЗАИМОСВЯЗИ СЕЙСМИЧЕСКОГО И ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОВ

Таблица 4. Значения скоростей миграции вулканической активности по данным разных авторов.

Регион	L, км	T, млн. лет	V, (км/год)	Литературный источник
Гавайско-Императорский хребет (Тихий океан)	6000	0÷75-80	$(78 \pm 3) \cdot 10^{-4}$	Леонов, 1991; Clague, Dalrymple, 1987
Хребет Луисвилль (Тихий океан)	4300	0.5÷70	0.7	Леонов, 1991; Lonsdale, 1988
Восточно-Каролинские о-ва (Тихий океан)	1500	1÷2	11.0 ± 0.4	Леонов, 1991
Восточно-Индийский хребет (Индийский океан)	5000	81÷38	1.0 ± 0.3	Леонов, 1991
Калифорнийская зона (США)	1300	20÷25	0.6	Леонов, 1991
Зона Бразес (США)	250	10	$25 \cdot 10^{-4}$	Леонов, 1991
Горы Сан-Франциско	250	15	$16 \cdot 10^{-4}$	Леонов, 1991; Gresta et al, 1994
Зона Джеймз (США)	84.3	8.2÷11.8	$6 \cdot 10^{-4}$	Леонов, 1991
Кенийский рифт (Африка)	600	0.9÷10	0.1 ± 0.06	Леонов, 1991
В береговых хребтах Калифорнии (США)	220	0.01÷23.1	0.1 ± 0.01	Леонов, 1991
Центральная Америка	90	4÷17	$12 \cdot 10^{-4}$	Леонов, 1991
Центральный участок Восточной Камчатки (Россия)	250	50÷80	$3 \cdot 10^{-5}$	Леонов, 1991
Центральная и Южная Америки	10000	20 век	900	Berg, Sutton, 1974
Алеутские острова – Аляска (США)	4000	20 век	100	Sauers, 1986
Северо-западная окраина Тихого океана	9000	20 век	100	Викулин, 2003

«пустыми» коридорами и следуют друг за другом через близкие по длительности интервалы времени T . Определенные методом наименьших квадратов параметры аппроксимированных отрезками прямых линий цепочек извержений, заключенных в пределах таких узких областей, приведены в табл. 6.

Значения наклонов миграционных линий «а» и интервалы времен между ними T близки для всех ($p = 1, 2, \dots, 7$) выделенных цепочек (табл. 6). Полученные данные могут быть рассмотрены как сильный аргумент в пользу группирования

извержений вдоль выявленных нами прямолинейных миграционных линий. Полученные данные позволяют предположить, что пространственно-временное распределение извержений в 250 г. до н.э.-1932 г., соответствует гипотезе миграции (Викулин и др., 2007), согласно которой извержения вулканов с $W \geq 6$ мигрируют вдоль окраины океана со скоростью $V = 100 \pm 40$ км/год. На рис. 11 представлена область, в пределах которой в соответствии с гипотезой миграции должны происходить следующие после цепочки $p = 7$, извержения. Видно, что из четырех последних

Таблица 5. Извержения тихоокеанских вулканов с $W \geq 6$ в интервале времени с 250 г. до н.э. по 1991 г.

№	Дата извержения (год, месяц, день)	φ , широта	λ , долгота	W	Название вулкана	Район
1	-250 г. до н.э.	-29.27	-177.92	6	Рауль	о-ва Кермадек
2	-100 г. до н.э.	53.43	-168.13	6	Окмок	Алеутские о-ва
3	50.00.00	-16.25	168.12	6	Амбрим	о-ва Новые Гибриды
4	60.00.00	61.38	-141.75	6	Чурчил	Аляска
5	240.00.00	51.8	157.53	6	Ксудач	Россия
6	416.00.00	-6.1	105.42	6	Кракатау	Индонезия
7	450.00.00	13.67	-89.05	6	Илопанго	Центральная Америка
8	540.00.00	-4.27	152.2	6	Рабаул	о. Новая Британия
9	700.00.00	61.38	-141.75	6	Чурчил	Аляска
10	710.00.00	-5.58	150.52	6	Паго	о. Новая Британия
11	800.00.00	-5.06	150.11	6	Дакатау	о-в Новая Британия
12	930.00.00	21.13	-104.51	6	Цеборуко	Центральная Америка
13	1030.00.00	-6.09	155.23	6	Билли Митчел	о-в Бугенвиль
14	1280.00.00	-0.85	-78.9	6	Куилотоа	Южная Америка
15	1452.00.00	-16.83	168.54	6	Кувае	о-ва Новые Гибриды
16	1580.00.00	-6.09	155.23	6	Билли Митчел	о-в Бугенвиль
17	1600.02.19	-16.61	-70.85	6	Уйанапугина	Южная Америка
18	1660.00.00	-5.36	147.12	6	о-в Лонг	о-в Новая Гвинея
19	1815.00.00	-8.25	118	7	Тамбора	Индонезия
20	1835.01.20	12.98	-87.57	6	Косигуина	Центральная Америка
21	1883.05.20	-6.1	105.42	6	Кракатау	Индонезия
22	1912.06.06	58.27	-155.16	6	Новарупта	Аляска
23	1902.10.24	14.76	-91.55	6	Санта Мария	Центральная Америка
24	1932.04.10	-35.65	-70.76	6	Сьерро Азул	Южная Америка
25	1991.04.02	15.13	120.35	6	Пинатубо	Филиппинские о-ва

Примечание: φ – широта (северная – положительная; южная – отрицательная) и λ – долгота (восточная – положительная; западная – отрицательная) вулкана.

извержений с $W \geq 6$, произошедших в 1815-1991 гг., три попадают в пределы «прогнозной области». Это позволяет с высокой вероятностью принять гипотезу о миграции вулканических извержений с $W \geq 6$ вдоль окраин Тихого океана в 250 г. до н.э.

– 1991 гг. в направлении от Новой Зеландии, через Японию, Курильские острова, Камчатку, Алеутские острова к Южной Америке со скоростью $V \approx 100 \pm 40$ км/год (Викулин и др., 2007).

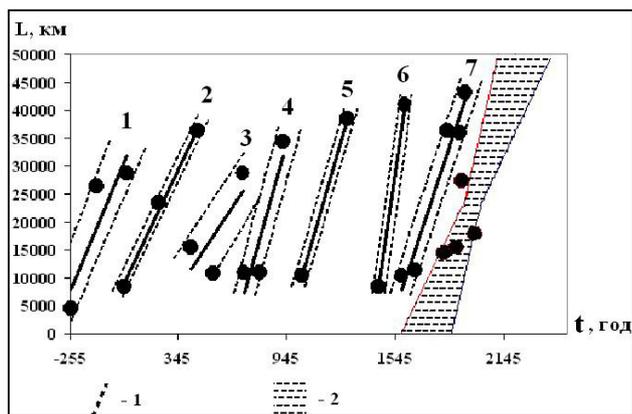


Рис. 11. Расположение тихоокеанских вулканов и их извержений с $W \geq 6$ ($N = 19$, $n = 21$) на пространственно – временной карте в 250 г. до н.э. – 1932 г. 1 – номера линий ($p = 1, 2, \dots, 7$), параметры которых определены методом наименьших квадратов и величины среднеквадратических отклонений приведены в табл. 6; 2 – «прогнозная» область для извержений вулканов $W \geq 6$ в 1815-1991 гг.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

С целью исследования геодинамического планетарного процесса была составлена база, включающая все известные данные о землетрясениях (2150 г. до н.э.-2007 г., $N = 12145$) и извержениях вулканов (9850 г. до н.э.-2005 г., $n = 6228$, $N = 562$) планеты, в едином формате. Построены графики повторяемости землетрясений и извержений вулканов, которые определяют полностью ($M \geq 6$, $W \geq 2$) данных содержащихся в базе. Полученные результаты показывают, что сейсмический и вулканический процессы, рассматриваемые как планетарные явления, могут характеризоваться определенными законами.

Для магнитудного диапазона $8.5 \leq M \leq 9.0$ получены новые данные о скоростях миграции сильнейших землетрясений. Значения скоростей для указанного магнитудного диапазона лежат в пределах: $230 \pm 40 - 1700 \pm 1000$ км/год.

С привлечением большого количества данных об извержениях всех тихоокеанских вулканов в период с 250 г. до н.э.-1991 гг. с $W \geq 6$, получена оценка скорости миграции вулканической активности. Значения скорости миграции извержений оказалась равной $V \approx 100$ км/год в направлении от Новой Зеландии, через Японию, Курильские острова, Камчатку, Алеутские острова в сторону Южной Америки.

На наш взгляд, полученные данные (близкие наклоны графиков повторяемости, а также скорости миграции сейсмической и вулканической активностей, которые по порядку величины оказались близкими) могут указывать на существование геодинамической взаимосвязи между сейсмическим и вулканическим процессами.

Авторы выражают благодарность Мелекесцеву И.В. за предоставленные для выполнения работы материалы.

Список литературы

- Абдурахманов А.И., Федорченко В.И.* О возможном истолковании пространственно-временных связей сейсмических и вулканических явлений в Курило-Камчатской зоне // Вулканизм Курило-Камчатского региона и острова Сахалин. Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР Южно-Сахалинск, 1976. Вып. 48. С. 6-16.
- Акманова Д.Р.* Особенности вулканической активности окраины Тихого океана за последние 12 тыс. лет // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Первая региональная научно-техническая конференция. Петропавловск-Камчатский. 11-17 ноября 2007 г. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С. 98.
- Белов С.В.* О периодичности современного и древнего вулканизма Земли // Докл. АН СССР. 1986. Т. 291. № 2. С. 421-425.
- Быков В.Г.* Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 11. С. 1176-1190.
- Викулин А.В.* Миграция и осцилляции сейсмической активности и волновые движения земной коры // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений. I Российско-Японский семинар. Хабаровск. 26-29 сентября, 2000. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 205-224.
- Викулин А.В.* Физика волнового сейсмического процесса. П.-К.: КГПУ, 2003. 150 с.
- Викулин А.В., Акманова Д.Р., Осипова Н.А.* О миграции сейсмической и вулканической активности вдоль окраины Тихого океана // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Международный научный симпозиум. 27-30 сентября 2007 г. Тезисы докладов. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН Сахалинский филиал Геофизической службы РАН, 2007. С. 35
- Викулин А.В., Водинчар Г.М.* Спектр энергии потока сейсмичности // Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога. П.-К.: ИВиС ДВО РАН, 2005. С. 167-174.
- Викулин А.В., Водинчар Г.М.* Волны миграции сейсмической энергии // Тектоника, глубинное строение и минерагения востока Азии. V Косыгинские чтения. Хабаровск. 24-27 января, 2006. Хабаровск, 2006. С. 206-209.
- Викулин А.В., Водинчар Г.М., Мелекесцев И.В. и др.* Моделирование геодинамических процессов

- окраины Тихого океана // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Сборник докладов IV международной конференции 14-17 августа 2007 г. ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 275-280.
- Викунин А.В., Ким Ч.У.* Курило-Камчатские землетрясения. Данные наблюдений. 1911-1952 гг. М.: МЦДБ, 1983а. 82 с.
- Викунин А.В., Ким Ч.У.* Курило-Камчатские землетрясения. Данные наблюдений. 1953 - 1961 гг. М.: МЦДБ, 1983б. 84 с.
- Вилькович Е.В., Губерман Ш.А., Кейлис-Борок В.И.* Волны тектонических деформаций на крупных разломах // Докл. АН СССР. 1974. Т. 219. № 1. С. 77-80.
- Горячев А.В.* О связи сейсмичности и современного вулканизма Курило-Камчатской складчатой зоны // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1962. № 11. С. 1484-1496.
- Гуценко И.И.* Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 339 с.
- Дуничев В.М.* Вымыслы и реалии в естествознании. Южно-Сахалинск, 2003. 138 с.
- Леонов В.Л.* О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 28-40
- Николаевский В.Н.* Математическое моделирование уединенных деформационных и сейсмических волн // Доклады РАН. 1995. Т. 341. № 3. С. 403-405.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 536 с.
- Осипова Н.А.* О миграции тихоокеанских землетрясений в области магнитуд $M > 8$ // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Первая региональная научно-техническая конференция. Петропавловск-Камчатский. 11-17 ноября 2007 г. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. 101 с.
- Соловьев С.Л., Го Ч.Н.* Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. 309 с.
- Соловьев С.Л., Го Ч.Н.* Каталог цунами на восточном побережье Тихого океана. М.: Наука. 1975. 203 с.
- Токарев П.И.* О связи вулканической и сейсмической активности в Курило-Камчатской зоне // Вулканизм Камчатки и Курильских островов. Труды лаб. Вулканологии. Вып. 17. М.: Изво АН СССР, 1959. С. 156-182.
- Токарев П.И.* Характеристика и повторяемость вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. № 6. 1987. С. 110-118.
- Широков В.А.* Связь извержений вулканов Камчатки с землетрясениями верхней мантии // Бюл. вулканол. станций. М.: Наука, 1978. № 54. С. 3-8
- Эрлих Э.Н.* Современная структура и четвертичный вулканизм западной части тихоокеанского кольца. Новосибирск: Наука, 1973. 242 с.
- Berg E., Sutton G.H.* Dynamic interaction of seismic and volcanic activity of the Nazca plate edges // Phys. of the Earth and Plan. Inter. 1974. № 9. P. 45-68
- Carr M.J., Stoiber R.E.* Intermediate depth earthquakes and volcanic eruptions in Central America, 1961-1972 // Bull. Volcan. 1974. № 3. 87 p.
- Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1926 - 1956) // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl. 1. Tokyo, 1958. 91 p.
- Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1957 - 1962) // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl. 2. Tokyo, 1966. 47 p.
- Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1963 - 1967) // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl. 3. Tokyo, 1968. 61 p.
- Centennial Earthquake Catalog:
(<http://earthquake.usgs.gov/research/data/centennial.php>)
- Clague D.A., Dalrymple G.B.* The Hawaiian - Emperor volcanic chain. Part I. Geologic Evolution // Volcanism in Hawaii. Chapter I. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1350. Washington, 1987. P. 5-54.
- Gresta S., Marzocchi W., Mulargia F.* Is there a correlation between larger local earthquakes and the end eruptions at Mount Etna volcano, Sicily // Geophys. J. Int. 1994. 116. № 1. P. 230-232.
- Duda S. J.* Secular seismic energy release circum-pacific belt // Tectonophysics. 1965. V. 2. № 5. P. 409-452.
- Duda S. J.* Global earthquakes 1903-1985. Hamburg F.R.Germany: NEIC. 1992. 183 p.
- ISC: (<http://www.isc.ac.uk/Bulletin/rectang.htm>).
- JMA: (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>).
- Kenneth L., Tanaka E. M., Shoemaker G.* et al. Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field, Arizona // GSA Bulletin. February 1986. V. 97. № 2. P. 129-141.
- Lonsdale P.* Geography and history of the Louisville hot spot chain in the southwest Pacific // J. Geophys. Res. 1988. V. 93. № 34. P. 3078-3104.
- Mogi K.* Migration of seismic activity // Bull. of the Earthquake Res. Inst. 1968. V. 46. P. 53-74.
- NEIC: (<http://neic.usgs.gov/neis/epic/epicglobal.html>).
- Sauers J.* The westward migration of geophysical events in the Aleutians, Springs, 1986 // Cycles. 1986. V. 37. № 9. P. 203-204.
- Simkin T., Siebert L.* Volcanoes of the world (catalogue). Published in association with the Smithsonian Institution, 1993. 350 p.

Smithsonian Institution – Global Volcanism
Program Worldwide Holocene Volcano and
Eruption Information (<http://www.volcano.si.edu>)
Vikulin A.V. Earth Rotation, Elasticity and
Geodynamics: Earthquake wave Rotary Model //

Earthquake Source Asymmetry, Structural Media
and Rotation Effects. Berlin, New York: Springer,
2006. P. 273-289.

ON SEISMIC AND VOLCANIC PROCESSES RELATION: CASE STUDY FOR THE PACIFIC MARGINS.

D.R. Akmanova, N.A. Osipova

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: Dinara@kscnet.ru*

To reveal and research the peculiarities of the geodynamic movements we made the database. It includes all known data on earthquakes and volcano eruptions of the Earth. We used the volume of the erupted products to characterize the “energy” of eruption. Not less than 80-90% of all eruptions and earthquakes occur within the Pacific margin. We collected new data on earthquakes migration for this region and revealed that volcano eruptions are also apt to migrate. It turned out that the migrational rates of the strongest earthquakes and eruptions are comparable in series of their value rates. This fact allows suggesting that the migrational waves of seismic and volcanic activity display the greater global geodynamic process. This process has different “colours” in different geophysical fields. The data allows using the obtained space-time peculiarities of distribution for the seismic and volcanic activity as the basis for the more general geodynamic model.