

28. Skobelin E.A., Sharapov I.P., Bugayov A.F. 1990. Deliberations of state and ways of perestroika in geology. - In Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory. Vol.1. - Athens: Theophrastus Publications, pp. 17-37.

УДК 550.34

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ МИГРАЦИИ ТИХООКЕАНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОБЛАСТИ МАГНИТУД  $M > 8.0$

**Н.А. Осипова**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683003. e-mail: [Devil@kscnet.ru](mailto:Devil@kscnet.ru)*

*Введение.* Явление миграции очагов землетрясений, по обзору В.Г. Быкова [1], «официально» известно с 1958 г. – с момента выхода в свет классического труда Ч. Рихтера [13], в котором описан ставший уже своеобразным «эталоном» случай миграции эпицентров сильных землетрясений 1930 – 1957 гг. вдоль Анатолийского разлома в Турции. По данным В.И. Уломова [18] явление миграции сейсмической активности задолго до Ч. Рихтера было отмечено М.П. Репниковым [2], наблюдавшим «перемещение» эпицентров землетрясений в Средней Азии. Как видим, явление миграции эпицентров землетрясений вдоль разломов известно уже достаточно давно, в течение, как минимум, 60-70 лет.

По-видимому, впервые путем проведения статистического анализа явление миграции было выявлено Р.З. Таракановым при исследовании распределения афтершоков в очаге Большого Камчатского землетрясения 1952 г. [17].

На миграцию очагов землетрясений – как крупномасштабное планетарное явление, впервые обратил внимание К. Моги [27]. Он рассмотрел особенности распределения эпицентров самых сильных ( $M \geq 7.5$ ) землетрясений 1935-1964 гг. в пределах всей окраины Тихого океана и примыкающего к ней значительного по протяженности участка Альпийско-Гималайского сейсмоактивного пояса – его Тибетско-Среднеазиатской части. Анализ проводился на плоскости с осями расстояние между очагами землетрясений вдоль зоны ( $L$ ) – временами в их очагах ( $t$ ). Было показано, что эпицентры более 90% всех рассмотренных землетрясений располагаются в пределах «узких» областей, разделенных «пустыми» широкими коридорами. Значения «наклонов» таких высокосейсмичных областей и асейсмичных коридоров на плоскости  $L-t$  и определили значение скорости миграции землетрясений с  $7.5 \leq M \leq 8.3$  вдоль окраины в направлении от Японии к Америке, которое оказалось равным  $V \approx 210$  (150-270) км/год.

Методические аспекты выделения специфической пространственно-временной взаимосвязи между сильными землетрясениями вдоль крупных сейсмоактивных разломов доста-

точно полно исследовались в работе [10]. В этой работе рассматривались землетрясения 1900-1970 гг.,  $M \geq 6.5$ , произошедшие в пределах трех протяженных регионов: чилийского (западное побережье Чили), панамского (Центральная Америка) и калифорнийского (разлом Сан-Андреас). Статистическая достоверность взаимосвязи между эпицентрами землетрясений анализировалась по сути, в пределах той же, что и у К. Моги [27], плоскости с осями  $L-t$ . Для рассматриваемых совокупностей землетрясений анализировались все возможные значения «наклонов» отрезков прямых линий, которые можно провести между эпицентрами на такой плоскости. Оказалось, что значения таких наклонов распределены крайне неравномерно, выделяются достаточно резкие статистически значимые максимумы, которые физически соответствуют скоростям миграции эпицентров сильных ( $M \geq 6.5$ ) землетрясений 34, 53 и 86 км/год – «возмущениям тектонической деформации», распространяющимся с севера на юг вдоль анализируемых разломов [10].

Данные, полученные в работах [10, 27], фактически статистически обосновали методику исследования миграции очагов землетрясений вдоль разломов, определили «реперные» значения скоростей миграции тихоокеанских землетрясений в точках  $M = 6.5$  и  $M \approx 8$  и установили ее направление вдоль окраины от Японии к Южной Америке.

Число публикаций, в которых приводятся значения скоростей миграции землетрясений разных магнитудных диапазонов, произошедших в пределах различных временных интервалов, насчитывает многие десятки, если не сотни. По состоянию на начало XXI в. полная библиография таких работ приведена в работах [3, 4]. В соответствии с последним обзором [1] существование явления миграции землетрясений не вызывает сомнений и имеет фундаментальное значение для понимания геодинамики планеты.

В работах [3-5, 29] были проанализированы все опубликованные данные по скоростям миграции тихоокеанских землетрясений. Показано, что эти данные в рамках задачи о ротационном очаге тектонического землетрясения оказывается возможным представить в виде двух решений, которые, по сути, представляют собой новый тип упругих ротационных волн, распространяющихся в пределах блоковых геолого-геофизических [12, 14] вращающихся сред. К первому солитонному типу, относятся уединенные волны миграции эпицентров землетрясений, распространяющиеся вдоль окраины Тихого океана со скоростями, пропорциональными их магнитудам, значения которых лежат в пределах от  $V \approx 1$  км/год при  $M = 2$  до  $V \approx 250$  км/год ( $\approx 1$  см/сек) при  $M = 8$ . Ко второму относятся волны экситонного типа, значения скоростей которых также пропорциональны значениям магнитуд мигрирующих землетрясений:  $V \approx 1$  см/сек при  $M = 1$  и  $V \approx 1-10$  км/сек при  $M = 7-8$  [4, 29].

В настоящей работе с использованием методики К. Моги [27] на материале сильнейших ( $M > 8$ ) тихоокеанских землетрясений XIV – XX вв. показывается, что значения наклонов выделяемых миграционных цепочек на плоскости с осями  $L-t$  соответствуют

**Таблица 1. Список тихоокеанских коровых землетрясений, данные о которых используются в работе.**

№	Год	Мес	Число	Час	Мин	Широта	Долгота	Глубина, км	М, Магнитуда	М <sub>Σ</sub>
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	
9	1605	2	3	0	0	34.30	140.40	0	7.9	≈ 8.5 ?
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	
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	≈ 8.9
17	1730	7	8	9	45	-33.00	-72.00	0	8.5	
18	1730	7	8	10	0	-33.10	-71.60	0	8.7	≈ 8.9
19	1751	3	25	0	0	-36.90	-73.00	0	8.5	
20	1751	5	25	5	30	-36.80	-71.60	0	8.5	≈ 8.8
21	1780	1	19	0	0	45.50	152.00	40	7.0±1.0	
22	1780	6	29	0	0	46.00	151.00	40	7.5±1.0	≈ 8.5 ?
23	1792	8	22	18	0	54.00	162.00	40	8.4	
24	1792	8	22	0	0	51.40	159.60	0		≈ 8.5-8.6
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	
27	1854	12	24	8	0	33.20	135.60	0	8.4	≈ 8.7
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	
30	1897	9	20	19	6	6.00	122.00	60	8.6	
31	1897	9	21	5	12	6.00	122.00	0	8.7	≈ 8.9 - 9.0
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	
35	1906	8	17	0	40	-33.00	-72.00	25	8.6	≈ 8.9 - 9.0
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: М<sub>Σ</sub> - значения «суммарных» магнитуд, которые использовались нами при выполнении работы.

прогнозируемым на основании данных [4, 29] в область  $M > 8$  значениям солитонных скоростей миграции:  $V \approx 550 \pm 300$ ,  $800 \pm 300$  и  $2000 \pm 500$  км/год при  $M = 8.5$ ,  $8.7$  и  $9.0$  соответственно.

*Исходные данные.* На основании анализа мировых баз данных [8, 9, 11, 15, 16, 19-26, 28] был составлен наиболее полный список землетрясений с  $M \geq 8.4-8.5$ , с глубинами очагов  $H < 100$  км, произошедших в пределах окраины Тихого океана в 1361 – 2005 гг. (таблица 1). Наименьший предел временного интервала определяется первыми по времени данными о сильных землетрясениях, содержащиеся в каталогах японских [26] и южноамериканских [16] землетрясений. Расположение эпицентров используемых землетрясений в пределах тихоокеанской сейсмофокальной зоны представлено на рис. 1.

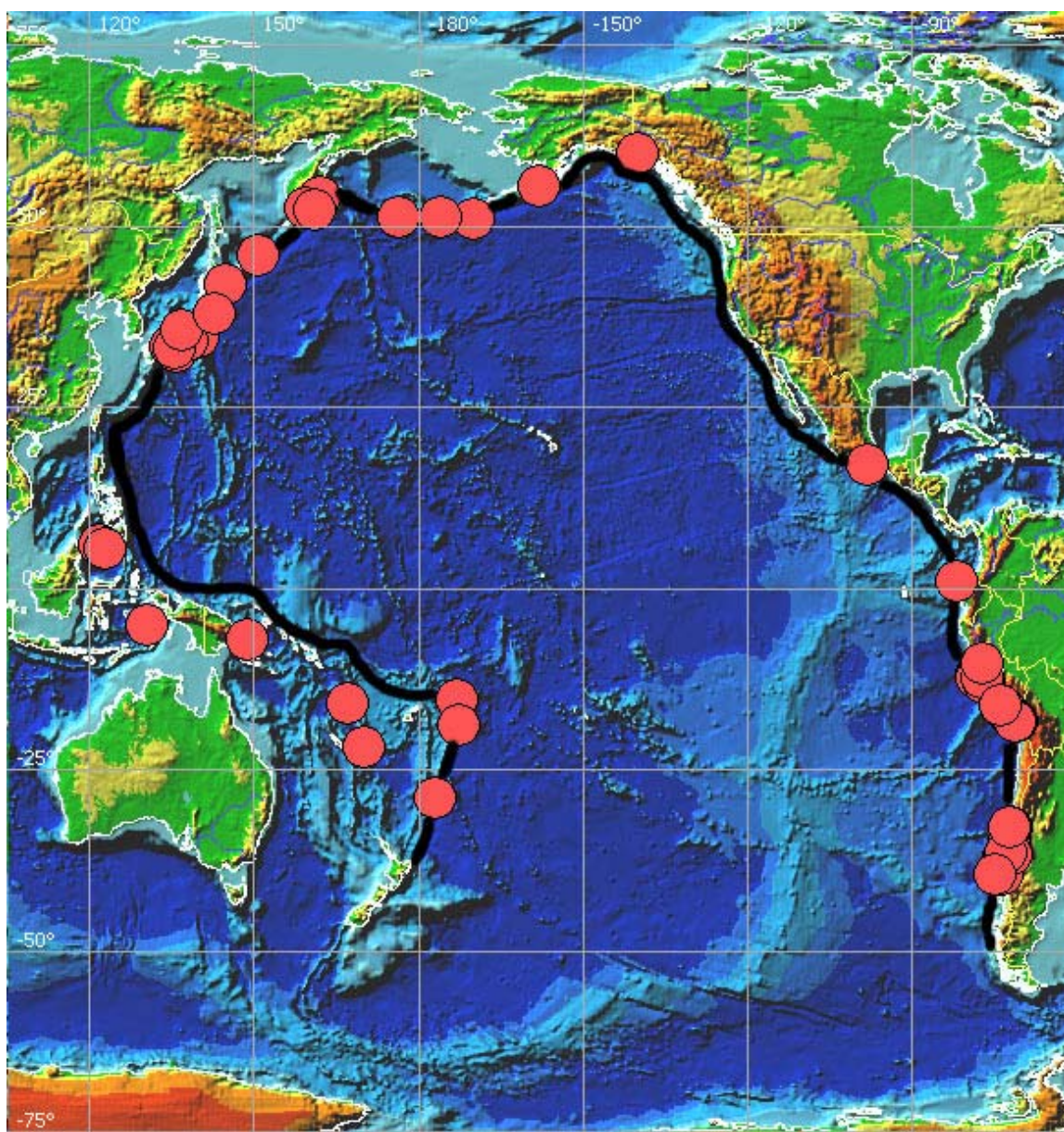


Рис. 1. Расположение эпицентров тихоокеанских коровых землетрясений с  $M \geq 8.5$  1361-2005 гг.,  $N=46$ . Жирным обозначена линия, вдоль которой в работе определяется расстояние  $L$ .

Значения магнитуд землетрясений, представленных в табл. 1, не унифицировались. Провести такую работу для землетрясений XIV-XVIII вв., которые составляют большую часть используемых в работе данных (см. табл.1), вряд ли удастся. В целом, можно принять, что значения магнитуд  $M > 8.5$  соответствуют моментным магнитудам, значения  $M \leq 8.5$  – магнитудам  $M_S$  или  $M_{LN}$ .

*Определение пространственной координаты  $L$ .* Определение скоростей миграции тихоокеанских землетрясений, как и в работах [10, 27], будем проводить в плоскости с осями «расстояние вдоль дуги  $L$  – время в очаге  $t$ ». В качестве расстояния вдоль дуги нами выбрана линия, совпадающая, как и в [6, 7], с осями глубоководных желобов и простирианиям сейсмофокальных зон (рис. 1). Математическое определение этой линии проводилось по 59 точкам  $(\theta, \lambda)$ , отражающим все особенности простириания линий стыков тектонических плит вдоль окраины Тихоокеанского кольца. Были получены параметрические уравнения интерполирующей кривой в виде  $\begin{cases} \theta = \theta(\tau) \\ \lambda = \lambda(\tau) \end{cases} \tau \in [0;58]$ , где широты  $\theta(\tau)$  и долготы  $\lambda(\tau)$  являются кубическими дважды дифференцируемыми сплайнами. Тогда расстояние вдоль линии (окраины Тихого океана) по поверхности Земли от начальной точки ( $\tau = 0$ ) до точки с текущими координатами  $\theta(\tau)$ ,  $\lambda(\tau)$  можно вычислить по формуле:

$$L = R_{Earth} \int_0^{\tau} \sqrt{\left(\frac{d\theta}{ds}\right)^2 + \cos^2 \theta(s) \left(\frac{d\lambda}{ds}\right)^2} ds$$

где  $\theta$  и  $\lambda$  измеряются в радианах,  $R_{Earth}$  – радиус Земли. Общая протяженность выбранной нами линии составляет около 40000 км. Она протягивается между эпицентрами землетрясений 1917 г. - острова Кермадек,  $M = 8.6$  ( $\tau = 0, L = 0$ ), и 1960 г. - чилийское землетрясение с  $M_w = 9.5$  ( $\tau = 58, L = 40000$  км).

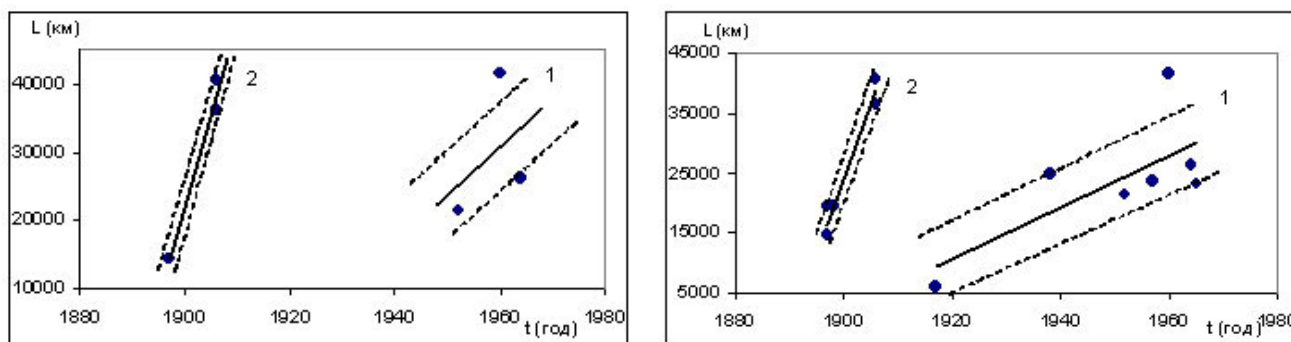


Рис. 2. Пространственно-временные карты очагов тихоокеанских землетрясений 1897-1960 гг. с  $M \geq 9.0$  (а) и с  $M \geq 8.7$  (б) и определенные по ним методом наименьших квадратов две (1,2) прямые линейные цепочки миграции.

*Определение скоростей миграции очагов землетрясений.* Расположение очагов тихоокеанских землетрясений «инструментального» периода 1897-2005 гг. с  $M \geq 9.0$  на пространственно-временной карте  $L-t$  представлено на рис. 2а. Из данных, представленных на этом

рисунке видно, что эпицентры всех ( $N=5$ ) землетрясений 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. Пространственно-временная карта очагов тихоокеанских землетрясений 1897-1965 гг. с  $M \geq 8.7$  представлена на рис. 2б. Видно, что землетрясения такого магнитудного диапазона 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 1 цепочку, равно  $V_{M \geq 8.7} \approx 500 \pm 200$  км/год.

Эпицентры тихоокеанских землетрясений 1897-1965 гг., с  $M \geq 8.5$  на пространственно-временной карте укладываются в те же две миграционные цепочки (рис. 3). При этом первая цепочка (1) «расщепляется» на две (1а, б), имеющие примерно одинаковые наклоны, соответствующие скоростям миграции  $V_1 \approx 625 \pm 80$  и  $V_2 \approx 429 \pm 30$  км/год. Среднее значение скорости миграции землетрясений с  $M \geq 8.5$  можно принять равным  $V_{M \geq 8.5} \approx 350 \pm 90$  км/год.

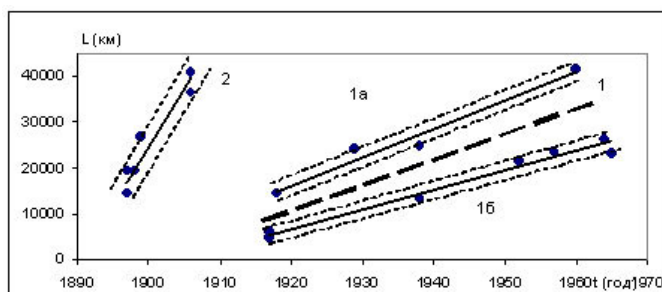


Рис. 3. Пространственно-временная карта очагов тихоокеанских землетрясений 1897-1965 гг. с  $M \geq 8.5$  и определенные по ним методом наименьших квадратов три прямолинейные цепочки миграции.

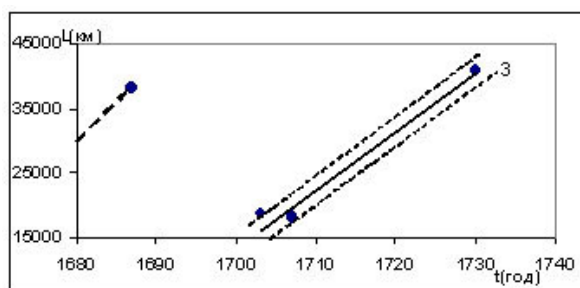


Рис. 4. Пространственно-временная карта очагов тихоокеанских землетрясений 1361-1896 гг. с  $M \geq 8.9-9.0$  и определенная по ним прямолинейная цепочка (3) миграции землетрясений с  $M = 8.9$ .

Рассмотрим пространственно-временное расположение очагов тихоокеанских землетрясений «доинструментального» периода 1361-1896 гг.

Расположение эпицентров землетрясений с  $M \geq 8.9$ , произошедших 1361-1730 гг., представлено на рис. 4. Видно, что в пределах прогнозируемого диапазона скоростей японские землетрясения 1703-1707 гг. и южноамериканский двойной толчок 1730 г., с суммарной магнитудой  $M \approx 8.9$  могут быть объединены в одну линейную цепочку, скорость миграции вдоль которой составляет  $V_{M \geq 8.9} \approx 900 \pm 80$  км/год.

Расположение эпицентров землетрясений 1361-1896 гг., с  $M \geq 8.4-8.5$  на пространственно-временной карте представлено на рис. 5. 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  $M = 8.9$  и одно землетрясение 1751 г. – двойной толчок с суммарной магнитудой  $M = 8.8$ . 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:  $V_7 \approx$

$115 \pm 20$ ,  $V_6 \approx 158 \pm 15$ ,  $V_5 \approx 240 \pm 10$  и  $V_4 \approx 247 \pm 80$  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.

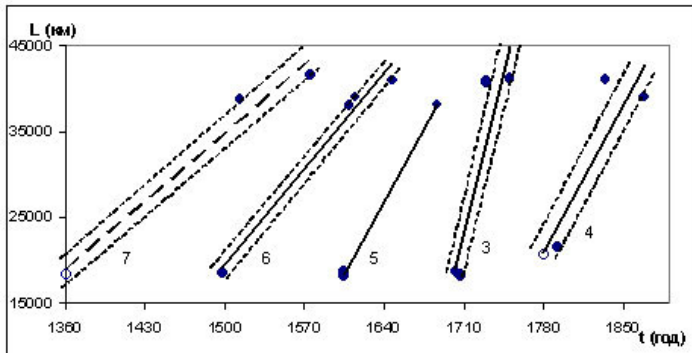


Рис. 5. Пространственно-временная карта очагов тихоокеанских землетрясений 1361-1896 гг. с  $M \geq 8.4-8.5$  и определенные по ним методом наименьших квадратов пять (3-7) прямых цепочек миграции.

**Выводы.** Полученные в работе данные о скоростях миграции землетрясений  $V_{расч}$  с  $M \geq 8.5$  сведены в табл. 2. В этой же таблице приведены и прогнозные значения скоростей миграции  $V_{прогн}$ , определенные на основании ранее полученных данных [3, 4, 29]. Как видим, рассчитанные и прогнозные значения скоростей миграции землетрясений в магнитудном диапазоне  $8.5 \leq M \leq 9.0$  совпадают, что позволяет вновь определенные значения скоростей миграций считать относящимися к солитонному решению.

**Таблица 2. Рассчитанные в работе  $V_{расч}$  и прогнозные  $V_{прогн}$  значения скоростей миграции тихоокеанских землетрясений магнитудного диапазона  $M > 8$**

Магнитудные диапазоны	$V_{расч}$ , км/год	$V_{прогн}$ , км/год
$M \geq 9,0$	$\approx 1700 \pm 1000$	$\approx 2000 \pm 500$
$M \geq 8,9$	$\approx 900 \pm 80$	-
$M \geq 8,8-8,9$	$\approx 540 \pm 110$	-
$M \geq 8,7$	$\approx 500 \pm 200$	$\approx 800 \pm 300$
$M \geq 8,5$	$\approx 230 \pm 40$	$\approx 550 \pm 300$

Работа была поставлена научным руководителем Викулиным А.В. Автор признателен Водичару Г.М. за постоянные консультации и помощь при математических вычислениях, а также Гусеву А.А. за предоставленный каталог землетрясений [22] и ценные замечания, способствовавшие значительному улучшению работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков В.Г. Деформационные волны земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 11. С. 1176-1190.
2. Васильковский Н.П., Репников М.П. Тектоника и сейсмичность северо-восточной части Ташкентского района // Ташкент: Изд. УзФАН. 1940. 127 с.

3. 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.
4. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. П.-К.: КГПУ. 2003. 150 с.
5. Викулин А.В., Иванчин А.Г. Ротационная модель сейсмического процесса // Тихоокеанская геология. 1998. Т.17. № 6. С. 95-103.
6. Викулин А.В., Водинчар Г.М. Спектр энергии потока сейсмичности // Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога. П.-К.: ИВиС ДВО РАН. 2005 г. С. 167-174.
7. 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.
8. Викулин А.В., Ким Ч.У. Курило-Камчатские землетрясения. Данные наблюдений. 1911-1952 гг. М.: МЦДБ. 1983. 82 с.
9. Викулин А.В., Ким Ч.У. Курило-Камчатские землетрясения. Данные наблюдений. 1953-1961 гг. М.: МЦДБ. 1983. 84 с.
10. 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.
11. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука. 1977. 536 с.
12. Пейве А.В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Сер. Геолог. 1961. № 3. С. 36-54.
13. Рихтер Ч. Элементарная сейсмология. М.: из-во Ин. Литер. 1963. 670 с.
14. Садовский М.А. Новая модель геофизической среды // Българско геофизично списание. 1985. Т. XII. № 2. С. 3-10.
15. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука. 1974. 309 с.
16. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на восточном побережье Тихого океана. М.: Наука. 1975. 203 с.
17. Тараканов Р.З. Повторные толчки землетрясения 4 ноября 1952 года // Труды СКНИИ СО АН СССР. 1961. Вып. 10. С. 112-116.
18. Уломов В.И. Волны сейсмогеодинамической активизации и долгосрочный прогноз землетрясений // Физ. Земли. 1993. № 4. С. 43-53.
19. Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1926 - 1956). // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl. 1. Tokyo. 1958. 91 p.
20. Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1957 - 1962). // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl. 2. Tokyo. 1966. 47 p.



21. Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1963 - 1967) // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl. 3. Tokyo.1968. 61 p.
22. Centennial Earthquake Catalog: (<http://earthquake.usgs.gov/research/data/centennial.php>)
23. Duda S. J., Secular seismic energy release circum-pacific belt // Tectonophysics. 1965. 2 (5). P. 409-452.
24. Duda S. J. Global earthquakes 1903-1985. Hamburg F.R.Germany: NEIC. 1992. 183 p.
25. ISC: (<http://www.isc.ac.uk/Bulletin/rectang.htm>).
26. JMA: (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>).
27. Mogi K. Migration of seismic activity // Bull. of the Earthquake Res. Inst. 1968 V. 46. P. 53-74.
28. NEIC: (<http://neic.usgs.gov/neis/epic/epicglobal.html>).
29. 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.

УДК 550.2: 521.937 + 550.340.6

О ВЗАИМОСВЯЗИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЮСОВ С СИЛЬНЫМИ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ И ИЗВЕРЖЕНИЯМИ ВУЛКАНОВ ЗЕМЛИ

**В.А. Широков**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, e-mail: shirokov@kscnet.ru*

Введение

Земная ось представляет собой воображаемую прямую линию, вокруг которой происходит вращение нашей планеты. Направление этой оси относительно звезд определяется на основе астрономических наблюдений и привязывается к той точке звездного неба, которая именуется полюсом мира. Известно, что рядом с этой точкой находится Полярная звезда созвездия Малой Медведицы, по которой в северном полушарии и определяется направление на север. Направление мгновенной оси вращения Земли непрерывно меняется, в связи с чем происходит перемещение географических полюсов и, как следствие, изменение координат точек земной поверхности. Благодаря новым методам космической геодезии и астрономии точность определения положения географических полюсов повысилась за последние четверть века более, чем в сто раз, что соответствует нескольким миллиметрам на поверхности Земли. Это расширяет возможности изучения связи характеристик вращения Земли с тектоническими процессами.

На движение полюсов Земли как одного из свойств ее вращения впервые указал в 1687 г. И. Ньютон, а математическая теория этого явления была развита в 1790 г. Л. Эйлером. Но еще во втором веке до новой эры греческий астроном Гиппарх обнаружил медлен-