

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОКРАИНЫ ТИХОГО ОКЕАНА

### MODELING OF PACIFIC GEODYNAMIC PROCESSES

*А.В. Викулин<sup>1,2</sup>, Г.М. Водинчар<sup>2,3</sup>, И.В. Мелекесцев<sup>1,2</sup>, Д.Р. Акманова<sup>1</sup>, Н.А. Осипова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,*

<sup>2</sup>*Камчатский государственный университет,*

<sup>3</sup>*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Modern scientists suppose that the Earth may be one whole “living” formation and all its phenomena are closely connected. 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.

#### **Введение**

Геодинамические процессы – процессы в Земле, обуславливающие глубинные и поверхностные движения масс во времени и пространстве. К числу важнейших эндогенных геодинамических процессов относятся: землетрясения, активный вулканизм, тектонические деформации, являющиеся основными источниками современных движений земной коры. Наиболее масштабные проявления геодинамических процессов “видимые невооруженным глазом” локализованы главным образом в местах взаимодействия тектонических плит. Именно в этих местах планеты происходят катастрофические землетрясения и извержения вулканов. Известно, что такие природные катастрофы присущи именно нелинейным системам [12].

Многими исследователями отмечалось, что для разных регионов имеет место корреляция между извержениями вулканов и временами сильных землетрясений с гипоцентрами, расположенными в пределах сейсмических поясов. Эти данные указывают на то, что причины, приводящие к накоплению сбрасываемых при землетрясениях напряжений и к движению изливающейся при извержениях вулканов магмы, учитывая планетарный масштаб, имеют общий генетический корень. Сейсмичность и вулканизм указывают не только на планетарность, а также и на нелинейность геодинамического процесса [6].

С целью выявления и изучения особенностей таких процессов в едином формате была составлена база, включающая все известные данные о землетрясениях и извержениях вулканов планеты. Где в качестве “энергетической” характеристики извержения был выбран объем изверженных продуктов. С помощью созданной базы данных исследовались пространственно-временные закономерности распределения сейсмического и вулканического процессов в пределах окраины Тихого океана.

*Сейсмический процесс.* В результате большого объёма исследований, проведенных в последние пять десятилетий, было убедительно показано существование эффекта миграции очагов землетрясений в пределах всех сейсмически активных поясов планеты. Миграция очагов землетрясений является наиболее характерным свойством сейсмического процесса, отражающим его волновую природу. Значения скоростей миграций землетрясений лежат в больших пределах:  $10^{-2} \text{ см/с} \leq V \leq 1 \text{ км/с}$  [5]. Анализ данных о миграции землетрясений показывает: между энергией

волны (магнитудой мигрирующих землетрясений) и значением ее скорости существует прямопропорциональная зависимость, что указывает на нелинейную, солитонную природу таких волн. Такие зависимости, как известно, характерны для существенно нелинейных блоковых сред, к которым относится и геофизическая среда [6].

Ранее опубликованные данные о значениях скоростей миграции эпицентров тихоокеанских землетрясений получены для сейсмических событий магнитудного диапазона  $M \leq 8,0$  и составляют  $250 \pm 30$  км/год  $\approx 1$  см/сек [5, 6]. Поэтому определенный интерес представляет задача определения соответствующих скоростей миграции в области больших значений магнитуд  $M > 8$ . Прогнозируемые значения скоростей миграций землетрясений с  $M > 8$  на основании данных [6, 26] для магнитуд  $M = 8,5, 8,7$  и  $9,0$  должны соответствовать значениям:  $V \approx 550 \pm 300, 800 \pm 300$  и  $2000 \pm 500$  км/год соответственно.

На основании анализа мировых баз данных [3, 4, 11, 13-23] 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 г.г. Наименьший предел временного интервала определяется первыми по времени данными о сильных землетрясениях, содержащиеся в каталогах японских [22] и южноамериканских [14] землетрясений. Исследование пространственно-временного распределения тихоокеанских землетрясений проводилось в плоскости с осями “расстояние вдоль дуги  $L$  – время  $t$ ”. В качестве расстояния вдоль дуги выбрана линия, совпадающая с осями глубоководных желобов, методика построения которой описана в [7]. Общая протяженность такой линии составляет около 45000 км (рис.1).

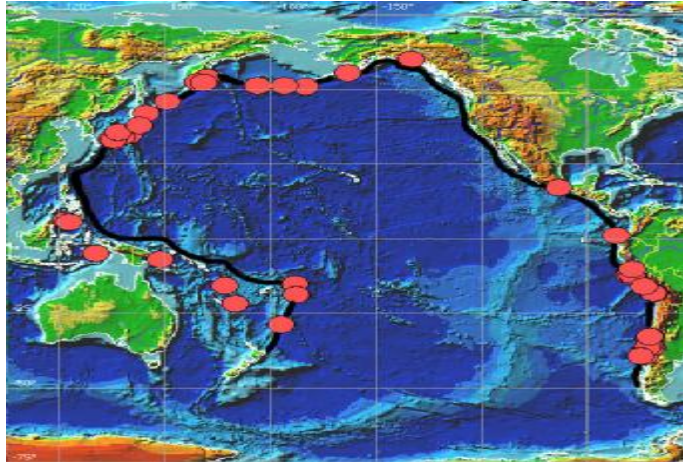


Рис.1. Расположение эпицентров тихоокеанских коровых землетрясений с  $M \geq 8,4-8,5$ , 1361-2005 г.г.,  $N=46$ . Жирным цветом обозначена линия, совпадающая с глубоководными желобами, вдоль которой в работе определяется расстояние  $L$ .

Расположение очагов тихоокеанских землетрясений “инструментального” периода 1897-2005 г.г. с  $M_w \geq 9.0$  на пространственно-временной карте представлено на рис.2.

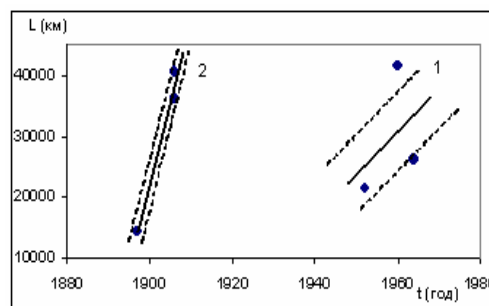


Рис.2. Пространственно-временная карта очагов тихоокеанских землетрясений 1897-1960 г.г. с  $M \geq 9,0$  и определенные по ним методом наименьших квадратов две (1,2) прямые линейные цепочки миграции.

Из данных, представленных на этом рисунке видно, что эпицентры всех землетрясений с  $M_w \geq 9,0$  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. Аналогичная ситуация наблюдается при нанесении на пространственно-временную карту очагов тихоокеанских землетрясений 1897-1965 г.г. с  $M \geq 8,7$  и землетрясений 1897-1965 г.г. с  $M \geq 8,5 \div 8,6$ , они тоже группируются в пределах тех же самых двух прямолинейных цепочек. При этом, средние значения скоростей миграции таких землетрясений можно принять равными: для землетрясений с  $M \geq 8,7$  -  $V_{M \geq 8,7} \approx 500 \pm 200$  км/год, для землетрясений с  $M \geq 8,5 \div 8,6$  -  $V_{M \geq 8,5 \div 8,6} \approx 350 \pm 90$  км/год.

Рассмотрим пространственно-временное расположение очагов тихоокеанских землетрясений с  $M \geq 8,5$  “доинструментального” периода 1361-1896 г.г. Расположение эпицентров землетрясений с  $M \geq 8,9$ , произошедших 1361-1730 г.г., представлено на рис.3.

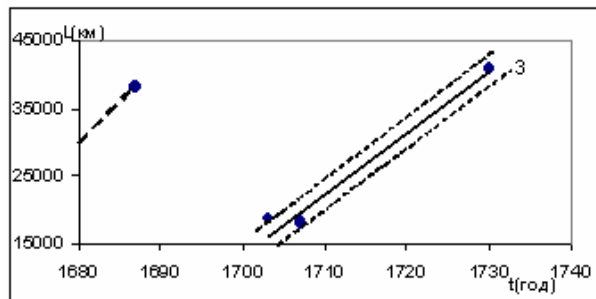


Рис.3. Пространственно-временная карта очагов тихоокеанских землетрясений 1361-1896 г.г. с  $M \geq 8,9 \div 9,0$  и определенная по ним линейная цепочка (3) миграции землетрясений с  $M = 8,9$ .

Видно, что в пределах прогнозируемого диапазона скоростей японские землетрясения 1703-1707 г.г. 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 г.г., с  $M \geq 8,5 \div 8,6$  на пространственно-временной карте представлено на рис.4.

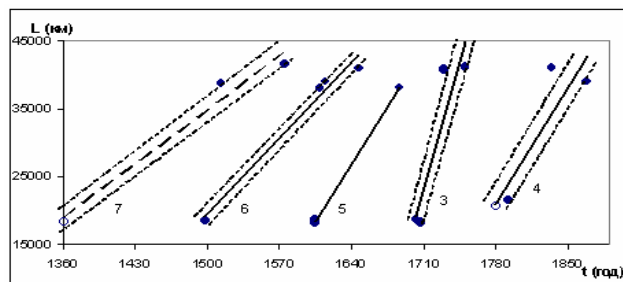


Рис.4. Пространственно-временная карта очагов тихоокеанских землетрясений 1361-1896 г.г. с  $M \geq 8,5 \div 8,6$  и определенные по ним методом наименьших квадратов пять (3-7) прямые линейные цепочки миграции.

Видно, что эпицентры всех землетрясений группируются в пределах пяти узких зон – миграционных цепочек (3-7), 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  $V_{M \geq 8,8 \div 8,9} = 540 \pm 110$  км/год. Остальные четыре цепочки (4-7), объединяющие эпицентры землетрясений с  $M \geq 8,5 \div 8,6$ , 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  $M \geq 8,5 \div 8,6$ , определенное по этим данным, составляет  $V_{M \geq 8,5 \div 8,6} \approx 200 \pm 60$  км/год.

Таким образом, полученные в работе данные о скоростях миграции землетрясений  $V_{\text{рассч}}$  с  $M \geq 8,5$  сведены в табл. 1.

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

Таблица 1. Рассчитанные в работе  $V_{\text{рассч}}$  и прогнозные  $V_{\text{прогн}}$  значения скоростей миграции тихоокеанских землетрясений магнитудного диапазона  $M > 8$ .

В этой же таблице приведены и прогнозные значения скоростей миграции  $V_{\text{прогн}}$ , определенные на основании ранее полученных данных [5, 6, 26]. 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.

*Вулканический процесс.* Составленная нами база включает 6226 извержений 562 вулканов планеты за последние 12 тыс. лет (9850 д.н.э. – 2005 г.г.), из них 20 извержений 13 вулканов являются подводными [8; 24; 25].

В качестве количественной характеристики величины извержения использован объем изверженного материала ( $W$ ). Его значения изменяются в пределах:  $10^{4,5} \div 10^{11} \text{ м}^3$  [24; 25]. В результате каждому извержению в базе было приписано порядковое число от  $W = 1, 2, \dots, 7$ , соответствующее объемам извергнутого материала  $10^{4,5}, 10^6, \dots, 10^{11} \text{ м}^3$  соответственно. По аналогии с сейсмичностью, где в качестве энергетической характеристики очага используется магнитуда [1], нами было предложено в качестве “энергетической” характеристики извержения использовать объем извергнутого материала  $W$ .

Ранее рядом авторов [2; 9; 10] было отмечено, что наиболее активным районом земного шара является окраина Тихого океана. За последние 12 тыс. лет в пределах окраины извергалось 364 (61%) вулкана и  $n = 5353$  (86 %) извержений. Из них произошло 155 извержений 81 вулкана с  $W \geq 5$  (86 %) и  $n = 55$  извержений  $N = 41$  вулкана с  $W \geq 6$  (95 %).

Как и землетрясения, исследования пространственно-временных закономерностей извержений проводились на плоскости с осями  $L - t$ . Общая протяженность вулканической линии  $L$  составила 45400 км, она протянулась от вулкана Бакл Айленд (Антарктика) до Десепсьон (Южные Шетландские острова).

Для исследования миграции вулканической активности были выбраны наиболее сильные извержения с  $W \geq 6$  ( $\geq 10^{10} \text{ м}^3$ ), происшедшие в пределах окраины Тихого океана за последние 12 тыс. лет; количество таких извержений составило 55. Было отмечено, что достаточно сильные извержения распределены неравномерно, и выделяются два продолжительных периода низкой вулканической активности. В результате, для выявления пространственно-временных закономерностей распределения вулканической активности был выбран достаточно однородный по активности временной интервал 250 д.н.э. – 2005 г.г., в пределах которого отмечено 25 извержений 22 вулканов с  $W \geq 6$ .

Извержения с  $W \geq 6$  ( $N = 19$ ,  $n = 21$ ) в период с 250 д.н.э. – 1932 г.г. имеют тенденцию группироваться в пределах узких областей ( $N_l = 1 \div 7$ , рис. 6). Выделенные области имеют примерно одинаковые наклоны, разделены друг от друга протяженными “пустыми” коридорами и следуют друг за другом через близкие по длительности интервалы времени. Определенные методом наименьших квадратов параметры аппроксимированных отрезками прямых линий цепочек извержений, заключенных в пределах таких узких областей, приведены в табл. 2. Данные, приведенные в табл. 2,

показывают, что и значения наклонов миграционных линий “а” и интервалы времен между ними  $\Delta T$  близки между собой; при этом “разброс” значений не превышает 30%. Полученные данные могут рассматриваться как сильный аргумент в пользу группирования извержений вдоль выявленных нами прямолинейных миграционных линий. Равные наклоны миграционных линий и близкие временные интервалы между ними (рис. 6) позволяют предположить, что пространственно-временное распределение извержений в 250 д.н.э. – 1932 г.г., соответствует гипотезе миграции, согласно которой извержения вулканов с  $W \geq 6$  мигрируют вдоль окраины океана со скоростью  $V = 100 \pm 40$  км/год.

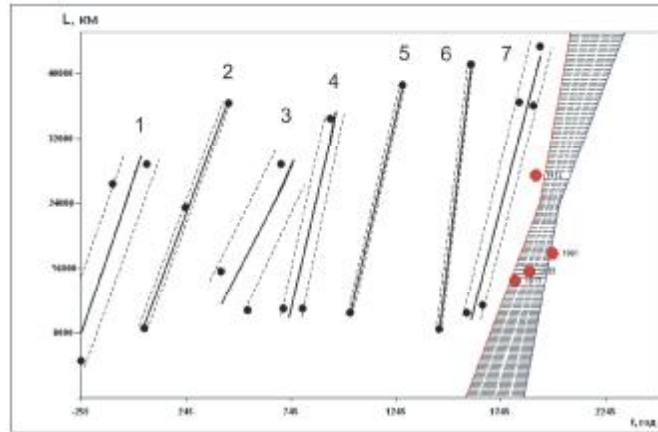


Рис.6. Расположение Тихоокеанских вулканов ( $N = 25$ ) и их извержений ( $n = 22$ ) с  $W \geq 6$  в 250 д.н.э. – 1991 г.г.  $p = 1-7$  – номера линий, определенных методом наименьших квадратов и величины среднеквадратических отклонений. Штриховкой обозначена “прогнозная” область.

$p$	$k$	$a$ , км/год	$T$ , год	$\Delta T$ , год	$\Delta L$ , км
1	3	77	310	308	24179
2	3	69	400	401	27777
3	3	49	284	193	17900
4	3	112	220	291	23491
5	2	112	250	371	28087
6	2	220	148	224	32616
7	5	97	352		32835
		$105 \pm 37$	$280 \pm 64$	$298 \pm 62$	

Таблица 2. Параметры прямолинейных цепочек миграции извержений с  $W \geq 6$ , представленных на рис. 6.

Примечание:  $p$  – порядковый номер области на рис. 6;  $k$  – количество извержений, попадающих в пределы области;  $a$  – значение “угла наклона” области;  $T$  – продолжительность одной миграционной области;  $\Delta T$  – интервал времени между миграционными областями;  $\Delta L$  – протяженность миграционной области.

Для проверки сформулированной нами гипотезы миграции были рассчитаны параметры следующей узкой области миграции, которая после последней цепочки  $p = 7$  (табл. 2, рис. 6) должна включать в себя следующие извержения вулканов с  $W \geq 6$ :  $\Delta T = 300 \pm 60$  лет,  $a = 100 \pm 40$  км/год. Прогнозная область миграции, представлена на рис. 6 заштрихованной областью. Видно, что из четырех последних извержений с  $W \geq 6$ , произошедших в 1815 – 1991 г.г., три попадают в пределы “прогнозной миграционной области”. Это позволяет с вероятностью не менее 0,7 – 0,8 принять нашу гипотезу о миграции вулканических извержений с  $W \geq 6$  вдоль окраины Тихого океана в 250 д.н.э. – 1991 г.г. в направлении от Новой Зеландии к Южной Америке.

## Выводы

Получены новые данные о миграции землетрясений. Показано, что извержения вулканов имеют тенденцию мигрировать. Это подтверждает ранее высказанную идею о

том, что сейсмичность и вулканизм, рассматриваемые как процессы планетарного масштаба, взаимосвязаны. Скорости миграции наиболее сильных землетрясений и извержений по порядку величины оказались соизмеримы. Это позволяет предположить, что волны миграции сейсмической и вулканической активности являются проявлениями более общего геодинамического (нелинейного) планетарного процесса, имеющего «разные цвета» в различных геофизических полях.

#### Список литературы

1. Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология. – М. : Высшая школа, 2002. – 511 с.
2. Бондарчук В.Г. Основы геоморфологии. – М. : Государственное учебное педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР. 1949. – 320 с.
3. Викулин А.В., Ким Ч.У. Курило-Камчатские землетрясения. Данные наблюдений. 1911-1952 г.г. – М. : МЦДБ, 1983. – 82 с.
4. Викулин А.В., Ким Ч.У. Курило-Камчатские землетрясения. Данные наблюдений. 1953-1961 г.г. – М. : МЦДБ, 1983. – 84 с.
5. 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.
6. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. – П.-К. : КГПУ, 2003. – 150 с.
7. 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.
8. Гущенко И.И. Извержения вулканов мира. – М. : Наука, 1979. – 339 с.
9. Короновский Н.В. и Якушова А.Ф. Основы геологии. – М. : Высшая школа, 1991. – 431 с.
10. Ломизе М.Г. Вулканическое кольцо Тихого океана: его прошлое, настоящее и будущее // СОЖ. 1999. № 9. С. 59-66.
11. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. – М. : Наука, 1977. – 536 с.
12. Пуцаровский Ю.М. Геологическое выражение нелинейных геодинамических процессов // Геотектоника. – М. : Наука, 1998. № 1. С. 3-14.
13. Соловьёв С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. – М. : Наука, 1974. – 309 с.
14. Соловьёв С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на восточном побережье Тихого океана. – М. : Наука, 1975. – 203 с.
15. Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1926-1956) // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl.1. Tokyo. 1958. – 91 p.
16. Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1957-1962) // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl.2. Tokyo. 1966. – 47 p.
17. Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1963-1967) // Seismol. Bull. Japan Meteorolog. Agency. Suppl.3. Tokyo. 1968. – 61 p.
18. Centennial Earthquake Catalog: (<http://earthquake.usgs.gov/research/data/centennial.php>)
19. Duda S. J., Secular seismic energy release circum-pacific belt // Tectonophysics. 1965. 2 (5). P. 409-452.
20. Duda S. J. Global earthquakes 1903-1985. Hamburg F.R.Germany: NEIC. 1992. – 183 p.
21. ISC: (<http://www.isc.ac.uk/Bulletin/rectang.htm>).
22. JMA: (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>).
23. NEIC: (<http://neic.usgs.gov/neis/epic/epicglobal.html>).
24. Simkin T. & Siebert L. Volcanoes of the world (catalogue). Published in association with the Smithsonian Institution. 1993. – 350 p.
25. Smithsonian Institution – Global Volcanism Program\_ Worldwide Holocene Volcano and Eruption Information (<http://www.volcano.si.edu>).
26. 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.