

## **Миграция геодинамической (вулканической и сейсмической) активности как многомасштабное явление**

*А.А. Долгая<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
e-mail: [adolgaya@kscnet.ru](mailto:adolgaya@kscnet.ru)*

<sup>2</sup>*Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский*

Приведены результаты исследования пространственно-временных закономерностей геодинамической (сейсмической и вулканической) активности – миграции очагов землетрясений и извержений вулканов в различных по масштабу регионах. Показано, что на характер зависимости между скоростью миграции и энергетической характеристикой процесса не оказывает влияние временной, энергетический и географический масштабы исследуемой совокупности событий.

### **Введение**

К настоящему времени опубликовано большое число работ (напр., [1, 6]), посвященных исследованию особенностей пространственно-временного распределения очагов землетрясений и извержений вулканов в различных регионах мира. На протяжении ряда лет автором с помощью разработанного метода проводится изучение миграции и сейсмической, и вулканической активности в пределах наиболее тектонически активных поясов Земли, в результате которого было показано [11] существование четких зависимостей между скоростью миграции очагов землетрясений и извержений вулканов и энергетической характеристикой процесса. Более того, нами установлено [3], что параметр  $p$  ( $M \approx p \cdot LgV$ ), отражающий эту зависимость, оказался чувствителен к геодинамической обстановке в регионе – он положителен для областей сжатия и отрицателен для областей растяжения.

### **Объект исследования**

Исследование миграции сейсмической и вулканической активности проводилось автором на примере наиболее геодинамически активных регионов Земли – окраины Тихого океана, Альпийско-Гималайского пояса и Срединно-Атлантического хребта [2, 4]. В качестве энергетической характеристики процесса используется магнитуда  $M$  для землетрясений и индекс вулканической активности  $W$  для извержений вулканов (пропорциональный объему изверженного материала). Статистические параметры каталогов, использованных для проведения исследований, представлены в табл. 1.

Три исследованных региона простираются на тысячи километров, а проанализированные массивы данных охватывают многие века и широкий энергетический диапазон. Для дальнейшего исследования целесообразно рассмотреть меньше по протяженности и продолжительности каталоги с тем, чтобы можно было проверить, является ли миграция геодинамической активности, выявляемая авторским методом, многомасштабным явлением, и отражает ли значение параметра  $p$ , полученное для меньших по масштабу регионов, геодинамическую обстановку в них.

Для проведения исследования были выбраны регионы, которые не относятся к трем выше рассмотренным, имеют линейную протяженность (ширина активной области много меньше ее длины), различную геодинамическую обстановку и в которых произошло достаточное для проведения исследования количество событий. Перечисленным критериям при исследовании миграции и сейсмичности, и вулканизма, удовлетворяет только область Бонинских и Марианских островов. Эта область не

рассматривалась при исследовании миграции в Тихом океане. Этот регион является зоной сжатия [10]. В остальных регионах мира центры вулканической активности представляют собой скорее «точечные» активные области, а не линейные.

Также были выбраны два региона, которые явно отражают различные тектонические обстановки, и в которых сейсмичность протекает достаточно активно – это Карибские острова (зона сжатия) и Байкальская рифтовая зона (зона растяжения) [10]. Статистические параметры всех рассмотренных каталогов приведены в табл. 1. Данные для проведения исследования в новых регионах были получены из [8,9].

**Таблица 1. Статистические параметры исследуемых каталогов**

Регион	Землетрясения				Извержения			
	$M$	$T, год$	$N$	$b$	$W$	$T, год$	$N$	$B$
Окраина Тихого океана	$6 \div 9,5$	27 – 2013	7819	-0,92	$1 \div 7$	-9650 – 2013	5013	-0,52
Альпийско-Гималайский пояс	$6 \div 9$	-2150 – 2013	1540	-0.76	$1 \div 7$	-8480– 2013	1311	-0,54
Срединно-Атлантический хребет	$5,5 \div 7.6$	1961 – 2013	1042	-1,15	$1 \div 6$	-8910 – 2011	327	-0,39
Бонин-Марианские острова	$5,5 \div 7,7$	1902- 2016	681	-0,94	$1 \div 5$	-8020 – 2013	155	-0,47
Карибские острова	$4,5 \div 7,5$	1963 – 2014	1902	-0,92				
Байкальский рифт	$4,0 \div 7,4$	1902 - 2013	406	-0,84				

Примечание:  $T$  – временной диапазон каталога,  $N$  – число событий,  $b$  – угол наклона графика повторяемости землетрясений,  $B$  – угол наклона графика повторяемости извержений.

### Метод исследования

Для исследования пространственно-временных закономерностей геодинамического процесса автором был предложен метод ИМСИВА (метод исследования миграции сейсмической и вулканической активности), предполагающий выполнение следующих этапов [4]: 1) Формирование исходной выборки событий. Определялся географический регион, временной интервал, диапазон магнитуд (индексов эксплозивности  $W$  для извержений) и глубин (только для землетрясений). 2). Построение осевых линий, вдоль которых изучается миграция сейсмической и вулканической активности. Линии строились путем интерполяции систем узловых точек, которые формируются по наиболее активным областям (наибольшим скоплениям событий). Параметры всех построенных осевых линий представлены в табл. 2. 3) Пересчет географических координат событий в расстояние вдоль линии. 4) Построение миграционных цепочек очагов землетрясений и извержений вулканов по правилу: для текущего события в каталоге ищется событие, произошедшее позже по времени и дальше по расстоянию вдоль осевой линии. 5) Заполнение итоговых таблиц: для каждого исследованного энергетического интервала событий определяется количество событий, средняя продолжительность цепочек, средняя протяженность цепочек и средняя скорость миграции очагов землетрясений и извержений вулканов.

**Таблица 2. Параметры осевых линий**

Регион	Протяженность, км	Начальные координаты		Конечные координаты	
		Широта	Долгота	Широта	Долгота
Окраина Тихого океана	46000	62,6° ю.ш.	155,6° в.д.	62,8° ю.ш.	60,5° з.д.
Альпийско-Гималайский пояс	21300	6,0° ю.ш.	132,4° в.д.	36,9° с.ш.	25,3° з.д.
Срединно-Атлантический хребет	24600	61,7° ю.ш.	62,9° з.д.	82,6° с.ш.	8,8° з.д.
Бонин-Марианские острова	4500	7,3° с.ш.	136,5° в.д.	35, 0° с.ш.	140,1° в.д.
Карибские острова	4000	13,4° с.ш.	89,4° з.д.	10,6° с.ш.	67,8° з.д.
Байкальский рифт	1900	51,6° с.ш.	103,0 °в.д.	57,1° с.ш.	124,7° в.д.

Проведение исследований с помощью описанного метода автоматизировано разработанной автором информационно-вычислительной системой [2].

### Результаты

В результате применения представленного метода для всех четырех контрольных массивов данных удалось выявить цепочки миграции сейсмических и вулканических событий. Полученные значения скоростей миграции очагов землетрясений и извержений вулканов для анализируемых регионов представлены в табл. 3.

**Таблица 3. Скорости миграции сейсмических и вулканических событий**

Бонин-Марианские острова (сейсмичность)		Бонин-Марианские острова (вулканизм)		Карибские острова		Байкальский рифт	
$M$	$V, км/год$	$W$	$V, км/год$	$M$	$V, км/год$	$M$	$V, км/год$
$M \geq 5,5$	42±17	$W \geq 1$	7±3	$M \geq 4,5$	58±28	$M \geq 4,0$	46±19
$M \geq 5,7$	46±14	$W \geq 2$	5±3	$M \geq 5,0$	61±23	$M \geq 4,3$	43±16
$M \geq 6,0$	46±10	$W \geq 3$	1±1	$M \geq 5,5$	70±34	$M \geq 4,6$	36±11
$M \geq 6,2$	48±10	$W \geq 4$	0,04±0,01	$M \geq 6,0$	83±30	$M \geq 4,9$	33±10
$M \geq 6,5$	49±4			$M \geq 6,5$	96±40	$M \geq 5,2$	22±3
$M \geq 6,7$	53±14					$M \geq 5,5$	15±3
$M \geq 7,0$	61±14						
$M \geq 7,2$	69±6						
$p= 8,1$		$p= -1,4$		$p= 8,4$		$p= -2,8$	

Из данных в таблице 3 видно, что для всех изученных регионов существуют вполне очевидные зависимости между скоростью миграции сейсмических и вулканических событий и их энергетической характеристикой –  $M$  и  $W$ . С помощью метода наименьших квадратов были определены значения коэффициента зависимости  $LgV(M, W)$  – параметра  $p$ , которые представлены в табл. 3 в последней строке.

Видно, что параметр  $p$  оказался положительным для сейсмических событий Бонин-Марианских и Карибских островов (областей сжатия) и отрицательным для

Байкальской рифтовой зоны и вулканических извержения Бонин-Марианских островов (областей растяжения).

Полученные результаты полностью согласуются с данными, полученными ранее с помощью описанного метода для наиболее тектонически активных регионов Земли, имеющих большую протяженность и продолжительность каталогов. Необходимо отметить, что значения скоростей миграции очагов землетрясений в Байкальской рифтовой зоне соответствуют результатам, полученным другими исследователями с помощью других методов [5, 7].

### **Выводы**

Приведенные результаты доказывают, что разработанный автором метод исследования пространственно-временных закономерностей геодинамической активности позволяет получать достоверные данные о характере миграции очагов землетрясений и извержений вулканов. Географическая протяженность регионов, временная продолжительность каталогов и энергетический разброс событий не оказывают влияния на характер выявляемых с помощью метода зависимостей между скоростями миграции очагов землетрясений и извержений вулканов и их энергетическими характеристиками: параметр  $p$  оказывается положительным, если в регионе преобладают сжимающие напряжения, и отрицательным, если преобладают растягивающие напряжения или рассматривается вулканический каталог.

Все эти данные позволяют утверждать, что миграция очагов землетрясений и извержений вулканов является неотъемлемым многомасштабным свойством геодинамической активности Земли.

### **Список литературы**

1. *Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Беликов В.М.* О миграции коровых землетрясений // Динамические процессы в геофизической среде. М.: Наука, 1994. С. 149-167.
2. *Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р. и др.* Информационно-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии, 2012. Т. 17. №3. С 34-54.
3. *Долгая А.А., Викулин А.В., Герус А.И.* Исследование закономерностей геодинамической активности методами математического моделирования // ВЕСТНИК КамчатГТУ. 2016. №38. С. 6-15.
4. *Долгая А.А., Викулин А.В., Герус А.И.* Моделирование пространственно-временных закономерностей геодинамического процесса методом ИМСИВА // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XVIII ежегодной научно-технической конференции, посвященной Дню Вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2015. С. 132-137.
5. *Левина Е.А.* Геоинформационная система для прогноза землетрясений и горных ударов: разработка и примеры применения в Байкальской рифтовой зоне и Норильском месторождении. Автореф. канд. дис. Иркутск. 2014. 19 с.
6. *Леонов В.Л.* О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991. №2. С. 28-40.
7. *Новопашина А.В., Саньков В.А.* Скорости медленных миграций сейсмической активности в Прибайкалье // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. №2. С. 197-203.
8. Earthquake Hazards Program. United States Geological Survey. Режим доступа: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
9. Northern California Earthquake Data Center (NCEDC), doi:10.7932/NCEDC.
10. Seafloor age. Map by Tectonics Observatory of California Institute of Technology. 2009. Режим доступа: [http://www.tectonics.caltech.edu/images/maps/seafloor\\_age.pdf](http://www.tectonics.caltech.edu/images/maps/seafloor_age.pdf)
11. *Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A. et al.* Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. V. 3. №1. P. 1–18.