

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
СЕЙСМИЧЕСКОГО И ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА****Долгая А.А.^{1,2}, Викулин А.В.¹, Николаев А.Н.²**¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, app-dolgaya@yandex.ru²Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский**Введение**

Одним из методов изучения закономерностей сейсмической активности является исследование квазипериодичности сейсмического процесса, что может быть проведено с помощью анализа распределения чисел землетрясений по временным интервалам между ними (см., например [2,7]). Исходными данными нашего исследования является составленный авторами каталог землетрясений планеты, включающий в себя более 12000 событий за 4.1 тыс. лет [3,9,10].

Методика исследования

В работе [2] описан метод исследования временных закономерностей распределения очагов землетрясений, основанный на построении фазовой плоскости. По взаимному расположению точек (по изолиниям) на данной плоскости можно судить о наличии или отсутствии каких-либо закономерностей в изучаемой совокупности событий. Данный подход предполагает последовательное выполнение пяти этапов.

Формирование исходной совокупности землетрясений. На первом этапе исследования, путем задания границ магнитудных диапазонов и пространственно-временных областей, формировалась исходная совокупность землетрясений, которая включала в себя землетрясения северо-западной окраины Тихого океана XX века (1900-2012 гг.) магнитудного диапазона $6.0 \leq M \leq M_{\max} = 9.1$ и глубинами гипоцентров до 100 км (рис. 1).

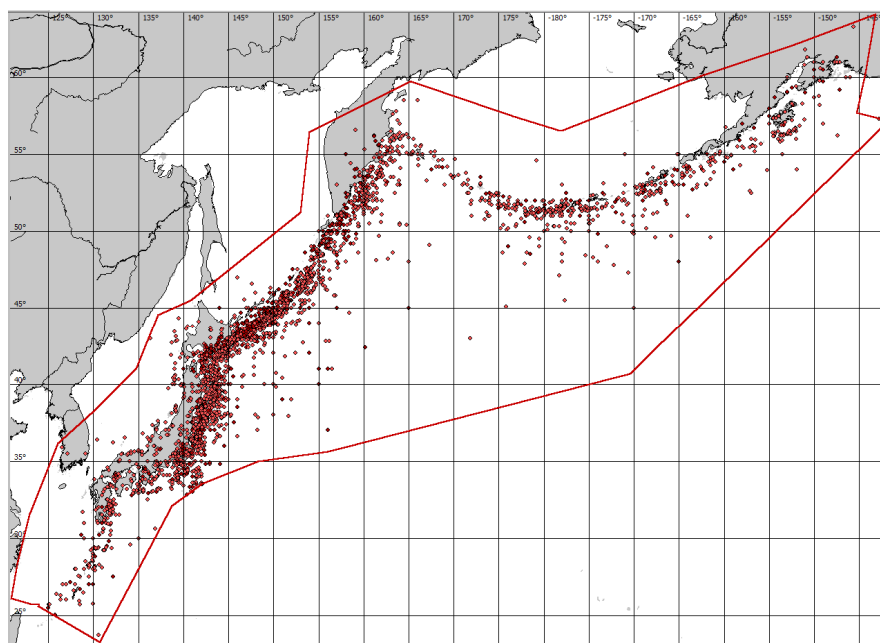


Рис.1. Эпицентры землетрясений Северо-Западной окраины Тихого океана с $M \geq 6$.

Построение экспериментальной последовательности. Для построения «экспериментального» распределения по временным интервалам между землетрясениями выбранной совокупности составлялась числовая последовательность, количественно характеризующая распределение следующих друг за другом землетрясений. Граничные условия для каждой из групп, составляющих данную последовательность, определялись исходя из проверяемого (оцениваемого) временного интервала.

Расчет теоретической последовательности. На третьем этапе для анализируемой совокупности землетрясений проводился расчет теоретической числовой последовательности,

соответствующей тому или иному известному закону распределения. В рамках проводимого авторами исследования в качестве теоретического использовались известные распределения Пуассона, Парето и Вейбулла. Распределение Пуассона является классическим распределением, которое наиболее часто используют при анализе временных потоков. Однако достаточно сильные землетрясения плохо соответствуют закону Пуассона, так как являются так называемыми «распределениями с тяжелыми хвостами» [7]. Выборки из таких распределений не корректно характеризовать выборочным средним и дисперсией. Поэтому для описания последовательностей достаточно сильных землетрясений более корректно с точки зрения статистических оценок использовать законы распределения Парето и Вейбулла [7].

Сравнение экспериментальной и теоретической последовательности. Построенная экспериментальная и рассчитанные теоретические последовательности сравнивались между собой с помощью критерия Пирсона. Для исходной совокупности определялось количество степеней свободы. Рассчитанные параметры (критерий Пирсона и количество степеней свободы) используются в дальнейшем для расчета уровня значимости (доверительной вероятности p).

Рассчитывались итоговые таблицы, содержащие уровень доверительной вероятности для каждой пары значений временной интервал ΔT – магнитуа M . На основе этих таблицы строились плоскости с осями временной интервал ΔT – магнитуа M , на которой по оси ординат откладываются периоды, а по оси абсцисс магнитуды.

Для автоматизации описанной методики моделирования с использованием ИСП Borland Delphi 7 нами была разработана специализированная автоматизированная система «Kperiod» [6].

Результаты исследования

В соответствии с описанной методикой с помощью разработанной нами автоматизированной системы исследовались временные закономерности сейсмического процесса, протекающего в пределах северо-западной окраины Тихого океана: вдоль тихоокеанского побережья Японии, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг (рис.1). Исследуемая совокупность данных содержит сведения о 2950 землетрясениях с магнитудами $6.0 \leq M \leq 9.1$.

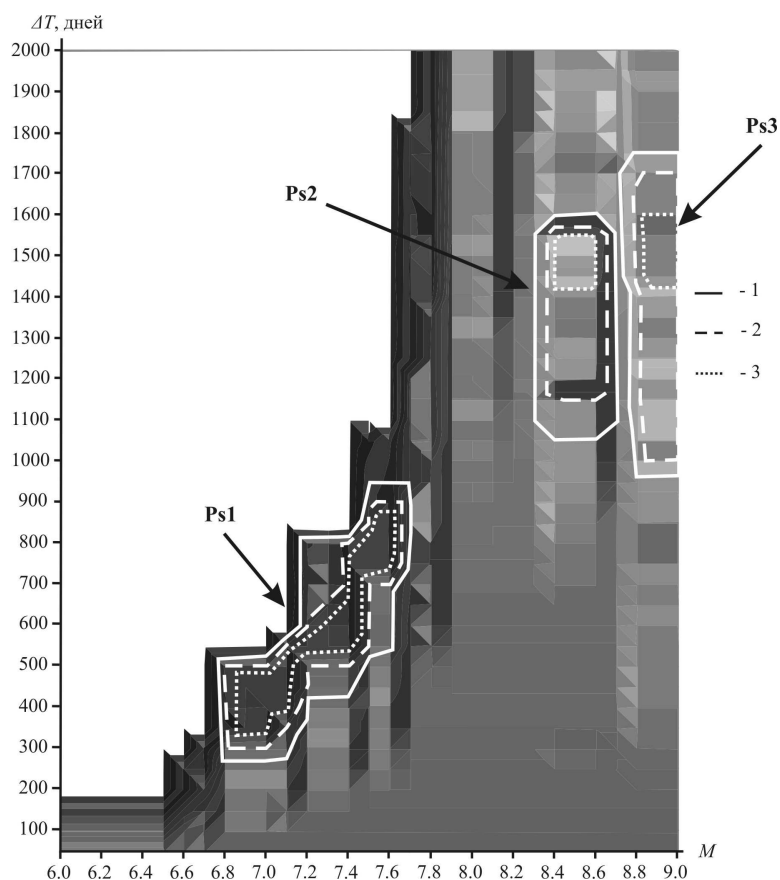


Рис. 2. Плоскость $M - \Delta T$, построенная по землетрясениям Северо-Западной окраины Тихого океана; в качестве теоретического использовалось распределение Пуассона. 1 – граница доверительной вероятности 0.9, 2 - граница доверительной вероятности 0.7, 3 - граница доверительной вероятности 0.5.

Результаты расчетов с использованием в качестве теоретического – закона распределения Пуассона (Ps) представлены на рис.2, из которого видно, что вся область исследования $M - \Delta T$ содержит три замкнутые области, ограниченные изолиниями одинаковых значений уровня значимости. Первая – (Ps1) $6.8 \leq M \leq 7.6$, $350 \leq \Delta T \leq 900$ дней; вторая (Ps2) – $8.4 \leq M \leq 8.6$, $1050 \leq \Delta T \leq 1600$; третья (Ps3) – $8.7 \leq M \leq 9.0$, $1000 \leq \Delta T \leq 1750$ дней.

Результаты расчетов с использованием в качестве теоретического – закона распределения Парето (Pt) представлены на рис.3а. Видно, что область исследования $M - \Delta T$ также представляет собой системы непересекающихся вложенных друг в друга изолиний: Pt1 – $7.0 \leq M \leq 7.6$, $250 \leq \Delta T \leq 700$ дней; Pt2 – $8.4 \leq M \leq 8.6$, $600 \leq \Delta T \leq 1200$ и $1600 \leq \Delta T \leq 1750$ дней; Pt3 – $8.8 \leq M \leq 9.0$, $1400 \leq \Delta T \leq 1900$ и $2050 \leq \Delta T \leq 2700$ дней. Выделенные для обоих (Ps и Pt) распределений области, в целом, совпадают между собой (рис.2, рис.3а,б): Ps1 $\approx$ Pt1, Ps2 $\approx$ Pt2, Ps3 $\approx$ Pt3.

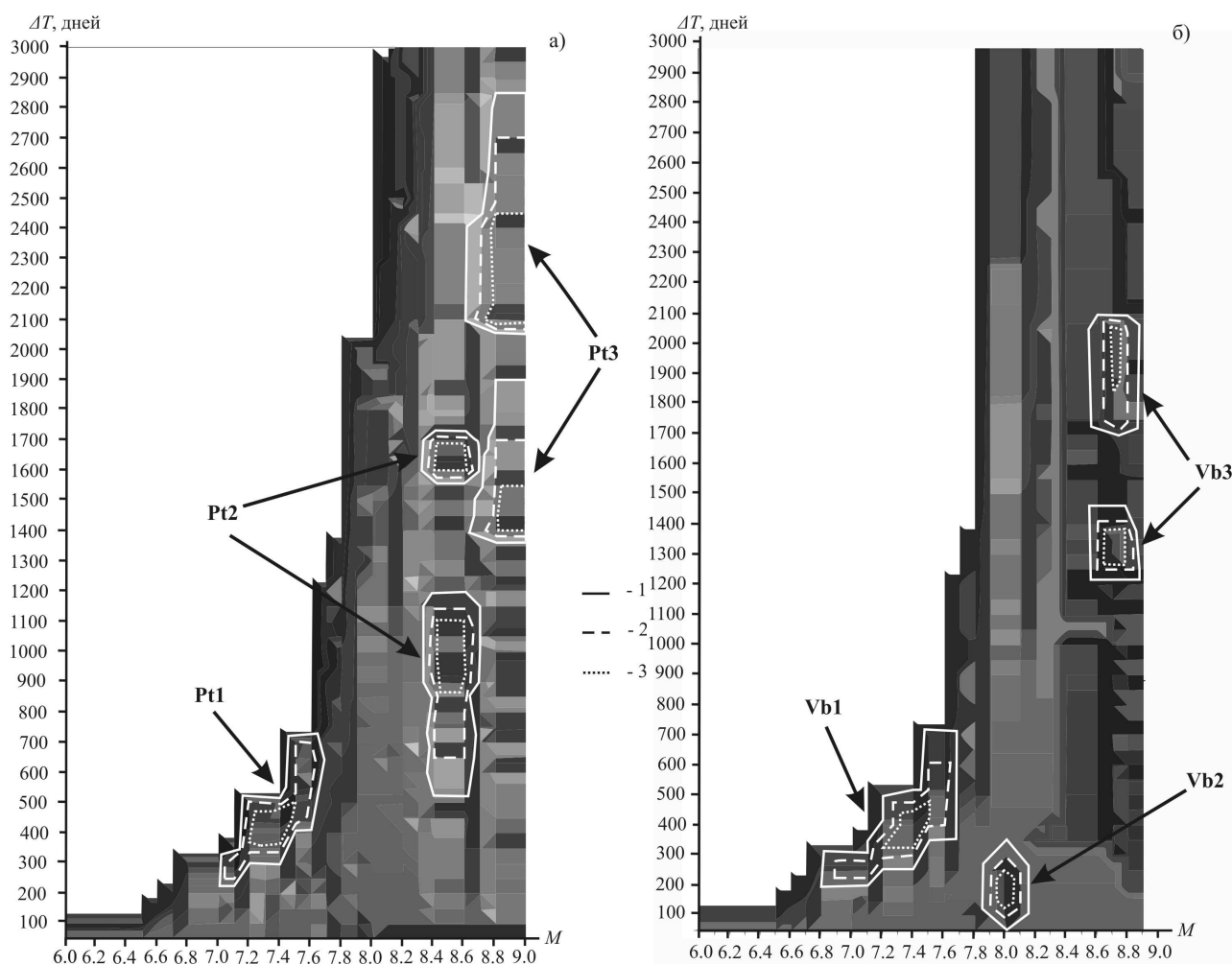


Рис. 3. Плоскости $M - \Delta T$, построенные по землетрясениям Северо-Западной окраины Тихого океана; в качестве теоретического использовалось: а – распределение Пуассона, б – распределение Парето. 1 – граница доверительной вероятности 0.9, 2 – граница доверительной вероятности 0.7, 3 – граница доверительной вероятности 0.5.

Результаты расчетов с использованием в качестве теоретического – закона распределения Вейбулла (Vb), представлены на рис.3б. Итоговая плоскость $M - \Delta T$ также представляет собой системы концентрических изолиний, которые, вообще говоря, отличаются от плоскостей, полученных для распределений Пуассона (рис.2) и Парето (рис.3а). На рис.3б выделяются три области замкнутых изолиний: Vb1 – $6.8 \leq M \leq 7.6$, $200 \leq \Delta T \leq 700$ дней; Vb2 – $8.0 \leq M \leq 8.2$, $50 \leq \Delta T \leq 150$; Vb3 – $8.6 \leq M \leq 8.8$, $1250 \leq \Delta T \leq 1350$ и $1750 \leq \Delta T \leq 2050$. При этом область Vb1 практически совпадает с областями Ps1 и Pt1, область Vb3 примерно совпадает с областями Ps3 и Pt3, а область Vb2 относительно аналогичных областей, выделяемых на плоскостях для распределений Пуассона и Парето, сильно смещена в зону более коротких временных интервалов. Также необходимо отметить наличие изолиний, вертикально пересекающей практически всю плоскость, построенную для

распределения Вейбулла, на уровне значения магнитуды $M=8.4$. На плоскостях, представленных на рис. 2 и 3а, аналогичных изолиний не наблюдается.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что все выделенные особенности на плоскостях $M - \Delta T$ всех трех рисунков 2,3а, б могут быть представлены в виде систем непересекающихся, вложенных друг в друга изолиний, оконтуривающих замкнутые области. Наличие замкнутой траектории на фазовой плоскости, как известно, физически соответствует периодичности процесса. Сейсмический процесс, в свою очередь, как известно, является циклическим [1,8]. В то же время абсцисса (M) и ордината (ΔT) из рис. 2,3а, б по своему смыслу близки энергии и времени – координатам на фазовой плоскости. Поэтому плоскости $M - \Delta T$ из рис. 2,3а,б могут рассматриваться как фазовые, а выделенные на них замкнутые области – как подтверждение квазипериодичности сейсмического процесса.

Выполненные расчеты подтверждают результаты проведенных ранее исследований [2], в ходе которых было показано соответствие замкнутой линии доверительной вероятности сейсмическому циклу продолжительностью около 200 лет. Таким образом, методика, предложенная в [2], в основе которой заложено использование фазовых плоскостей, получила свое дальнейшее физическое обоснование.

Наши исследования также подтвердили вывод о существовании класса сильнейших землетрясений для северо-западной окраины Тихого океана с магнитудами больше $M=7.5 \div 8.0$ (Ps1, Pt1, Vb1, Vb2). Наличие замкнутых областей в диапазоне магнитуд $M > 8.0$ (Ps2, Pt2, Ps3, Pt3, Vb3) могут указывать на существование и других сейсмических циклов.

Аналогичные исследования, проведенные на материале тихоокеанского побережья вблизи Южной Америки, также показали наличие двух систем замкнутых изолиний значений доверительной вероятности. Это позволяет сформулированный вывод о квазипериодическом (циклическом) характере сейсмического процесса для северо-западной окраины Тихого океана и побережья Южной Америки распространить на всю окраину Тихого океана.

Ранее нами было показано [3-5,9,10], что сейсмический процесс имеет много общего с вулканическим. А именно, миграция вулканической активности вдоль дуги протекает со скоростями, близкими миграции сейсмической активности. И сейсмический, и вулканический процессы обладают свойством периодичности [3,4] с близкими периодами $T \approx 250 \pm 40$ лет. Поэтому представляется целесообразным методом фазовой плоскости провести исследование и вулканической активности. Ожидаемые результаты исследования вулканического процесса, на наш взгляд, по физической сути должны быть близкими приведенным выше результатам, полученным по сейсмической активности.

Авторы выражают благодарность Г. М. Водичару за консультации по теме исследования.

Список литературы

1. Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика. Избранные труды. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2011. 407 с.
2. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КГПИ, 2003. 150 с.
3. Викулин А.В., Акманова Д.Р., Осипова Н.А. и др. Периодичность катастрофических извержений и их миграция вдоль окраины Тихого океана // ВЕСТНИК КамчатГТУ. 2009. № 10. С.7-17.
4. Викулин А.В., Акманова Д.Р., Осипова Н.А. и др. Повторяемость сильных землетрясений и миграции их очагов вдоль сейсмического пояса // ВЕСТНИК КамчатГТУ. 2009. № 10. С.17-25.
5. 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. Т. 17. №3. 2012. С 34-54.
6. Николаев А.Н. Автоматизированная система «Квазипериодичность» // Наука, образование, инновации: пути развития: материалы III всероссийской научно-практической конференции (24–26 апреля 2012 г.) Ч. I. Петропавловск-Камчатский КамчатГТУ, 2012. С. 45-51.
7. Писаренко В.Ф., Родкин М.В. Распределения с тяжелыми хвостами: приложения к анализу катастроф. М.: ГОЕС. 2007. 242 с. (Вычислительная сейсмология; Вып. 38).
8. Федотов С. А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
9. Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A., Dolgaya A.A. Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics & Tectonophysics. V. 3, Issue 1, 2012a. P. 1-18.
10. Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A., Dolgaya A.A. Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // New Concepts in Global Tectonics. No. 64, September, 2012b. P. 94-110.