

ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ РАЗМЕРНОСТИ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ

Воропаев П. В.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский,
chicoli@emsd.ru*

Введение

Применение фрактального подхода при изучении самоподобных структур, явлений и процессов представляется чрезвычайно перспективным [2]. Одним из примеров самоподобной структуры является сейсмический режим, то есть совокупность землетрясений, рассматриваемых как точки в пространстве-времени [5]. Степень неоднородности гипоцентрального распределения землетрясений может быть выражена величиной корреляционной фрактальной размерности D [2, 4, 6]. Данная величина не постоянна во времени. Вариациям D может быть дана следующая сейсмологическая интерпретация: при неравномерном распределении и росте концентрации гипоцентров землетрясений в определенном объеме, величина D уменьшается, при стремлении гипоцентров землетрясений распределиться равномерно, величина D будет увеличиваться. Известны случаи аномального поведения величины D , предшествующие сильному землетрясению [7]. Как следствие, изучение особенностей поведения величины D пространственно-временного распределения землетрясений представляет собой актуальную задачу.

Использованные данные

В работе использованы данные Камчатского регионального каталога землетрясений Камчатского филиала геофизической службы РАН за период с 1966 по 2008 год. Представительным классом для данного каталога является $K_S^{Ф68} = 8.5$ [1]. Данный каталог был очищен от афтершоковых последовательностей с помощью методики Молчана-Дмитриевой [3] с использованием компьютерной программы, составленной и любезно предоставленной к. ф.-м. н., доцентом МГУ им. Ломоносова В. Б. Смирновым.

Методика и результаты

Корреляционная фрактальная размерность D гипоцентрального распределения землетрясений вычислялась методом корреляционного интеграла. Корреляционный интеграл $C(r)$ определяется следующим выражением:

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N H(r - R_{ij}) \quad (1)$$

где N – число землетрясений в выборке, r – размер ячейки разбиения фазового пространства (в данном случае r – заданное линейное расстояние, с которым сравниваются все расстояния между землетрясениями из выборки), R_{ij} – расстояние между двумя землетрясениями из выборки с индексами i и j . H – функция Хевисайда. В случае если гипоцентрального распределения является фрактальной структурой, то будет удовлетворяться следующее выражение:

$$C(r) \sim r^D \quad (2)$$

С целью выяснения фрактальных свойств гипоцентрального распределения землетрясений Камчатки была выбрана зона, включающая в себя полуостров Камчатка с прилегающими территориями. Данная зона ограничена следующими координатами: с юга - 50 град. с.ш., с севера - 60 град. с.ш., с востока - 150 град. в.д., с запада - 170 град. в.д. Из Камчатского регионального каталога землетрясений, очищенного от афтершоковых последовательностей, для данной зоны была сделана выборка землетрясений, которая составила 28942 события, с энергетическим классом $K_s \geq 8.5$.

Вычисление корреляционного интеграла $C(r)$ производилось в два этапа: 1) создана матрица гипоцентральных расстояний между землетрясениями из указанной выборки, 2) на основании полученной матрицы вычислялся корреляционный интеграл $C(r)$ для r лежащем в интервале от 1 до 500 км, с шагом в 1 км. В результате строилась зависимость $C(r)$, на которой определялся участок, соответствующий выражению (2). Такое соответствие проявляется для $10 \text{ км} \leq r \leq 40 \text{ км}$ (рис. 1). Зависимость $C(r)$ на указанном интервале аппроксимируется следующей функцией: $C(r) = 5 \cdot 10^{-6} r^{2.917}$, при этом коэффициент детерминации $R^2 = 0.999$, что говорит о наличии фрактальных свойств гипоцентрального распределения землетрясений Камчатки на данном интервале разбиения. Исходя из обнаруженных особенностей гипоцентрального распределения землетрясений, для вычисления изменений величины D во времени использовались значения r равные 10, 20 и 30 км.

Для вычисления вариаций D во времени был использован метод плавающего окна. Использовано два типа окон, включавших в себя 400 и 800 последовательных землетрясений. Продвижение окна заключалось в добавлении 10 последующих событий между каждым вычислением D , при этом вычисленное значение D сопоставлялось времени окончания каждого временного окна. При рассмотрении графиков вариаций D во времени указанной зоны (рис. 2 а, б), выделяются две аномалии (I, II), проявившиеся в периоды с 1975 по 1979 гг., и с 1983 по 1987 гг. Данные аномалии характеризуются резким уменьшением величины D , с достижением локального минимума и по истечении определенного времени (в зависимости от величины временного окна), резким возвратом к первоначальным значениям.

Разбиение исследуемой площади на фрагменты, позволило выделить две зоны, ограниченные следующими координатами: 1) 55 град. с.ш., 60 град. с.ш., 150 град. в.д., 160 град. в.д., (рис. 3); 2) 50 град. с.ш., 55 град. с.ш., 150 град. в.д., 160 град. в.д. (рис. 5), на которых четко выделяются аномалии (I, II) значений D (рис. 2 в, г).

Сопоставление аномалий (I, II) с сейсмическим режимом Камчатки показывает, что аномалия I предшествовала землетрясению 21.12.1975 г., $M=6.9$ (рис. 4), I проявившись за 86 суток до землетрясения, аномалия II предшествовала землетрясению 17.08.1983 г., $M=7.0$ (рис. 6), проявившись за 93 дня до землетрясения.

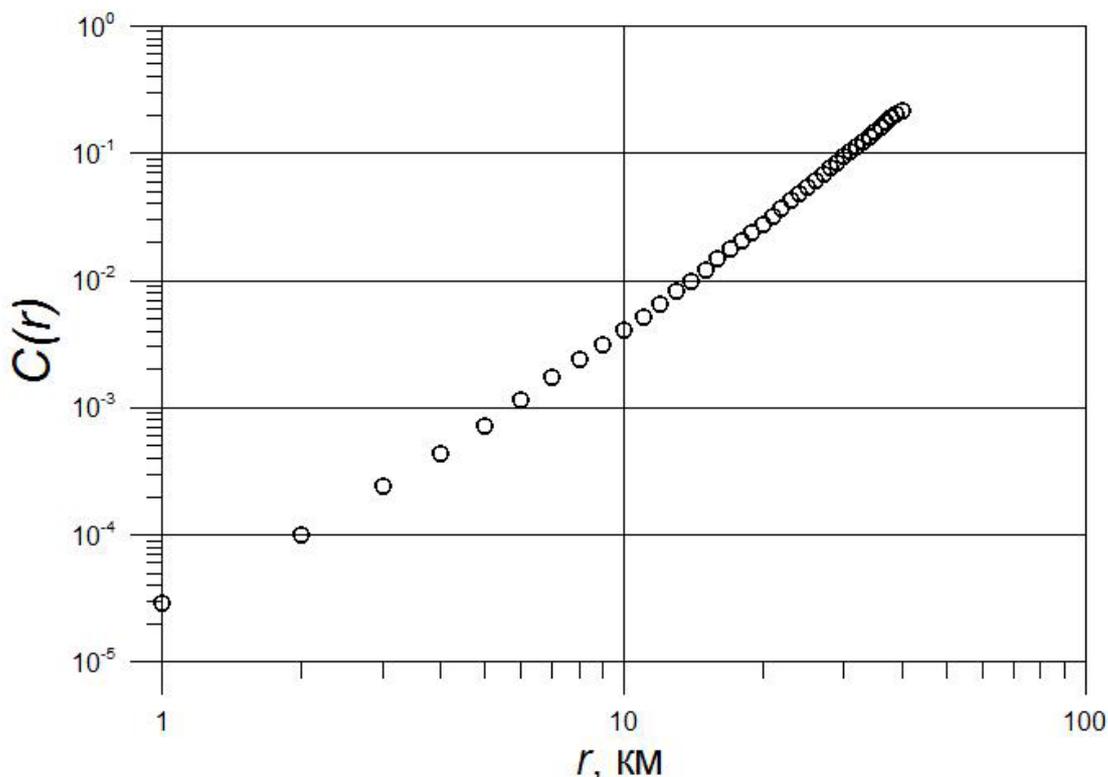


Рис. 1. Зависимость $C(r)$ от r , построенная на основании 5000 последовательных землетрясений для зоны, ограниченной координатами: 50 град. с.ш., 60 град. с.ш., 150 град. в.д., 170 град. в.д. Из графика видно соответствие выражению (2) для $10 \text{ км} \leq r \leq 40 \text{ км}$.

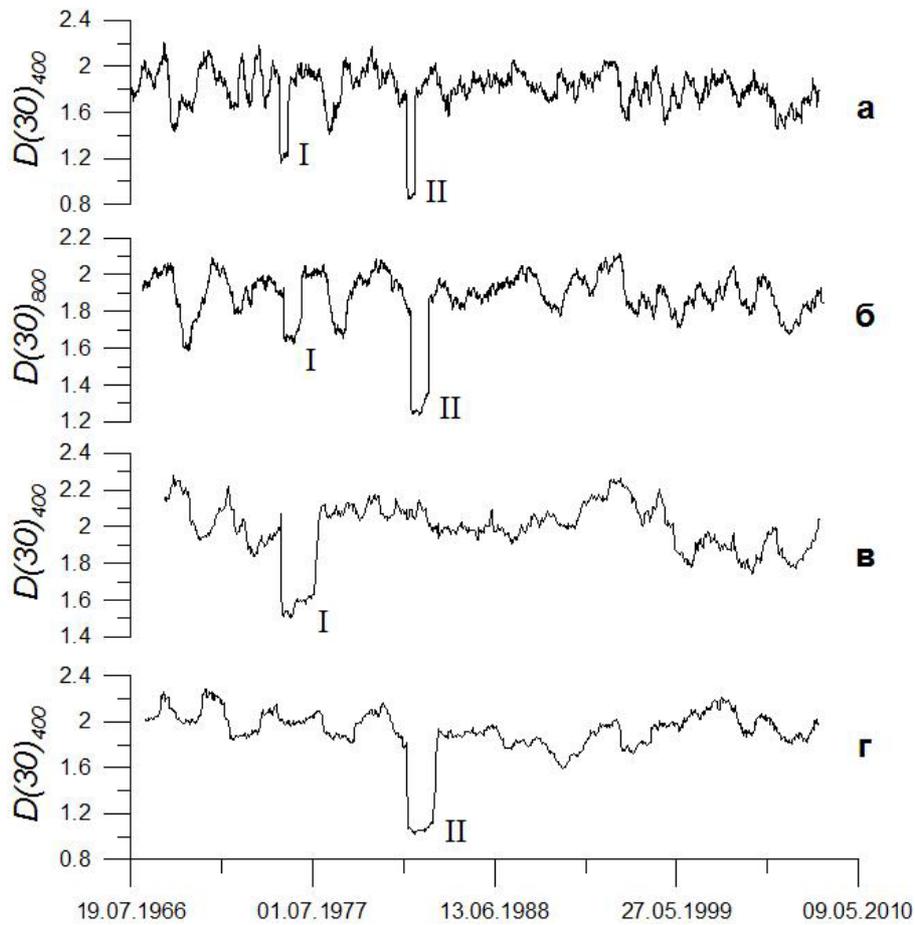


Рис. 2. Вариации D при $r=30$ км во времени. а, б – для зоны, ограниченной координатами: 50 град. с.ш., 60 град. с.ш., 150 град. в.д., 170 град. в.д., с величиной временного окна 400 и 800 суток соответственно; в – для зоны 55 град. с.ш., 60 град. с.ш., 150 град. в.д., 160 град. в.д., г – для зоны 50 град. с.ш., 55 град. с.ш., 150 град. в.д., 160 град. в.д., с величиной временного окна 400 суток. I, II – области аномальных значений D .

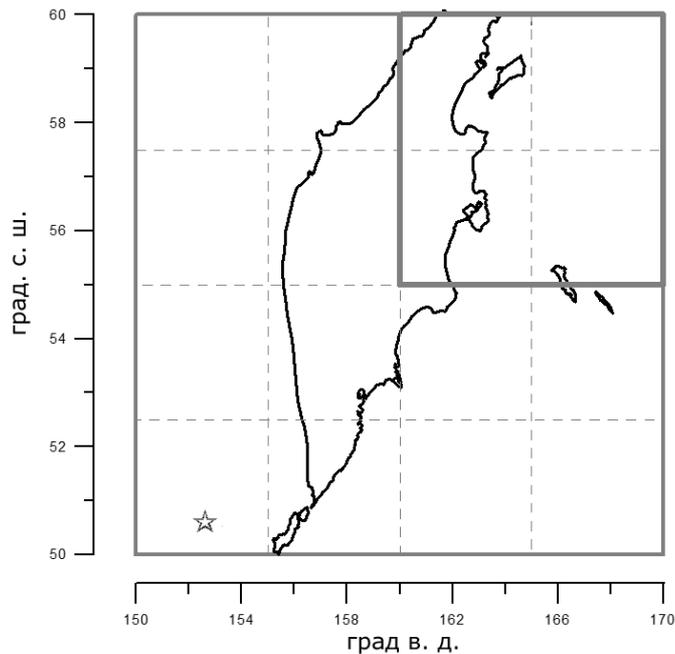


Рис. 3. Фрагмент разбиения исследуемой площади (выделен жирной рамкой), ограниченный координатами: 55-60° с. ш., 160-170° в. д. Символом «звезда» обозначено землетрясение 21.12.1975, ($M=6.9$).



Рис. 4. Изменение величины фрактальной размерности D , вычисленной при $r=30$ км в скользящем окне в 400 землетрясений для зоны: 55-60 град. с. ш., 160-170 град. в. д. Стрелкой обозначено землетрясение 21.12.1975, ($M=6.9$).

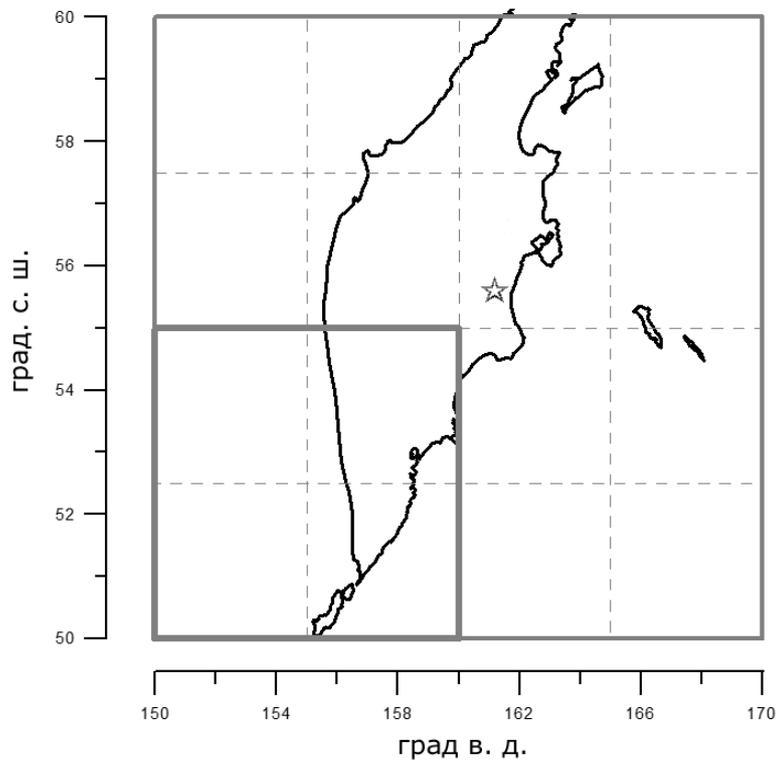


Рис. 5. Фрагмент разбиения исследуемой площади (выделен жирной рамкой), ограниченный координатами: 50-55° с. ш., 150-160° в. д. Символом «звезда» обозначено землетрясение 17.08.1983, ($M=7.0$).

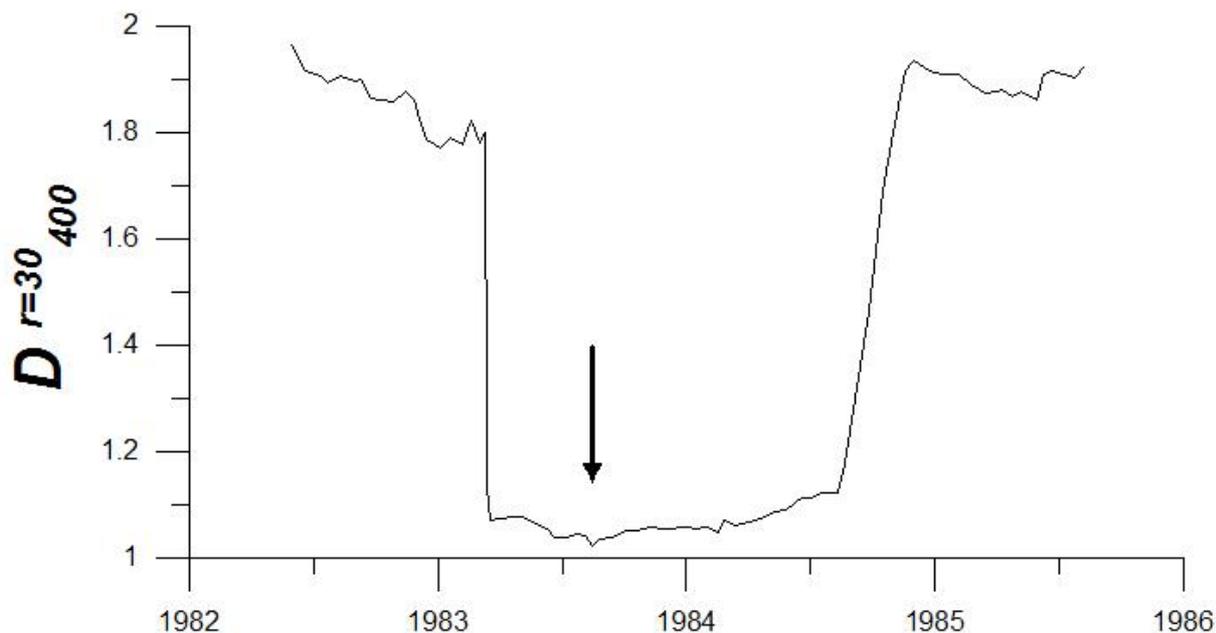


Рис. 6. Изменение величины фрактальной размерности D , вычисленной при $r=30$ км в скользящем окне в 400 землетрясений для зоны: 50-55 град. с. ш., 150-160 град. в. д. Стрелкой обозначено землетрясение 17.08.1983, ($M=7.0$).

Заключение

Применение фрактального анализа к каталогу камчатских землетрясений подтверждает самоподобие сейсмического режима Камчатки в диапазоне от 10 до 40 км. Позволило выделить аномалии во временном ряде величины фрактальной размерности гипоцентрального распределения очагов землетрясений D , предшествующих двум сильным землетрясениям Камчатки. Подобные изменения проявляются вследствие пространственно-временных неоднородностей распределения гипоцентров землетрясений.

Данные аномалии заключаются в резком уменьшении величины D с достижением локального минимума и по истечении определенного времени резким возвратом к первоначальным значениям.

Таким образом, данный метод дает возможность выявить необычную сейсмическую активность, предшествующую сильным землетрясениям Камчатки.

Список литературы

1. Гордеев Е. И., Чебров В. Н., Левина В. И. и др. Система сейсмологических наблюдений // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 11-42.
2. Крылов С. С., Бобров Н. Ю. Фракталы в геофизике. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2004, 138 с.
3. Молчан Г. М. Дмитриева О. Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Современные методы обработки сейсмологических данных (Вычислительная сейсмология Вып 24). М.: Наука, 1991, С. 19-50.
4. Морозов А. Д. Введение в теорию фракталов. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 160с.
5. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М., Наука, 1991, 96 с.
6. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 254с.
7. Murase K. A Characteristic Change in Fractal Dimension Prior to the 2003 Tokachi-oki Earthquake ($M_j=8.0$), Hokkaido, Northern Japan // Earth Planets Space. 2004, № 56, 401-405 pp.