

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНЫХ ДЕФОРМОГРАФОВ КЛАССИЧЕСКОГО ТИПА

Лисовицкий А.С.¹, Московченко Л.Г.^{2,3}

¹*Дальневосточный федеральный университет, Институт Мирового Океана, ДВФУ,
lisovitchkii.as@students.dvfu.ru*

²*Дальневосточный федеральный университет, Институт наукоёмких технологий и
передовых материалов, moskovchenko.lg@dvfu.ru*

³*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет*

В работе проводится мультифрактальный анализ временных рядов микродеформаций земной коры, зарегистрированных лазерными деформографами в сейсмически спокойный и сейсмически активный периоды. Данные лазерного деформографа изучаются для выявления долгосрочных эффектов, связанных с изменениями в земной коре в период подготовки тектонического землетрясения. Для анализа используется метод мультифрактального анализа флуктуаций (MF-DFA).

Земной коре присуще свойство самоорганизованной критичности (СОК), то есть она в своем развитии приходит к такому устойчивому состоянию, для которого характерна фрактальность, когда части объекта подобны целому [1]. Временные ряды микросмещений земной коры отражают это характерное свойство, что и обуславливает важность исследования их фрактальных характеристик.

Обработанные данные были взяты из лаборатории физики геосфер Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева с трех деформографов, расположенных на полигоне «М. Шульца». Деформографы расположены следующим образом: первый ориентирован в направлении С-Ю и находится на песчаном основании; второй – в направлении З-В и находится на песчаном основании; третий аналогичен первому, но расположен на скальном основании [3]. Для анализа выбраны данные, полученные в спокойный в сейсмическом отношении период 01.11.2020–31.01.2021, активный период 15.01.2022–15.03.2022, сразу после которого произошло землетрясение магнитудой 7.3 балла (глубина 41 км, 37.713°N 141.579°E, Япония) и афтершоковый период 16.03.2022–15.03.2022. Полученные данные были дополнительно обработаны процедурой децимации.

Анализ временных рядов проводится с помощью метода MF-DFA, состоящего из несколько этапов [2].

1 этап: Вычислить флуктуационный профиль

$$Y(k) = \sum_{i=1}^k [z(i) - \bar{z}] \quad (1)$$

2 этап: Разделить профиль $Y(k)$ на непересекающиеся сегменты равной длины s . Аналогичная процедура повторяется с противоположного конца.

3 этап: Вычисление локального тренда для каждого из $2N_s$ сегментов с помощью метода наименьших квадратов. Затем определяется дисперсия $F^2(v, s)$

4 этап: Усреднение всех сегментов для получения q -го порядка функций флуктуаций

$$F_q(s) \equiv \left\{ \frac{1}{s} \sum_{v=1}^{2N_s} [F^2(v, s)]^{q/2} \right\}^2 \quad (4)$$

где q – может принимать только действительное значение.

Значение $h(0)$, нельзя определить напрямую, используется логарифмическая усредняющая процедура

$$F_0(s) \equiv \exp \left\{ \frac{1}{4N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} \ln [F^2(v, s)] \right\} \quad (5)$$

5 этап: Определение скейлингового поведения функций флуктуаций путем анализа графиков каждого из значений q , отложенных по осям $F_q(s)$ и s в логарифмическом масштабе. Определение мультифрактальных характеристик (скейлинговые экспоненты, экспонента сингулярности, обобщенные фрактальные размерности)

$$F_q(s) \sim s^{h(q)}; \tau(q) = h(q) * q - 1; h(q) = \frac{d\tau(q)}{dq} \quad (6)$$

В результате была получена серия графиков, описывающих поведение мультифрактальных характеристик временных рядов каждого деформографа в спокойный и активный периоды. На графики добавлены даты и энергии произошедших землетрясений:

$$E = 10^{2.3M+4.8} \quad (7)$$

где E – энергия землетрясения, Дж; M – магнитуда землетрясений.

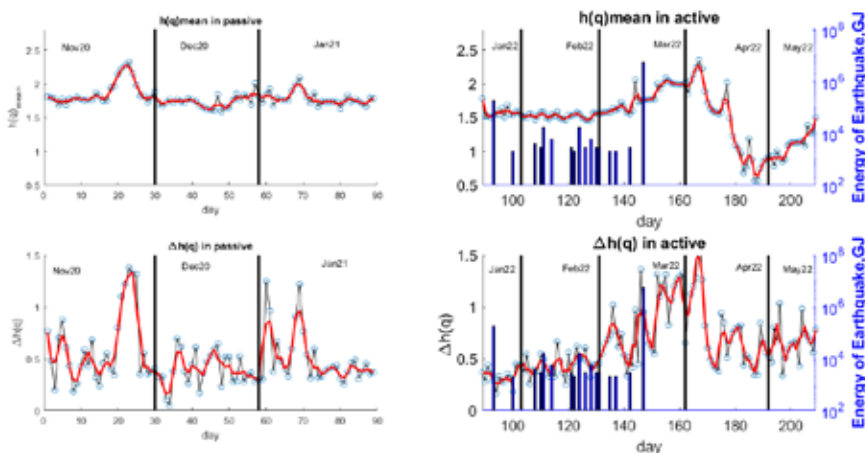


Рис. 1. Фрактальные размерности временного ряда с третьего деформографа

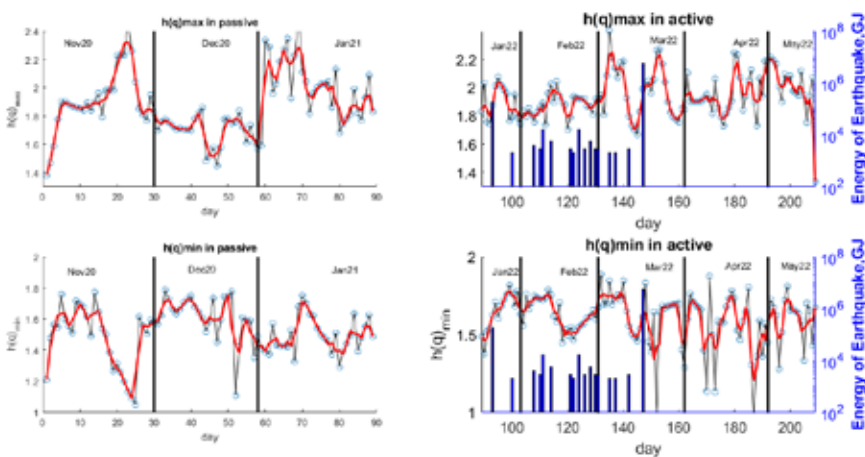


Рис. 2. Фрактальные размерности временного ряда со второго деформографа

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

1. Значения обобщенных фрактальных размерностей уменьшаются перед землетрясением ≥ 7 баллов (рис. 1).
2. Отмечается необычное поведение $h_{q_{\min}}$, $h_{q_{\max}}$ в спокойный период, что, возможно, связано с высокой частотой дискретизации у деформографов в данный период времени.

3. Данные всех трех деформографов демонстрируют снижение hq_{\max} , hq_{mean} и повышение hq_{\min} в активный период относительно спокойного периода.
4. На рисунке 1 можно заметить, что перед сильным землетрясением колебания характеристик становятся минимальными.
5. В период афтершока характеристики hq_{mean} и Δhq интенсивно меняют свою амплитуду, в то время как hq_{\max} и hq_{\min} остаются примерно на том же уровне, что и в активном периоде.
6. Вероятно, большая изменчивость амплитуды характеристик второго деформографа связана с его меньшей длиной базы по сравнению с первым и третьим деформографами.

Выводы, сделанные на основе этих данных, нуждаются в уточнении, для чего необходимо провести расчеты для больших промежутков времени и изучить большее количество землетрясений. Результаты исследования возможно использовать для увеличения прогностической информации о надвигающихся землетрясениях.

Литература

1. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // Phys. Rev. B. 1988. P. 364–374
2. Крылов С.С., Бобров Н.Ю. Фракталы в геофизике. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета. 2004. 132 с.
3. Долгих Г.И., Привалов В.Е. Лазерная физика. Фундаментальные и прикладные исследования. Владивосток: ООО «Рея». 2016. 352 с.