

Самоподобие кластерной составляющей сейсмического потока

А.Б. Дерендяев
ИППИ РАН
wintsa@gmail.com

Abstract

В работе выполнен анализ кластерной составляющей сейсмического потока для регионов Тибета и Чили. Показано, что зависимость логарифма числа кластеров от логарифма количества событий в кластерах является линейной. Это свидетельствует о самоподобии кластерной сейсмичности. Кроме того, показано, что угол наклона данной линейной зависимости совпадает для регионов Камчатки, Японии, Чили и Тибета при различных уровнях значимости и не совпадает для случайных каталогов, обладающих аналогичными статистическими параметрами. Это позволяет говорить о универсальности данного параметра.

1. Введение

Данная работа является развитием [1]. Напомним основные предпосылки. В первом приближении моделью сейсмического потока является маркированный магнитудами пуассоновский процесс. Сами магнитуды, в свою очередь, подчиняются экспоненциальному распределению. Наиболее сильные отклонения от этой модели обусловлены тремя физическими процессами: афтершоковой сейсмичностью, роями землетрясений и кластерной сейсмичностью. В данной работе исследуется только последняя компонента, кластерная составляющая сейсмического потока, которая состоит из последовательности сейсмических событий, подчиненных особым пространственным, временным и энергетическим условиям. Возможность образования кластеров землетрясений в сейсмическом потоке (кроме чисто случайного скопления событий) следует из модели лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ-модель) [2]. Основу ЛНТ-модели составляют два явления, предшествующих землетрясению: взаимодействие полей напряжений трещин и локализация процесса трещинообразования. Считается, что оба эти явления неизбежно происходят перед

разрушением любого материала и горной породы, в частности, при условии длительного действия медленно меняющихся по величине нагрузок.

В данной работе исследуются свойства кластерной составляющей сейсмического потока на примере двух сейсмически активных регионов: Тибета и Чили. Эти регионы выбраны из-за различной пространственной фрактальности: в Тибете преобладает диффузная сейсмичность, из-за чего фрактальная размерность близка к 1.5, а в Чили сейсмичность привязана к линейным разлом вдоль Тихого океана, из-за чего фрактальная размерность близка к 1 [3].

2. Модель кластеризации

Использовалась модель кластеризации, описанная в [1]. Сделаем ее краткое описание. Выделение кластерной составляющей основано на выполнении трех условий. Два события s_1 и s_2 входят в один кластер, если их магнитуды (или энергетические классы)

$$m_2 \geq m_1, \quad (1)$$

расстояние между ними

$$\rho(s_1, s_2) \leq L(s_1) = 3l(s_1), \quad (2)$$

где $l(s_1)$ – длина разрыва в очаге события s_1 , который имеет эмпирическую зависимость от его энергии [4]:

$$l(s_1) = C_e \lg E(s_1) + C_l, \quad (3)$$

где C_e и C_l – константы (обычно принимают $C_e=0.244$ и $C_l=-2.266$), а время между событиями

$$0 < t_2 - t_1 < T(s_1), \quad (4)$$

где $T(s_1)$ – максимальное время между событиями s_1 и s_2 , при этом оно не зависит от энергии s_1 , а только от локальных характеристик сейсмического потока и уровня значимости α .

3. Рандомизированный каталог землетрясений

Модель выделения кластерной составляющей сейсмического потока является вероятностной. Поэтому при любом уровне значимости возможны ошибки пропуска цели и ложной тревоги: в состав кластеров не попадают события, участвующие в подготовке

землетрясения, и в состав кластеров попадают чисто случайные события. Мы не можем контролировать уровень ошибок пропуска цели. Но уровень ошибок ложной тревоги можно контролировать, проводя кластеризацию рандомизированного каталога землетрясений.

Алгоритм генерирования рандомизированного каталога состоит в следующем. Каждое событие каталога определяется тремя параметрами: координатами (x, y) , временем t и магнитудой m . Для определения координат события территория разбивается на непересекающиеся ячейки $k=1, \dots, K$ со стороной g градусов. По реальному каталогу оцениваются вероятности попадания событий в каждую ячейку $\pi(k)$. Для определения координаты случайного события (x, y) сначала с вероятностью $\pi(k)$ выбирается номер ячейки, а затем случайно по равномерному распределению выбираются координаты точки внутри ячейки. Время случайного события t выбирается в соответствии с равномерным распределением на временном интервале естественного каталога землетрясений. Магнитуда случайного события m выбирается в соответствии с вероятностным распределением магнитуд всех землетрясений естественного каталога.

Таким образом, рандомизированный каталог совпадает с реальным каталогом землетрясений по числу землетрясений, продолжительности наблюдений, а также по статистическим характеристикам пространственного распределения землетрясений и их магнитуд.

4. Анализ

Для анализа взято два сейсмически активных региона: Тибет и Чили. Для обоих регионов сила событий измерялась в магнитудной шкале m . Данные для обоих регионов получены с сайта ISC [5]. Кроме этих регионов, использовался анализ Камчатского и Японского региона из работы [1].

По Тибету анализировался каталог землетрясений, полученный с сайта ISC. Параметры каталога: время наблюдений – 1980-2011 гг., число событий 5855, минимальный представительная магнитуда $m=3.7$, наклон графика повторяемости землетрясений $b=0.89$, на периоде наблюдений каталог является однородным. Карта эпицентров землетрясений показана на рис. 1.

По Чили анализировался каталог землетрясений, полученный с сайта ISC. Параметры каталога: время наблюдений 1980-2011 гг., число событий 17839, минимальная представительная магнитуда $m=4.1$, наклон графика повторяемости землетрясений $b=0.92$, на периоде наблюдений каталог является однородным. Карта эпицентров землетрясений показана на рис. 2.

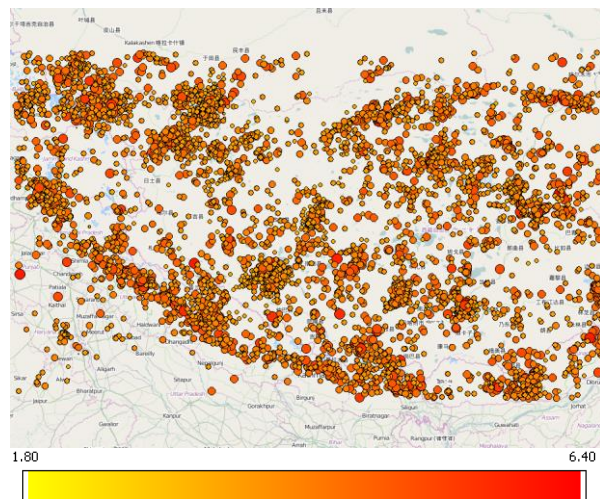


Рис. 1. Карта распределений эпицентров землетрясений Тибета за период 1980-2011 гг. Цвет и размер кружков характеризует энергетический класс землетрясений.

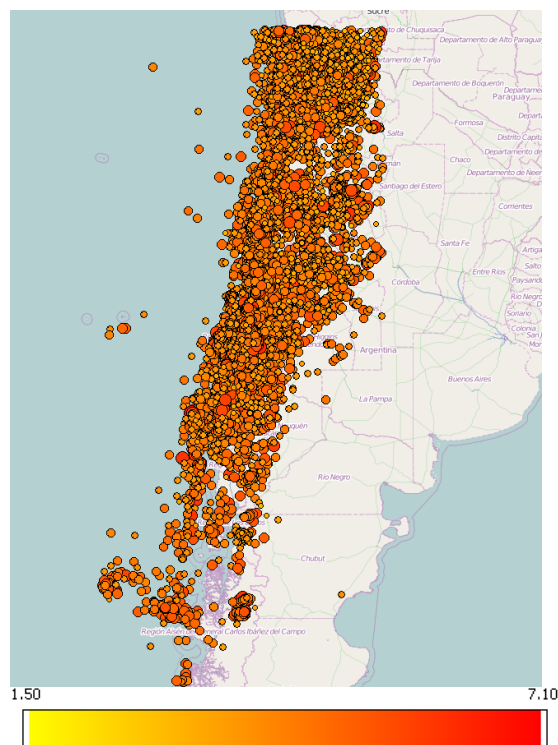


Рис. 2. Карта распределений эпицентров землетрясений Чили за период 1980-2011 гг. Цвет и размер кружков характеризует энергетический класс землетрясений.

На рис. 3 и 4 показаны карты сейсмической активности для магнитуды $m_0=3$ для Тибета и Чили соответственно. Сейсмическая активность оценивалась по эпицентрам землетрясений, попадающим в скользящее окно круга, вписанного в площадь 60×60 км². Значения сейсмической активности оценивались, если в скользящее окно попадало более 16 эпицентров землетрясений.

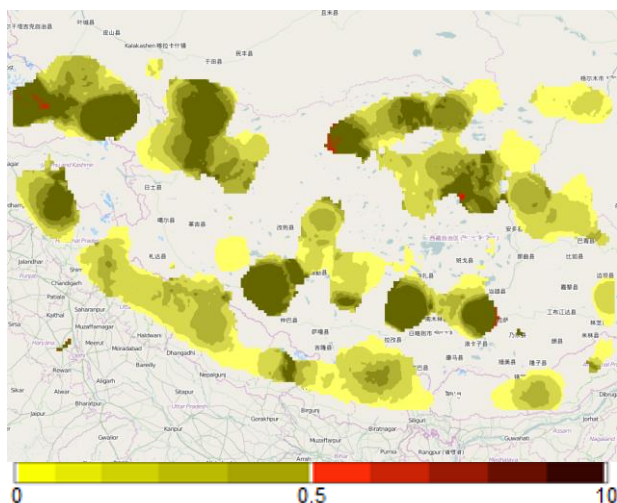


Рис. 3. Карта сейсмической активности Тибета за период 1980-2011 гг. для магнитуды $m_0=3$. На легенде отмечены уровни сейсмической активности.

Для каждого значения строились графики зависимостей логарифма числа кластеров от логарифма числа событий в кластере для реальных и рандомизированных каталогов. В работе [1] на примере больших каталогов Камчатки и Японии показано, что такие зависимости при числе кластеров более 3-5 близки к линейной. Будем предполагать, что для Тибета и Чили эти зависимости так же линейны (пример для Тибета при уровне значимости $\alpha=0.005$ приведен на рис. 5) и будем оценивать их параметры.

На рис. 6 показаны зависимости от уровня значимости α для углов наклона линейного тренда этих графиков, в том числе для регионов Камчатки и Японии из предыдущей работы. Из рисунка видно, что для всех реальных каталогов наклон линейного тренда почти не зависит от уровня значимости, в отличие от случайных каталогов для тех же регионов. Кроме того, этот наклон не зависит от выбранного региона, не смотря на их разные пространственные статистические характеристики, такие как фрактальная размерность. Из этого мы можем сделать вывод, что наклон линейного тренда графика зависимости логарифма числа кластеров от логарифма числа событий в кластере – некий универсальный для Земли параметр сейсмического потока.

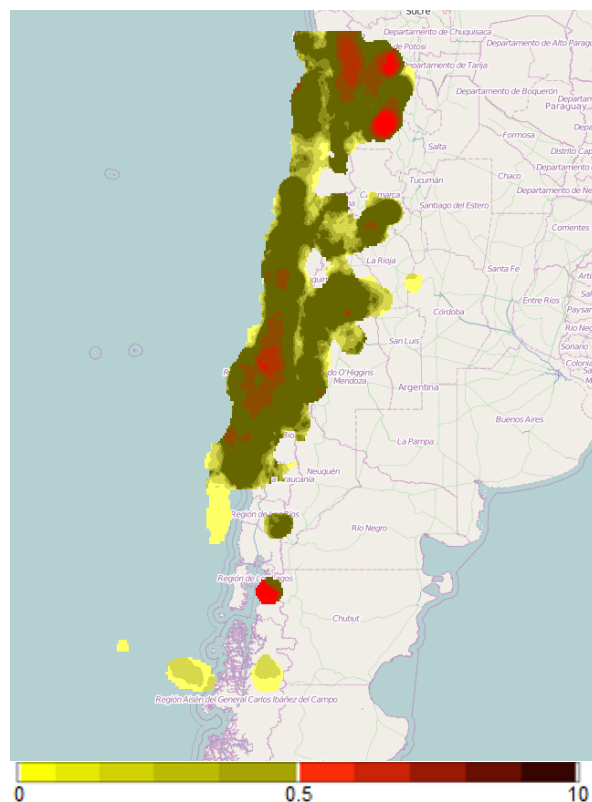


Рис. 4. Карта сейсмической активности Чили за период 1980-2011 гг. для магнитуды $m_0=3$. На легенде отмечены уровни сейсмической активности.

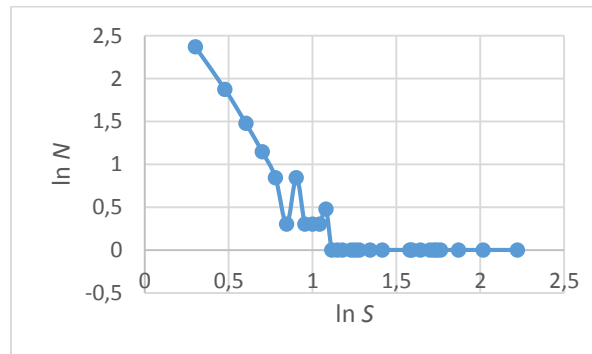


Рис. 5. Зависимость логарифма числа кластеров $\ln N$ от логарифма числа событий в кластере $\ln S$ для Тибета при уровне значимости $\alpha=0.005$.

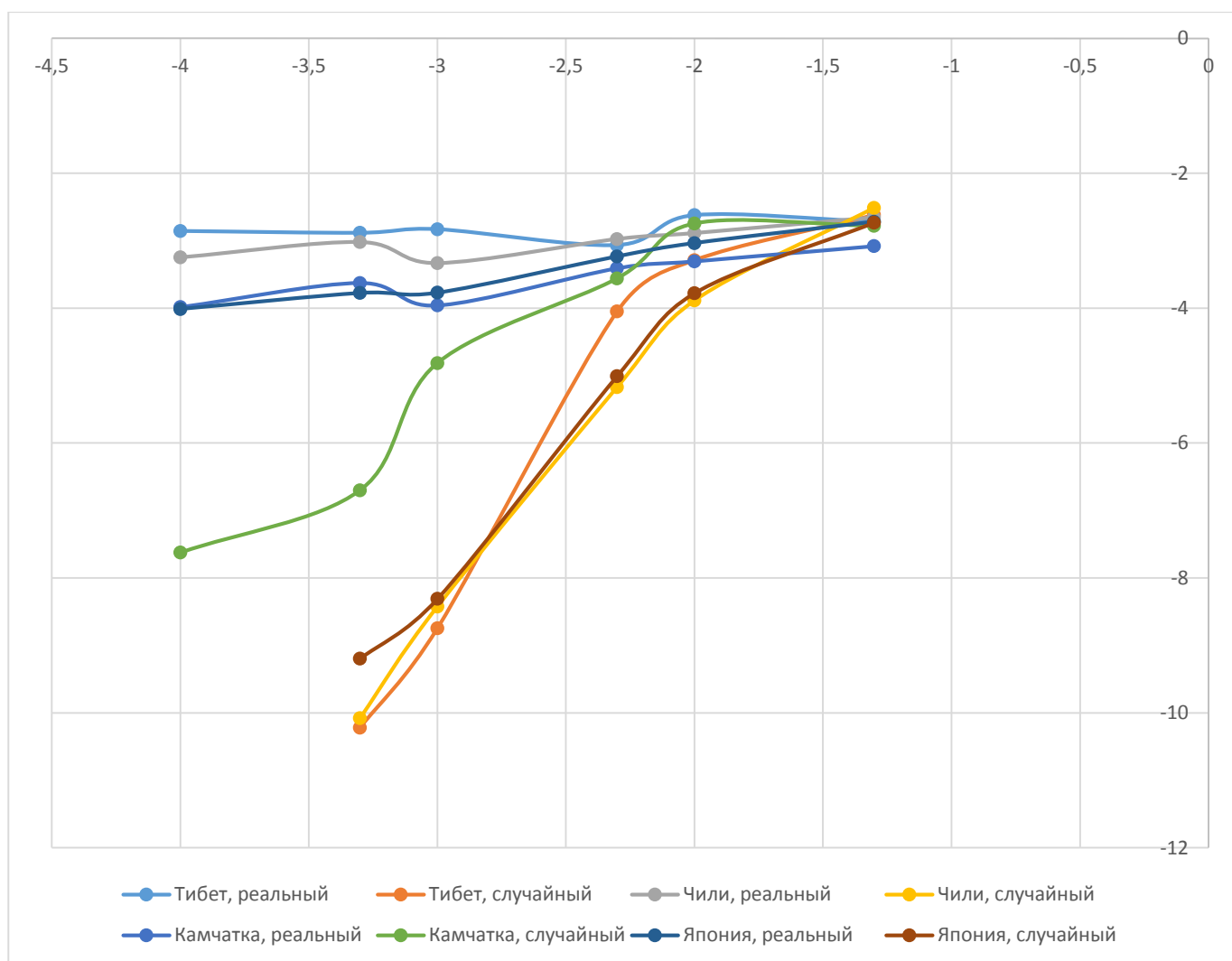


Рис. 6. Зависимость наклона линейного тренда графика $\ln N = \ln N(\ln S)$ от уровня значимости $\ln \alpha$ для каталогов 4 регионов (Тибет, Чили, Камчатка, Япония) и для рандомизированных каталогов тех же регионов.

5. Выводы

В работе выполнен анализ кластерной составляющей сейсмического потока для регионов Тибета и Чили.

Показано, что зависимость логарифма числа кластеров от логарифма количества событий в кластерах является линейной. Это свидетельствует о самоподобии кластерной сейсмичности. Кроме того, угол наклона данной линейной зависимости совпадает в разных регионах при различных уровнях значимости, что свидетельствует об универсальности данного параметра.

References

- [1] А.Б. Дерендяев, В. Г. Гитис, Г. А. Соболев, *Исследование кластерной составляющей сейсмического потока*, Труды Конференции молодых ученых и специалистов ИППИ РАН "Информационные технологии и системы", 2011. ИППИ РАН, стр. 302-310.

- [2] Соболев Г.А., *Основы прогноза землетрясений*. М.: Наука, с. 313, 1993.
- [3] А.К. Некрасова, *Общий закон подобия для землетрясений применение к сейсмически активным регионам мира*, автореферат, М.: МГУ, Физфак (1998), с.8-9.
- [4] Ризниченко Ю.В., *Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент*, Исследования по физике землетрясения, М.: Наука, 1976. С. 9-27.
- [5] International Seismological Centre, *On-line Bulletin*, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2011.