

УДК 519.246.8:534.23:550.344

ОЦЕНКА МАСШТАБОВ ДАЛЬНИХ КОРРЕЛЯЦИЙ ПО СИГНАЛАМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД НА КАМЧАТКЕ*†

**В. Н. Сычёв¹, М. А. Мищенко², С. А. Имашев¹,
М. Е. Чешев¹**

¹ Научная станция РАН, 720049, Бишкек-49, Кыргызстан

² Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с.Паратунка, ул. Мирная, 7, Россия

E-mail: micle@ikir.ru

На Камчатке в пункте комплексных геофизических наблюдений ИКИР ДВО РАН «Карымшина» для регистрации сигналов сейсмоакустической эмиссии на поверхности земли установлен измерительный комплекс. В качестве датчика сигналов используется трехкомпонентный пьезокерамический сейсмоприемник, который регистрирует колебательное ускорение в частотном диапазоне 0.5-400 Гц. Рассмотрен сейсмоакустический отклик на несколько региональных землетрясений с энергетическим классом $K_s > 11.0$ в период 2017-2018 гг. При помощи статистических методов установлено самоподобие их структуры на ограниченном интервале временных масштабов. Это, в свою очередь, указывает на наличие дальних корреляций в рассматриваемой системе и позволяет получить оценку масштабов корреляций.

Ключевые слова: геоакустический шум, структурные функции, автокорреляция, масштабы корреляций, автомодельность

© В. Н. Сычёв и др., 2019

*Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке (тема № АААА-А19-119020190064-9).

†Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН по теме «Динамика физических процессов в активных зонах ближнего космоса и геосфер» (2018-2020) государственной регистрации № АААА-А17-117080110043-4.

Введение

Сейсмотектонический процесс, постоянно протекающий в сейсмоактивных регионах, сопровождается более интенсивным деформированием пород. Изучение отклика геофизической среды на деформирование приповерхностных осадочных пород при различных по величине воздействиях является достаточно актуальным в настоящее время. Сейсмическая волна от землетрясения, при прохождении которой осадочные породы в пункте регистрации испытывают значительные деформации, рассматривается в качестве известного воздействия на геосреду. При этом наблюдается сейсмоакустический эффект – генерация акустических сигналов в результате относительных микросмещений фрагментов пород и их взаимодействий. В данной работе исследования проводятся на основе данных мониторинга сигналов сейсмоакустической эмиссии при помощи трехкомпонентного пьезокерамического сейсмоприемника. При помощи статистических методов проведен анализ сейсмоакустических сигналов, регистрируемых при прохождении сейсмической волны в пункте наблюдений.

Методика наблюдений

Сейсмоакустическая эмиссия регистрируется на Камчатке в пункте комплексных геофизических наблюдений ИКИР ДВО РАН «Карымшина» ($52.83^{\circ}N$, $158.13^{\circ}E$), который расположен в районе Верхне-Паратунской гидротермальной системы Южной Камчатки в зоне пересечения разноранговых тектонических разломов. По результатам буровых и строительных работ приповерхностные породы в пункте наблюдений являются осадочными с толщиной слоя примерно 50 м и имеют фрагментарный состав [1, 2].

Для регистрации сейсмоакустических сигналов используется измерительный комплекс [3] на основе трехкомпонентного пьезокерамического сейсмоприемника. Комплекс разработан и изготовлен в ИС РАН, впоследствии доработан с целью его применения на земной поверхности и предоставлен ИКИР ДВО РАН в рамках совместных исследований. Комплекс установлен на поверхности земли, а сейсмоприемник закреплен сверху на опоре обсадной трубы сухой пятиметровой скважины. На рис. 1 представлена блок-схема сейсмоакустического измерительного комплекса, состоящего из двух соединенных между собой частей: выносной и основной. Выносная часть состоит из датчика сигналов и блока кабельных усилителей, размещается в точке регистрации и соединяется с основной частью с помощью специального многожильного экранированного кабеля длиной 20 м. Основная часть комплекса расположена в измерительном балке на расстоянии 10 м от скважины и включает в себя блок усиления и фильтрации, блок аналого-цифрового преобразования и персональный компьютер.

В качестве датчика сигналов используется трехкомпонентный пьезокерамический сейсмоприемник А-1638 производства ЗАО «Геоакустика» [4]. Сигналы с сейсмоприемника поступают на входы блока кабельных усилителей (БКУ), затем в блок усиления и фильтрации (БУФ), после чего сигналы в частотном диапазоне 0.5–400 Гц поступают на входы блока АЦП, в качестве которого используется аналого-цифровой преобразователь L-CARD E14-140. Таким образом, измерительный комплекс (рис. 1) осуществляет одновременное преобразование в электрический сигнал трех ортого-



Рис. 1. Блок-схема сейсмоакустического измерительного комплекса. Д – датчик сигналов (трехкомпонентный пьезоэлектрический сейсмоприемник), БКУ – блок кабельных усилителей, БУФ – блок усиления и фильтрации (три независимых канала), АЦП – блок аналого-цифрового преобразования, ПК – персональный компьютер

нальных компонент (x, y, z) вектора колебательного ускорения и их регистрацию с частотой дискретизации 1 кГц.

Результаты и обсуждение

В качестве источника данных по характеристикам сейсмических событий использовался каталог региональных землетрясений за 2017–2018 гг., предоставленный Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН. Были проанализированы записи двух землетрясений энергетическим классом $K_s > 11.0$. Ниже в таблице приведены характеристики землетрясений. На рис. 2 указаны эпицентры рассматриваемых событий относительно пункта приёма «Карымшина».

Таблица — Сейсмические события

| Событие | Дата, время | Координаты (Широта, Долгота) | Энеогетический класс (K_s) |
|---------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| №1 | 2018.05.23, 01:37:44.8 | $55.07^\circ N, 162.44^\circ E$ | 14.2 |
| №2 | 2017.12.29, 19:20:45.0 | $50.03^\circ N, 165.70^\circ E$ | 11.5 |

Исследуем наблюдаемые процессы статистическими методами. Для того чтобы описать какой либо процесс, в первую очередь, необходимо определить его функцию распределения. Флуктуации амплитуд случайного процесса описываются гауссовой статистикой или нормальным законом распределения, например, такое распределение будет иметь классическое броуновское движение. Чтобы описать этот процесс, достаточно определить моменты распределения. На практике, как правило, приходится иметь дело с распределениями, которые не всегда описываются нормальным законом распределения. Для описания стохастических временных рядов наиболее подходят статистические методы, в рамках которых исследуются свойства автомодельности этих рядов [5].

Рассмотрим событие №1 (в таблице), зарегистрированное 23.05.2018. На рис. 3а представлена запись этого события геофоном и функция распределения плотности вероятностей, и ее аппроксимация функцией нормального распределения (рис. 3б). Для построения функции распределения плотности вероятностей в качестве параметра выбрана флуктуация безразмерной величины: $(P - \langle P \rangle) / \sigma_P$, где скобки $\langle \rangle$ означают осреднение по времени, $\sigma_P = (\langle P^2 \rangle - \langle P \rangle^2)^{1/2}$ – среднеквадратичное отклонение.

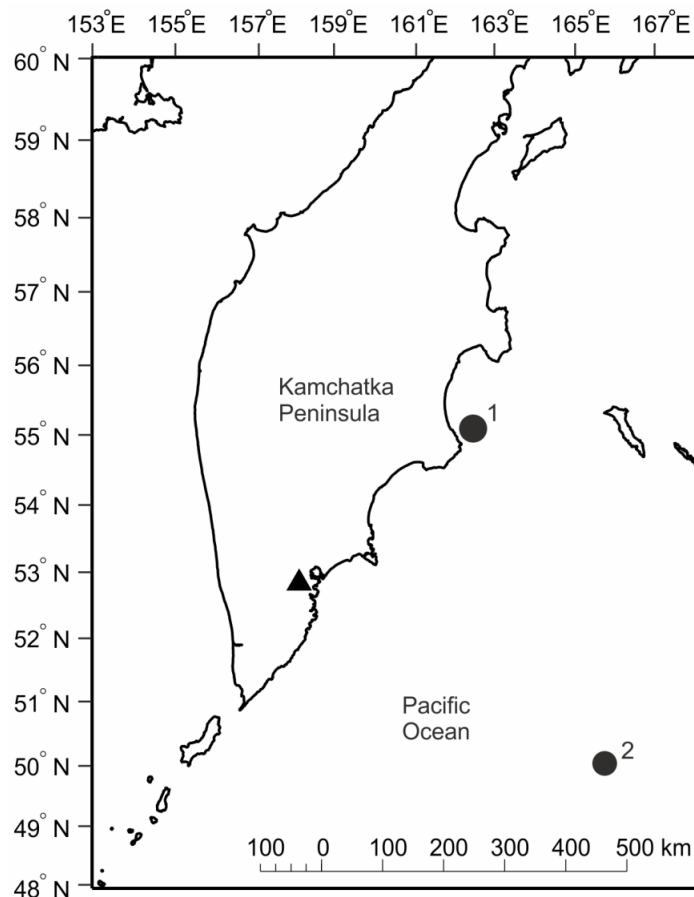


Рис. 2. Карта района исследований. Обозначения: треугольник – пункт «Карымшина»; кружки – эпицентры землетрясений: №1 – $K_s = 14.2$, №2 – $K_s = 11.5$

Как видно, Гауссова функция $f(x) = \exp(-x^2/\sigma^2)$, где σ - стандартное отклонение исследуемых данных, не описывает форму экспериментальной функции распределения. Поэтому для исследования наблюдаемого сигнала геоакустической эмиссии, который сопровождает процесс разрушения при землетрясении, потребуются уже другие законы распределения, способные описывать случайные процессы с памятью и дальними корреляциями.

Для определения характеристик случайных процессов со стационарными приращениями А.Н. Колмогоров ввёл функции, названные структурными [6]. Если случайная функция задана рядом $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, то структурная функция порядка q определяется формулой

$$S(k) = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} |(x_{k+i} - x_i)^q|.$$

В инерционном диапазоне, который много больше диссипативного и много меньше глобального теория Колмогорова А.Н. предсказывает степенной закон зависимости структурной функции (момента порядка q) от масштаба. Согласно гипотезам, выдвинутым Колмогоровым А.Н., в инерционном интервале структурные функции зависят только от масштаба и скорости диссипации энергии [7] и определяют среднее значение возмущений определенного масштаба, который по порядку величины

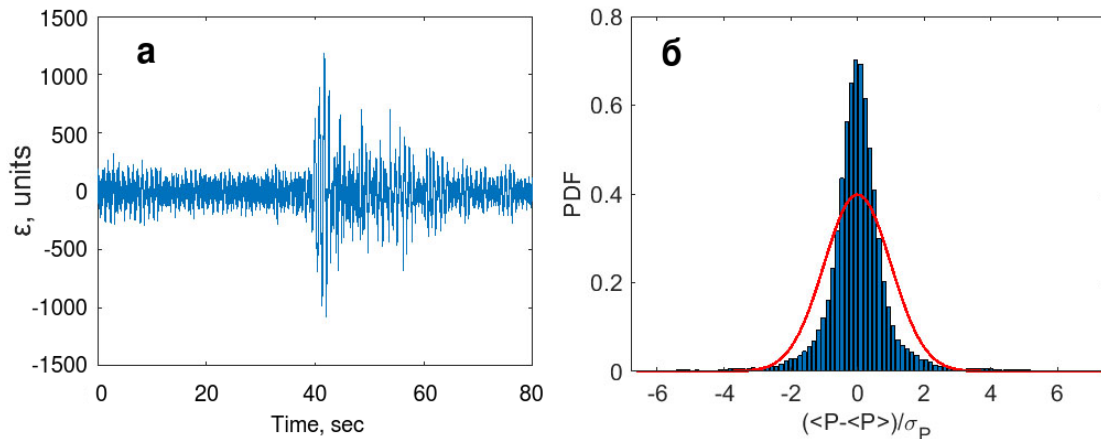


Рис. 3. а) Фрагмент записи сейсмического события (№1 в таблице) с характеристиками: 2018.05.23, 01:37:44.8 GMT, $55.07^{\circ}N$, $162.44^{\circ}E$, $H=56$ км, $K=14.2$, зарегистрированного геофоном в пункте наблюдений «Карымшина». б) Функция распределения плотности вероятностей и функция нормального распределения для этого события.

не превосходит расстояние между двумя точками рассматриваемых полей. Воспользуемся этим свойством для определения возникающих масштабов корреляций.

Так, для записи события №1 (рис. 3а) поведение структурных функций порядка $q=1\div 7$ представлено на рис. 4а. Структурные функции при расчетах нормированы на функцию распределения. На рис. 4б. представлены отношения моментов структурных функций к структурной функции третьего порядка.

На графиках структурных функций присутствуют заметные осцилляции. Каковы бы не были причины происхождения осцилляций, они оказываются коррелированными у структурных функций разных порядков [8]. Графики структурных функций на рис. 4а имеют одинаковую форму. Отношение структурных функций разных порядков к структурной функции третьего порядка обладает линейным участком (рис. 4б), который демонстрирует тривиальную автомодельность, причем степенная зависимость $S_q(t) \sim t_q$ наблюдается только на ограниченном интервале временных масштабов. Для рис. 4а эти времена автокорреляций составляют $\sim 10^{-2}$ сек. Зная скорость распространения сейсмических волн можно перейти к линейным масштабам. Так, для региона Камчатки, значение скорости P -волн изменяется в пределах 5-7 км/сек [9, 10]. Таким образом, линейный масштаб возмущений, зарегистрированный геофоном составляет 50-70 м.

Для оценки масштабов корреляции возможно и использование свойств автокорреляционной функции. Если убывание значения автокорреляционной функции носит линейный или степенной характер, то такие ряды имеют долговременную память [11]. Так, для сигнала на рис. 3а построим автокорреляционную функцию в логарифмическом масштабе (рис. 5).

Из рисунка видно, что поведение функции имеет линейный участок, причем это сохраняется на том же ограниченном интервале временных масштабов, что и на рис. 3. Таким образом, возможно также получение оценок линейных масштабов корреляции. В этом случае оценка полностью совпадает с рассуждениями, приведенными к рис. 3: времена масштабов корреляции определяются на временах порядка $\sim 10^{-2}$ сек, что соответствует линейным масштабам возмущений 50–70 м.

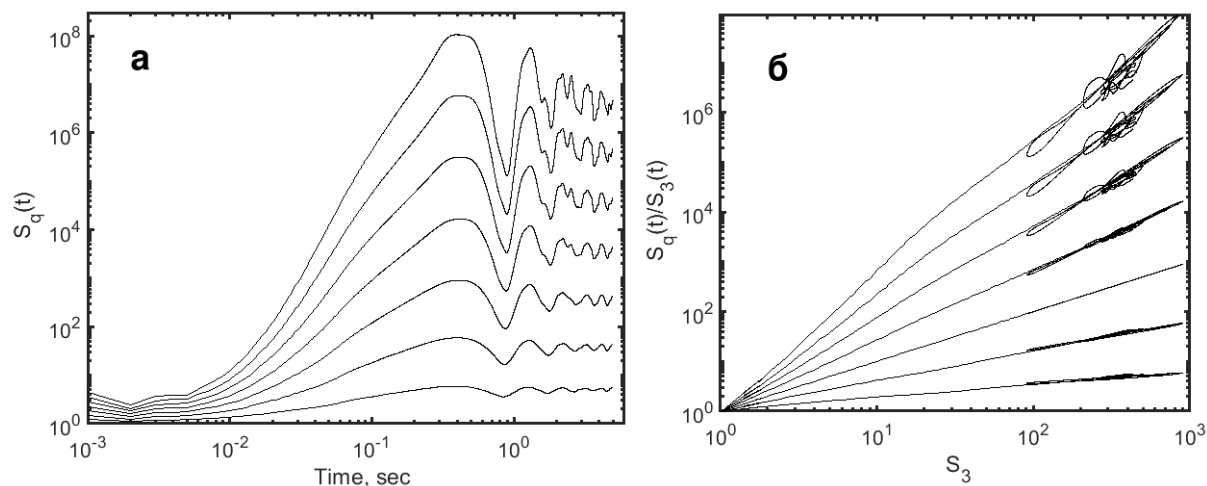


Рис. 4. а) Структурные функции порядка $q=1,2,3,4,5,6,7$ (снизу вверх) для сигнала геоакустической эмиссии рис. 3а. б) Зависимость структурных функций разных порядков $q=1,2,3,4,5,6,7$ от структурной функции третьего порядка.

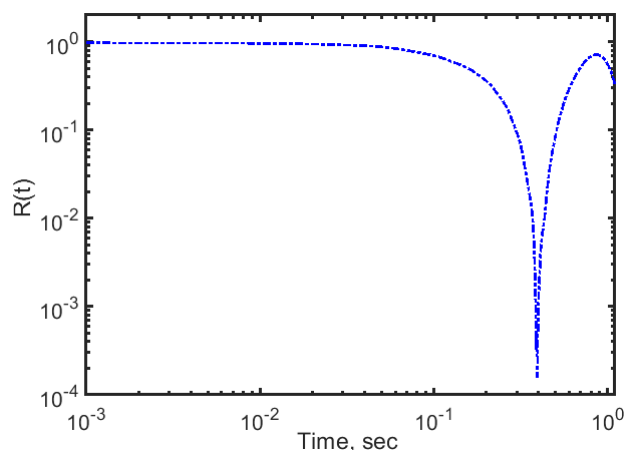


Рис. 5. Автокорреляционная функция для фрагмента записи сигнала на рис. 3а.

Рассмотрим еще одно сейсмическое событие с меньшим энергетическим классом, которое произошло 29.12.2017 (№2 в таблице). Запись геофона, соответствующая этому событию представлена на рис. 6а, а функция распределения плотности вероятностей и функция нормального распределения - на рис. 6б.

Видно, что функция распределения этого сигнала также не описывается Гауссовой функцией. Построим структурные функции для этого сигнала. На рис. 7а показано поведение структурных функций порядков $1 \div 7$ для события №2 в таблице (на рис. 6а). На рис. 7б представлены отношения моментов структурных функций к структурной функции третьего порядка.

Аналогично рассуждениям к рис. 4, можно получить оценку масштабов корреляций для события рис. 6а. Так, линейный участок наблюдается на масштабах порядка 0.005 сек, что соответствует размерам первых десятков метров (20-30).

Таким образом, геофон, установленный в пункте наблюдений «Карымшина», отчетливо регистрирует масштабы деформаций от первых десятков метров. Правомерность сделанных выводов можно проверить по сейсмологическим данным, предоставленным Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН. Землетрясения из таблицы за-

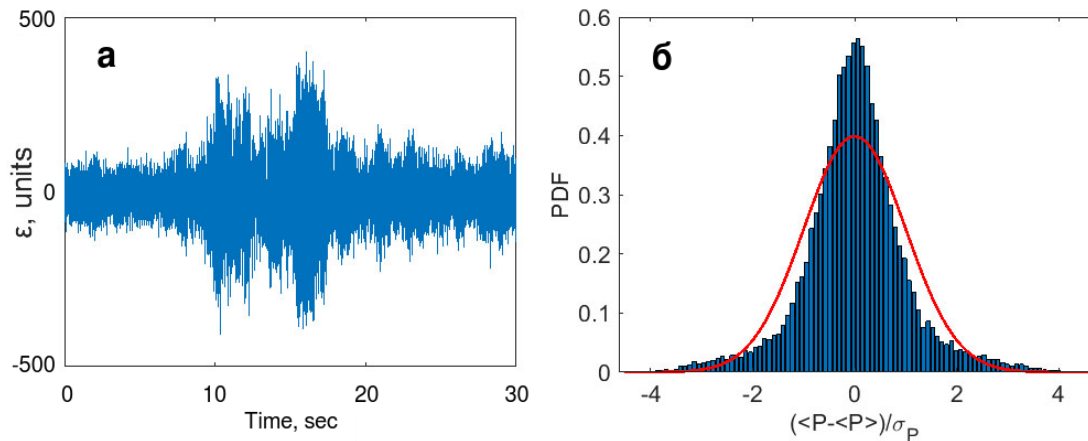


Рис. 6. а) Фрагмент записи сейсмического события (№1 в таблице) с характеристиками: 2017.12.29, 19:20:45.0 GMT, $50.03^{\circ}N$, $165.70^{\circ}E$, $H=97$ км, $K=11.5$, зарегистрированного геофоном в пункте наблюдений «Карымшина». б) Функция распределения плотности вероятностей и функция нормального распределения для этого события.

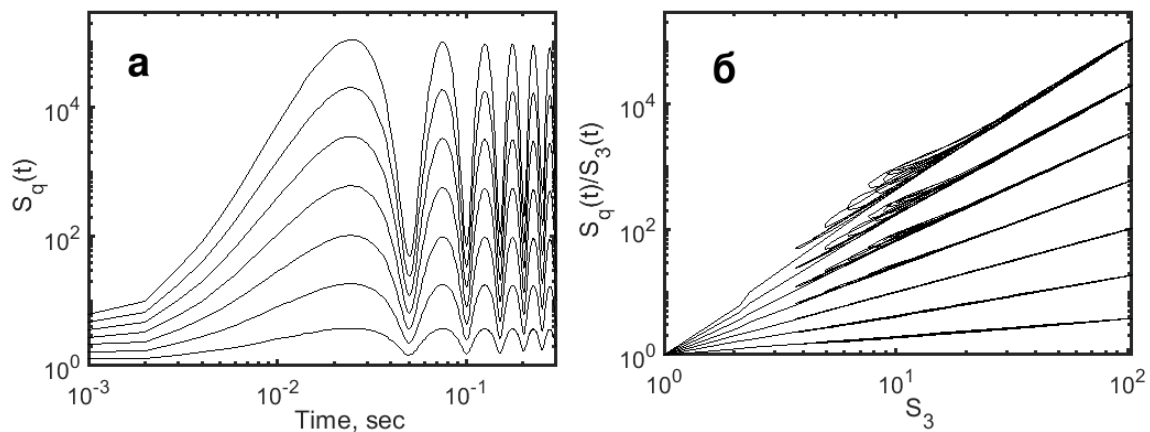


Рис. 7. а) Структурные функции порядка $q=1,2,3,4,5,6,7$ (снизу вверх) для сигнала геоакустической эмиссии на рис. 6а. б) Зависимость структурных функций разных порядков $q=1,2,3,4,5,6,7$ от структурной функции третьего порядка.

регистрированы сейсмологической станцией *KRM*, находящейся вблизи стационара «Карымшина» на расстоянии около 200 метров. Рассмотрим записи компоненты z станции *KRM*. Сейсмограмма события и, соответствующая ей функция распределения плотности вероятностей, изображены на рис. 8а.

Построим структурные функции для этого события, чтобы оценить масштабы корреляций. На рис. 9а показано поведение структурных функций порядков 1÷7 для события рис. 8а. На рис. 9б представлены отношения моментов структурных функций к структурной функции третьего порядка.

Используя те же рассуждения, что и для рис. 4, получаем интервал времен, на котором наблюдается линейный участок, он составляет интервал времен порядка ~ 0.1 сек. При переходе к пространственным масштабам, учитывая скорость распространения звука в регионе, получаем масштабы порядка 600–700 м. Аналогично, для события №2 в таблице, 29.12.2017 линейный участок поведения структурных функций наблюдается на масштабах порядка 0.04 сек, что соответствует размерам

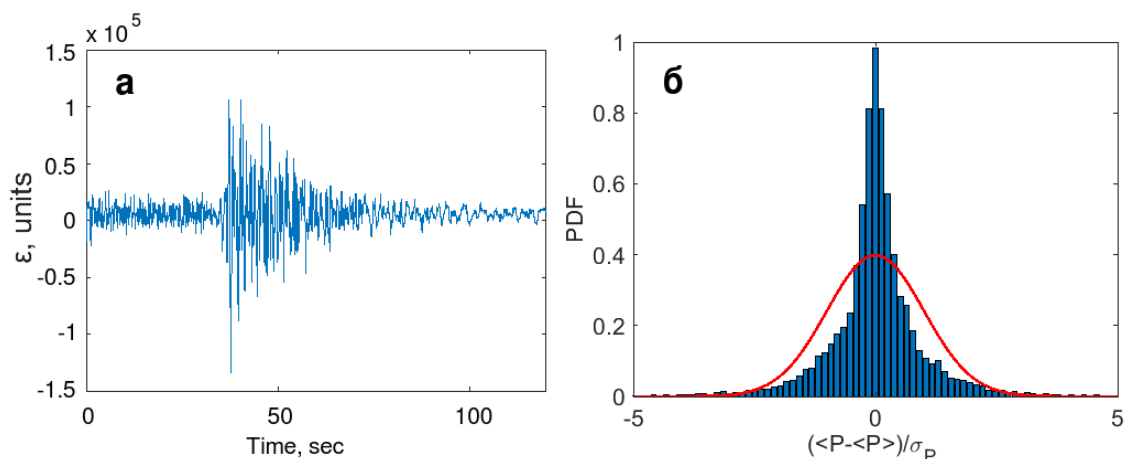


Рис. 8. а) Фрагмент записи сейсмического события (№1 в таблице), зарегистрированного станцией *KRM*. б) Функция распределения плотности вероятностей и функция нормального распределения для этого события.

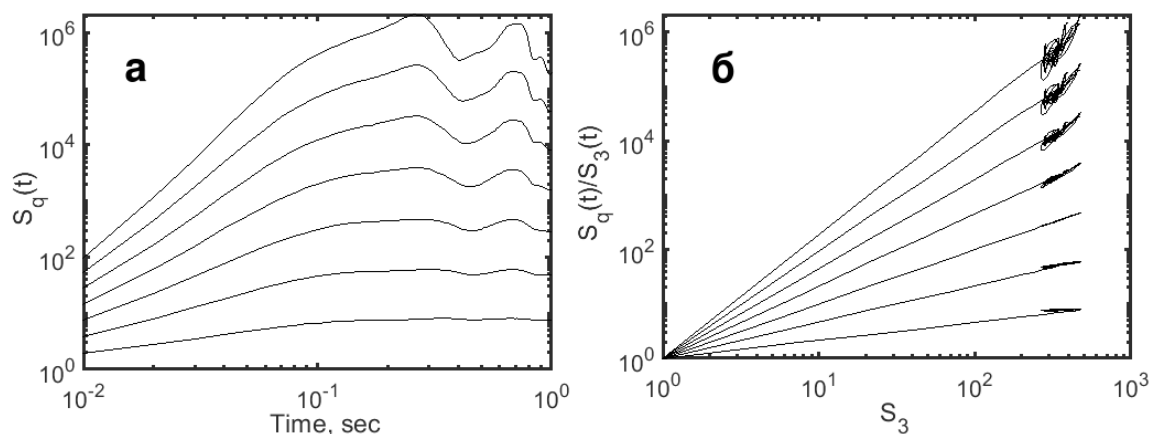


Рис. 9. а) Структурные функции порядка $q=1,2,3,4,5,6,7$ (снизу вверх) события №1 рис. 8а. б) Зависимость структурных функций разных порядков $q=1,2,3,4,5,6,7$ от структурной функции третьего порядка.

первых десятков метров 80–100 м. Для сравнения, длину единичного сейсмогенного разрыва в гипоцентре землетрясения можно оценить по энергетическому классу землетрясения. Так по формуле, приведенной в [12], длина сейсмогенного разрыва составляет: $\lg l_j = aK_j + c$, где K_j - энергетический класс землетрясения.

В разных сейсмоактивных регионах коэффициенты a и c могут иметь различное значение, для большинства регионов при $0 \leq K \leq 20$, рекомендуемые значения $a = 0.244$, $c = -2.266$ [12]. Тогда длина разрыва в очаге для события на рис. 3а (№1 в таблице) составляет ~ 15.8 км, а для события на рис. 6а (№2 в таблице) составляет ~ 3.5 км.

Заключение

При помощи статистических методов зарегистрировано самоподобие структуры сейсмоакустического сигнала, обнаружено свойство автомодельности записей сигналов землетрясений, как свидетельство дальних корреляций и получена оценка

их масштабов. Установлено, что на станции «Карымшина» регистрируются сейсмоакустический отклик приповерхностных осадочных пород на масштабах от первых десятков метров.

Список литературы/References

- [1] Купцов А. В., Ларионов И. А., Шевцов Б. М., “Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений”, *Вулканология и сейсмология*, **5** (2005), 45–59. [Kuptsov A. V., Larionov I. A., Shevtsov B. M., “Osobennosti geoakusticheskoy emissii pri podgotovke kamchatskikh zemletryasenyi”, *Vulkanologiya i seysmologiya*, **5** (2005), 45–59, (in Russian)].
- [2] Муратов П. В. и др., “Электрический и акустический отклик приповерхностных осадочных пород на прохождение сейсмических волн от землетрясений”, *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.*, **25**:5 (2018), 62–73. [Muratov P. V. i dr., “Elektricheskiy i akusticheskiy otklik pripoverkhnostnykh osadochnykh porod na prokhozhdeniye seysmicheskikh voln ot zemletryasenyi”, *Vestnik KRAUNTS. Fiz.-mat. nauki.*, **25**:5 (2018), 62–73, (in Russian)].
- [3] Закупин А. С. и др., “Сейсмоакустические проявления воздействий мощных импульсов тока по данным скважинных измерений на Бишкекском геодинамическом полигоне”, *Физика Земли*, **5** (2014), 105–120. [Zakupin A. S. et. al., “Seismoacoustic responses to high-power electric pulses from well logging data at the Bishkek geodynamical test area”, *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, **50**:5 (2014), 692-706, (English transl.)].
- [4] *Сейсмореприёмники пьезоэлектрические А16*, Руководство по эксплуатации, ЗАО Геоакустика, Москва, 2006, 40 с. [*Seysmopriyomniki p'yezoelektricheskiye A16*, Rukovodstvo po ekspluatatsii, ZAO Geoakustika, Moskva, 2006, 40 pp., (in Russian)].
- [5] Будаев В. П. и др., “Дальние корреляции в структуре фрактальных пленок”, *Письма в ЖЭТФ*, **95**:2 (2012), 84–90. [Budayev V. P. i dr., “Dal’niye korrelyatsii v strukture fraktal’nykh plenok”, *Pis'ma v ZHETF*, **95**:2 (2012), 84–90, (in Russian)].
- [6] Колмогоров А. Н., “Рассеяние энергии при локально изотропной турбулентности”, *ДАН СССР*, **32**:1 (1941), 19–21. [Kolmogorov A. N., “Rasseyaniye energii pri lokal’no izotropnoy turbulentnosti”, *DAN SSSR*, **32**:1 (1941), 19–21, (in Russian)].
- [7] Фрик П. Г., *Турбулентность: модели и подходы*, Институт компьютерных исследований, Москва-Ижевск, 2003, 292 с. [Frik P. G., *Turbulentnost': modeli i podkhody*, Institut komp'yuternykh issledovaniy, Moskva-Izhevsk, 2003, 292 pp., (in Russian)].
- [8] Фриш У., *Турбулентность. Наследие А.Н. Колмогорова*, ФАЗИС, М., 1998, 346 с. [Frish U., *Turbulentnost'. Naslediye A.N. Kolmogorova*, FAZIS, M., 1998, 346 pp., (in Russian)].
- [9] Аносов Г. И. и др., *Глубинное сейсмическое зондирование Камчатки*, Наука, Москва, 1978, 130 с. [Anosov G. I. i dr., *Glubinnoye seysmicheskoye zondirovaniye Kamchatki*, Nauka, Moskva, 1978, 130 pp., (in Russian)].
- [10] Нурмухамедов А. Г. и др., “Границы литосферы на Камчатке по данным метода обменных волн землетрясений”, *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, **29**:1 (2016), 32–52. [Nurmukhamedov A. G. i dr., “Granitsy litosfery na Kamchatke po dannym metoda obmennyykh voln zemletryasenyi”, *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, **29**:1 (2016), 32–52, (in Russian)].
- [11] Яновский Л. П., Буховец А. Г., *Введение в эконометрику: учебное пособие*, КНОРУС, М., 2015, 256 с. [Yanovskiy L. P., Bukhovets A. G., *Vvedeniye v ekonometriku: uchebnoye posobiye*, KNORUS, M., 2015, 256 pp., (in Russian)].
- [12] Ризниченко Ю. В., *Проблемы сейсмологии*, Наука, М., 1985, 480 с. [Riznichenko YU. V., *Problemy seysmologii*, Nauka, M., 1985, 480 pp., (in Russian)].

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Купцов А. В., Ларионов И. А., Шевцов Б. М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. №5. С. 45–59.

- [2] Муратов П. В. и др. Электрический и акустический отклик приповерхностных осадочных пород на прохождение сейсмических волн от землетрясений // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2018. №5(25). С. 62–73.
- [3] Закупин А. С. и др. Сейсмоакустические проявления воздействий мощных импульсов тока по данным скважинных измерений на Бишкекском геодинамическом полигоне // Физика Земли. 2014. №5. С. 105–120.
- [4] Сейсмоприёмники пьезоэлектрические А16. Руководство по эксплуатации. Москва. ЗАО Геоакустика. 402152.004 РЭ. 2006. 40 с.
- [5] Будаев В. П. и др. Дальние корреляции в структуре фрактальных пленок // Письма в ЖЭТФ. 2012. Т. 95. №2. С. 84–90.
- [6] Колмогоров А. Н. Рассеяние энергии при локально изотропной турбулентности // ДАН СССР. 1941. Т. 32. №1. С. 19–21.
- [7] Фрик П. Г. Турбулентность: модели и подходы. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 292 с.
- [8] Фриш У. Турбулентность. Наследие А.Н. Колмогорова. М.: ФАЗИС, 1998. 346 с.
- [9] Аносов Г. И. и др. Глубинное сейсмическое зондирование Камчатки. М.: Наука, 1978. 130 с.
- [10] Нурмухамедов А. Г. и др. Границы литосферы на Камчатке по данным метода обменных волн землетрясений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. №1(29). С. 32–52.
- [11] Яновский Л. П., Буховец А. Г. Введение в эконометрику: учебное пособие. М.: КНО-РУС, 2015. 256 с.
- [12] Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 480 с.

Для цитирования: Сычёв В. Н., Мищенко М. А., Имашев С. А., Чешев М. Е. Оценка масштабов дальних корреляций по сигналам сейсмоакустической эмиссии приповерхностных осадочных пород на Камчатке // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2019. Т. 29. № 4. С. 190-200. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-190-200

For citation: Sychev V. N., Mishchenko M. A., Imashev S. A., Cheshev M. E. Estimation of long-range correlation scales by seismoacoustic emission signals of near-surface sedimentary rocks in Kamchatka, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2019, **29**: 4, 190-200. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-190-200

Поступила в редакцию / Original article submitted: 25.10.2019

DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-190-200

MSC 86A17

ESTIMATION OF LONG-RANGE CORRELATION SCALES BY SEISMOACOUSTIC EMISSION SIGNALS OF NEAR-SURFACE SEDIMENTARY ROCKS IN KAMCHATKA^{1 2}

**V. N. Sychev¹, M. A. Mishchenko², S. A. Imashev¹,
M. E. Cheshev¹**

¹ Research Station RAS, 720049, Bishkek-49, Kyrgyzstan

² Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS,
684034, Kamchatsky Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

E-mail: micle@ikir.ru

A measurement complex is installed on the ground surface at «Karymshina» complex geophysical observation site of IKIR FEB RAS (Kamchatka) to record seismoacoustic emission signals. A three-component piezoceramic seismic receiver, which records oscillatory acceleration in the frequency range from 0.2 to 400 Hz, is used as the signal sensor. A series of seismoacoustic responses on regional earthquakes of 2017-2018 with the energy class $K_s > 11.0$ has been considered. Self-similarity of their structures has been established in a limited interval of time scales by statistical methods. That, in its turn, indicates the presence of long-range correlations in the system under consideration and allows one to estimate correlation scales.

Key words: geoacoustic noise, structural functions, autocorrelation, correlation scales, self-similarity

© Sychev V. N. et al., 2019

¹This work was carried out as part of the state assignment of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Scientific Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek (topic No. AAAA-A19-119020190064-9).

²The work was performed as part of the state assignment of the Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences on the topic “Dynamics of physical processes in the active zones of near space and geospheres” (2018-2020) of state registration No. AAAA-A17-117080110043-4.