

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ АВТОРЕГРЕССИИ – СКОЛЬЗЯЩЕГО СРЕДНЕГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Горовой С.В.^{1,2}, Наумов С.Б.³, В.В. Овчаренко¹

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток

²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

³Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН»

(ФИЦ ЕГС РАН)

GorovoySV@mail.ru

Исследование характеристик сейсмического фона имеет важное значение для анализа сейсмических сигналов землетрясений. Во всем мире продолжают поиски характеристик сейсмического фона, которые можно было бы использовать в качестве предвестников землетрясений, хотя бы за несколько минут до их начала (аналогично сигналам акустической эмиссии, предшествующим, в ряде случаев, обрушению горных пород и разрушению инженерных конструкций). Учитывая, что тектоническим процессам, вызывающим землетрясения, присуща определенная направленность в вертикальной и горизонтальной плоскостях, предвестники землетрясений, воспринимаемые различными сейсмостанциями, могут существенно различаться.

На сейсмических станциях Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (ФИЦ ЕГС РАН) [1] реализована возможность анализа осциллограмм сейсмического фона в реальном масштабе времени, а также синхронной, с точностью не хуже ± 1 мс регистрации сейсмических сигналов всей сети сейсмостанций с целью их последующей совместной обработки [2].

В данной работе описаны результаты оценивания параметров модели авторегрессии–скользящего среднего (АРСС) 1-часового фрагмента записи сейсмических сигналов, зарегистрированных 29.05.2025 сейсмическими станциями Владивосток (VLAR), Мыс Шульца (MSH) и Залив Посьета (PSTR). В этот день, в 04:23:20.8 (время UTC) в Японском море, вблизи побережья Приморского края, было зарегистрировано глубинное землетрясение.

На рисунке 1 показаны осциллограмма и спектрограмма записи вертикальной компоненты сейсмической скорости, зарегистрированной во время данного землетрясения велосиметром СМЗ - ОС (Россия), установленным на сейсмической станции VLAR. Осциллограмма имеет характерный для сейсмических сигналов вид шумовой дорожки с среднеквадратическим значением порядка 0,4 мкм/с, импульс в 941 с длительностью порядка 2 с с амплитудой 40 мкм/с вызван данным землетрясением.

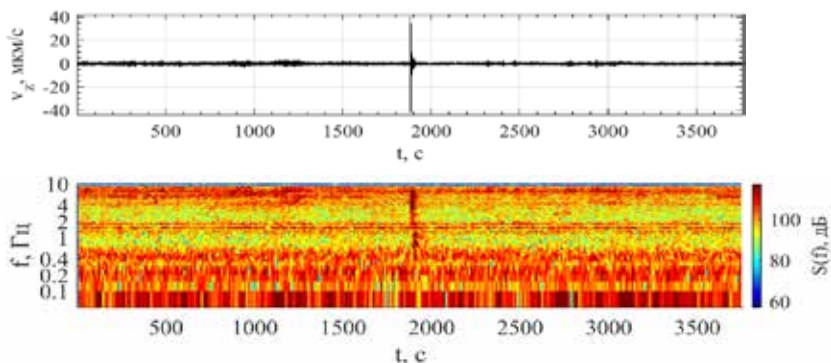


Рис. 1. Осциллограмма и спектрограмма вертикальной компоненты сейсмической скорости во время землетрясения 29.05.2025, зарегистрированного на станции VLAR

На рисунке 2 более детально показана осциллограмма зарегистрированного на станции VLAR сейсмического фона на данном интервале времени. Перед вызванным землетрясением импульсом, вблизи 900 с и 1200 с, наблюдаются возмущения сейсмического фона. Подобные возмущения, но выраженные менее заметно, наблюдаются и на сигналах, зарегистрированных сейсмическими станциями MSH и PSTR.

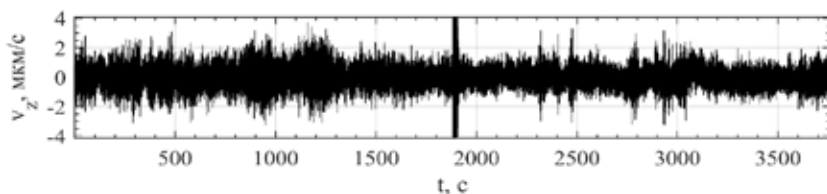


Рис. 2. Детальная осциллограмма вертикальной компоненты сейсмической скорости

Использование моделей авторегрессии (АР), скользящего среднего (СС), авторегрессии–скользящего среднего (АРСС), авторегрессии–интегрированного скользящего среднего (АРИСС) и др. позволяет, в ряде случаев, выявлять свойства случайных процессов, таких как сигналы землетрясений, которые остаются незамеченными при использовании других методов исследования [2]. Модель АРСС(М, N), где значения М и N – определяют порядок составляющих авторегрессии и скользящего среднего, описывается соотношением

$$x(t) = - \sum_{m=1}^M a_m x(t-mT) + \sum_{n=0}^N b_n u(t-nT),$$

где $x(t)$ – моделируемый сигнал, $u(t)$ – возбуждающая последовательность, в качестве которой используется белый гауссовский шум, M – порядок составляющей авторегрессии (АР), N – порядок составляющей скользящего среднего (СС), T – период дискретизации моделируемого сигнала, a_m и b_n – параметры составляющих АР и СС соответственно. Значения величин M и N – определяются исходя из требуемой детализации описания процесса.

На рисунках 3 и 4 показаны результаты расчета зависимости от времени коэффициентов авторегрессии (АР) и скользящего среднего сейсмосигнала, показанного на рисунке 1 для случая, когда $M = N = 6$, а длительность интервалов, использованных для вычисления a_m и b_n составляет 2 с (соответствует длительности основного импульса, вызванного землетрясением).

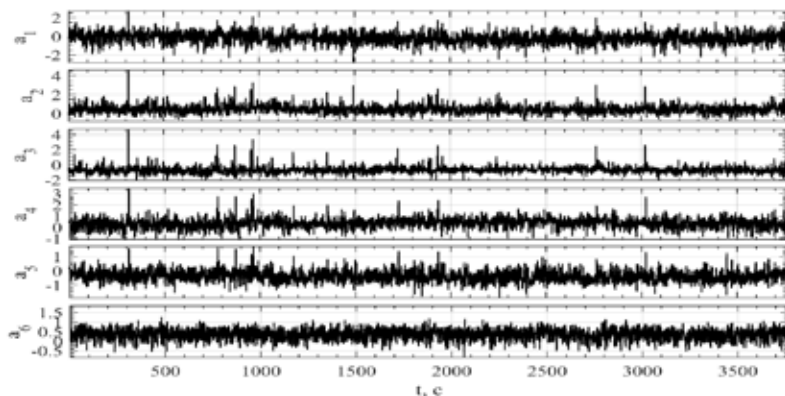


Рис. 3. Зависимость от времени коэффициентов авторегрессии модели АРСС(6,6)

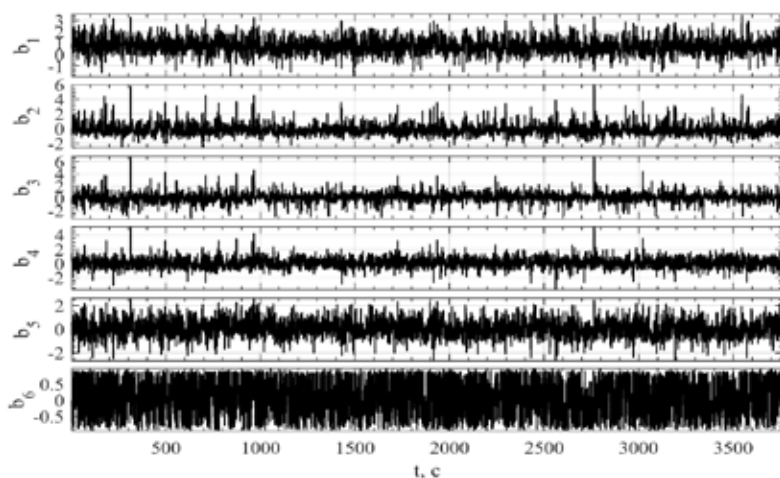


Рис. 4. Зависимость от времени коэффициентов скользящего среднего АРСС(6,6)

Видно, что вблизи 900 с и 1200 с, наблюдаются всплески некоторых параметров a_m и b_n . В меньшей степени всплески параметров АРСС моделей наблюдаются и на сигналах, зарегистрированных сейсмическими станциями MSH и PSTR, что позволяет рассматривать их связь с данным землетрясением.

Меньшая заметность этих всплесков на станциях MSH и PSTR предположительно обусловлена направленными свойствами данных сейсмических сигналов.

Выполненные исследования не позволяют сделать однозначный вывод о наличии или отсутствия связи указанных всплесков с сигналом землетрясения. Тем не менее исследования, необходимые для уточнения этой связи, продолжаются, в том числе на сигналах других землетрясений.

Литература

1. <http://www.gstras.ru/new/news/> проверено 20.06.2025.
2. Горовой С.В., Наумов С.Б., Овчаренко В.В. Корреляция сейсмосигналов, одновременно зарегистрированных разными сейсмостанциями в Приморском крае // Материалы докладов XII Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2021. С. 201-207.
3. Марпл -мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990.