

# Пространственно-временные структуры афтершоковых последовательностей

---

Завьялов А.Д., Зотов О.Д., Клайн Б.И.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

e-mail: zavyalov@ifz.ru

Афтершоки представляют собой яркий пример результата триггерного воздействия на литосферу. При этом в качестве явного триггера выступает главный толчок, запускающий процесс разрядки накопленных тектонических напряжений в локальной области очага, а афтершоки являются элементарными актами этого процесса. Мы исходим из концепции нестационарности горных пород в очаговой области, являющейся ее важнейшим свойством.

Представляемый доклад посвящен результатам изучения особенностей реакции нелинейной динамической системы – очаговой зоны – на триггерное воздействие – главный толчок, и подбору эмпирических формул, описывающих пространственно-временную эволюцию афтершоков. Используются данные мирового каталога землетрясений USGS/NEIC с 1973 по 2014 годы (<https://www.usgs.gov>) и региональных каталогов землетрясений Северной Калифорнии с 1968 по 2007 годы (<http://www.ncedc.org>) и Южной Калифорнии с 1983 по 2008 годы (<https://www.scec.org>).

В работе проведен анализ обобщенных (кумулятивных) пространственных распределений афтершоковых последовательностей, полученных при изучении большого числа главных толчков, в зависимости от магнитуды главного удара. Полученные пространственные распределения по своей форме напоминают закон Омори. Предложены эмпирические формулы, описывающие эти зависимости.

Рассмотрены примеры эволюции афтершоковых последовательностей не только в пространстве, но и во времени. Показано, что после главного удара в очаговой зоне возникает «волна» активизации, которая распространяется от эпицентра главного удара к периферии очаговой зоны. Выполнена оценка скорости распространения такой активизации. В среднем она равна примерно 5-10 км/час.

Показано, что в процессе релаксации накопленных напряжений в очаговой зоне, ее «деактивации», в пространственно-временной эволюции афтершоков наблюдается подобие волновой структуры. Мы полагаем, что одним из возможных подходов для описания такой структуры может быть введение в дифференциальное уравнение эволюции афтершоков диффузионного члена  $D\nabla^2 n$ , где  $D$  – параметр, имеющий физический смысл коэффициента диффузии. В этом случае возникает ассоциация с известным в математике уравнением Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова. В контексте пространственно-временного распределения афтершоков, в котором возникают волновые структуры, обнаруженные нами эмпирически, оно интересно тем, что имеет автомодельные решения в виде распространяющихся нелинейных волн. В двумерной модели уравнения ФКПП естественным образом получает объяснение иногда наблюдаемая переменная скорость распространения «волны» активизации очаговой зоны.

Таким образом, можно заключить, что релаксирующий, «остывающий» очаг - неисчерпаемый источник богатейшей физики.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-00096, а также программ государственных заданий Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.