

ФОРШОКИ КАК ТРИГГЕРЫ КРУПНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. ВЕРОЯТНЫЙ МЕХАНИЗМ ИНИЦИИРОВАНИЯ ГЛАВНОГО ТОЛЧКА

Г. Г. Кочарян*, С. Б. Кишкина

Институт динамики геосфер имени академика М. А. Садовского Российской академии наук, Москва, Россия

**E-mail: gevorgkidg@mail.ru*

Форшоки – сейсмические события, которые происходят перед главным толчком – издавна привлекают внимание как возможные предвестники крупных землетрясений. Известно, что в подавляющем числе случаев то или иное землетрясение определяется как форшок лишь ретроспективно. В силу этого в настоящее время считается, что прогностическая ценность форшоков невелика.

Несмотря на сотни проведенных исследований, остается загадкой, какие именно процессы приводят к инициированию крупных сейсмических событий. Поскольку форшоки надежно регистрируются сейсмическими сетями, они могут служить источниками информации о физических процессах, происходящих в очаговой области на заключительной стадии подготовки крупного землетрясения. Вариации касательного напряжения в будущей области нуклеации главного толчка могут быть следствием эпизодов медленного скольжения, изменения статического поля напряжений в результате косейсмической или постсейсмической подвижки в очагах форшоков, динамического инициирования сейсмическими волнами, изменения порового давления в результате перетоков флюида.

В ходе работы были проанализированы сведения о форшоковых последовательностях некоторых крупных землетрясений, произошедших в разных тектонических условиях (от событий, инициируемых добычей углеводородов в континентальных областях, до меганадвигов в зонах субдукции); выполнены расчеты величин вариаций поля кулоновских напряжений на плоскости, соответствующей механизму главного толчка и основных форшоков; рассчитаны сдвиговые динамические напряжения и деформации в сейсмических волнах, излучаемых при подвижках в очагах сейсмических событий.

Согласно расчетам, значения динамических напряжений, возникающих в зонах гипоцентров основных форшоков и главного толчка от более ранних событий, достигают величин $\sigma_d \sim 3$ Мпа. Оценки деформаций соответствуют $\epsilon \sim 10^{-4}$ отн.ед. Довольно велики и вариации кулоновских напряжений. При этом прямое динамическое воздействие на зону разлома сейсмическими колебаниями от форшоков или от удаленных крупных землетрясений весьма маловероятно ввиду очень малых амплитуд таких колебаний. В качестве вероятного механизма инициирования мы рассматриваем резкое увеличение проницаемости пород в разломной зоне. В результате воздействия сейсмических колебаний, излученных форшоками, в глубоких участках разлома с высоким избыточным давлением флюида может происходить декольматация трещин; что, в свою очередь способно привести к перетокам флюидов и к увеличению порового давления в области зарождения основного разрыва на периферии контактного пятна.

Расчеты показывают, что низкая вязкость флюида на сейсмогенных глубинах способна обеспечить необходимую величину пьезопроводности для наблюдаемых времен между последовательными толчками.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда
(проект № 22-17-00204-П).*

FORESHOCKS AS TRIGGERS OF MAJOR EARTHQUAKES. A PROBABLE MECHANISM FOR INITIATING THE MAIN SHOCK

G. G. Kocharyan*, S. B. Kishkina

Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: gevorgkidg@mail.ru*

Foreshocks – seismic events that occur in a short interval before the main shock – have long attracted attention as possible triggers of major earthquakes. It is known that in the vast majority of cases, an earthquake is defined as a foreshock only retrospectively. Because of this, it is currently considered that the predictive value of foreshocks is low.

Despite hundreds of studies, it remains a mystery which processes lead to the initiation of major seismic events. Since foreshocks are reliably recorded by seismic networks, they can serve as sources of information about the physical processes occurring in the focal area at the final stage of preparation for a major earthquake. Variations in tangential stress in the future of the main shock nucleation region may be the result of episodes of slow sliding, changes in the static stress field as a result of coseismic or postseismic movement in the foci of foreshocks, dynamic initiation by seismic waves, and changes in pore-pressure as a result of fluid flows

In the course of the work, information on the aftershock sequences of some large earthquakes that occurred in different tectonic conditions (from events initiated by hydrocarbon production in continental regions to mega-shifts in subduction zones) was analyzed; the values of variations in the Coulomb stress field on the plane corresponding to the mechanism of the main shock and main foreshocks were calculated; shear dynamic stresses and deformations were calculated in seismic waves emitted during movements in the foci of seismic events. According to calculations, the values of dynamic stresses occurring in the hypocenter zones of the main foreshocks and the main shock from earlier events reach values of $\sigma_d \sim 3\text{MPa}$. Strain estimates correspond to $\varepsilon \sim 10^{-4}$. Variations in Coulomb stresses are also quite large. At the same time, a direct dynamic effect on the fault zone by seismic vibrations from foreshocks or from distant large earthquakes is highly unlikely due to the very small amplitudes of such impacts.

We consider a sharp increase in rock permeability in the fault zone as a probable initiation mechanism. As a result of the impact of foreshocks seismic vibrations, crack decompression may occur in deep sections of the fault with high excess fluid pressure; this, in turn, can lead to fluid overflows and an increase in pore-pressure in the source area of the main rupture at the periphery of the asperity zone.

Calculations show that the low viscosity of the fluid at seismogenic depths is able to provide the necessary amount of piezo conductivity for the observed times between earthquake sequences.