

ВРЕМЕННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ БЕНЬОФФА В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОКРЕСТНОСТИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЕВРАЗИИ

В. Н. Сычев^{1,*}, Л. М. Богомолов¹, М. В. Родкин^{1,2}

¹Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Россия

²Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: koitash@mail.ru

Изменение напряжений и деформаций в земной коре чаще всего приводит к ее реакции в виде землетрясения. Деформационные процессы, протекающие до и после землетрясения традиционно рассматриваются по их отражению в виде количества событий в единицу времени, которое принимают как сейсмическую активность. Форшоковая и афтершоковая активности описываются эмпирическими прямым и обратным законами Омори–Утсу. Рост форшоковой активности эмпирически зачастую пытаются аппроксимировать различного вида возрастающими функциями, которые далее используются для оценок времени сильного землетрясения. Например, предложена модель с построением кинетического уравнения для активности на основе эмпирических последовательностей землетрясений (модель саморазвивающихся процессов, СРП [1]). Эта модель описывает лавинообразное нарастание сейсмической активности на интервале времени непосредственно перед возникновением сильного землетрясения, а также снижение активности при возвращении в состояние покоя.

Интересные результаты продемонстрировали исследования обобщенной окрестности сильного землетрясения (ООСЗ) [2]. Было убедительно показано, что сходство прямого и обратного законов Омори–Утсу распространяется также на аномалии изменения наклона графика повторяемости (средней магнитуды землетрясения) и на ряд других характеристик процесса активизации. При этом все выявляемые в ООСЗ аномалии допускают вполне определенную количественную параметризацию. Естественно, в разных случаях значения параметров соответствующих регрессионных соотношений и такие характеристики, как некое среднее отношение числа фор- и афтершоков, варьируют.

В зарубежных исследованиях предпринимались попытки использовать накопление деформаций Беньоффа для оценок времени до главного события. В данной работе предлагается описать процесс высвобождения сейсмической энергии при форшоках и афтершоках, отраженный в деформациях Беньоффа, с помощью инстантонной модели. Кратко о выборе модели. Инстантон – это решение уравнений, описывающих резкие изменения во времени параметров состояния системы, которое существует только в ограниченное время. В случае уравнения движения инстантон – просто разновидность солитонов. Такие решения получаются в контексте взаимодействий, когда классическая динамика системы в определенные моменты времени может демонстрировать аномальные, мгновенные переходы, например, переходы через энергетические барьеры. Для появления решений инстантонов принципиальным является наличие нелинейности в определяющих уравнениях (в частности, уравнении движения).

Для исследования выбраны сильные землетрясения в различных регионах Евразии: Камчатка, Сахалин, Турция, Япония. Для этих землетрясений построены зависимости суточных приращений деформаций Беньоффа и их возможные аппроксимации инстантонными решениями модельных кинетических уравнений. Показана возможность подбора параметров, для которых достигается приемлемое соответствие эмпирических и теоретических зависимостей в интервале плюс-минус одна неделя от главного события. Этот результат дополняет материалы, представленные на предыдущей конференции «Триггерные эффекты в геосистемах» о возможности применения инстантонной модели для описания активности форшоков и афтершоков [3].

Литература

1. Мальшев А.И., Тихонов И.Н. Нелинейные закономерности развития сейсмического процесса во времени // Физика земли. 2007. № 6. С. 37–51.

2. Родкин М.В. Сейсмический режим в обобщенной окрестности сильного землетрясения // Вулканонология и сейсмология. 2008. № 6. С. 1–12.

3. Богомолов Л.М., Родкин М.В., Сычев В.Н. Инстантонное представление форшок-афтершоковых последовательностей. // Физика Земли. 2025. № 2. С. 43–57.

TEMPORAL DEPENDENCIES OF BENIOFF STRAIN RATE IN SPACE-TIME VICINITY OF STRONG EARTHQUAKES IN EURASIA

V. N. Sychev^{1,*}, L. M. Bogomolov¹, M. V. Rodkin^{1,2}

¹*Institute of marine geology and geophysics, Far Eastern Branch of the Russian academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

²*Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics of Russian academy of sciences, Moscow, Russia*

* E-mail: koitash@mail.ru

Changes in stress-strained state in the Earth's crust most often lead to its reaction as an earthquake. Straining processes occurring before and after an earthquake are traditionally considered by their signatures, as the number of events per time unit (seismic activity). Foreshocks and aftershocks activity is described by the empirical direct and inverse Omori–Utsu laws. The growth of foreshocks is to be approximated by various increasing functions, to estimate thereafter the time of a strong earthquake. For example, a model of self-developing processes is proposed in the form of kinetic equation for activity with solution adjusting with empirical earthquake sequences. This model describes an avalanche-like increase in seismic activity just before the mainshock occurrence.

Interesting results have been demonstrated by studies of the generalized vicinity of large earthquakes (GVLE). It has been convincingly shown that the similarity of the direct and inverse Omori–Utsu laws also applies to anomalies in the slope of the recurrence plot (average earthquake magnitude) and to a number of other characteristics of the activation process. At the same time, all the anomalies detected in the GVLE allow for a well-defined quantitative parameterization. Naturally, the values of the parameters of the corresponding regression ratios and averaged characteristics like foreshocks to aftershocks number ratio vary in different cases.

In foreign studies, they made attempts to use Benioff strains accumulation to estimate the time of the mainshock. In this paper, an instanton model is proposed to describe the process of seismic energy release (the foreshocks and aftershocks) represented as Benioff strains. Briefly about a model selected. An instanton is a solution of equations describing abrupt changes in time in system state parameters, existing only for a limited time. Particularly, for equation of motion an instanton is just a kind of soliton. Such solutions are obtained in the context of interactions, when the classical dynamics of a system at certain points in time may exhibit anomalous, instantaneous transitions, for example, transitions through energy barriers. The nonlinearity in the constitutive equations is fundamental for the appearance of instanton solutions.

Strong earthquakes in various regions of Eurasia were selected for the study: Kamchatka, Sakhalin, Turkey, and Japan. The dependences of daily increments of Benioff strains and their possible approximations by instanton solutions of model kinetic equations are constructed for these earthquakes. The best parameters selection is shown to achieve acceptable correspondence of empirical and theoretical dependencies in the range of plus or minus one week from the mainshock. This result complements the materials presented at the previous conference «Trigger Effects in Geosystems» about use of instantons to describe foreshocks and aftershocks activity.