В.Ф.Давыдов
Московский университет леса

УДК: 550.311, 551.24; 550.34

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Предложена физическая модель формирования очага землетрясения как статически неустойчивой системы, имеющей несколько степеней свободы; рассмотрен механизм процесса и обоснована математическая модель его описания, позволяющая выявить основные физические компоненты для космического мониторинга и прогнозирования землетрясений. Установлено, что перед реализацией динамического явления происходит раскачка объема пород (зоны очага) с распространением сверхнизких (период 3,5-4,5 ч) литосферных волн, по параметрам которых можно установить гипоцентр, магнитуду и время удара.

There has been suggested a physical model of the site of earthquake formation with a statistically instable system that has several degrees of freedom. There was also studied the mechanism of the process as well as the mathematical model of its description was substantiated, the latter making it possible, to reveal basic physical components for outerspace earthquakes monitoring and forecasting. It was established that prior to dynamic phenomenon realization there had been a build-up of rock volume (site zone) with super low lithospheric waves propagation (period of 3.5-4.5 hours) by parameters of which it was possible to determine the hypocentrum, magnitude and shock time.

Из механики известно, что системы с потенциальной энергией, имеющие несколько степеней свободы, статически неустойчивы. К таким системам, несомненно относится очаг землетрясений, так как деформированный объем породы (очаг) не ограничен в своем движении. Накануне главного толчка сила упругой отдачи становится соизмеримой с силой сжатия. Вследствие асимметрии приложения этих сил относительно разлома в земной коре, возникает момент, приводящий к раскачке очага землетрясения. В соответствии со вторым законом Ньютона движение тел под действием восстанавливающей силы носит колебательный характер. Раскачка очага должна сопровождаться распространением от него литосферных волн. Поскольку колебательная масса очага велика, а жесткость породы (как упругой системы) ограничена, колебания происходят очень медленно, с большим периодом T_0. Отследить такой медленноменяющийся процесс используемыми до настоящего момента в сейсмологии измерительными средствами чрезвычайно трудно. Регистрация сигналов с периодами в несколько десятков секунд, является вообще проблематичной, поскольку такой период соизмерим с дрейфом нуля большинства измерительных приборов.

В соответствии с первым законом Ньютона, находясь внутри инерциальной системы, никакими инструментальными методами невозможно установить, находится ли тело в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения. Чтобы достоверно зарегистрировать сверхнизкие литосферные волны, наблюдателя (или измеритель) необходимо расположить вне инерциальной системы. Таким средством измерений являются космические аппараты специально созданной глобальной космической навигационной системы Navstar.

Под воздействием сверхнизких литосферных волн координаты точек на земной поверхности испытывают периодические аномальные отклонения относительно невозмущенного состояния. Эти отклонения (Δx, Δy, Δz) могут быть измерены относительно неподвижной (расчетной по эфемеридной информации) фиксированной в космическом пространстве точки (x_0, y_0, z_0). Амплитуда таких смещений достаточна, чтобы их можно было достоверно зарегистрировать с помощью наземных приемных станций позиционирования (типа Trimble системы Navstar).

Приемные станции Trimble Navigation могут работать в любой системе координат и по любому геоиду в режиме накопления измерений или непрерывной выдачи данных. Точность измерения ±1 см.

Геодеформационные измерения с использованием новейших GPS-технологий проводились в рамках научно-исследовательской работы «Разработка проекта и создание мониторинговой геодеформационной сети в Пятигорском сейсмогенном районе на эпоху до 1995 года» (шифр «Бештау-95»).

Предсказать землетрясение – это значит определить место, время и магнитуду ожидаемого толчка. Является ли выявленный признак-предвестник в виде сверхнизких литосферных волн достоверным?

Движение тел под действием восстанавливающей силы описывается дифференциальным уравнением второго порядка, общее решение которого имеет вид

$$A(t,z) = A_0 e^{\alpha t}\left(C_1 \cos\omega t + C_2 \sin\omega t\right),$$

где амплитуда A_0, частота колебаний ω, коэффициенты C_1, C_2 и α определяются из начальных условий. Очевидно, что начальные условия движения непосредственно связаны с характеристиками очага землетрясения. Осуществляя непрерывно высокоточные измерения координат (Δx, Δy, Δz) земной поверхности в какой-либо удаленной от очага точке, фактически получают решение дифференциального уравнения движения очага для данной точки. В зарегистрированном таким образом сигнале должна содержаться вся информация о предстоящем землетрясении: координаты гипоцентра очага, магнитуда, время главного толчка. Следовательно, сверхнизкие литосферные волны, генерируемые очагом накануне главного толчка, являются устойчивым признаком-предвестником грядущего землетрясения.

Для низких частот трассу распространения литосферных волн можно считать средой недиспергирующей. В недиспергирующей среде фазовая и групповая скорости распространения волн совпадают. Поэтому вектор групповой скорости (т.е. скорости переноса энергии волной), перпендикулярен фазовому фронту в любой точке пространства. Проекции радиуса-вектора переноса энергии волной на оси координат (x, y, z) несут информацию о положении радиуса-вектора в пространстве, а значит и о гипоцентре источника сферических волн, или о положении очага. Известно также, что положение радиуса-вектора в пространстве полностью определяется направляющими ($\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$), для которых справедливо $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$

Из аналитической геометрии известно, что в прямоугольной системе координат, косинус-направляющая вектора равна отношению его проекций на ось к длине вектора. Длина вектора $R = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$ Таким образом, измеряя аномальные отклонения ($\Delta x = x - x_0$, $\Delta y = y - y_0$, $\Delta z = z - z_0$) координат точек положения равновесия от невозмущенного состояния (x_0, y_0, z_0), определяют положение радиуса-вектора точки:

$$\cos\alpha = \frac{\Delta x}{R},\ \cos\beta = \frac{\Delta y}{R},\ \cos\gamma = \frac{\Delta z}{R}.$$

Поскольку приливные волны Луны и Солнца не имеют фазового центра на поверхности Земли, расчетный фазовый центр отождествляют с гипоцентром очага, который находят как точку пересечения радиусов-векторов в пространстве. Для этого необходимо проводить измерения отклонений координат как минимум в двух точках пространства, разнесенных на протяженную измерительную базу.

«Раскачка» очага перед землетрясением подчиняется общим законам генерирования, будь то электрическая, радиотехническая или механическая система. Процесс возникновения и установления колебаний описывается одними и теми же дифференциальными уравнениями, где в качестве начальных условий выступают либо параметры среды, либо параметры электрической цепи.

Одной из характеристик колебательного процесса является время установления колебаний. В проведенном эксперименте зафиксировано, что толчок происходит на интервале времени установления колебаний.

Аналитические соотношения между параметрами колебательного процесса на интервале установления колебаний известны. Время установления колебаний $\tau_{уст}$ связано с добротностью колебательной системы Q и периодом T_0 зависимостью $\tau_{уст} = QT_0$. Добротность колебательной системы очага как объемного резонатора определяет логарифмический декремент затухания, равный отношению амплитуд двух смежных периодов:

$$D = \frac{\pi}{Q} = \ln\frac{A_2(t+T)}{A_1(t)}.$$

Натуральный логарифм отношения амплитуд отклонений двух смежных периодов $\ln A_2 / A_1 = 1{,}43$. Соответственно ожидаемое время удара

$$t_x = \frac{\pi}{D\tau_0} \approx 2{,}2T_0.$$

Частота собственных колебаний механической системы определяется мощностью источника. Чем больше мощность источника, тем выше частота «вибраций». Следовательно, период литосферных волн T_0 должен быть связан с магнитудой ожидаемого землетрясения. Регрессионная зависимость магнитуды от регистрируемого периода сверхнизких литосферных волн представляется соотношением $M \approx 110/T^2$ (в часах).

Таким образом, по параметрам признака-предвестника могут быть рассчитаны характеристики ожидаемого землетрясения.