ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геологиялық сериясы. Известия НАН РК.
Серия геологическая. 2010. №6. С. 47–49

УДК 550.348

А.К. КУРСКЕЕВ[1], *Б.И. ДЕМЧЕНКО*[2]

О ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЗАКОНОВ ПЕРРЕ

Перренің екі заңын біріктіретін интегралдық параметр келтірілген.

Предложен интегральный параметр, позволяющий объединить два закона Перре.

The integrated parameter for combining of two Perrey's laws is discussed.

В результате статистической обработки сейсмических событий с 1750 по 1872 год А. Перре установил два закона, по которым число дней с землетрясениями возрастает до 20% при передвижении Луны от квадратур к сизигиям (I закон) и от апогея к перигею (II закон) [1,7]. В сущности оба закона говорят об одном: вероятность землетрясений повышается при увеличении интегрального приливного воздействия на Землю со стороны Луны и Солнца, причем речь идет только о времени, но не о месте наступления события. Для объединения этих законов необходимо ввести единый параметр, характеризующий степень глобального приливного воздействия, в качестве которого мы выбрали среднеквадратичное (по поверхности Земли) значение приливообразующего ускорения $a_{ср.кв}$.

Под приливообразующим ускорением $\vec{a}$ понимается разность абсолютных ускорений, создаваемых внешним космическим телом (Луной, Солнцем, планетой и др.) на поверхности Земли и в ее центре [2,3]. Пусть $\vec{r} = r\vec{R}$ – геоцентрический радиус-вектор внешнего притягивающего тела, то есть радиус-вектор, направленный из центра Земли в центр масс внешнего тела; $\vec{\rho} = \rho\vec{P}$ – геоцентрический радиус-вектор точки, лежащей на поверхности Земли (радиус-вектор топоцентра); $\vec{d} = d\vec{D}$ – топоцентрический радиус-вектор внешнего тела; $\vec{R}, \vec{P}, \vec{D}$ – соответствующие единичные вектора. В этих обозначениях основное уравнение имеет вид:

$$\vec{a} = \frac{\mu}{d^2}\vec{D} - \frac{\mu}{r^2}\vec{R}, \qquad (1)$$

где μ – гравитационный параметр внешнего тела,

$$\vec{d} = \vec{r} - \vec{\rho}, \quad d^2 = r^2 + \rho^2 - 2r\rho(\vec{R}\vec{P}).$$

Круглыми скобками вида $(\vec{A}\vec{B})$ здесь и далее обозначено скалярное произведение векторов. Раскладывая выражение (1) в ряд по степеням малого параметра $\varepsilon = \rho/r$ и удерживая только члены первого порядка малости, получим:

$$\vec{a} = \frac{\mu\varepsilon}{r^2}\left[3(\vec{R}\vec{P})\vec{R} - \vec{P}\right].$$

Можно показать, что максимальная относительная погрешность этого выражения равна 1.5 ε и в реальных условиях не превышает 3%.

Для шарообразной Земли общее приливное действие Луны и Солнца в линейном приближении дается формулой [4]:

$$\vec{a} = K_m\left[3(\vec{R}_m\vec{P})\vec{R}_m - \vec{P}\right] + K_S\left[3(\vec{R}_S\vec{P})\vec{R}_S - \vec{P}\right], \qquad (2)$$

где $K_m = \mu_m\rho/r_m^3$, $K_S = \mu_S\rho/r_S^3$, индекс 'm' относится к Луне, а 's' – к Солнцу, ρ – средний радиус Земли.

Влиянием планет мы пренебрегаем, так как их суммарный вклад менее 0.01%. Принятые численные значения астрономических констант следующие (XVI съезд МАС, 1976 г. [5]):

$\mu_m = 4.902794 \cdot 10^{12}$ м³/с²,

$\mu_S = 1.32712438 \cdot 10^{20}$ м³/с², $c = 6371.004$ км.

[1]Казахстан. 050060, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 75а, ТОО «Институт сейсмологии», тел. 2694604
[2]Казахстан. 050068, г. Алматы, 68, Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова

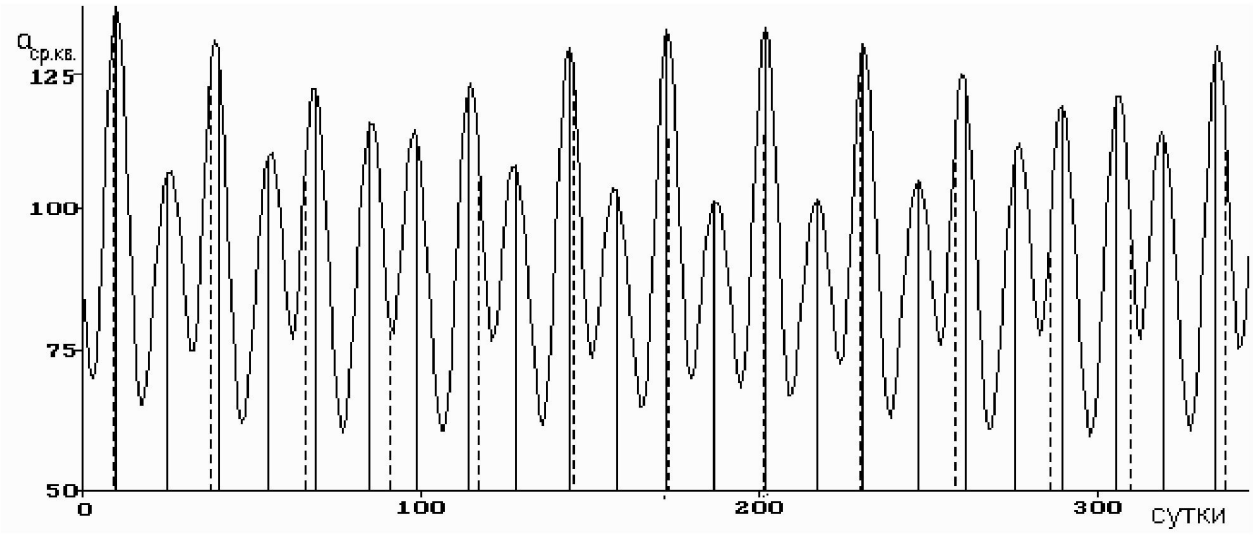

Рис. Зависимость $a_{ср.кв.}$ от времени (в мкгл) для 2009 года.

Из равенства (2) получим формулу для квадрата приливообразующего ускорения:

$$a^2 = (\vec{a}\vec{a}) = K_m^2\left[3(\vec{R}_m\vec{P})^2 + 1\right] + K_S^2\left[3(\vec{R}_S\vec{P})^2 + 1\right] + \\ + 2K_mK_S\left[9(\vec{R}_m\vec{P})\cdot(\vec{R}_S\vec{P})\cdot(\vec{R}_m\vec{R}_S) - \right. \\ \left. -3(\vec{R}_m\vec{P})^2 - 3(\vec{R}_S\vec{P})^2 + 1\right] \quad (3)$$

Усреднение по поверхности Земли можно провести в любой системе координат, так как конечный результат записывается в инвариантной форме. Возьмем, например, сферическую географическую систему координат (r, λ, φ) и связанную с ней прямоугольную систему (x,y,z). Здесь r – расстояние от центра Земли, λ – восточная долгота, φ – северная широта, $x=r\cdot\cos(\lambda)\cdot\cos(\varphi)$, $y=r\cdot\sin(\lambda)\cdot\cos(\varphi)$, $z=r\cdot\sin(\varphi)$. Тогда компоненты единичных векторов запишутся следующим образом:

$\vec{R}_m = (X_m, Y_m, Z_m)$; $\vec{R}_S = (X_S, Y_S, Z_S)$; $\vec{P} = (X, Y, Z)$;
$X_m = \cos(\lambda_m)\cdot\cos(\varphi_m)$; $Y_m = \sin(\lambda_m)\cdot\cos(\varphi_m)$; $Z_m = \sin(\varphi_m)$.
$X_S = \cos(\lambda_S)\cdot\cos(\varphi_S)$; $Y_S = \sin(\lambda_S)\cdot\cos(\varphi_S)$; $Z_S = \sin(\varphi_S)$.
$X = \cos(\lambda)\cdot\cos(\varphi)$; $Y = \sin(\lambda)\cdot\cos(\varphi)$; $Z = \sin(\varphi)$.

Координаты Луны и Солнца (r_m, λ_m, φ_m), (r_S, λ_S, φ_S) входят в выражение (3) как внешние параметры. Они могут быть рассчитаны на любой момент времени по известным астрономическим формулам [6], либо взяты из астрономических ежегодников или календарей. Требуемое среднее значение $\overline{a^2}$ равно:

$$\overline{a^2} = \frac{1}{S}\oint\!\!\oint_S a^2(\vec{P})\cdot dS = \frac{1}{4\pi}\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\cos(\varphi)\cdot d\varphi\int_0^{2\pi} a^2(\lambda,\varphi)\cdot d\lambda,$$

где $S=4pc^2$ – площадь поверхности Земли,

$$dS=c^2\cdot\cos(\varphi)\cdot d\varphi\cdot d\lambda.$$

Этот интеграл вычисляется аналитически. В итоге окончательно получим:

$$\overline{a^2} = 2K_m^2 + 2K_S^2 + 2K_mK_S\left[3(\vec{R}_m\vec{R}_S)^2 - 1\right] \quad (4)$$

Первое слагаемое определяет глобальное приливное действие Луны (при отсутствии Солнца) и соответствует ***второму закону Перре***; второе слагаемое – действие Солнца (при отсутствии Луны) в законах Перре никак не отражено; третье слагаемое это cross-член, он определяет взаимно-коррелированное действие Луны и Солнца, и соответствует ***первому закону Перре***. Вблизи квадратур третье слагаемое становится отрицательным, то есть влияние Луны и Солнца частично взаимно компенсируются.

Аналогичным образом можно рассчитать нормальную a_N и тангенциальную a_T составляющие (для наблюдателя на поверхности Земли – вертикальную и горизонтальную составляющие):

$$\overline{a_N^2} = \frac{1}{S}\oint\!\!\oint_S(\vec{a}\vec{P})^2\cdot dS = \frac{4}{5}\left\{K_m^2 + K_S^2 + \right. \\ \left. + K_mK_S\left[3(\vec{R}_m\vec{R}_S)^2 - 1\right]\right\} = 0.4\cdot\overline{a^2} \quad (5)$$

$$\overline{a_T^2} = \overline{a^2} - \overline{a_N^2} = \frac{6}{5}\left\{K_m^2 + K_S^2 + \right. \\ \left. + K_mK_S\left[3(\vec{R}_m\vec{R}_S)^2 - 1\right]\right\} = 0.6\cdot\overline{a^2} \quad (6)$$

Время в формулы (4) – (6) входит неявно, через координаты Луны и Солнца. Заметим, что, следуя логике законов Перре, землетрясения зимой должны происходить несколько чаще, чем летом, так как Земля находится в перигелии вблизи 4 января, а в афелии в начале июля. Данное обстоятельство в этих формулах учитывается автоматически.

Для примера на рис. показан временной ход величины $a_{ср.кв} = \sqrt{\overline{a^2}}$ за 2009 год в микрогаллах (1мкгл = 10^{-6} см/с^2). Сплошными вертикальными линиями отмечены положения сизигий (новолуний и полнолуний), пунктирными линиями – положения перигеев Луны. Средний период между перигеями равен 27.554 суток (аномалистический месяц), а сизигии следуют через 14.765 суток (половина синодического месяца).

Максимальные значения $a_{ср.кв}$ достигаются при одновременном выполнении трех условий: Луна находится в сизигии и в перигее, а Земля – в перигелии. Соответственно, минимальные значения достигаются при противоположных условиях: Луна в квадратуре и в апогее, а Земля – в афелии.

Численные модельные расчеты показывают, что на тех списках сейсмических событий, где выполняются законы Перре, с изменением $a_{ср.кв.}$ от минимума до максимума количество землетрясение возрастает на 28% – 30%. Таким образом, предложенный параметр достаточно эффективен и может использоваться либо самостоятельно, либо в качестве полезного дополнения к законам Перре.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стовас М. В.* Избранные труды. М., 1975. 155 с.

2. *Дарвин Дж. Г.* Приливы и родственные им явления в солнечной системе. М.: Наука, 1965. 252 с.

3. *Мельхиор П.* Физика и динамика планет / под ред. Н. Н. Парийского. М.: МИР, 1975.Т. 1. 576 с.

4. *Курскеев А. К.* Геофизические неоднородности литосферы. Алматы: Гылым, 1996. 168 с.

5. *Жаров В. Е.* Сферическая астрономия. Фрязино: ГАИШ, 2006. 480 с.

6. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике / Под ред. Г. Н. Дубошина. Изд. 2. М.: Наука, 1976. 864 с.

7. *Perrey A.* Comptes Rendus des seances de l'Academie des sciences. T.81. № 16. 1875.