УДК 550.343

О ВОЗМОЖНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ И НЕРАВНОМЕРНОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ *

Цурко И.А. – Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. Проанализирована с точки зрения теории вероятности устойчивость связи между вариациями вращения Земли и ее сейсмичностью. Показано, что между землетрясениями и неравномерностью вращения Земли имеется прямая и довольно сильная связь. Следовательно, на основе вариаций вращения Земли возможно определение начала сейсмического события за 48 - 120 часов до его наступления, что позволяет говорить о возможности краткосрочного прогноза.

Неравномерность вращения Земли, сейсмичность, краткосрочный прогноз.

ABOUT POSSIBLE CONNECTION BETWEEN EARTHQUAKES AND NON-UNIFORMITY OF ROTATION OF THE EARTH

Tsurko I.A. – Urals State Mining University, Yekaterinburg

Abstract. Stability of communication between variations of rotation of the Earth and its seismicity is analysed from the point of view of the theory of probability. It is shown, that between earthquakes and non-uniformity of rotation of the Earth there is direct and strong enough communication. Hence, on the basis of variations of rotation of the Earth probably definition has begun seismic event for 48 - 120 hours before its approach that allows to speak about possibility of the short-term forecast.

Non-uniformity of rotation of the Earth, seismicity, the short-term forecast.

Введение

Ежегодно на Земле происходит около миллиона землетрясений, но большинство из них так незначительны, что они остаются незамеченными в повседневной жизни. Действительно сильные землетрясения, способные вызвать обширные разрушения, случаются на планете примерно раз в две недели. Возможный прогноз землетрясений позволил бы избежать значительных как материальных, так и человеческих потерь.

Необходимым условием возникновения тектонического землетрясения является напряженное состояние земной коры, которое вызывается деформированием литологического блока или литологической плиты. Достаточным условием можно считать появление некоторой внешней силы, которая спровоцирует сброс напряжения. Таким образом, для краткосрочного прогноза необходимо определить эту внешнюю силу и сопоставить с информацией о напряженных состояниях планеты. Разница в величине энергии землетрясений (самое мощное – порядка 10^{17}-10^{18} Дж) и энергии вращения Земли (по различным оценкам 10^{30}-10^{32}Дж) составляет почти пятнадцать порядков. При этом вариации энергии вращения Земли сопоставимы с энергией землетрясения. Учитывая это, можно сделать предположение, что кратковременное изменение скорости вращения планеты является достаточным условием для возникновения землетрясения (Уткин, Цурко, 2010).

В качестве обрабатываемого материала использовались данные сейсмического каталога NEIC и каталога точного времени IERS за 2000 и 2010 годы.

Исходные данные

При проводимых исследованиях была изучена плотность землетрясений за указанные годы. В подсчет вошли все сейсмические события с магнитудой большей или равной 5 (M≥5) и глубиной эпицентра менее 70 км, в том числе повторяющиеся в одном и том же эпицентре, с небольшим временным интервалом, поскольку сейсмические события с магнитудой менее 5 наносят существенно меньший ущерб.

Среднее число крупных землетрясений (M>5) в день с 2000 по 2010 гг. увеличилось (рис. 1, цветная вкладка). Среднее же число всех землетрясений остается на прежнем уровне. При произведенных расчетах выяснилось, что фоновым значением можно считать 4–5 крупных землетрясений в день. В период с 2000 по 2003 гг.

* Публикуется в порядке обсуждения

среднее число колеблется около фонового. Но уже с 2004 г. можно выделить несколько пиков. Причем они распределены неравномерно, большая их часть расположена в начале и конце года. Эти пики, судя по всему, связаны афтершоковыми процессами после крупных землетрясений. Так как при рассмотрении исходных данных можно выделить дни с повышенным числом землетрясений, можно заметить, что в эти же дни происходили особо крупные землетрясения. Например, 26 декабря 2004 г. на Суматре произошло катастрофичное землетрясение с магнитудой 9. Число землетрясений 26.12.2004 равно 143, а 27 декабря – 49 и т.д. Таким образом, среднее число землетрясений в день за декабрь получилось равным 11. На рис. 1 также можно увидеть место и магнитуду землетрясений, к которым приурочены пики модели.

Поскольку планета вращается неравномерно, то в точках изменения направления ускорения генерируется достаточно мощный механический импульс, который воздействует на земную кору и вызывает сброс накопленной упругой энергии.

На графике (рис. 2), отражающей величину вариаций вращения, можно отметить несколько характерных точек, отмеченных треугольниками. В указанных точках существенно изменяется направление вращательного ускорения. Как видно из графика, обязательно после начала изменения вращательного ускорения, в течение 2–6 дней, происходит землетрясение с магнитудой больше 6. Землетрясения же с меньшей энергией зачастую являются фоном и не подчиняются указанному взаимодействию с неравномерностью вращения Земли. Поэтому из дальнейших расчетов было решено убрать землетрясения с магнитудой меньшей 6.

Обобщение полученных данных представлено на рис. 3 (цветная вкладка) в виде трехмерной модели, представляющей число землетрясений в зависимости от величины входного возмущающего сигнала и времени реакции среды (времени между входным возмущающим сигналом и моментом землетрясения). Например, на второй день после смены знака ускорения вращения происходит до 20 событий в сутки, на 6 день – не более 9. Для предварительной оценки возможного прогноза тектонического события были выбраны следующие прогнозные величины: а) ускорение между двумя точками смены знаков вариаций в пределах от 0,3 до 0,6 мс/сут (величина изменения длины суток LOP в мс/сут строго пропорциональна величине изменения скорости вращения Земли);
б) запаздывание тектонического события относительно момента смены знака ускорения равно 2–6 суткам, то есть землетрясение должно произойти в течение указанного времени запаздывания.

Таким образом, был определен интервал, в течение которого должно произойти землетрясение. Для дальнейших расчетов была сделана выборка из каталога землетрясений с магнитудой более 6, поскольку на

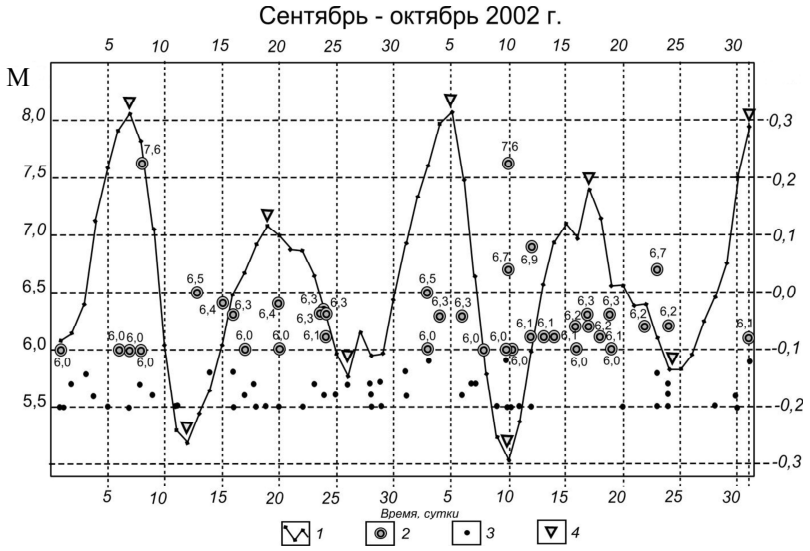

Рис. 2. Связь между вариациями вращения Земли и магнитудами землетрясений в сентябре–октябре 2002 года: 1 – график вариации вращения Земли, мс/сут; 2 – землетрясения с M≥6; 3 – землетрясения с 5,5≤ M<6; 4 – точки изменения направления ускорения

инициализацию землетрясений с меньшей энергией могут влиять и другие факторы. Далее были построены графики зависимости между вариациями вращения Земли и числом землетрясений в день, на которые были наложены прогнозные интервалы по выше изложенной методике. Пример этих графиков показан на рис. 4 (цветная вкладка). Для оценки правильности методики необходимо определить вероятность правильного прогноза и ложной тревоги, а также вычислить коэффициент корреляции.

При обработке данных за 2000–2010 гг. было подсчитано, что вероятность крупного землетрясения в прогнозный интервал равна 73 %, а в «непрогнозный» – 27 %. Время тревоги составляет 47 % от исследуемого времени.

Следующим этапом является: выявление связи между землетрясениями и неравномерностью вращения Земли, при двухразрядной группировке (Шарапов, 1965).

Методика обработки данных и результаты

На основе полученных данных оценку связи числа землетрясений и неравномерности вращения Земли проведем следующим образом. Обозначим событие, заключающееся в том, что произойдет землетрясение, через A, а через B – прогнозный интервал. Отсутствие признака A обозначим через α, а отсутствие признака B через β. Пусть общее число рассматриваемых объектов будет N, а число тех объектов, которые обладают признаком A, обозначим (A), признаком B – (B), α – (α), β – (β). Число объектов, обладающих признаками A и B одновременно, обозначим (AB) и т.д.

В случае отсутствия какой бы то ни было связи между двумя качественными признаками A и B имеет место равенство (Шарапов, 1965):

$$\frac{(\grave{A}\hat{A})}{(\hat{A})} = \frac{(\grave{A}\beta)}{(\beta)} \ . \qquad (1)$$

Согласно принятой модели были выбраны прогнозные интервалы (B=476, β=475), за 2000–2010 гг. в них попало 979 землетрясений из 1349. В нашем случае A – землетрясение, α – отсутствие землетрясения, B – прогнозный интервал, β – «непрогнозный» интервал. Сочетание признаков будет равно: (AB) = 979, $(A\beta)$ = 370, (αB) = 89, $(\alpha\beta)$ =312.

Чтобы узнать, есть ли связь землетрясений с прогнозными интервалами, подставим в формулу (1) полученные значения. При этом оказывается, что

$$\frac{(\grave{A}\hat{A})}{(\hat{A})} = \frac{979}{476} = 2{,}06 \ ;$$

$$\frac{(\grave{A}\beta)}{(\beta)} = \frac{370}{475} = 0{,}78 \ .$$

Таким образом $\frac{(\grave{A}\hat{A})}{(\hat{A})} > \frac{(A\beta)}{(\beta)}$,

значит признаки A и B нельзя считать несвязанными друг с другом (Шарапов,1965).

Полная связь (положительная или отрицательная), как и отсутствие связи, на практике встречается очень редко. Чаще всего мы имеем неполную связь (положительную или отрицательную). Реальное количество связанных признаков A и B (α и β, α и B, A и β) почти всегда находится где-то в промежутке между двумя границами, из которых одна означает отсутствие связи, а другая – полную положительную или полную отрицательную связь. Степень близости реальной связи ко второй из этих двух границ характеризует силу связи. При этом связь бывает тесная или сильная и нетесная или слабая.

Силу связи можно измерить с помощью коэффициента связи (Юл, Кендалл, 1960). Значения этого коэффициента укладываются в пределы от 0 до ±1. При этом нуль указывает на отсутствие связи, единица – на полную связь, а все прочие значения – на неполную связь. Были рассчитаны два коэффициента связи. Первый из них, известный по (Юл, Кендалл, 1960) как коэффициент устойчивой связи, равен:

$$Q = \frac{(AB)\cdot(\alpha\beta) - (A\beta)\cdot(\alpha B)}{(AB)\cdot(\alpha\beta) + (A\beta)\cdot(\alpha B)} \ ; \qquad (2)$$

Другой коэффициент, известный как коэффициент взаимосвязанности или коэффициент коллигации (Юл, Кендалл, 1960), равен:

$$Y = \frac{1 - \sqrt{\frac{(A\beta)\cdot(\alpha B)}{(AB)\cdot(\alpha\beta)}}}{1 + \sqrt{\frac{(A\beta)\cdot(\alpha B)}{(AB)\cdot(\alpha\beta)}}} \ . \qquad (3)$$

Ввиду того, что каждый коэффициент имеет свои достоинства и недостатки, рекомендуется пользоваться тем и другим одновременно. По приведенным выше формулам вычисляем:

$$Q = \frac{979 \cdot 312 - 370 \cdot 89}{979 \cdot 312 + 370 \cdot 89} = 0{,}89;$$

$$Y = \frac{1 - \sqrt{\frac{370 \cdot 89}{979 \cdot 312}}}{1 + \sqrt{\frac{370 \cdot 89}{979 \cdot 312}}} = 0{,}51.$$

По полученным значениям коэффициентов связи – оба коэффициента более 0,5 – можно сделать вывод, что связь между количеством землетрясений и прогнозными интервалами положительная и сильная, а это показывает надежность наших данных по предсказанию землетрясения.

Также связь двух качественных признаков друг с другом, их зависимость друг от друга, можно измерить коэффициентом корреляции. Коэффициент корреляции двух зависимых друг от друга событий или качественных признаков *A* и *B* при независимых испытаниях имеет следующий вид (Шарапов, 1965):

$$r = \frac{(AB) \cdot (\alpha\beta) - (A\beta) \cdot (\alpha B)}{\sqrt{(A) \cdot (\alpha) \cdot (B) \cdot (\beta)}} \quad . \qquad (4)$$

Этот коэффициент четко устанавливает связь признаков. В нашем случае коэффициент корреляции $r = 0{,}78$. Полученное число – положительное и не малое (существенно больше 0,5). Поэтому предположение о связи признаков *A* и *B* не опровергнуто. Для окончательного принятия этого предположения необходимо еще проверить реальность полученного значения выборочного коэффициента корреляции.

Для решения вопроса о том, насколько реально значение коэффициента корреляции и не определено ли оно одними только случайностями, рекомендуется (Чупров, 1926) вычислить среднюю квадратичную ошибку коэффициента корреляции σ_r по формуле:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N}}. \qquad (5)$$

Здесь N – число наблюдений.

В нашем случае получается $\sigma_r = \frac{1 - 0{,}78^2}{\sqrt{951}}$.

Считается (Романовский,1938), что если абсолютное значение коэффициента корреляции не менее трех σ_r, то связь признаков реальная. В данном случае $3\,\sigma_r = 0{,}04$, то есть $|r| > 3\sigma_r$.

Выводы

Между землетрясениями и неравномерностью вращения Земли имеется прямая и довольно сильная связь. Следовательно, на основе вариаций вращения Земли возможно определение начала сейсмического события за 48–120 часов до его наступления, что позволяет говорить о возможности краткосрочного прогноза. Но поскольку интенсивность и координаты землетрясения с помощью этой методики определить невозможно (Уткин, Цурко, 2010), можно рекомендовать комплексирование этой методики с другими способами, определяющими координаты и силу землетрясения. Полученный результат позволяет предположить возможность дальнейших исследований в данном направлении. Связь неравномерности вращения с величиной магнитуды будущего сейсмического события не наблюдается, но тенденция изменений соблюдается для обоих параметров одинаково.

Автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность и признательность своему учителю члену-корреспонденту РАН В.И. Уткину за постоянное внимание к работе и доброжелательные советы. Автор также выражает благодарность заведующей кафедры недропользования УГГУ Т.А. Глушковой, чьи представления о статистических зависимостях стали благодатной почвой для новых идей.

Литература

Романовский В.И. Математическая статистика. ГОНТИ НКТП СССР. М.; – Л., 1938. 527 с.

Уткин В. И., Цурко И.А. О связи вращения Земли и сейсмичности Земли // Уральский геофизический вестник. 2010. № 2. С. 53–58.

Чупров А.А. Основные проблемы теории корреляции. М.: Изд. М. и С. Сабашниковых, 1926.

Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии (Статистический анализ геологических данных). М.: Изд-во Недра, 1965. 260 с.

Юл Д., Кендалл М. Теория статистики. М.: Госстатиздат, 1960. 778 с.

К статье Цурко И.А. – «О возможной связи между землетрясениями и неравномерностью вращения Земли»

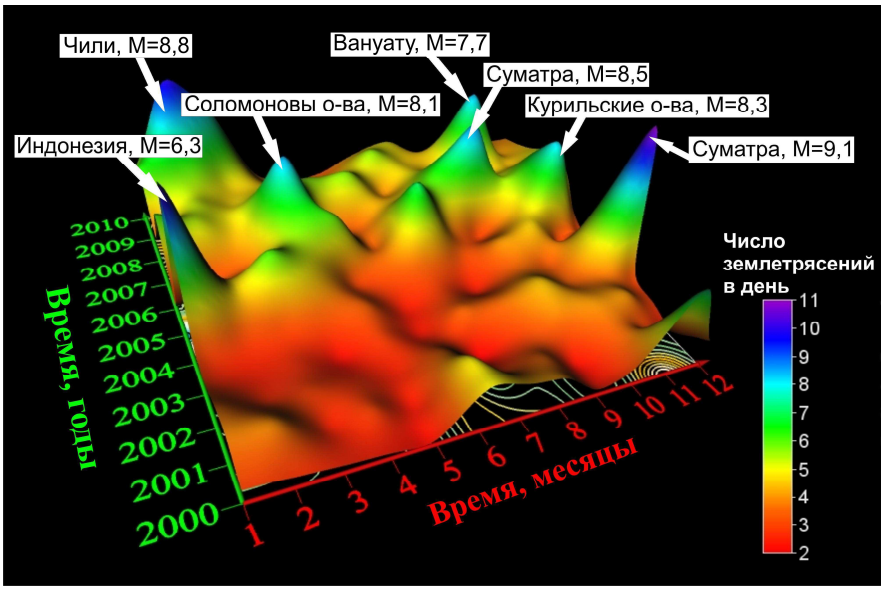

Рис. 1. Среднее число землетрясений в день по месяцам за период с 2000 по 2010 гг.

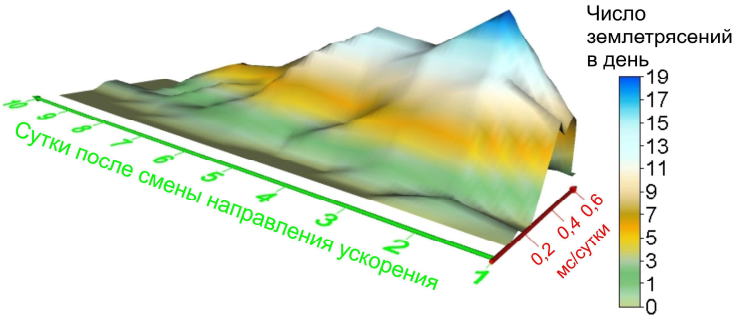

Рис. 3. Трехмерная модель частоты тектонических событий при их триггировании за счет неравномерности вращения Земли

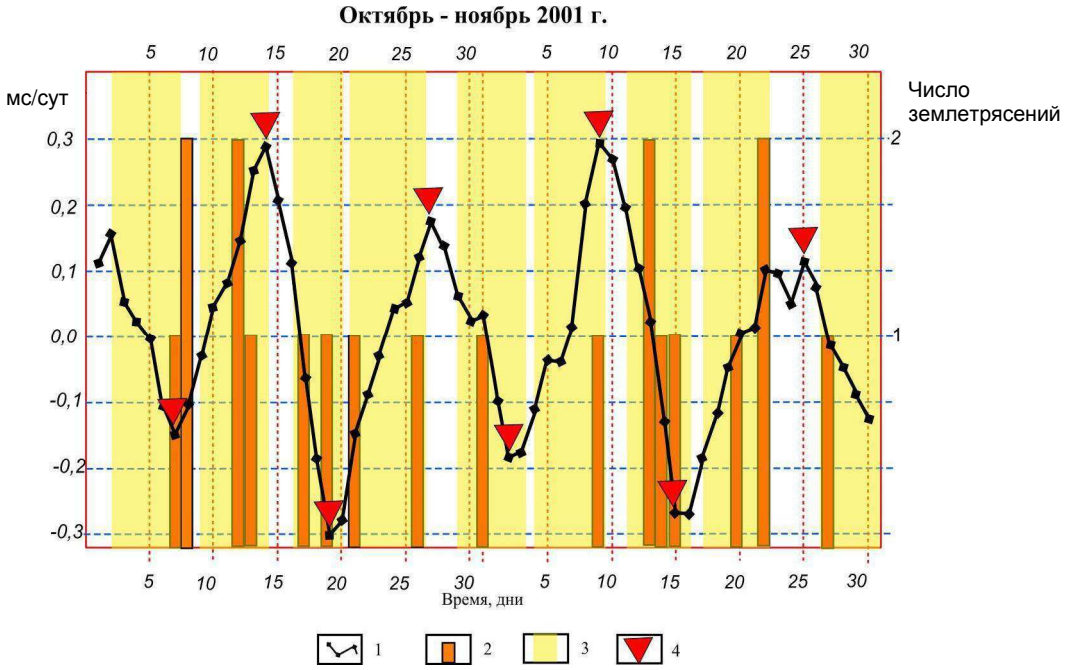

Рис. 4. Сопоставление данных по тектоническим событиям октября – ноября 2001 г. с прогнозными интервалами ожидаемых крупных землетрясений : 1 – график вариации вращения Земли, мс/сут; 2 – число землетрясений с M≥6; 3 – прогнозный интервал, 4 – точки изменения направления ускорения