

О СВЯЗИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ И СЕЙСМИЧНОСТИ ЗЕМЛИ

Уткин В.И., Цурко И.А. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. На основании данных каталогов NEIS и IRES рассмотрены связи между неравномерностью скорости вращения Земли и общей сейсмичностью, проявляющаяся в количестве землетрясений за единицу времени. Показано, что сейсмичность Земли увеличивается как при ускорении, так и при замедлении вращения. Дано объяснение факту возникновения почти одновременно «роя» землетрясений, расположенных в различных точках земного шара. Показано, что между изменением скорости вращения и началом процесса землетрясения проходит двое и более суток, что дает возможность организации краткосрочного прогноза тектонического события.

Тектоническое землетрясение, неравномерность вращения Земли, накопление упругой энергии в массиве, факторы сброса напряжения, алгоритм прогноза тектонического землетрясения.

ABOUT COMMUNICATIONS BETWEEN NON-UNIFORMITY OF EARTH ROTATION SPEED AND THE GENERAL SEISMICITY

Outkin V.I., Tsurko I.A. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. On the basis of given catalogues NEIS and IRES communications between non-uniformity of Earth rotation speed and the general seismicity shown in quantity of earthquakes for a time unit are considered. It is shown that seismicity of the Earth increases both at acceleration and at delay of rotation. The explanation is given to the fact of occurrence almost simultaneously «plenty» of the earthquakes located in various points of globe. It is shown, that between change of rotation speed and the beginning of process of earthquake passes 2 and more day that enables the organization of the short-term forecast of tectonic event.

Tectonic earthquake, non-uniformity of Earth rotation, accumulation of elastic energy in a file,

Введение

Исследования последних лет (Кисилев, 1980; Викулин, 1992; Сидоренков, 2002, 2004) показали, что непостоянство угловой скорости вращения Земли существенно зависит от состояния ее атмосферы и гидросферы. Изменение скорости вращения Земли интегрально отражает изменения, происходящие в указанных оболочках планеты. Вместе с тем в многочисленных публикациях о прогнозе тектонических землетрясений практически полностью выпал вопрос о возможной связи указанных изменений с поведением земной коры, с подготовкой и реализацией сейсмических событий (Соболев, 1993; Завьялов, 2006). Вместе с тем очевидно, что такая связь должна существовать, ибо земная кора активно участвует в обмене энергией с другими оболочками земли. Изучение этих связей на основе данных международных каталогов NEIS и IRES представлено в данной статье.

Сравнительный анализ данных каталогов NEIS и IRES

Для анализа были использованы данные каталога NEIS о землетрясениях по всему земному шару с магнитудой более 5. Эта величина была выбрана из соображений существенного уменьшения наносимого ущерба событиями с магнитудой менее 5. Следующим допущением было принято, что землетрясения возникают только в «подготовленной» части земной коры, то есть когда упругие силы, накопленные в процессе движения литосферных плит (блоков), уже достаточно велики, но недостаточны для обеспечения «разрядки» (сброса) накопленных упругих напряжений, то есть предполагается, что землетрясение, наряду с другими явлениями (Гуфельд, 2009; Добровольский, 2009), является мощным триггирующим фактором спускового механизма, обеспечивающего сброс упругих напряжений в земной коре.

Ознакомление с данными каталога NEIS показало, что в отдельные моменты наблюдается наличие большого числа землетрясений, возникающих практически одновременно с разрывом от нескольких часов до суток и расположенных в различных частях планеты. Это явление было условно названо – «рой» землетрясений. Очевидно, что появление «роя» землетрясений возможно только в том случае, если на участки земной коры, находящиеся в упругом «предсбросовом» состоянии, действует одновременно некий глобальный фактор, вызывающий (иницирующий) сброс этих напряжений. Таким глобальным фактором может быть только изменение скорости вращения земного шара и возникающие при этом неотектонические напряжения.

В первую очередь при проводимых исследованиях была изучена связь за выбранные годы между плотностью возникновения во времени землетрясений и особенностями вращения планеты согласно каталога IRES. В подсчет вошли все сейсмические события с $M > 5$, в том числе повторяющиеся в одном и том же районе, с небольшим временным интервалом.

Поскольку по каталогу IRES можно определить скорость прохождения планетой от одного сейсмического события до другого, вторым параметром, выбранным для анализа, послужило время прохождения планетой этих двух точек или величина производной (ускорения или замедления планеты) от скорости вращения планеты. Этот параметр важен с точки зрения изменения планетой ее кинетической энергии в различных точках.

На рис. 1 представлено изменение числа землетрясений при вариациях длительности суток для января-июня 2000 г. Указанный период времени был выбран исходя из наличия надежных табулированных данных.

Графики на рис. 1, построенные в координатах плотность землетрясений (ед/сут) – ускорение вращения (%) для отдельных периодов вращения Земли, показали следующее: существует слабая пропорцио-

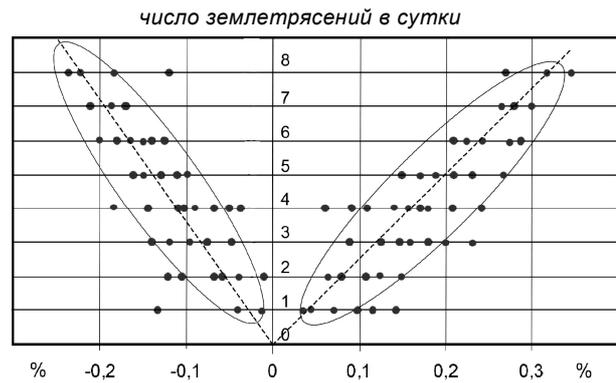


Рис. 1. Изменение плотности землетрясений (ед/сут) в зависимости от изменения скорости вращения Земли: по оси абсцисс – вариация скорости (%); по оси ординат – плотность землетрясений во времени (ед/сут)

нальность между величиной вариации скорости вращения планеты (ускорением) и общей сейсмичностью земного шара (величиной плотности во времени числа землетрясений). Неравномерность вращения Земли является одним из важных факторов, инициирующих землетрясения практически по всей поверхности планеты.

Количество землетрясений на земном шаре, как правило, увеличивается при возникновении вариации вращения как положительного, так и отрицательного знака (вариации различного направления): $N = k |dw/dt|$, где N – общее число землетрясений; $|dw/dt|$ – абсолютное значение вариации скорости вращения Земли во времени; k – коэффициент пропорциональности. Указанные связи можно проиллюстрировать на конкретных примерах. В качестве последних выбраны временные промежутки января-апреля 2000 г. (рис. 2).

На графике рис. 2А (январь 2000 г.) можно отметить несколько характерных точек, определяющих изменение плотности землетрясений (*а, б, в, г, д*).

В указанных точках существенно изменяется направление вращательного ускорения (в точке *а* от $-0,15$ до $+0,15$); в точке *б* от $+0,15$ до $-0,12$, и т.д.). Эти же точки характеризуются заметным увеличением общей сейсмичности от 0 до 8 ед/сут. Разница по времени между началом изменения вращательного ускорения и ростом (увеличением

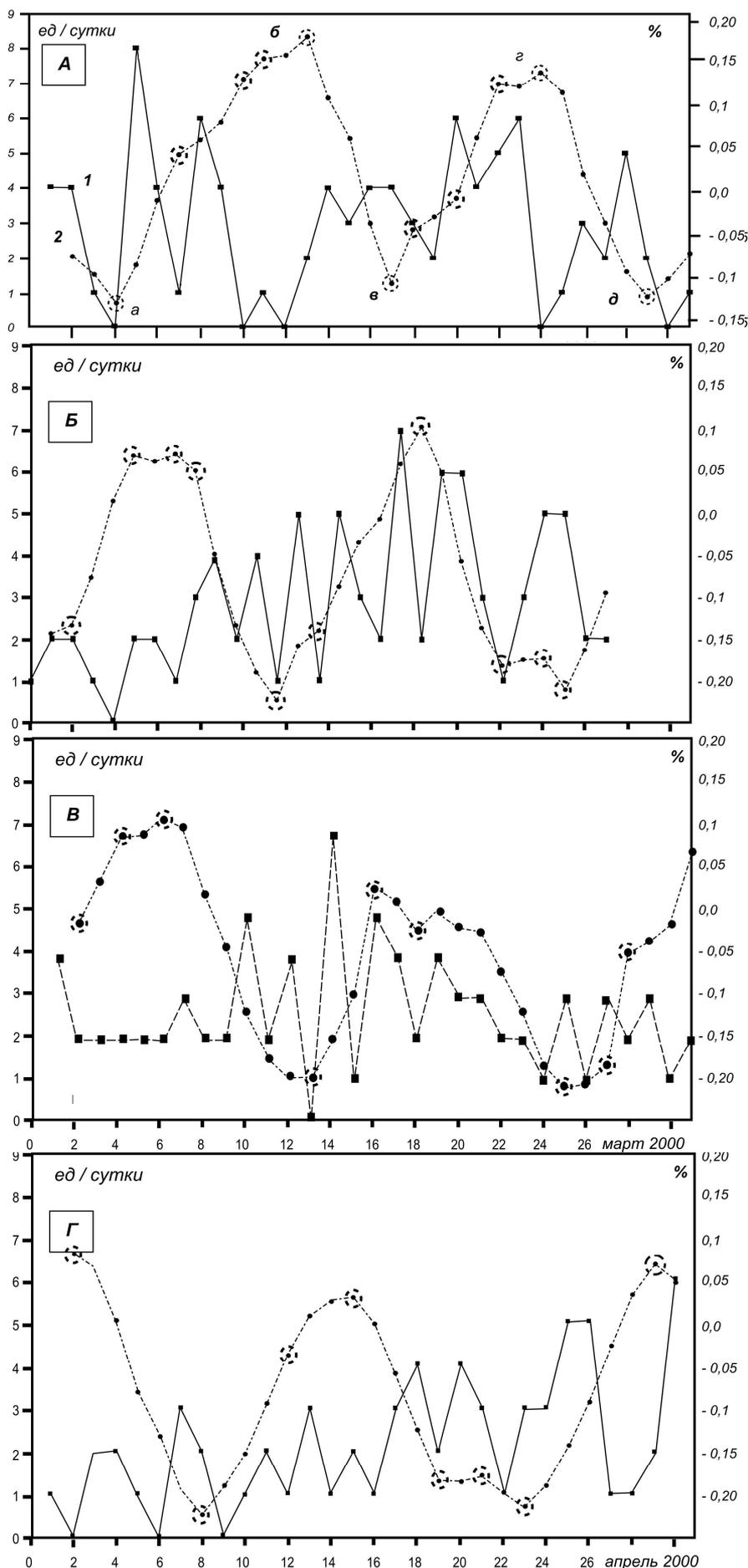


Рис. 2. Графики плотности возникновения землетрясений по земному шару и изменение вращательного движения Земли (%):
 ■ — плотность землетрясений, ед/сут;
 ○ — точки резкого изменения ускорения вращения Земли;
 -●- кривая изменения вращения Земли;
 а, б, в, г, д — характерные точки изменения направления ускорения вращения Земли;
 А-Г — январь-апрель 2000 г., соответственно

числа землетрясений) составляет от 24 до 48 часов. В целом подтверждается закономерность, указанная ранее на рис. 1.

На рис. 2 показано, что 04.01.2000 замедляющееся вращение Земли изменяется на ускоряющееся (точка *a*); что несомненно приводит к перераспределению напряжений в земной коре и, соответственно, к сбросу упругой энергии (землетрясениям) в сейсмогенных районах, где упругие напряжения в земной коре достигают своего «критического» значения. Сброс упругих напряжений продолжается почти 6 суток, при этом достигается высокая (до 9 событий в сутки) плотность землетрясений во времени. Другой всплеск сейсмичности наблюдается после 14 января, когда начинается процесс замедления вращения (точка *б*). За ускорением вращения 17 января (точка *в*) через день следует такое же увеличение сейсмичности. Соответственно, замедление вращения после 24 января вызывает рост сейсмической активности. Из графиков рис. 2 видно, что увеличение сейсмичности наблюдается всегда после резкого изменения ускорения вращения Земли.

Из приведенных графиков следует еще один важный вывод: увеличение общей сейсмичности планеты наблюдается через 24–48 часов после изменения параметров вращения Земли. Это обстоятельство отражает инерционность системы, связанную, вероятно, с перестройкой верхней части земной коры под действием изменяющихся за счет вариаций ускорения сил вращения.

Вращение Земли и крупные тектонические события

На рис. 3 представлено сопоставление вариаций скорости вращения Земли и прошедших тектонических землетрясений. Из графиков следует, что всем тектоническим землетрясениям предшествует резкий излом кривой производной скорости вращения Земли. Причем резкое изменение производной происходит за 24–48 часов до сейсмического события, что предполагает эффективное использование производной скорости для разработки системы краткосрочного прогноза землетрясения.

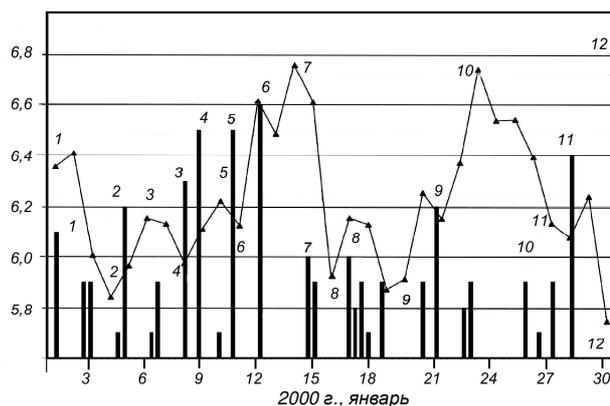


Рис. 3. Сопоставление вариаций скорости вращения Земли (ломаная линия) и прошедших вслед за ними тектоническими землетрясениями (столбики): одинаковыми цифрами отмечены резкие изменения скорости вращения Земли и последовавшие следом практически в течение суток тектоническими землетрясениями.; по оси ординат – магнитуда

Наибольший интерес всегда вызывает вопрос – как отражается наступление крупного (магнитуда более 5) землетрясения в функции предвестника, каковым можно считать скорость вращения планеты.

На графиках рис. 4 (А, Б, В, Г), цветная вкладка, представлены примеры сопоставления вариаций скорости вращения Земли и прошедших вслед за ними тектоническими землетрясениями. Принято время запаздывания триггерированного землетрясения после смены направления ускорения не более 3-х дней, магнитуда землетрясений – более 5, в ряде случаев – более 5,5.

На графиках указаны как «ожидаемые» землетрясения, так и «спонтанные», которые «триггерованы» не изменением вращения, а другими факторами.

Из графиков рис. 4А–4Г (цветная вкладка) следует, что практически все резкие изменения производной вращения предшествуют землетрясениям различной магнитуды от 5 до 7,5. Однако последовательность событий весьма разнообразна.

В январе-феврале 2000 г. (рис. 4А), в основном после изменения направления вращения, происходят землетрясения магнитудой около 5, но наиболее крупные (30 января магнитудой 6,8 и 25 февраля магнитудой около 7,1) спустя сутки

после изменения направления вращения. Причем, оба при переходе на режим ускорения. «Неожидаемых» землетрясений (не следующих после смены направления ускорения) всего 4 на уровне общего числа землетрясений равном 85, то есть менее 5%.

Март-апрель 2000 г. (рис. 4Б) характеризуется довольно низкой сейсмической активностью – максимальная магнитуда землетрясения (11 марта) составляет всего 6,4. Но в этой ситуации увеличивается число «неожидаемых» землетрясений почти до 10%.

В течение следующих двух месяцев (май-июнь, рис. 4В) произошло два крупнейших сейсмических события (4 января с магнитудой 7,4 и 4 февраля с магнитудой 7,9). Первое событие произошло после резкого уменьшения скорости вращения, спустя 4 дня после изменения направления вращения. Второе, наоборот, спустя трое суток после перехода вращения из режима замедления в режим ускорения.

Необходимо отметить «рой» землетрясений средней магнитуды 5–10 июня. Число «неожидаемых» землетрясений сохранилось на уровне 8%.

За период июль-август произошло три группы близко (по времени) расположенных землетрясений. Кривая вращения имеет сложную структуру (рис. 4Г), однако ее изменения достаточно точно предшествуют и определяют все сейсмические события. При возникновении нескольких «роев» землетрясений увеличивается, как правило, число «неожидаемых» землетрясений до 12–13%.

Период сентября-октября характеризуется спокойной сейсмичностью и практически полным подтверждением тезиса о возникновении землетрясения после резкого изменения направления вращения Земли.

Три резких изменения вращения Земли (6, 11, и 16 ноября) вызывают интенсивные группы землетрясений с максимальной магнитудой 7,8. При этом землетрясениям с максимальной магнитудой 7,8 предшествует «рой» «неожидаемых» землетрясений 16 ноября. Наблюдаемую ситуацию логичнее проинтерпретировать как задержку

триггирующего воздействия от 11 до 15 ноября, а мощные землетрясения 16–17 ноября – как результат двух последовательных изменений скорости вращения: с замедления на ускорение (11 ноября) и с ускорения на замедление (16 ноября).

Таким образом, вариации скорости вращения Земли служат мощным источником триггирующего возмущения, приводящего к землетрясениям. Запаздывание землетрясения относительно появления возмущения во вращении Земли составляет от 24 до 72 часов, что отмечалось ранее. Эти данные показывают, что на основе вариаций вращения Земли возможно определение времени начала сейсмического события за 24–48 часов до его наступления, что позволяет говорить о возможности краткосрочного прогноза. Однако ни интенсивность землетрясения, тем более его координаты определить при современном уровне знаний посредством этой методики практически невозможно. Тем не менее, полученный результат уже дает возможность для дальнейших исследований в данном направлении.

Связь величины производной скорости вращения с величиной магнитуды будущего сейсмического события прямо не наблюдается, но соблюдается закономерность, отмеченная ранее на графиках рис. 1.

Предложенная модель позволяет объяснить известный факт возникновения «роя» землетрясений, то есть практически одновременных (в течение 2–5 часов) землетрясений различной магнитуды в совершенно различных точках земного шара.

На рис. 5 (цветная вкладка) схематически представлена такая ситуация, когда неравномерность вращения Земли, как триггирующий фактор, вызывает почти одновременное возникновение землетрясений в различных районах земного шара. При этом необходимо помнить, что возникновение землетрясения возможно только при соответствующих (необходимых) условиях – земная кора должна находиться в напряженном состоянии, из которого ее может вывести достаточно мощное механическое воздействие упругой волны, возникающей при изменении скорости вращения Земли. Та-

ким образом, кратковременное изменение вращения Земли является достаточным условием для возникновения землетрясения.

Заключение

Все вышесказанное подтверждает начальное утверждение о том, что главным объектом в процессе подготовки и реализации землетрясения является все-таки земная кора, поэтому исследование ее поведения в условиях сжатия-растяжения является главной частью решения вопроса о прогнозе землетрясения.

На основе приведенных данных можно сделать следующие выводы.

1. Неравномерность вращения планеты является одним из мощных факторов, воздействующих на земную кору и приводящих к инициализации (триггированию) землетрясений в различных точках по всей планете.

2. Вариации вращения планеты всегда предшествуют росту общей сейсмичности Земли ввиду инерционности процесса перераспределения масс в земной коре и запаздыванию соответствующего воздействия на участки земной коры, накопившие избыток упругой энергии: как правило, это известные сейсмогенные зоны.

3. Наибольшее увеличение общей сейсмичности планеты (общего количества землетрясений в единицу времени) наблюдается при смене знака ускорения вращения планеты на противоположный или при прохождении точки $dw/dt=0$.

4. За счет перестройки земной коры при изменении скорости вращения Земли рост сейсмичности (появление первых землетрясений, инициированных изменением скорости вращения) наблюдается через 24–48 часов после регистрируемого изменения скорости вращения Земли. Этот факт имеет исключительно важное значение при оценке возможности краткосрочного прогноза землетрясения. Можно сказать, что смена знака ускорения вращения планеты служит общим (для всех землетрясений планеты) краткосрочным предвестником тектонического землетрясения.

Работа выполнена при поддержке Программы 16 Президиума РАН.

Литература

Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. М.: Наука, 2006. 254 с.

Кисилев В.В. Неравномерность суточного вращения Земли. Новосибирск: Наука, 1980. 158 с.

Сидоренков Н.С. Физика нестационарного вращения Земли. М.: Наука, 2002.

Сидоренков Н.С. Нестабильность вращения Земли // Вестник Российской академии наук. 2004. Т. 74, № 8. С. 701–715.

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 314 с.

К статье Уткина В.И., Цурко И.А. – «О связи неравномерности вращения и сейсмичности ...»

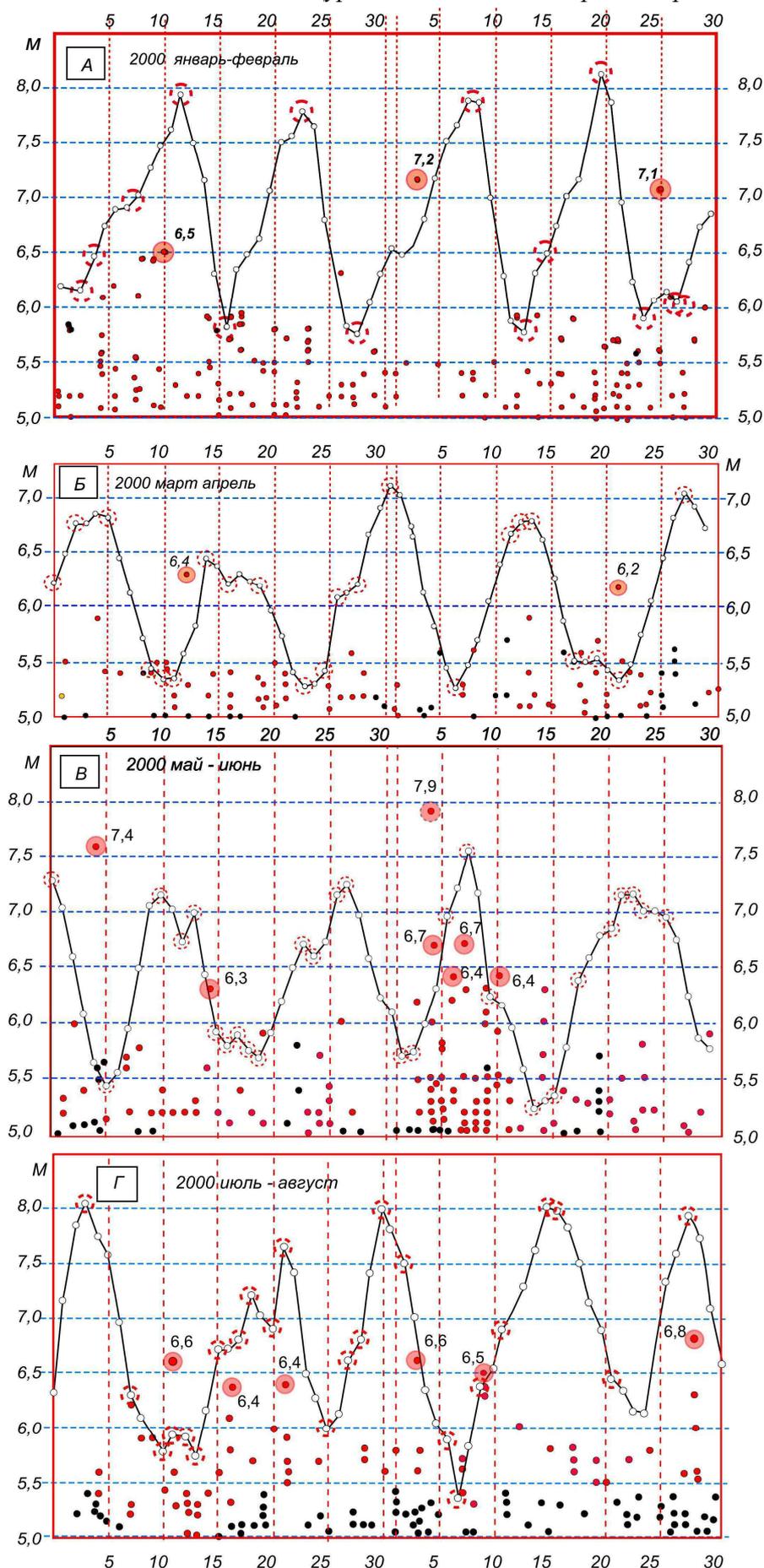


Рис. 4(А-Г). Сопоставление скорости вращения Земли и прошедших сейсмических событий за 2000 г.:

- А – январь-февраль;
- Б – март-апрель;
- В – май-июнь;
- Г – июль-август;
- – кривая ускорения вращения Земли;
- ⊙ – точки изменения направления ускорения;
- – ожидаемые землетрясения;
- – не ожидаемые землетрясения;
- ⊙ – наиболее крупные землетрясения

К статье Уткина В.И., Цурко И.А. – «О связи неравномерности вращения и сейсмичности ...»

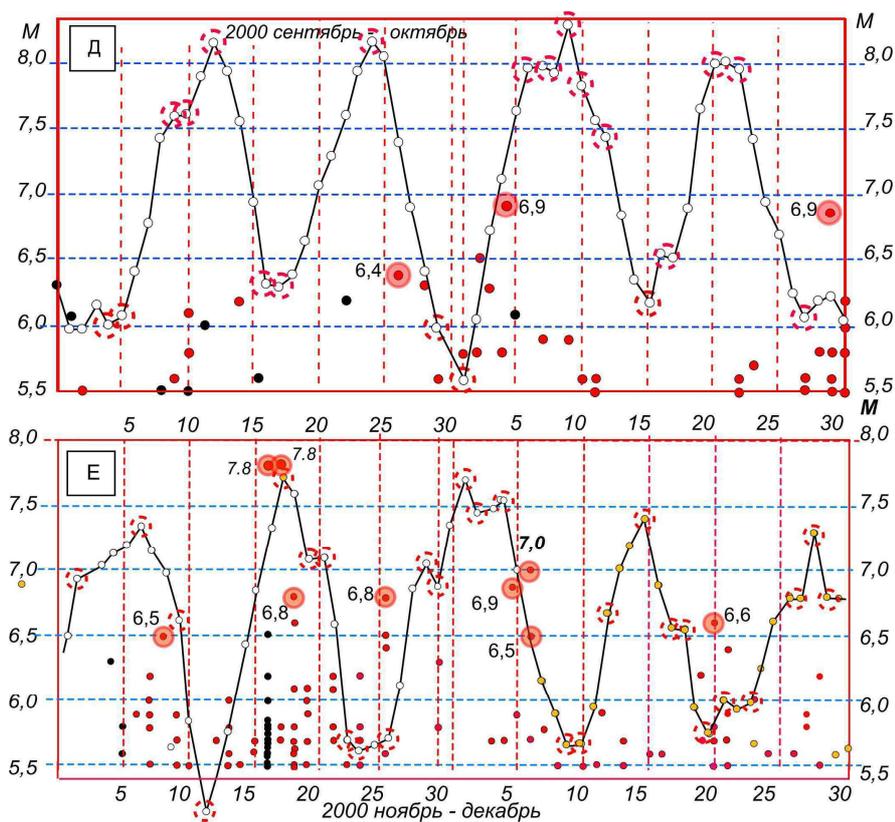


Рис. 4(Д, Е). Сопоставление скорости вращения Земли и прошедших сейсмических событий за 2000 г.:

Д – сентябрь-октябрь;

Е – ноябрь-декабрь

○ – кривая ускорения вращения Земли ;

⊙ – точки изменения направления ускорения;

● – ожидаемые землетрясения

● – не ожидаемые землетрясения

⊙ – наиболее крупные землетрясения

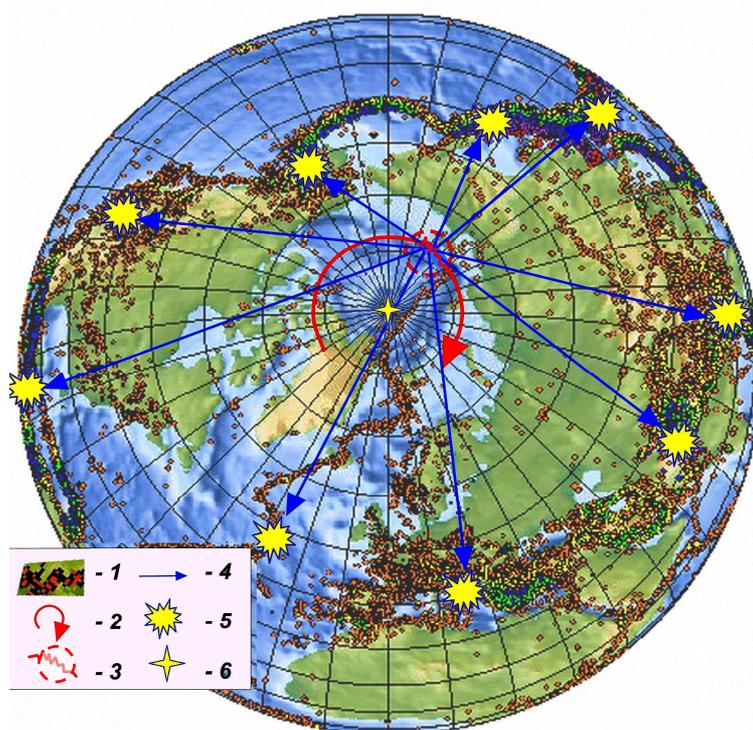


Рис. 5. Схема возникновения «роя» землетрясений в различных частях планеты:

1 – сейсмогенные пояса планеты;

2 – направление вращения планеты;

3 – неоднородность вращения;

4 – направление воздействия возникающего при этом механического импульса;

5 – землетрясения, возникающие при сбросе напряжения горных пород;

6 – условное обозначение оси вращения Земли