

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И МИНЕРАЛОГИИ

*Препринт № 13*

С.Ю. Хомутов

НЕРЕГУЛЯРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ  
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУТОК  
И  
ГЛОБАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ,  
1977–1987 ГОДЫ

НОВОСИБИРСК 1991

Хомутов С.Ю. Нерегулярные изменения продолжительности суток и глобальная сейсмичность, 1977-1987 годы. - Новосибирск, 1991.-18 с. (Препр. / Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО АН СССР; N 13).

Исследуется связь межгодовых нерегулярных изменений продолжительности суток с глобальной сейсмичностью в зонах спрединга и субдукции за 1977-1987 годы. Показано, что в периоды замедления вращения Земли сейсмическая активность спрединга снижается. Наиболее выразительно корреляция проявляется в период 1982-1983 гг., который характеризуется событием Эль-Ниньо в Тихом океане. Выполнен качественный анализ возможной причинно-следственной взаимосвязи процессов в системе "твердая Земля - океан - атмосфера".

Для сейсмологов и геофизиков, занимающихся геодинамикой.

Ключевые слова: продолжительность суток - сейсмичность - спрединг.

## Введение

Земля представляет собой сложную физическую систему. Процессы, проходящие в ее глубинных слоях, в том числе в мантии, на границах "ядро - мантия" и "жидкое ядро - твердое ядро", могут проявляться как во вращении Земли, так и в глобальной сейсмичности. Поэтому выявление взаимосвязи этих явлений позволяет лучше понять "физику" Земли, ее строение и эволюцию. На причинно-следственную направленность этих процессов существуют различные точки зрения: по одной - изменения скорости вращения Земли приводят к изменению сейсмической активности, по другой - землетрясения могут вызывать вариации в режиме вращения, по третьей - и те, и другие являются проявлением некоторой общей причины.

М.С.Стовас /11/ рассмотрел распределение напряжений деформируемой Земли при изменении скорости ее вращения и показал, что тангенциальные напряжения максимальны в средних широтах, в то время как радиальные - на экваторе и полюсах при нулевом значении на т.н. "критических" параллелях  $35^{\circ}10'$ . Это приводит к толкованию сейсмичности как "некоторой разрядки в перенапряженных областях корового слоя". В работе /9/ формирование рельефа и структур коры, в том числе распад материков, образование океанов, формирование и развитие гор, объясняется на основе представления об определяющей роли осевого вращения Земли. Из энергетических соображений Н.Г.Бреусов /4/ интерпретирует выявленную статистическую корреляцию вращения Земли и энергии землетрясений как проявление триггер-эффекта незначительных напряжений в объемах вещества, находящегося в неравновесном состоянии, при изменениях продолжительности суток. Применяя метод наложения эпох при анализе сезонной сейсмичности за 1931-1982 гг. (магнитуда больше 6.0), О.М.Барсуков приходит к выводу, что

"увеличение скорости вращения Земли при длительном воздействии (годы) провоцирует самые сильные землетрясения, а при кратковременном (месяцы) - только более слабые" /2, с.80/. Тектоническая активизация на критических широтах в геологическом масштабе времени в работе /5/ также объясняется изменением режима вращения Земли.

Противоположная точка зрения на направленность этого взаимодействия рассмотрена в статье /13/. Авторы, основываясь на модели очага землетрясения, оценивают поле деформаций в однородной сферической Земле, а затем и изменения ее полного тензора инерции. Модельные расчеты показали, что наиболее сильно на вращение Земли влияют неглубокие землетрясения с разломами типа "strike-slip" (с вертикальной плоскостью разрыва при горизонтальном соскальзывании). Оценки, выполненные для событий на Аляске (1964 г.) и в Колумбии (1966 г.), показывают, что даже при наиболее благоприятных параметрах очага изменение продолжительности суток не превышает 0.02 мс. Аналогичные расчеты выполнили также R.J.O'Sennell и A.M.Dziewonski /24/ для землетрясений с 1901 по 1970 год (магнитуды больше 7.8). Результаты показывают, например, что землетрясение 31 января 1906 г. с магнитудой 8.9 приводит к изменению в продолжительности суток на 0.16 мс. По представленным результатам видно, что эти изменения имеют различные знаки и величину. Длиннопериодную корреляцию между глубокофокусными землетрясениями и вращением Земли Н.Стойко объясняет возможностью значительных изменений объема вещества в глубинных слоях Земли, находящихся в критическом состоянии (по /11/). Аналогично, на основе моделирования сдвига масс в мантии Земли на глубине порядка 600 км, где находится зона очагов землетрясений, в работе /16/ объясняются скачкообразные изменения скорости ее вращения. В работе Chao B.Fong и Gross R.S. /14/ исследуется возможность кумулятивного эффекта землетрясений, каждое из которых приводит к уплотнению вещества Земли. Полученные результаты подвергает критике J.Maddox /22/.

Н.Н.Павлов /7,8/ рассматривает земную кору как блочную структуру с определенной подвижностью блоков. При приложении внешнего момента, например от атмосферы, возникают сдвиговые деформации, приводящие к смещению этих блоков. Анализируя данные астрономических наблюдений, он приходит к выводу, что "действительно существуют изменения разностей долгот между отдельными блоками земной коры в пределах нескольких метров, связанные с изменением скорости вращения Земли" /8, с.50/. Такие смещения вызывают напряжения на границах блоков и могут приводить к повышению сейсмичности. I.V.Ivanov рассматривает проявление в сезонном изменении продолжительности суток деформации Земли, обусловленной ее движением по орбите: "теоретически около 2 июля, т.е. летом в северном полушарии, Земля наиболее близка по форме к эллипсоиду вращения, которым ее аппроксимируют, а около 2 января ее форма отклоняется от эллипсоида в большей степени" /19, с.16/. Соответственно, в июле полярный момент инерции наименьший, скорость вращения максимальна, деформации, а значит и тектоническая активность снижаются. В работе /26/ с помощью непараметрических критериев исследуется связь между сейсмичностью, чандлеровским движением полюса, вращением Земли и магнитным полем. Полученные результаты авторы рассматривают как подтверждение следующей схемы процесса: движение плит определяет уровень сейсмичности в отдельных регионах и возбуждает чандлеровские колебания. В последующий сейсмически неактивный период эти колебания затухают, передавая угловой момент в жидкое ядро Земли. Движения в ядре в свою очередь вызывают соответствующие изменения скорости вращения внешней оболочки Земли, обеспечивая постоянство углового момента. Перераспределением момента между ядром и оболочкой К.Ф.Сергеев и др. /10/ объясняют увеличение скорости вращения Земли и смещение Тихоокеанской плиты на запад, что привело к ряду наблюдаемых изменений уровня грунтовых вод и объемной деформации на восточном побережье Азии. Разрабатываемая В.В.Кузнецовым /6/ модель "горячей" Земли предполагает существование корреляции

между многими ее геофизическими параметрами, в т.ч. между скоростью вращения и сейсмичностью, что является следствием зависимости и вращения, и тектонической активности от процессов на границе внутреннего и внешнего ядра (E-G). При этом ожидается, что в период расширения Земли (конденсация вещества внутреннего ядра на границе E-G) продолжительность суток и сейсмичность будут возрастать.

Таким образом, видно, что имеются основания предполагать наличие связи между вращением Земли и сейсмичностью, тектоническими движениями и другими геофизическими процессами. С другой стороны, в рассмотренных выше работах исследовалась сейсмичность либо в глобальном масштабе, либо в пределах ограниченного региона. Поэтому представляется интересным рассмотреть ее проявления в принципиально различных по своему характеру областях спрединга и субдукции, а также корреляцию ее в этих зонах с изменением продолжительности суток.

#### Данные для анализа

В качестве первичных данных для оценки вращения Земли выбраны пятисуточные значения поправок Всемирного времени UT1-UTC, публикуемые в годовых отчетах Международного бюро времени (в настоящее время - Международная служба вращения Земли - МСВЗ). Данные за 1978-1987гг. /12/ представляют собой комбинированные решения МБВ, полученные по наблюдениям новыми средствами (РСДБ, лазерная локация ИСЗ и Луны); данные за 1977 год - астрооптические наблюдения, переобработанные в новой системе постоянных МАС и системе нутации 1980 г. /20/ и опубликованные в отчете МБВ за 1984 г. Из исходного ряда были исключены скачки шкалы координированного времени относительно атомного и введены поправки за влияние земных зональных приливов с периодами от 5 суток до 18.6 года (для сравнения: амплитуда двухнедельной волны в продолжительности суток составляет 0.36 мс, волны с периодом 19 лет - 0.15 мс). Затем были вычислены изменения продолжительности суток (в дальнейшем

- просто продолжительность суток)  $\Delta P$

$$\Delta P = -P_0 \times \frac{d(UT1-UTC)}{dATI},$$

где  $P_0 = 86400$  с;  $UT1R$  - значения всемирного времени с учетом земных приливов;  $dATI = 5 \times P_0$  - интервал дифференцирования.

Исходные данные по глобальной сейсмичности взяты из каталога Гарвардского университета, который содержит параметры землетрясений (дату, время, координаты эпицентров, скалярный момент  $M_0$ , компоненты тензора момента  $M_{ij}$ , положение нодальных плоскостей и др.), вычисленные методом CMT (Centroid - Moment Tensor Solution) по цифровым сейсмограммам глобальной сети (GDSN). Каталог публикуется в "Physics of the Earth and Planetary Interiors" с 1983 г.; полный список публикаций представлен в /17/. В настоящей работе использовались данные за 1977 - 1987 гг. включительно (всего 6725 событий). В качестве показателя сейсмической активности за определенный промежуток времени выбран суммарный скалярный момент и количество землетрясений на этом интервале.

Поскольку интерес представляют процессы с характерными временами более 1 года, то ряд продолжительности суток  $\Delta P$  был сглажен скользящим средним с интервалом усреднения 360 сут. и прорежен через 90 сут. Кроме того, были вычислены приращения  $\Delta P$  за каждые 90 сут.  $\delta(\Delta P)$ , характеризующие ускорение вращения Земли, т.е. приложенный к Земле тормозящий (ускоряющий) момент. Значения  $\Delta P$  и  $\delta(\Delta P)$  представлены на рис.1а и 1б. С этими окончательными рядами, описывающим динамику вращения планеты, сопоставлялись ряды значений суммарного за 360 сут. скалярного момента, вычисляемые через каждые 90 сут. (метод скользящего суммирования). Таким образом, анализируемые ряды содержали по 41 значению.

Распределение количества землетрясений  $N_i$  по магнитудам представлено в таблице. Связь магнитуды по поверхностным волнам  $M_s$  со скалярным моментом  $M_0$  в Гарвардском каталоге

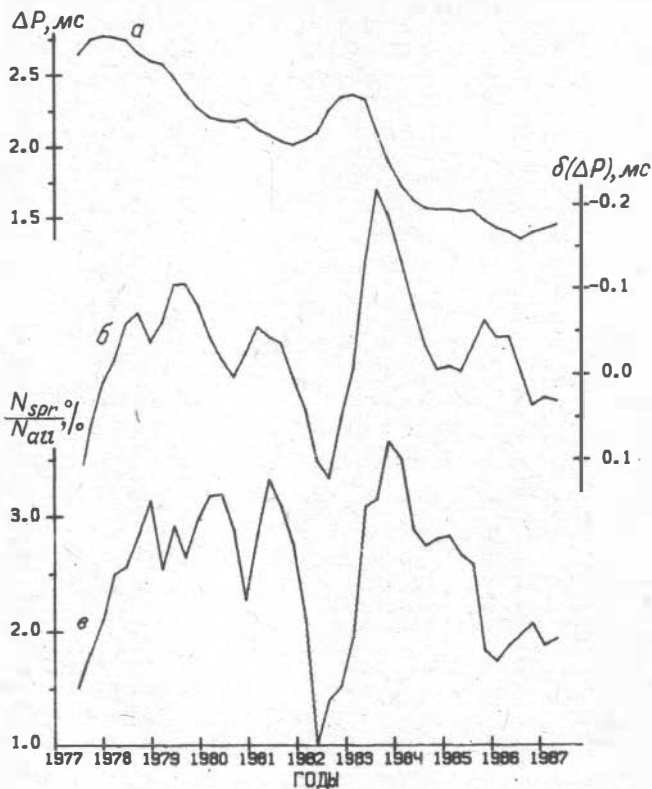


Рис.1. Временные ряды: а - квартальные значения продолжительности суток  $\Delta P = P - 86400$  с, сглаженные 360-суточным скользящим средним (зональные земные приливы исключены; в мс); б - изменения  $\Delta P$  за 90 сут. (в мс); в - значения количества землетрясений за 360 сут. в зонах спрединга со скалярным сейсмическим моментом от  $1.1 \times 10^{25}$  до  $2.0 \times 10^{27}$  дин·см, отнесенные к общему количеству землетрясений в каждом анализируемом интервале суммирования (в %)



Распределение количества землетрясений  
Гарвардского каталога по магнитудам

$M_s$	$M_0$ , дин·см	Кол-во $N_i$	$\frac{N_i}{6725}, \%$
5.3 ... 6.0	$1.0 \times 10^{24}$ ... $1.1 \times 10^{25}$	5303	78.9
6.0 ... 7.0	$1.1 \times 10^{25}$ ... $3.5 \times 10^{26}$	1299	19.3
7.0 ... 7.5	$3.5 \times 10^{26}$ ... $2.0 \times 10^{27}$	93	1.4
> 7.5	> $2.0 \times 10^{27}$	30	0.4

дается соотношением Хакса-Канамори /30/

$$\lg(M_0) = 1.5 \times M_s + 16.05.$$

В соответствии со схемой тектонических плит /3/ выделено семь зон спрединга ("конструктивные границы плит") и шесть зон субдукции ("деструктивные границы плит"). Эти зоны помимо непосредственно границ захватывают также значительные области внутри плит, но практически не перекрываются и не включают границ другого класса.

### Результаты

На рис.2а-2г в логарифмическом масштабе представлены суммарный скалярный момент для Земли в целом  $M_{all}$ , зон субдукции  $M_{sub}$ , неучтенных землетрясений  $M_a$  и зон спрединга  $M_{spr}$ .

Сравнение ускорения Земли и сейсмичности показывает, что существует обратная корреляция между  $\delta(\Delta P)$  и  $M_{spr}$  в зонах спрединга, в то время как сейсмичность зон субдукции, равно как и определяемая ею глобальная сейсмическая активность, такой

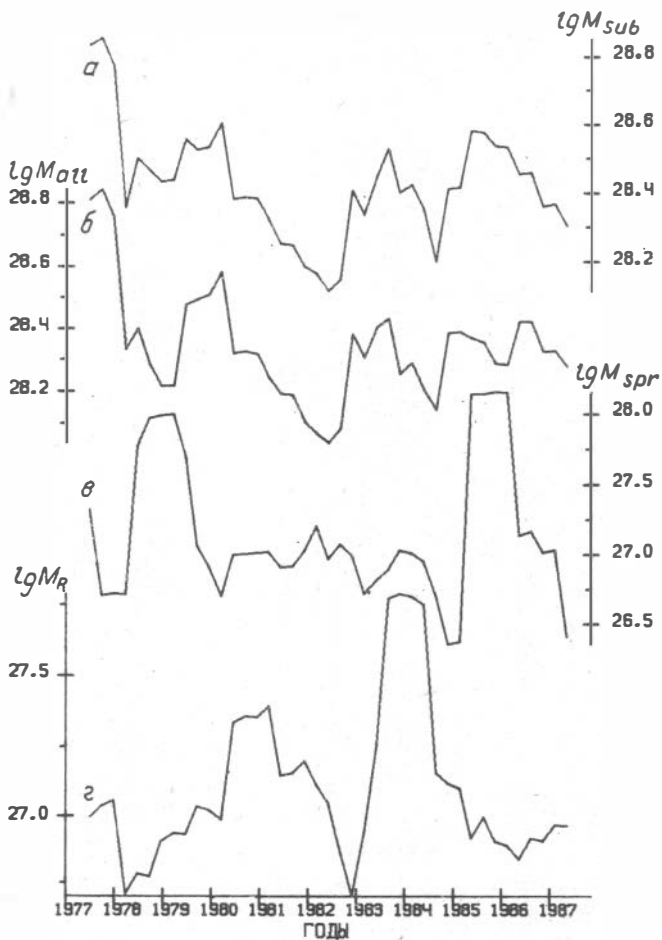


Рис.2. Квартальные значения логарифма суммарного (за 360 сут.) скалярного сейсмического момента: а - в целом по Земле; б - в зонах субдукции; в - в неучтенных районах; г - в зонах спрединга. Исходные значения момента даны в  $\text{дин}\cdot\text{см}$

связи не обнаруживают. На рис.3 показаны взаимные корреляционные функции рассматриваемых процессов. Максимальное значение коэффициента корреляции для  $\lg(M_{pr})$  спрединга и  $\delta(\Delta P)$  составляет  $-0.6$  при уровне значимости не ниже  $0.1\%$ ; статистически значимая корреляция глобальной и субдукционной сейсмичности с ускорением вращения Земли отсутствует (при доверительной вероятности  $90\%$  ее максимальные значения при сдвигах до двух лет составляют  $-0.26$  и  $-0.21$  соответственно).

Плоская вершина максимума  $M_{pr}$  на рис.2г показывает, что в этот период произошло очень сильное землетрясение, энергетически значительно превышающее годовую суммарную величину остальных. Действительно, такое событие зафиксировано 30 ноября 1983 г. в центральной части Индийского океана с моментом  $M_0 = 4.1 \times 10^{27}$  дин·см. Исключение этого землетрясения приводит к снижению коэффициента отрицательной корреляции до  $-0.38$  и повышает положительное его значение с  $+0.36$  до  $+0.47$  при доверительной вероятности более  $95\%$  и опережении сейсмическими событиями аномалий во вращении на 1 год.

В работе О.М.Барсукова /1/ представлено соотношение между энергией будущего землетрясения  $E$  и временем его подготовки  $T$

$$\lg(T) = 0.5 \times \lg(E) - 7,$$

где  $T$  - в годах,  $E$  - в Дж. Утверждается, что статистически значимую взаимосвязь можно обнаружить только между внешними процессами и сейсмическими событиями, если характерные времена проявления первых сопоставимы с энергетикой вторых. В нашем случае длительность возможных изменений продолжительности суток лежит в пределах от одного до десяти лет. Используя связь между энергией землетрясения и его магнитудой  $\lg(E) = a \times M + b$ , где параметры  $a = 1.5$ ,  $b = 11.8$  (см., например, /33/), можно оценить скалярные моменты соответствующих событий. Основываясь на такой связи между внешними воздействиями и сейсмичностью были вычислены суммарный момент  $M'$  и количество землетрясений  $N'$  с магнитудами от  $6.0$  до  $7.5$  (скалярные

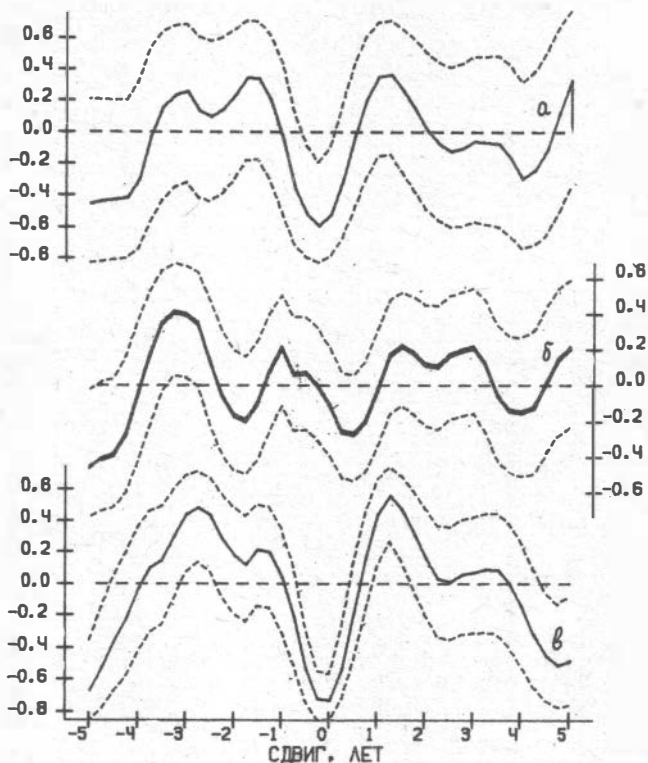


Рис.3. Взаимные корреляционные функции между изменением продолжительности суток  $\delta(\Delta P)$  и: а - логарифмом суммарного сейсмического момента в зонах спрединга; б - логарифмом полного суммарного момента; в - относительным количеством землетрясений с моментами от  $1.1 \times 10^{25}$  до  $2.0 \times 10^{27}$  дин·см в зонах спрединга. Пунктирной линией показаны доверительные интервалы 99.7% для кривой на рис.а и 95.0% для кривых на рис.б и рис.в

моменты от  $1.1 \times 10^{25}$  до  $2.0 \times 10^{27}$  дин·см ). Характер поведения  $M_{epg}$  в этом диапазоне полностью определяет и вид, и амплитуду изменения полного суммарного момента зон спрединга с исключенным землетрясением в Индийском океане. Кроме того, количество землетрясений  $N_{epg}$  также коррелирует с  $\delta(\Delta P)$ . На рис.1в представлено отношение  $N_{epg}/N_{all}$ , где  $N_{all}$  - полное количество землетрясений на интервале суммирования, на рис.3в - взаимная корреляционная функция  $N_{epg}/N_{all}$  и  $\delta(\Delta P)$ . Максимальное значение коэффициента корреляции составляет  $-0.74$  при доверительной вероятности не ниже 99.7%; статистически значимая корреляция между  $\delta(\Delta P)$  и землетрясениями с магнитудами от 6.0 до 7.5 в зонах субдукции отсутствует.

Еще одной характерной особенностью  $\delta(\Delta P)$  и  $M_{epg}$  является их квазипериодическое поведение, что достаточно отчетливо проявляется в автокорреляционных функциях (рис.4). С уровнем значимости 0.05 эти функции испытывают циклические вариации с периодами примерно 2 и 3 года соответственно. О квазидвухлетней составляющей в ряде UT1-ATI сообщается, например, в работе /18/.

### Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что в период, когда к внешней оболочке Земли приложен момент как эндогенной, так и экзогенной природы, тормозящий ее вращение, сейсмическая активность зон спрединга снижается.

Предположение о том, что изменение  $\Delta P$  вызвано влиянием сейсмичности через изменение полярного момента инерции Земли  $C_0$ , не может быть принято, поскольку изменения энергии вращения  $E_0$  на несколько порядков превышают величину энергии  $E_s$ , выделившейся при землетрясениях (например, уменьшение продолжительности суток за 1983 г. на 0.36 мс приводит к увеличению  $E_0$  на  $8.9 \times 10^{27}$  эрг, в то время как суммарная энергия землетрясений за этот же период в областях спрединга оценивается в  $0.9 \times 10^{29}$  эрг, а полная сейсмическая энергия

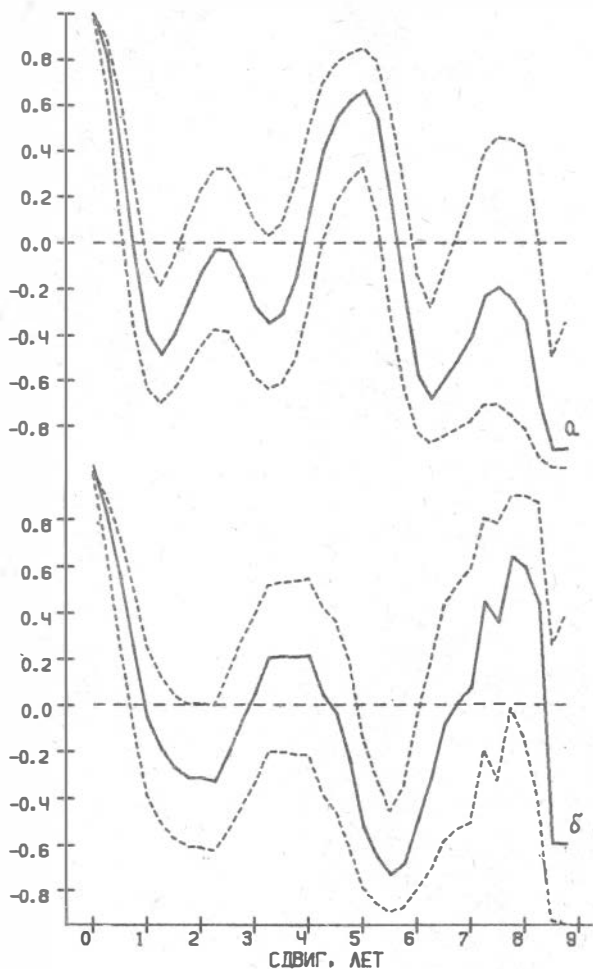


Рис.4. Автокорреляционные функции: а - изменений продолжительности суток  $\delta(\Delta P)$ ; б - логарифма суммарного скалярного момента в зонах спрединга. Пунктирной линией показан 95%-й доверительный интервал

составляет  $1.4 \times 10^{24}$  эрг). Косвенным подтверждением этого может быть тот факт, что значительно более энергоемкие процессы в зонах субдукции не коррелируют с  $\Delta P$ , если только это не связано с существенно отличающимся влиянием этих землетрясений на момент инерции Земли. При этом также необходимо быть уверенным в том, что коэффициент излучения сейсмической энергии из очага не завышен.

Энергетически возможен обратный процесс – воздействие неравномерности вращения Земли на сейсмичность. В этом случае поле напряжений имеет зональное простирание с максимальными касательными составляющими в средних широтах. В то же время анализ  $M_{pr}$  показал, что корреляция с  $\delta(\Delta P)$  обусловлена преимущественно сейсмичностью экваториальной области. Кроме того, в тропиках оси спрединга в основном ориентированы в меридиональном направлении, т.е. перпендикулярно к ожидаемому простиранию деформаций, вызванных напряжениями при изменении скорости вращения Земли.

Таким образом, представляется более вероятным, что изменения во вращении Земли и в сейсмической активности зон спрединга обусловлены воздействием другого, общего для них процесса. На рис.1 видно, что корреляция между  $\delta(\Delta P)$  и  $M_{pr}$  в основном определяется аномалией в 1982–1983 гг. Этот период в геофизической обстановке характеризуется значительным событием Эль-Ниньо – изменением направления течения в экваториальной и южной областях Тихого океана, сопровождающимся повышением температуры воды вблизи побережья Чили и существенным уменьшением перепада атмосферного давления между восточной и западной частями Тихого океана /29/. В это же время вместо нормального уменьшения углового момента атмосферы (зимний минимум) наблюдалось его увеличение /28/. Более умеренные события Эль-Ниньо отмечены также в 1976–1977 и 1986–1987 годах /31/, чем, вероятно, и можно объяснить минимумы сейсмичности в зонах спрединга (рис. 1б), а также замедление вращения Земли (рис.1б) в 1977 и 1986 годах. Последнее согласуется с результатами, полученными в /21/.

Предположение о том, что причина наблюдаемых вариаций связана с перераспределением вещества внутри Земли сталкивается с определенными трудностями. Действительно, если предположить, что изменения скорости вращения вызваны изменением полярного момента инерции, то угловой момент "твердой" Земли  $L_0$  сохраняется. В то же время непосредственные расчеты показывают, что угловой момент атмосферы в период события Эль-Ниньо увеличился. Общий момент импульса Земли  $L_{all}$  может быть представлен в виде (см., например, /25/)

$$L_{all} = L_{cr} + L_{mant} + L_{cor} + L_{atm} + L_{oc} + L_{ice},$$

где  $L_i$  - угловые моменты коры, мантии, ядра, атмосферы, Мирового океана и ледовых масс соответственно. Поскольку мы предположили, что момент  $L_{cr} + L_{mant} + L_{cor}$  не изменился, то наиболее вероятно, что увеличение  $L_{atm}$  компенсируется уменьшением углового момента океана ( $\frac{dL_{oc}}{dt} < 0$ ). Относительно события Эль-Ниньо это может означать, что усилились течения с востока на запад. В то же время само явление Эль-Ниньо связывается именно со сменой направления течений на противоположное ожидаемому, т.е. с запада на восток. Таким образом, источник наблюдаемых корреляций скорее всего имеет экзогенную природу. Возможно, что наблюдаемые изменения  $\Delta P$  вызваны движением масс в атмосфере и океане /15,23,25,27/. С другой стороны, доказательство этой связи основано на очень близком совпадении вариаций момента импульса атмосферы и продолжительности суток, тогда как непосредственный расчет вращающего момента, т.е. количественная оценка механизма переноса момента импульса между атмосферой и "твердой" Землей, все еще затруднителен и не дает достаточно убедительных результатов, что является основанием для критики принятой схемы взаимодействия - от атмосферы к Земле /6/. Кроме того, в рамках такой модели требуется объяснение снижения активности спрединга в периоды торможения Земли. Отметим в связи с этим



работы D.A.Walker /31,32/, который показывает, что сейсмичность Восточно - Тихоокеанского поднятия (зона быстрого раздвижения плит) в периоды Эль-Ниньо возрастает и, более того, является причиной (или индикатором) этих событий в системе "океан-атмосфера", поскольку в указанных работах предполагается, что Эль-Ниньо инициируется повышением гидротермальной деятельности.

Таким образом, для достоверной физической интерпретации полученных результатов требуется продолжение этой работы, в т.ч. с привлечением более представительного ряда данных по сейсмичности.

### Выводы

1. Анализ нерегулярных изменений продолжительности суток и глобальной сейсмичности в 1977-1987 гг. показал, что в периоды замедления вращения Земли активность в зонах спрединга снижается. Коэффициент корреляции оценивается в  $-0.74$  при доверительной вероятности не ниже 99.7%.

2. Полученная корреляция преимущественно определяется процессами, происходящими в период 1982-1983 гг., который характерен значительным событием Эль-Ниньо в системе "океан-атмосфера".

## Список литературы

1. Барсуков О.М. Довод в пользу 11-летней цикличности сейсмической активности // Космос и метеорология: Тр. Всесоюз. конф. по взаимосвязи метеорол. явлений и процессов в околоземном космическом пространстве, Москва, 9-11 янв. 1985 г. - М., 1987. - С.161-163.
2. Барсуков О.М. Сезонная периодичность землетрясений и межпланетное магнитное поле // Изв. АН СССР. Физика Земли. -1989. - №4. - С.78-80.
3. Браун Д., Массет А. Недоступная Земля. - М.: Мир, 1984. - 262 с.
4. Бреусов Н.Г. Исследование роли неравномерности вращения Земли в современной геодинамике. - Алма-Ата, Дисс. к.г.-м.н., 1989. - 113 с.
5. Гончаров Г.И., Гончаров А.Г. Линейность структур и палеошироты // Палеомагнетизм и аккреционная тектоника. - Л., 1988. - С.166-173.
6. Кузнецов В.В. Физика Земли и Солнечной системы: модели образования и эволюции. - Новосибирск: Изд. ИГиГ СО АН СССР, 1990. - 216 с.
7. Павлов Н.Н. Колебания скорости вращения Земли и горизонтальные движения земной коры // Вращение Земли и определение времени. - М., 1969. - С.5-14.
8. Павлов Н.Н. Вращение Земли, деформация земной коры и солнечная активность // Вращение и приливные деформации Земли. - Киев, 1970. - С.30-51.
9. Сайгак В.П. Макроформы рельефа и вращение Земли. - Минск: Изд-во БГУ, 1980. - 75 с.
10. Сергеев К.Ф., Василенко Н.Ф., Сапрыгин С.М. Распространение глобальной волны тектонических напряжений в 1978-1983 гг. // Докл. АН СССР. - 1989. - Т.307, №5. - С.1091-1095.
11. Стюарт М.С. Избранные труды. Ч.1. - М.: Недра, 1975. - 155 с.

12. Annual Report for ... . - Paris, 1982, ..., 1987.
13. Ben-Menahem A., Moshe I. Effects of major seismic events on the rotation of the Earth // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. - 1970. - Vol.19, N4. - P.367-393.
14. Chao B.Fong, Gross R.S. Change in the Earth's rotation and low-degree gravitational field induced by earthquakes // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. - 1987. - Vol.91, N3. - P.569-596.
15. Chao B. Fong. Length-of-day variations caused by El Nino - Southern Oscillation and quasi-biennial oscillation // Science. - 1989. - Vol.243, N4893. - P.923-925.
16. Dominski I. Plotzliche Erdumdrehungsschwankungen in der Zeitperiode 1972-1983. // 5th Int. Symp. Geod. and Phys. Earth, GDR, Magdeburg, Sept.23-29, 1984. // Proceedings. Pt.1. - 1985. - P.92-94. - (Veroff. Zentralinst. Phys. Erde. - N81/1).
17. Dziewonski A.M. Centroid-moment tensor solutions for October-December 1988 // Phys. Earth and Planet. Inter. - 1989. - Vol.57, N3-4. - P.179-191.
18. Hara T. Variations of UT1-TAI and atmospheric excitations // Publ. Int. Observ. Mizusawa. - 1980. - Vol.14, N2. - P.45-75.
19. Ivanov I.B. The irregularity in the Earth annual rotation as a cause of systematic time variation // 5th Int. Symp. Geod. and Phys. Earth, GDR, Magdeburg, Sept.23-29, 1984. // Proceedings. Pt.2. - 1985. - P.16-18. - (Veroff. Zentralinst. Phys. Erde. - N81/2).
20. Li Zheng-xin, Feissel M. Determination of the Earth rotation parameters from optical astrometry observations, 1962.0-1982.0 // Bull. Geod. - 1986. - Vol.60, N1. - P.15-28.
21. Li Zhi-an, Ji Kai-jan. El Nino event and irregular variation of the Earth rotation // Acta astron. sin. - 1989. - Vol.30, N2. - P.160-165.
22. Maddox J. Earthquakes and the Earth's rotation // Nature. - 1988. - Vol.332, N6159. - P.11.

23. Morner N.-A. ENSO - events, Earth's rotation and Global Changes // J. Coastal Res. - 1989. - Vol.5, N4. - P.857-862.
24. O'Connell R.J., Dziewonski A.M. Excitation of the Chandler wobble by large earthquakes // Nature. - 1976. - Vol.262, N5566. - P.259-262.
25. Oort A.H. Angular momentum cycle in atmosphere - ocean - solid Earth system // Bull. Amer. Meteorol. Soc. - 1989. - Vol.70, N10. - P.1231-1242.
26. Press F., Briggs P. Chandler wobble, earthquakes, rotation and geomagnetic changes // Nature. - 1975. - Vol.256, N5515. - P.270-273.
27. Rosen R.D., Salstein D.A. An El Nino signal in atmospheric angular momentum and Earth rotation // Science. - 1984. - Vol.225, N4660. - P.411-414.
28. Salstein D.A. Calculation and analysis of global and regional atmospheric angular momentum function related to Earth rotation and polar motion // Figure and Dyn. Earth, Moon and Planets: Proc. Int. Symp., Prague, 1987. Pt.3. - 1987. - P.977- 990.
29. Shaw H.R., Moore J.G. Magmatic heat and the the El Nino cycle // Eos. - 1988. - Vol.69, N45. - P.1553,1564.
30. Vaidomatis P.S. et al. Active deformation and seismic potential in the Serbomacedonian Zone, Northern Greece // Tectonophysics. - 1990. - Vol.179, N1/2. - P.1-9.
31. Walker D.A. Seismicity of the East Pacific Rise: correlations with the Southern Oscillation Index? // Eos. - 1988. - Vol.69, N38. - P.857,865-866.
32. Walker D.A. Apparent correlations between Ninios and tectonic activity along the East Pacific Rise (abstract) // Eos - 1987. - Vol.68, N64. - P.1336.
33. Wang Zheng-seng, Zhong Ting-jian. Study von the sequential activity and cosecutive strong earthquakes in mainland China. // Phys. Earth and Planet. Inter. - 1987. - Vol.46, N4. - P.343-356.

Утверждено к печати  
Институтом геофизики СО АН СССР

Редактор О.А.Боброва

Технический редактор О.М.Вараксина

---

Подписано к печати 12.09.91.  
Бумага 60x84/16. Печ.л.1,25. Уч.-изд.л.1,0.  
Тираж 150. Заказ 234.

---

Объединенный институт геологии, геофизики  
и минералогии СО АН СССР  
Новосибирск, 90. Ротапринт.