

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Объединенный институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта

Российский фонд фундаментальных исследований

Евро-Азиатское геофизическое общество  
(Санкт-Петербургское отделение)

# ***ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ И НЕДР***

Материалы Международной научно-практической конференции  
молодых ученых и специалистов  
«Геофизика-99»

Санкт-Петербург, 9-12 ноября 1999 г.

Под редакцией  
академика *В.Н. Страхова,*  
*В.П. Кальварской*

*Москва*  
**2000**

# ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2000 Т.В. Барляева, А.Л. Морозова, М.И. Пудовкин

В ходе исследования был рассмотрен ряд интенсивных ( $M \geq 7.0$ ) землетрясений с 1962 по 1995 год. Была обнаружена 22-летняя периодичность рассматриваемых рядов количества землетрясений, знакопеременного ряда чисел Вольфа, Vz-компоненты ММП вблизи Земли, преобразованного ряда интенсивности ГКЛ и рядов вариаций атмосферного давления. Была установлена статистически достоверная связь сейсмичности Земли с характеристиками солнечной активности, изменениями ММП вблизи Земли и барическими атмосферными перестройками; а также связь вариаций атмосферного давления с характеристиками солнечной активности. На основании проведенного исследования детализируется предложенная А.Д.Сытинским схема вероятного воздействия солнечной активности на развитие интенсивных землетрясений.

Как известно, среди наиболее важных проблем современной геофизики особое место занимает проблема прогноза землетрясений. Успешное решение этих проблем зависит от степени изученности общих физических закономерностей, управляющих атмосферными процессами и процессами, приводящими к возникновению землетрясений.

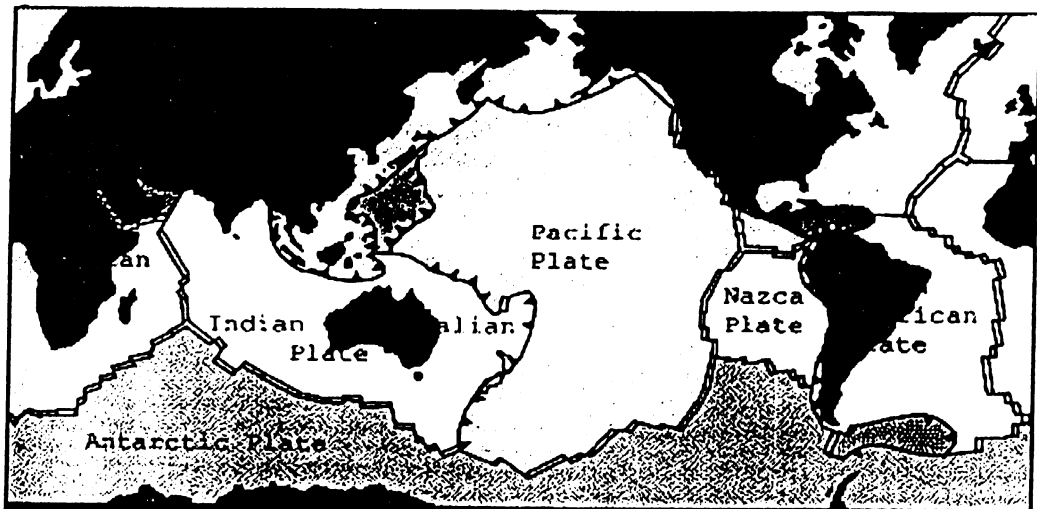
Работы в направлении поиска прогноза землетрясений на основе традиционных сейсмических методов ведутся уже около 150 лет, но проблема по-прежнему остаётся нерешенной.

В настоящее время общепризнанным считается влияние солнечной активности на магнитосферу и верхнюю атмосферу Земли [Литеровский и др., 1992]. Существование связи сейсмичности Земли с солнечной активностью не следовало из традиционных представлений о причинах землетрясений. Считалось, что землетрясения возникают за счет геотектонических движений, обусловленных только физико-химическими процессами, происходящими внутри Земли.

В 1961 г. А.Д.Сытинским была обнаружена статистически достоверная связь между возникновением интенсивных землетрясений и уровнем солнечной активности, что представляется чрезвычайно интересным и подробно описано в его монографии [Сытинский, 1987]. А.Д.Сытинским был даже предложен возможный физический механизм этой связи, но детали механизма, а также физический агент, посредством которого осуществляется влияние вариаций солнечной активности на сейсмичность Земли, по-прежнему остается неясным.

В настоящем докладе предлагаются некоторые результаты исследования, посвященного поиску физического агента, посредством которого осуществляется влияние различных явлений солнечной активности на состояние атмосферы Земли и возникновение интенсивных землетрясений.

Как известно, литосфера не монолитна, она состоит из множества крупных, средних и мелких плит,двигающихся под действием конвективных течений в верхней мантии Земли (рис.1).



Σ — дивергентные границы, Λ — конвергентные границы, // — трансформные границы

Рис. 1. Тектоническая карта Земли

В глобальном масштабе плиты ведут себя как упругие тела. Критерием выделения плит является межплитовая граница. Её признак – землетрясения: 95% землетрясений происходит на границах литосферных плит [Lay, Wallace, 1995].

В ходе исследования рассматриваются наиболее сильные (магнитуда  $M \geq 7.0$ ) землетрясения [Kanamori, Anderson, 1975] за период с 1962 по 1995 годы, распределенные по всему миру (рис.2).

С целью выяснения, каким образом ведут себя изучаемые закономерности во всём мире и в отдельных сейсмических регионах, были выбраны 3 группы землетрясений:

- 1) интенсивные землетрясения во всём мире;
- 2) интенсивные землетрясения в Альпийско-гималайском сейсмическом поясе (Среднеазиатский регион), где имеет место коллизия Африканской, Аравийской и Индо-австралийской литосферных плит с одной стороны и Евразийской литосферной плиты – с другой;
- 3) интенсивные землетрясения в Тихоокеанском сейсмическом поясе (район Курильских островов и Японии), где имеет место субдукция Тихоокеанской литосферной плиты под Евразийскую.

Было исследовано временное распределение количества землетрясений за период с 1962 по 1995 годы для всех трёх групп землетрясений. Причём было рассмотрено поведение не только первичного ряда землетрясений, но и ряда, сглаженного по методу скользящего среднего по 5 точкам (периодом 5 лет).

В результате для всех трёх случаев была обнаружена 22-летняя периодичность в распределении по времени числа землетрясений (рис.3).

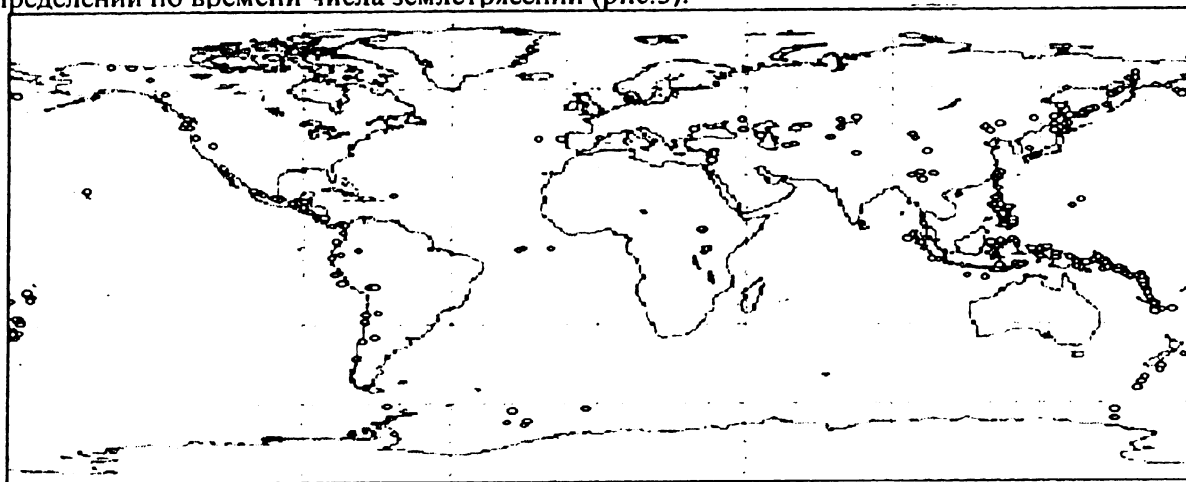


Рис. 2. Распределение наиболее сильных землетрясений в мире

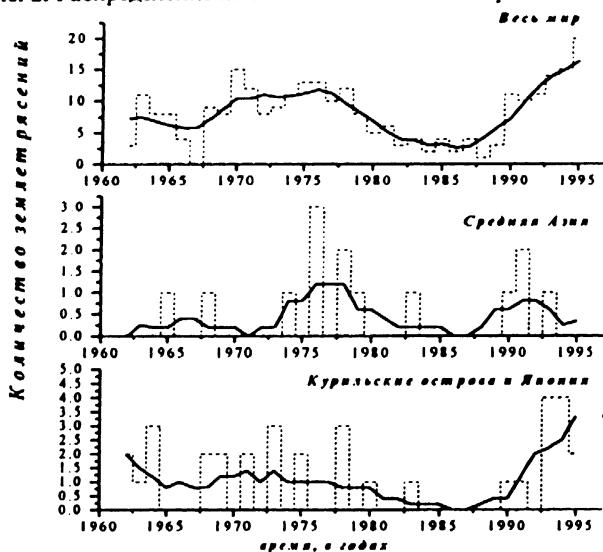


Рис. 3. Временное распределение количества землетрясений (пунктирная линия – первичный ряд, сплошная линия – сглаженный по периоду 5 лет ряд): а) для всего мира; б) для Среднеазиатского региона; в) для района Курильских островов и Японии

Возникает вопрос: чем же может быть обусловлена такая цикличность? Что и каким образом может задавать именно такую периодичность распределению числа землетрясений не только по всему миру в целом, но и в отдельных регионах, таких как Тихоокеанский и Альпийско-Гималайский – регионах, механизм возникновения землетрясений и геологическая структура литосферы в которых столь различны?

### Числа Вольфа и вспышечный индекс

В качестве характеристики солнечной активности в данном случае было выбрано поведение ряда чисел Вольфа. Этот индекс солнечной активности рассчитывается следующим образом:

$$W = k \cdot (10 \cdot g + f),$$

где  $W$  – числа Вольфа,  $k$  – поправочный коэффициент обсерватории,  $g$  – число групп солнечных пятен,  $f$  – общее число солнечных пятен.

Известно, что солнечная активность имеет циклический характер, а именно: временное распределение чисел Вольфа имеет периодичность  $\approx 11$  лет. Но числа Вольфа нельзя считать индексом, адекватно отражающим физическую сущность изменения солнечной активности, что видно из способа его расчёта: если, например, появляется одно новое небольшое пятно вдалеке от остальных, то число групп солнечных пятен станет на 1 больше и индекс сильно увеличится, хотя физически в данном случае солнечная активность увеличилась незначительно. Поэтому, исходя из всего вышесказанного, для характеристики физики солнечной активности лучше использовать более информативные индексы, каковым является, например, вспышечный индекс [Kleczek, 1952]. Он учитывает число, продолжительность, параметры солнечных вспышек. Однако, проанализировав его поведение и сравнив с поведением ряда чисел Вольфа (рис.4), мы нашли, что за рассматриваемый период времени эти два индекса изменяются практически синхронно, и рассмотрение вспышечного индекса при изучении длиннопериодных циклических зависимостей не позволяет получить новую информацию. При исследовании поведения солнечной активности в пределах нескольких недель относительно какого-то момента времени (времени землетрясения) более правильно будет использовать именно вспышечный индекс, а при рассмотрении временного интервала порядка нескольких десятков лет будем пользоваться рядом чисел Вольфа.

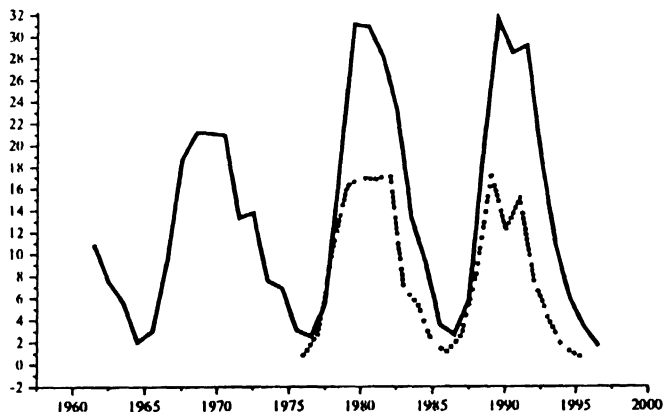


Рис. 4. Характеристики солнечной активности: жирная чёрная линия – числа Вольфа; пунктирная линия – среднегодовые значения вспышечного индекса

Однако 11-летний цикл солнечной активности физически соответствует циклу активности солнечных пятен, а цикл с точки зрения магнитного поля Солнца составляет примерно 22 года. Это так называемый хейловский цикл солнечной активности, вызванный тем, что каждые 11 лет полярность ведущих групп солнечных пятен меняется на противоположную. Таким образом, два 11-летних цикла солнечной активности составляют полный 22-летний цикл.

Отразить такую цикличность с помощью ряда чисел Вольфа можно, преобразовав знакопостоянный ряд чисел Вольфа в знакопеременный ряд. Делается это заменой знака в чётных 11-летних циклах на противоположный. Полученный таким образом ряд и будет отражать хейловский цикл солнечной активности (рис.5).

Был проведён кросс-корреляционный анализ полученного знакопеременного ряда чисел Вольфа и рядов землетрясений всех трёх групп, в результате которого были получены следующие коэффициенты антикорреляции:

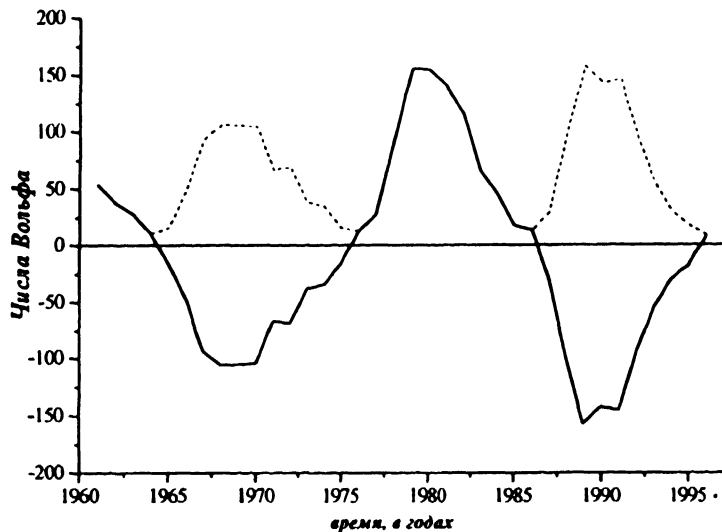


Рис. 5. Кривые знакопостоянного и знакопеременного рядов чисел Вольфа

для землетрясений во всём мире: от  $-0.49$  до  $-0.93$  при запаздывании землетрясений на 1-4 года относительно ряда чисел Вольфа и от  $-0.89$  до  $-0.57$  при запаздывании землетрясений на 5-7 лет;

для среднеазиатских землетрясений коэффициент корреляции получился немного ниже: примерно  $-0.43$  при запаздывании землетрясений на 6-7 лет;

для Курило-Камчатской зоны: от  $-0.54$  до  $-0.79$  при запаздывании землетрясений на 2-4 года и от  $-0.62$  до  $-0.4$  при запаздывании землетрясений на 6-7 лет.

В данном случае имеет место антикорреляция, самый высокий коэффициент получается для землетрясений по всему миру, а самый низкий и с чуть большим смещением – для землетрясений Средней Азии. Возможно, это объясняется различной природой механизмов образования землетрясений, а также особенностями геологической структуры литосферы рассматриваемого региона. В Альпийско-Гималайском поясе происходит коллизия континентальных литосферных плит, а в Тихоокеанском – субдукция океанической плиты (Тихоокеанской) под континентальную (Евразийскую) с образованием островной дуги.

#### **Vz- компонента межпланетного магнитного поля (ММП) вблизи Земли**

Логично предположить, что следствием изменения солнечной активности является изменение межпланетного магнитного поля (ММП), в том числе и вблизи Земли. Для исследования этих изменений предлагается рассмотреть поведение Vz-компоненты ММП (GSM система) вблизи Земли за период времени с 1963 по 1991 годы. Было обнаружено, что эта величина, также как и землетрясения и числа Вольфа, имеет 22-летнюю периодичность.

Был сосчитан коэффициент кросс-корреляции Vz-компоненты ММП вблизи Земли и знакопеременного ряда чисел Вольфа. Он составил  $(0.77 \pm 0.57)$  при запаздывании Vz-компоненты примерно на 0-1 год. Чуть меньший коэффициент – при смещении 7-10 лет, но для данных процессов такого запаздывания не может быть с физической точки зрения, поэтому из математической корреляции при таком смещении не следует физическая. Таким образом, вероятнее всего запаздывание Vz-компоненты примерно на 0-1 год относительно знакопеременного ряда чисел Вольфа.

При рассмотрении сейсмической активности Земли в связи с поведением Vz-компоненты ММП было установлено наличие антикорреляции с коэффициентами:

для землетрясений во всём мире – от  $-0.45$  до  $-0.69$  при запаздывании землетрясений на 4-7 лет и от  $-0.66$  до  $-0.53$  при запаздывании на 8-10 лет; сравнение с взаимным расположением кривой чисел Вольфа и кривых землетрясений, а также кривой чисел Вольфа и кривой Vz-компоненты ММП говорит о том, что имеет место запаздывание на 4-7 лет;

для района Средней Азии – корреляция с коэффициентом  $(0.47 \pm 0.43)$  и антикорреляция примерно от  $-0.47$  до  $-0.57$  при запаздывании землетрясений на 8-10 лет. В данном случае вероятнее наличие антикорреляции ввиду того, что частный случай (отдельный регион) в общих закономерностях должен удовлетворять общему – землетрясениям во всём мире;

для Курильских островов и Японии наблюдается антикорреляция с коэффициентом примерно от  $-0.39$  до  $-0.48$  при запаздывании землетрясений на 4-7 лет.

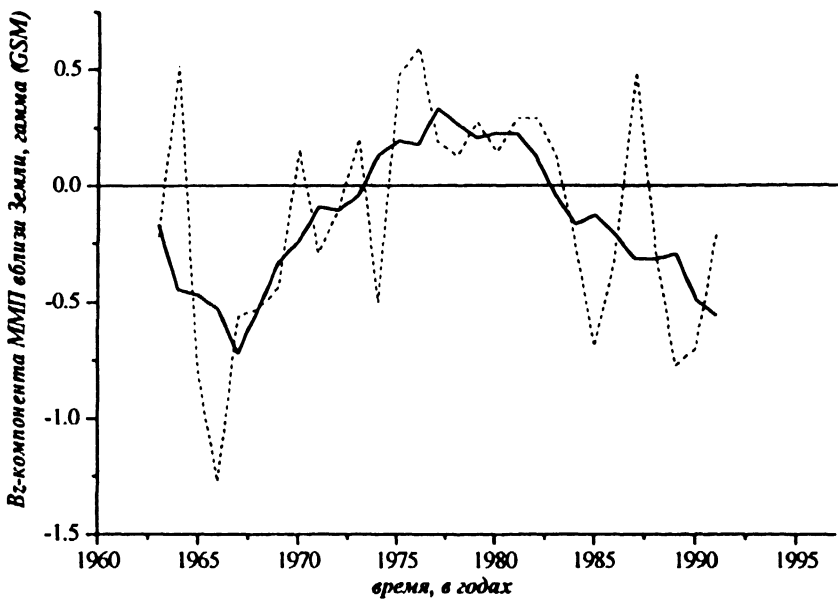


Рис. 6. Vz-компонента ММП вблизи Земли, гамма (GSM) (пунктирная линия – реальная кривая, сплошная – кривая, полученная сглаживанием реальной по периоду 5 лет)

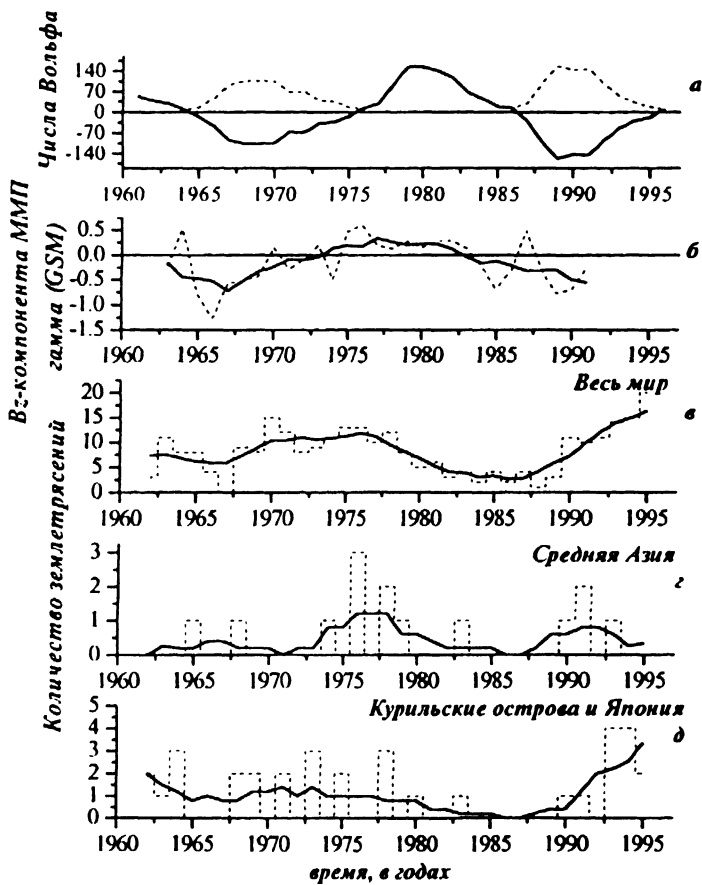


Рис. 7. Поведение чисел Вольфа (а), Vz-компоненты ММП вблизи Земли (гамма, GSM) (б); временное распределение количества землетрясений (реальный и сглаженный по периоду 5 лет ряды): в) для всего мира; Среднеазиатского региона; д) для района Курильских островов и Японии

Таким образом, во всех случаях имеет место антикорреляция и, как и в случае с числами Вольфа, в районе Средней Азии запаздывание больше. Вероятно, что влияние солнечной активности в районах, где происходит коллизия литосферных плит ввиду своеобразия этого вида межплитовых границ (Альпийско-Гималайский коллизийный пояс имеет большую протяжённость, края плит разбиваются на серию микроплит, которые могут испытывать дифференцированное движение друг относительно друга (сталкиваться, скользить и т.д.)), проявляется позже, чем в остальных регионах.

### Галактические космические лучи (ГКЛ)

Как уже говорилось, при изменении величины солнечной активности происходит изменение Vz-компоненты ММП вблизи Земли. Кроме того, меняется интенсивность потоков солнечных космических лучей (СКЛ). Но Земля подвергается воздействию не только космических лучей со стороны Солнца, но также и воздействию галактического космического излучения-галактических космических лучей (ГКЛ) (рис.8а).

Вариации потоков солнечных и галактических лучей связаны друг с другом. Это видно, например, из того, что вариации интенсивности потоков ГКЛ имеют 11-летнюю периодичность, как и числа Вольфа, а коэффициент кросс-корреляции кривой чисел Вольфа, характеризующих солнечную активность, и кривой вариаций интенсивности потоков ГКЛ достигает примерно -0.81 практически при нулевом запаздывании ряда ГКЛ относительно ряда чисел Вольфа. Знак «-» перед коэффициентом означает, что имеет место антикорреляция, т.е. максимум одного ряда соответствует минимуму другого.

Таким образом, учитывая всё вышесказанное, можно сделать вывод о том, что, исследуя вариации интенсивности потоков ГКЛ, мы одновременно исследуем изменения солнечной активности.

Для исключения короткопериодных вариаций кривая временного распределения ГКЛ была подвергнута сглаживанию методом скользящего среднего по периоду 5 лет.

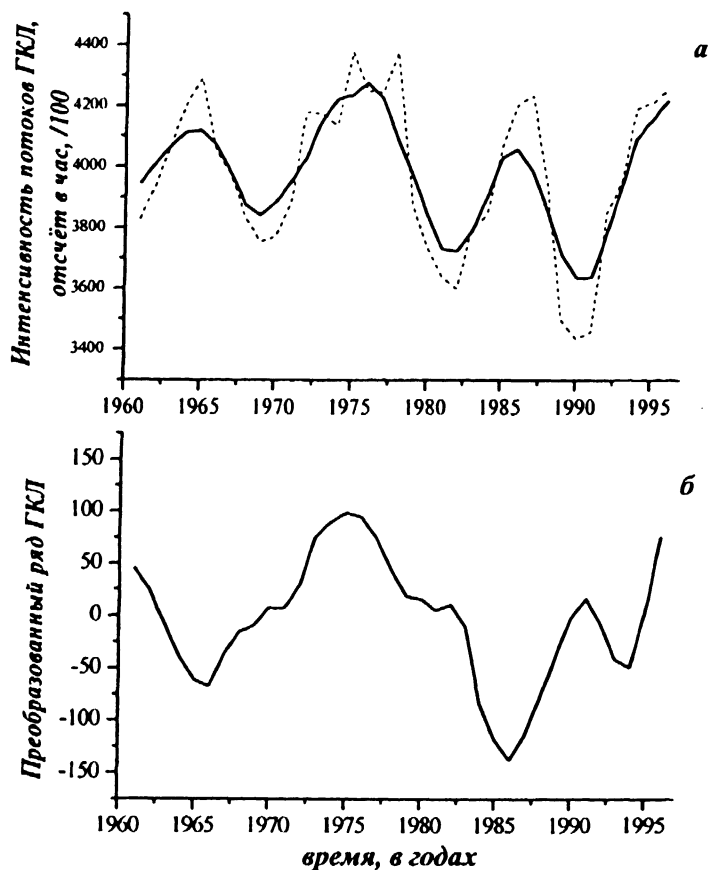


Рис. 8. Вариации интенсивности ГКЛ в атмосфере Земли: а – пунктирная линия – среднемесячные данные, сплошная линия – кривая ГКЛ, сглаженная по периоду 5 лет; б – кривая разности ряда ГКЛ и ряда, сглаженного по периоду 22 года, сглаженная по периоду 11 лет

Было исследовано поведение сглаженных кривых ГКЛ и землетрясений для различных регионов графически (рис.9 *a, в, з, д*) и с помощью кросс-корреляционного анализа, который дал следующие (не очень большие) коэффициенты корреляции:

~0.4 с нулевым запаздыванием для землетрясений во всём мире,

~0.37 с запаздыванием землетрясений на 2-3 года относительно ГКЛ для землетрясений в Средней Азии,

~0.27 с нулевым запаздыванием для землетрясений в районе Курильских островов и Японии.

Итак, полученные кривые распределения землетрясений имеют периодичность 22 года (рис.3), кривая вариаций интенсивности ГКЛ – 11 лет (рис.8*a*), имеется статистически достоверная связь чисел Вольфа и ГКЛ, а кривая изменения Vz-компоненты ММП вблизи Земли имеет периодичность 22 года (рис.5). Возникает вопрос: а нельзя ли более сильным сглаживанием кривой интенсивности ГКЛ выделить длиннопериодные (22 года) вариации ГКЛ? Для осуществления этого кривая ГКЛ была сглажена методом скользящего среднего по периоду 22 года, взята разность исходного и полученного рядов ГКЛ, и получившаяся таким образом кривая была сглажена по периоду 11 лет. В результате проделанных операций удалось выделить 22-летний цикл ГКЛ, но только один ввиду короткого ряда данных (1962-1995 гг.) (рис.8*б*).

Проведение графического (рис.9 *a-d*) и кросс-корреляционного сравнительного анализа полученного ряда с характеристиками солнечной и сейсмической активности указало на наличие большего коэффициента корреляции ГКЛ с землетрясениями, чем в предыдущем случае. Он составил:

(0.6±0.62) при запаздывании землетрясений относительно ГКЛ от 0 до 2 лет для землетрясений по всему миру,

(0.53±0.42) при запаздывании землетрясений относительно ГКЛ на 0-1 год для землетрясений Средней Азии,

~0.31 при отсутствии запаздывания землетрясений относительно ряда ГКЛ для землетрясений в районе Курильских островов и Японии.

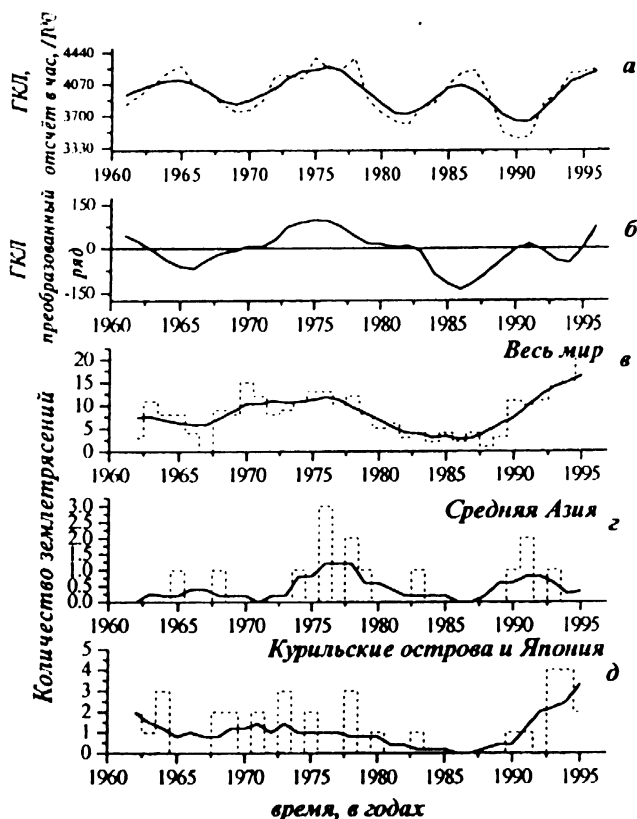


Рис. 9. Вариации интенсивности ГКЛ в атмосфере Земли: *a* – пунктирная линия – реальное распределение, сплошная линия – кривая ГКЛ, сглаженная по периоду 5 лет; *б* – кривая разности ряда ГКЛ и ряда, сглаженного по периоду 22 года, сглаженная по периоду 11 лет. Временное распределение количества землетрясений: *в* – для всего мира; *г* – для Среднеазиатского региона; *д* – для района Курильских островов и Японии



Следует отметить, что в обоих случаях самый большой коэффициент корреляции для землетрясений по всему миру, а самый маленький – для землетрясений Курило-Камчатской зоны и Японии. Это, возможно, объясняется тем, что, рассматривая землетрясения «во всём мире», мы рассматриваем набор событий, происшедших в районах с разной геологической структурой, механизмы возникновения очагов которых сильно отличаются. А каждой из двух выбранных нами конкретных зон соответствует определённое геологическое строение литосферы, определённый механизм образования очага землетрясения. Кроме того, следует учесть наличие Тихого океана – огромного накопителя энергии.

Коэффициент кросс-корреляции ряда ГКЛ (с 22-летним циклом) с рядом Vz-компоненты ММП вблизи Земли составляет от  $\sim 0.59$  при отсутствии запаздывания ГКЛ относительно Vz-компоненты ММП вблизи Земли. Кроме того, имеется ещё антикорреляция с коэффициентом от  $-0.41$  при запаздывании ГКЛ на 5 лет и  $-0.80$  при запаздывании ГКЛ на 8-9 лет. Но, учитывая физическую природу рассматриваемых процессов, нельзя сделать вывод о том, что один из них сказывается на другом через 8-9 лет – это слишком большое запаздывание.

### Атмосферное давление

Как мы уже говорили, рабочей гипотезой является то, что солнечная активность влияет на литосферу Земли через атмосферные процессы. Для характеристики атмосферных перестроек над зонами землетрясений используются данные по атмосферному давлению. В ходе исследования было рассмотрено изменение хода атмосферного давления для различных регионов (Средняя Азия, Курильские острова и Япония) с 1961 по 1990 годы. Полученные распределения давления ориентировочны, так как используемые данные по давлению – данные станций, расположенных на территории бывшего СССР. Но для рассматриваемых нами отдельных регионов (Средняя Азия и Курильские острова) кривые будут близки к истинным.

Графики, характеризующие поведение давления (рис.10), строились следующим образом: для рассматриваемой географической области брались приблизительно равномерно распределённые по ней наземные станции (18 – для Средней Азии, 16 – для района Курильских островов и Японии) и проводилось пространственное осреднение величины атмосферного давления для этих станций.

Полученные кривые изменения распределения атмосферного давления, для исключения короткопериодных и выделения более длиннопериодных вариаций были подвергнуты сглаживанию методом скользящего среднего по периоду 5 лет. В полученных сглаженных кривых прослеживается 22-летняя периодичность (рис.10).

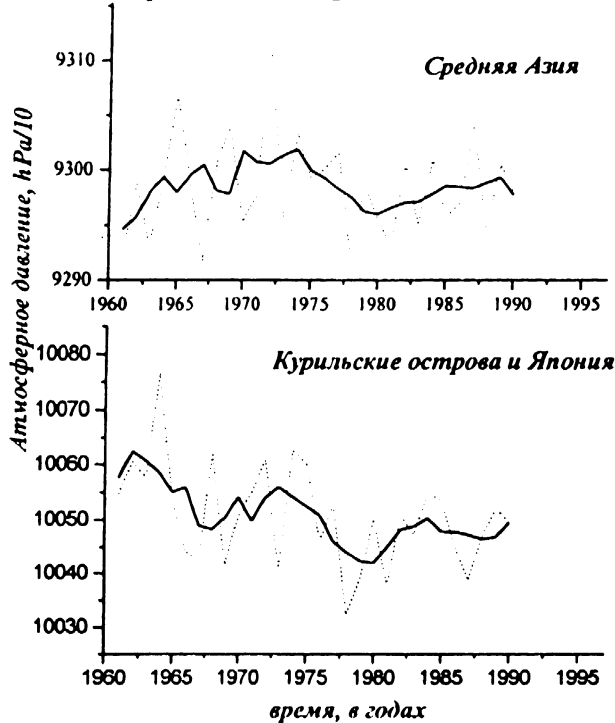


Рис. 10. Распределение атмосферного давления (пунктирная линия – реальная кривая, сплошная линия – сглаженная по периоду 5 лет): для всего мира; для Среднеазиатского региона; для района Курильских островов и Японии

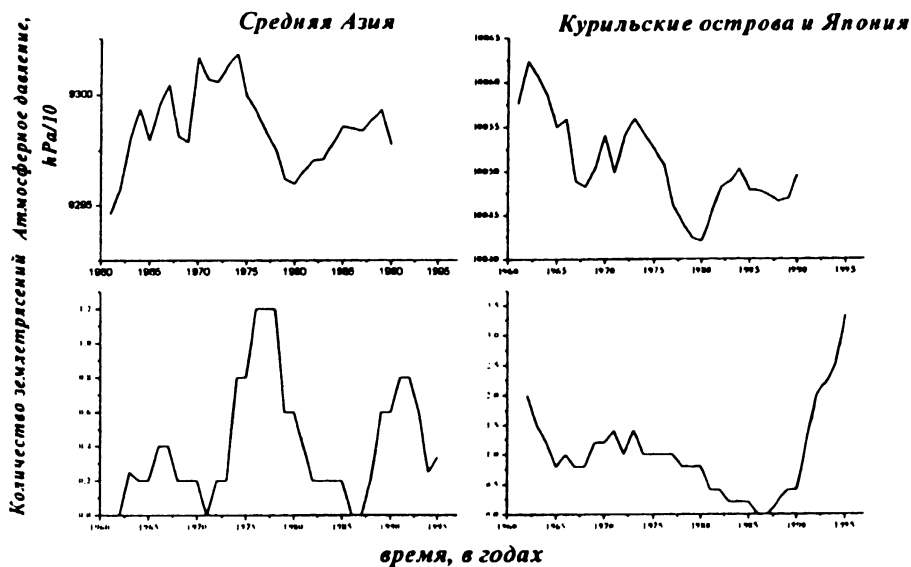


Рис. 11. Вариации атмосферного давления и количества интенсивных землетрясений для районов Средней Азии и Курильских островов

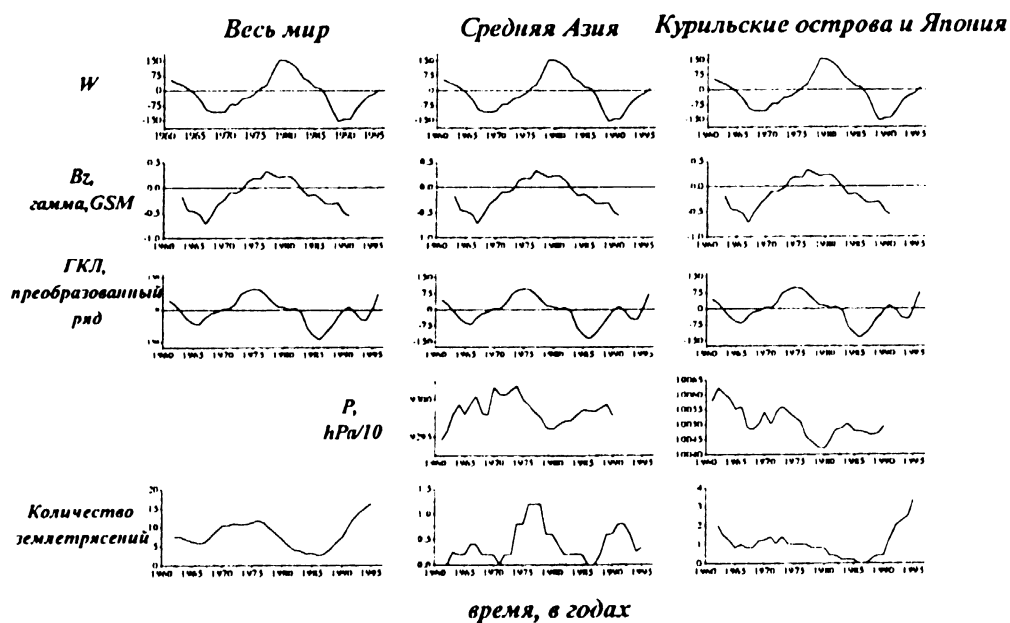


Рис. 12. Числа Вольфа, Vz-компонента ММП вблизи Земли, преобразованный ряд ГКЛ, вариации атмосферного давления, распределение количества интенсивных землетрясений (для всего мира, Средней Азии, Курильских островов и Японии)

Для того чтобы выяснить связь между атмосферными и сейсмическими процессами, был проведён графический (рис.11) и кросс-корреляционный анализ сглаженных кривых распределения атмосферного давления и количества сильных землетрясения для трёх рассматриваемых областей.

В результате было установлено, что в Среднеазиатском регионе коэффициент корреляции достигает  $(0.41 \pm 0.64)$  при запаздывании землетрясений на 2-4 года и  $(0.53 \pm 0.41)$  при запаздывании землетрясений на 5-7 лет; а в районе Курильских островов и Японии коэффициент корреляции составляет  $(0.43 \pm 0.34)$  при запаздывании землетрясений примерно на 0-1 год.

Было проведено исследование вариаций атмосферного давления и космических факторов (рис.12).

Графическое и кросс-корреляционное сравнение поведения атмосферного давления с поведением характеристик солнечной активности (числа Вольфа) показало, что: в Средней Азии имеется статистически достоверная антикорреляция (коэффициент от  $-0.64$  до  $-0.46$ ) при запаздывании давления на 0-3 года; а для района Курильских островов и Японии отсутствует хорошая корреляция. Это может быть объяснено тем, что Тихий океан – огромный накопитель энергии – оказывает влияние на атмосферные перестройки, в рассматриваемом районе, в связи с чем влияние солнечной активности на атмосферу в данном случае выявить сложно.

Анализ связи атмосферного давления с Vz-компонентой ММП вблизи Земли указывает на наличие антикорреляции: в Азии коэффициент примерно от  $-0.42$  до  $-0.59$  с запаздыванием давления относительно Vz-компоненты ММП на 2-6 лет и около  $-0.49$  с запаздыванием давления на 7 лет; в районе Курильских островов и Японии коэффициент примерно от  $-0.41$  до  $-0.47$  с запаздыванием давления относительно Vz-компоненты ММП на 4-6 лет.

При сопоставлении анализа для чисел Вольфа и Vz-компоненты ММП для области Средней Азии можно сделать вывод о запаздывании атмосферного давления относительно Vz-компоненты ММП на 2-3 года. Для Курильских островов какие-либо выводы сделать сложно.

Проведённый кросс-корреляционный анализ кривой атмосферного давления и ряда ГКЛ, сглаженного по 5 годам показал, что для Средней Азии и Курильских островов коэффициент корреляции составляет  $(0.33 \pm 0.35)$  без запаздывания, т.е. хотя коэффициент и небольшой, но то, что запаздывание мало, соответствует предполагаемой физике процесса. Если брать преобразованный ряд ГКЛ, то для Средней Азии и Курильских островов наблюдается антикорреляция с запаздыванием атмосферного давления примерно на 6-7 лет (в Средней Азии коэффициент антикорреляции примерно от  $-0.41$  до  $-0.42$ , в районе Курильских островов и Японии от  $-0.36$  до  $-0.39$ ). Наличие такого большого запаздывания представляется весьма странным и его объяснение требует учёта других факторов, таких как особенности климата конкретных регионов.

Все полученные результаты кросс-корреляционного анализа приведены в таблице.

### Выводы

Проанализировав полученные результаты, приведённые в таблице, можно сделать вывод о том, что солнечная активность действительно оказывает влияние на сейсмичность Земли через атмосферные перестройки. Предлагается примерная схема механизма этого влияния (рис.13), которая состоит в следующем: изменение солнечной активности влечёт за собой изменение ММП вблизи Земли, которое влияет на интенсивность ГКЛ. Изменение интенсивности потоков ГКЛ вызывает атмосферные перестройки, вследствие которых нарушается баланс давлений на стыке блоков; если накопленные упругие деформации уже достаточно велики на границе рассматриваемых блоков, то они становятся больше предела прочности, который может выдержать горная порода, блоки смещаются друг относительно друга и тогда, согласно теории упругой отдачи, происходит землетрясение.



Рис. 13. Уточнённая схема влияния солнечной активности на возникновение землетрясений



Естественно, что одна лишь солнечная активность посредством влияния на атмосферные процессы не может вызвать землетрясение. Для того чтобы землетрясение произошло, необходимо наличие уже достаточно больших упругих деформаций, потому что солнечная активность, по всей видимости, выступает в роли «последней капли, переполнившей чашу». Поэтому очень важным представляется учёт геологической структуры местности (например, типы межплитовых границ) и климатических особенностей данного региона (например, близость океана – огромного накопителя энергии, который влияет на атмосферные перестройки над ним).

Чем неустойчивее литосфера, тем больше вероятность, что изменение солнечной активности повлечёт землетрясение.

Необходимость учёта климата и геологии видна и из полученных результатов: общие (глобальные) характеристики ведут себя похожим образом (периодичность и её величина), но отдельные детали этих зависимостей получились не совсем одинаковые для землетрясений во всём мире и в отдельных регионах. Где-то это можно объяснить не совсем точными данными (давление), не слишком большим их количеством (землетрясения в отдельных регионах) или же недостаточно большой длиной ряда для сглаживания с целью выявления 22-летних вариаций (ГКЛ). В остальных же случаях различие имеет физическую природу.

Однако полученные предварительные результаты дают основание предполагать, что, несмотря на необходимость многих сопутствующих факторов, в возникновении большинства рассмотренных сильных землетрясений солнечная активность сыграла свою роль.

### Литература

- Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л.* Ионосферные предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 315 с.
- Сытинский А.Д.* Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. Л.: Гидрометеониздат, 1987. 175 с.
- Kanamori H., Anderson D.L.* Theoretical basis of some empirical relations in seismology// Bull. Seism. Soc. Am. 1975. Vol.65. P.1073-1095.
- Kleczek J.* Publ. Inst. Centr. Astron. № 22. Prague, 1952. 20 p.
- Lay T., Wallace T.C.* Modern global seismology// Academic press, International Geophysics Series. 1995. 473 p.