

**В.Н. Боков****МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕЙСМИЧНОСТИ  
И АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ****V.N. Bokov****INTERANNUAL VARIABILITY OF SEISMICITY  
AND ATMOSPHERIC CIRCULATION**

*Рассмотрена межгоддовая изменчивость сильных землетрясений с  $M \geq 7$  и сильнейших землетрясений с  $M \geq 8$  совместно с формами циркуляции по классификации Вангенгейма-Гирса за последние 106 лет. Представленные данные позволяют заявить об иницировании сильных землетрясений атмосферными процессами меридиональной формы С.*

*Interannual variability of strong earthquakes with  $M > 7$  and killer quakes with  $M > 8$  is considered together with forms of circulation in classification of Vanergheim-Girs for the last 106 years. The presented data allow declaring about initiation of strong earthquakes by atmospheric processes of meridional shape C.*

На Международном симпозиуме по землетрясениям и безопасности, который проходил в январе 1997 г. в Кобе (Япония) было отмечено [21], что «за последние 30 лет число крупных землетрясений с катастрофическими последствиями постоянно увеличивалось: в 60-х годах в мире произошло 89 таких событий, в 70-х — 139, а в 90-е годы — 392, т.е. возросло в 4 раза». Действительно растет ли число землетрясений в последние десятилетия и чем это обусловлено?

По нашему мнению, одной из причин кажущегося увеличения количества землетрясений является повышение количества и качества сейсмологической информации. В сороковые годы прошлого столетия на планете имелось приблизительно 350 станций, а сегодня их больше чем 8000. С увеличением числа сейсмических станций стало регистрироваться и большее число землетрясений, особенно небольших. Сегодня в Национальный информационный центр землетрясений Геологической службы США ежедневно поступает сведения примерно о 50 землетрясениях, а за год около 20 000 случаев. Кроме этого, число крупных землетрясений с катастрофическими последствиями обусловлено увеличением численности людей проживающих в сейсмически опасных местах.

Однако число землетрясений с магнитудой  $M \geq 7,0$  не имеет ярко выраженного тренда, несмотря на увеличение общего числа землетрясений. Из рисунка видно, что для землетрясений с  $M \geq 7,0$  наблюдается колебательный процесс. Выделяются периоды с повышенной повторяемостью землетрясе-

ний: в начале XX в., сороковые годы, период в конце шестидесятых и в начале семидесятых годов, а также девяностые годы. На этом же рисунке приведен график числа землетрясений с магнитудой  $M \geq 6,0$  за последние 30 лет, который показывает более существенную изменчивость во времени. Кратко рассмотрим возможные причины, обуславливающие межгодовую изменчивость землетрясений.

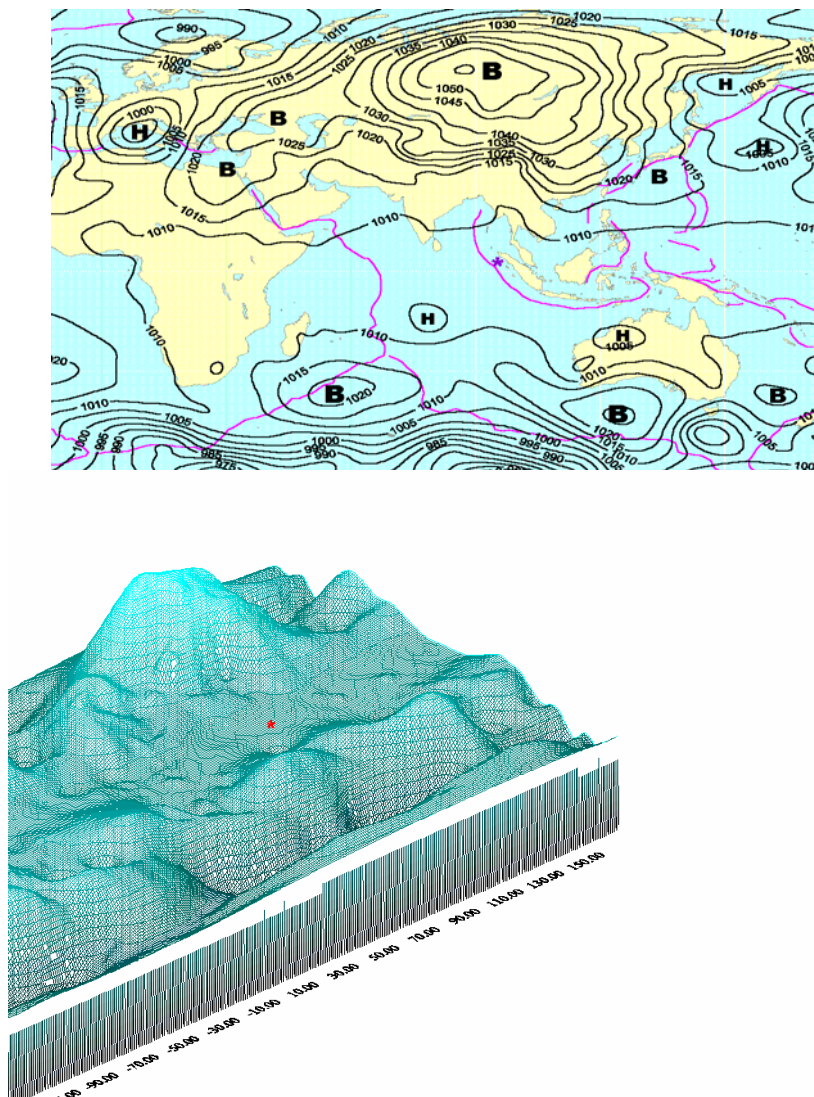


Рис. 1. Синоптическая обстановка в день землетрясения у берегов Суматры (26.12.2004 г.) в двумерном (верхний) и трехмерном (нижний) изображениях. Звездочкой отмечен эпицентр землетрясения.

Опубликовано много работ, в которых межгодовую изменчивость сейсмичности связывают с изменчивостью солнечной активности (СА) [1, 2, 15–17, 20]. Однако во многих из них с целью получения значимой корреляции применялось осреднение по большому интервалу времени [20] либо по короткому временному ряду [1], что приводит к сомнениям в реальности физического механизма непосредственного влияния СА на сейсмичность. Можно признать обоснованным влияние СА на сейсмичность только на фазе 11-летнего солнечного цикла [2, 15]. Но периоды с повышенной повторяемостью числа землетрясений с  $M \geq 7,0$  проявляются с более длительным периодом, чем 11 лет или 22 года. Спектр, рассчитанный по данному ряду, выявил 35-летний квазицикл числа землетрясений с  $M \geq 7,0$ . Влияние векового солнечного цикла заметно только по ежегодным значениям сейсмической энергии  $E$  [20], которые включают все сейсмические события (слабые, умеренные и сильные землетрясения). На основании 106-летнего ряда сложно получить статистически значимые оценки влияния векового солнечного цикла. Подчеркнем лишь, что солнечный вековой цикл не соответствует временной изменчивости сильных землетрясений, поэтому его влияние на их периодичность слабое. Поскольку влияние СА на сейсмичность проявляется опосредованно через атмосферу, ионосферу и магнитосферу [2, 14, 15], то, судя, по приведенным сведениям, можно признать отсутствие непосредственного влияния СА на межгодовую изменчивость сильных землетрясений.

Неоднократно предпринимались попытки обнаружить влияние угловой скорости вращения Земли на сильные землетрясения. Достоверно выявлена корреляция скорости вращения Земли  $\Omega(t)$  со слабыми землетрясениями ( $M \geq 4,0$ ) [7, 8]. Демонстрация отмеченной закономерности представлена на рисунке в [8], где приведены временные ряды угловой скорости вращения Земли и числа землетрясений с  $M \geq 4,0$ . Наличие значимой корреляции породила различного рода теоретические работы, объясняющие ее турбулентными потоками в жидком ядре, приводящими как к модуляции частоты вращения Земли, так и к модуляции сейсмичности в сейсмоактивных областях [9]. Однако по результатам работ [7, 8] следует, что изменение скорости вращения Земли  $\Omega(t)$  не имеет корреляции с сильными землетрясениями ( $M > 5,5$ ). В то же время с модулем производной  $\Omega(t)$ , т.е.  $|\dot{\Omega}(t)|$  отмечается значимая корреляция с сильными землетрясениями [8]. Поскольку  $|\dot{\Omega}(t)|$  характеризует абсолютные годовые приращения  $\Omega(t)$ , то необходимо определить условия таких приращений. Из известных теорий, обуславливающих «быстрые» изменения  $\Omega(t)$ , наиболее разработанной является связь с изменчивостью атмосферной циркуляции [5, 10, 18, 19].

Исследования по влиянию атмосферы на угловую скорость Земли проводились достаточно давно, и полученные результаты позволяют говорить о существенном вкладе атмосферы в вариации  $\Omega(t)$ . Это обусловлено большими скоростями движения воздушных масс, значительно превосходящих ско-

рости движения остальных оболочек планеты. Скорости движения вещества в оболочках колеблются в пределах от см/год для тектонических плит, верхней мантии и до см/с для океанских масс. В то же время скорости ветра воздушных масс достигают десятков м/с в пограничном слое и сотен м/с в струйных течениях. Вариации  $\Omega(t)$  особенно значимо проявляются при меридиональных атмосферных процессах. Соответственно и возникновение сильных землетрясений связано с меридиональными атмосферными процессами [2, 3]. Попытаемся проверить данный вывод ниже следующими результатами.

Сильным землетрясениям предшествуют обширные пространственные вариации атмосферного давления, меняющие свой знак на областях земной поверхности сравнимых с размерами нескольких циклонов и антициклонов [2, 15].

Подобные пространственные распределения характерны для меридиональных форм циркуляции  $C$  и  $E$  по типизации Вангенгейма-Гирса [6]. В качестве примера, на рис. 1 (верхний) представлено поле атмосферного давления для одного из сильнейших землетрясений, произошедшего у о. Суматра в 2004 г., а также его трехмерное представление на рис. 1 (нижний). На рисунках видно, что под обширным антициклоном находилась практически вся Азия и восточная Европа, а трехмерное отражение барического поля дает пространственно представление о мощности воздушных масс участвующих в инициировании землетрясения.

Влияние атмосферной циркуляции на земную кору происходит благодаря реологическим свойствам земной коры, которые в различных регионах отличны друг от друга, а геологическая подготовка землетрясений зависит от структуры коры и ряда ее региональных особенностей. К ним относится характер общей расслоенности земной коры, изменение степени ее горизонтальной и вертикальной неоднородности, форма и внутренняя структура сейсмических границ, а также физическое и механическое состояние пород, их пористость, трещиноватость, флюидонасыщенность [11–13]. Повышенное атмосферное давление превышает действие притяжения, и под воздействием избыточной воздушной массы земная поверхность прогибается [18, 19]. При этом в земной коре происходит ряд процессов, которые получают наибольшее развитие только при определенных пространственных изменениях атмосферной циркуляции [3, 4].

Совместный анализ синхронных временных рядов форм циркуляции атмосферы и сильных землетрясений в диапазоне межгодовой изменчивости, возможно, может показать определенную согласованность временных изменений этих двух природных процессов. Следует подчеркнуть, что мы рассматриваем сейсмические события, произошедшие за год и обобщенные на пространстве всей Земли, а также разделенные по времени в течение года. Поэтому ожидать очень тесной связи не приходится. Обнаружение хотя бы общих временных вариаций, имеющих хорошо выраженную когерентность, уже может показать на правильную в физическом смысле интерпретацию влияния атмосферной циркуляции на сейсмичность Земли.

Для проверки этого предположения были использованы следующие данные:

- ежегодное число землетрясений с  $M \geq 7$  для Северного полушария, по данным USGS (США) с 1901 по 2006 гг. (<http://earthquake.usgs.gov>);
- ежегодное число дней форм циркуляции по классификации Вангенгейма-Гирса: западной формы  $W$ , меридиональной формы  $E$  и меридиональной формы  $C$ , данные любезно представлены отделом долгосрочных прогнозов погоды ААНИИ с 1901 по 2006 гг.

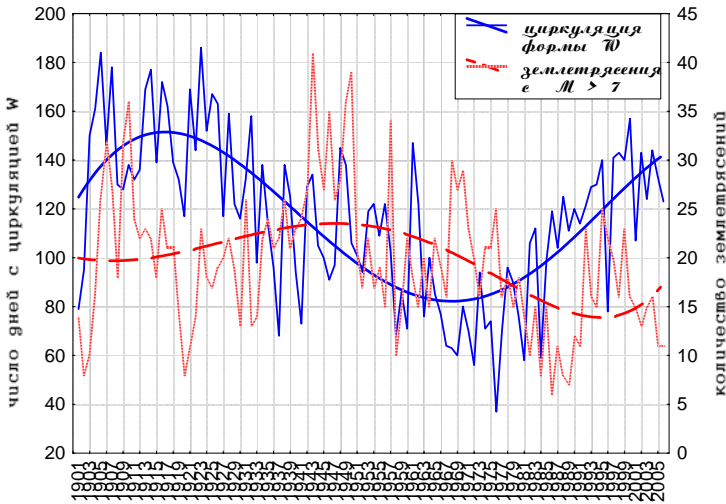


Рис. 2. Временной ход циркуляции западной формы  $W$  и землетрясений с  $M \geq 7$ .

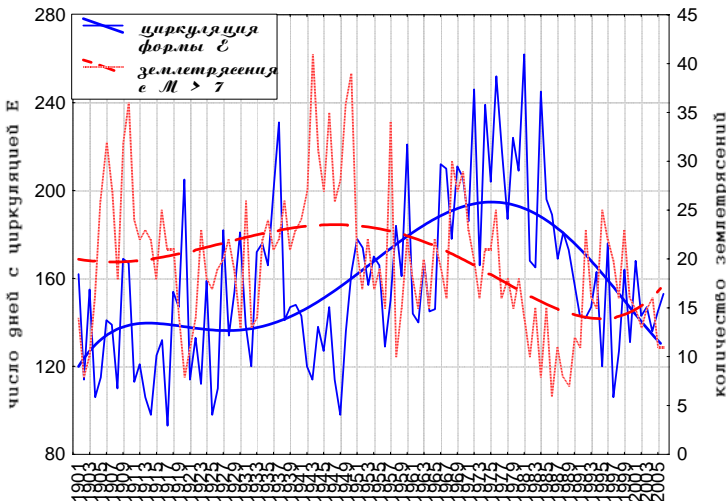


Рис. 3. Временной ход циркуляции меридиональной формы  $E$  и землетрясений с  $M \geq 7$ .

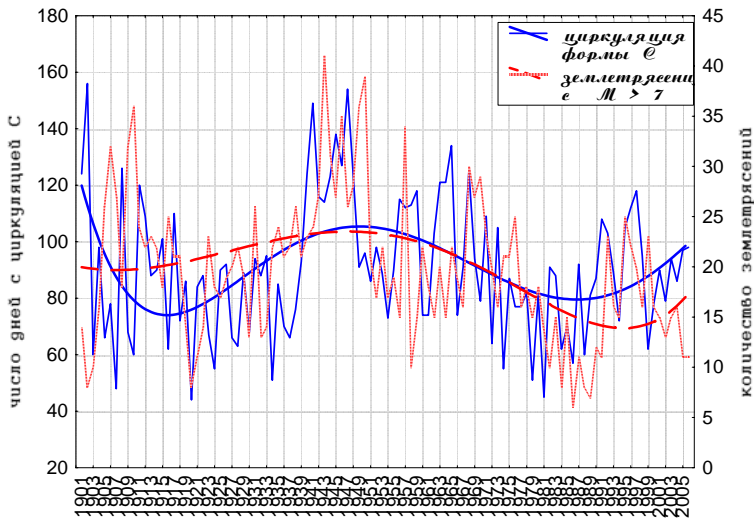


Рис. 4. Временной ход циркуляции меридиональной формы  $C$  и землетрясений с  $M \geq 7$ .

Совместные графики временной изменчивости перечисленных форм циркуляции атмосферы и число землетрясений с  $M \geq 7$  представлен на рис. 2–4. Сопоставлять временной ход ежегодных значений форм циркуляции с числом землетрясений достаточно сложно. Поэтому легче оценить степень когерентности между ними по расчетным кривым полинома 5 степени. Так на рис. 2, где сопоставляются данные по западной форме циркуляции  $W$  и число землетрясений видно, что во времени кривые полинома идут почти в противофазе, хотя в ряде лет наблюдается согласование ежегодных данных. Коэффициент корреляции между этими рядами составил  $r = 0,04$ .

Примерно такая же ситуация наблюдается при сопоставлении данных по меридиональной форме  $E$  и числу землетрясений (рис. 3). Коэффициент корреляции между этими рядами составил  $r = -0,17$ .

Другое соотношение мы отмечаем на рис. 4 из которого видно, что между меридиональными формами циркуляции  $C$  и ежегодным числом землетрясений с  $M \geq 7$  наблюдается достаточно хорошо выраженная когерентность. Сглаженные кривые полинома 5 степени особенно четко подчеркивают эту особенность между ними. Статистически значимый коэффициент корреляции между этими величинами составил  $r = 0,20$ , что подтверждает влияние меридиональной циркуляции атмосферы на сильные землетрясения с  $M \geq 7$ . Однако достаточно низкий коэффициент корреляции, подчеркивает тот факт, что землетрясение готовится с участием всех сфер Земли – атмосферы, океана и литосферы, а происходит оно только в одном или нескольких подготовленных тектоникой районах.

Особый интерес представляют связи форм циркуляции атмосферы с сильнейшими землетрясениями на Земле ( $M > 8$ ). Рассмотрим синхронную изменчивость сильнейших землетрясений с  $M > 8$  и форм циркуляции  $C$  и  $W$ .

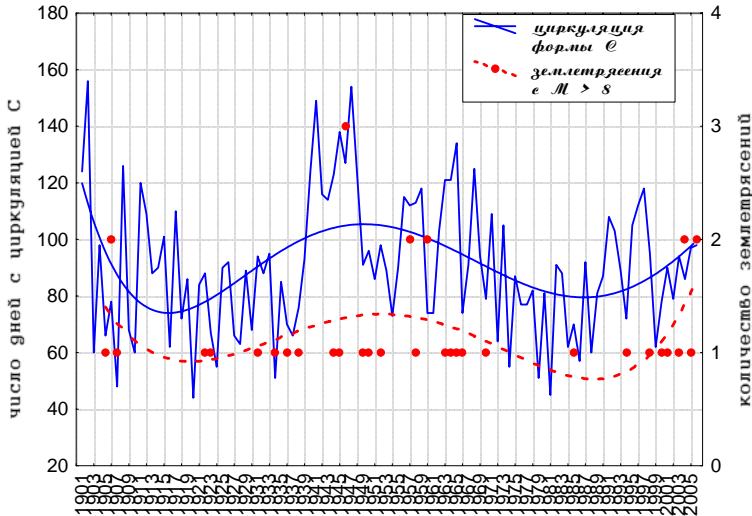


Рис. 5. Временной ход циркуляции меридиональной формы  $C$  и землетрясений с  $M \geq 8$ .

На рис. 5 представлены графики временной изменчивости: ежегодное число дней с формой циркуляции  $C$  и количество сильных землетрясений. Сильнейшие землетрясения на рисунке представлены крупными точками и, как видно из их графика, они наблюдаются не каждый год. На рисунке четко видно, что в те годы, в которые наблюдалось два или три случая сильнейших землетрясений, фиксировалось и увеличение повторяемости формы циркуляции  $C$ . Кривые полинома 5 степени четко подчеркивают синфазность между числом сильнейших землетрясений и формами циркуляции  $C$ . Этот факт еще раз подтверждает сказанное выше и указывает на важную роль циркуляции атмосферы в инициировании сильнейших землетрясений. При этом следует помнить, что внутрикоровое распределение плотности пород, расположение тектонических разломов, движения тектонических плит, гидрологический режим подземных вод, распределение теллурических электротоков и изменчивость конвективных движений верхней мантии создают условия для возникновения сильного землетрясения, а взаимодействие с динамикой атмосферных процессов приводит к сильному землетрясению. На рис. 5 также видны годы когда при увеличенной повторяемости формы  $C$  сильнейших землетрясений не происходит. Вероятно, это связано с необходимостью времени подготовки земной коры к следующему сильнейшему землетрясению. В толще пород после очередного сильного землетрясения должен пройти ряд процессов, приводящих к сцеплению краев разломов и достижению необходимой величины

сжатия, обуславливающей необходимую упругость. Время для завершения таких процессов для каждого сейсмического региона индивидуально.

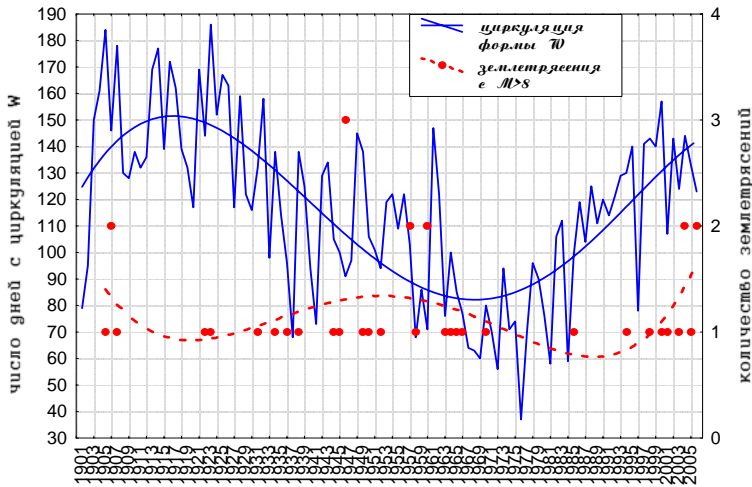


Рис. 6. Временной ход циркуляции западной формы *W* и землетрясений с  $M \geq 8$ .

На рис. 6 представлены графики временной изменчивости числа дней с формой циркуляции *W* и количества сильных землетрясений ( $M > 8$ ) за тот же период. На этом рисунке виден совершенно противоположный результат. Графики показывают, что в годы увеличенной повторяемости формы *W* не наблюдалось ни одного случая с двумя или тремя сильнейшими землетрясениями. Кривые полинома 5-й степени четко подчеркивают противофазу временной изменчивости между числом сильнейших землетрясений и формами циркуляции *W*. Этот факт подтверждает сказанное выше и показывает важную роль меридиональной циркуляции атмосферы на возникновение сильнейших землетрясений.

Приведенные результаты позволяют говорить о том, что на межгодовую изменчивость сильных землетрясений не оказывает прямого воздействия солнечная активность. Межгодовая изменчивость сильных землетрясений определяется межгодовой изменчивостью форм циркуляции атмосферы и эндогенными и экзогенными процессами в земной коре обусловленные вариациями угловой скорости вращения Земли, которые в свою очередь зависят от атмосферы.

Подчеркнем следующий вывод, который важен с прогностической точки зрения. Методы долгосрочных прогнозов сильных землетрясений основываются на временной зависимости и их вероятности проявления во времени. Однако это статистические модели, в которых отсутствуют физические явления, инициирующие землетрясения, в данном случае временная изменчивость форм циркуляции. В то же время климатические прогнозы циркуляции атмосферы, охватывающие диапазон межгодовой изменчивости, позволяют определить периоды с повышенной вероятностью разрушительных землетрясений



на Земле. В данном представлении сейсмического процесса и с целью повышения обеспеченности долгосрочного прогноза сильных землетрясений необходимо учитывать два фактора: влияние фазы 11-летнего солнечного цикла и межгодовой изменчивости меридиональной циркуляции атмосферы *C*.

### Литература

1. Барляева Т.В., Морозова А.Л., Пудовкин М.И. Влияние космических факторов на развитие землетрясений // Геофизические методы исследований Земли и недр, Санкт-Петербург, 9-12 ноября 1999 г. – М., 2000, с. 8 – 19.
2. Боков В.Н. О перспективах использования солнечно-атмосферных связей в прогнозировании сейсмичности Земли. // Известия РГО РАН, т. 132, вып. 4, 2000, с. 38 – 46.
3. Боков В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции – инициатор сильных землетрясений. // Известия РГО РАН, 2003, т. 135, вып. 6, с. 54 – 65.
4. Боков В.Н. Атмосфера и землетрясения. // Энергия, 2004, № 10, с. 60 – 63.
5. Вершовский М.Г. Электронный журнал "Исследовано в России", 275, с. 2651 – 2660, 2006. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/275.pdf>.
6. Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. // Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 343 с.
7. Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О корреляции графиков угловой скорости вращения Земли и модуля ее временной производной с частотой землетрясений в зависимости от их магнитуды. // Физика Земли, 1994, № 10, с. 33 – 38.
8. Горькавый Н.Н., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О глобальной составляющей сейсмического процесса и ее связи с наблюдаемыми особенностями вращения Земли. // ДАН, Геофизика, т. 338, № 4, 1994, с. 525 – 527.
9. Гохберг М.Б. и др. О механизме модуляции количества сильных землетрясений и частоты вращения Земли // ДАН, Геофизика, т. 341, № 6, 1995, с. 813 – 815.
10. Кондратович К. В., Куликова Л. А., Федосеева Н. В. Изменения атмосферных макропроцессов и температуры водной поверхности Атлантики в XX в. // В сб.: Тимонов В.В. К 100-летию со дня рождения. – СПб.: изд. РГГМУ, 2001, с. 30 – 37.
11. Николаевский В.Н., Шаров В.И. Разломы и реологическая расслоенность земной коры // Физика Земли, № 1, 1985, с. 16 – 28.
12. Павленкова Н.И. Структура земной коры и верхней мантии и тектоника плит // Геодинамические исследования, № 13. – М.: Наука, 1988.
13. Резанов И.А. Эволюция представлений о земной коре. М.: Наука, 2002, с. 299.
14. Сытинский А.Д., Боков В.Н., Оборин А.Д. Зависимость циркуляции атмосферы Земли от процессов на Солнце и в межпланетной среде. // Наука, РАН, Геомагнетизм и аэрономия, т. 43, № 1, 2003, с. 136 – 142.
15. Сытинский А.Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 100 с.
16. Сытинский А.Д. О влиянии солнечной активности на сейсмичность Земли. // ДАН СССР, 1973, т. 209, № 5, с. 1078 – 1081.
17. Сытинский А.Д. О планетарных атмосферных возмущениях во время сильных землетрясений. // Геомагнетизм и аэрономия, т. 37, № 2, 1997, с. 132.
18. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. – СПб.: Гидрометеоздат, 2002, с. 7 – 8.
19. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. – М.: Наука, 2002.
20. Шестопалов И.П., Харин Е.П. Изменчивость во времени связей сейсмичности Земли с циклами солнечной активности различной длительности. // Геофизический журнал, № 4, т. 28, 2006, с. 59 – 70.
21. World Health Organization. Press Release № 8. 24 January 1997.