

О СВЯЗИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ В СЕЗОННОМ И МЕЖГОДОВОМ ДИАПАЗОНАХ ИЗМЕНЧИВОСТИ.

В.Н.Боков, В.Н.Воробьев

Российский государственный метеорологический университет, viki333@rambler.ru, vnv@rshu.ru; 195196, Россия, Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, дом 98.

Аннотация. Рассмотрена сезонная и межгодовая изменчивость сильных землетрясений в зависимости от солнечной активности, угловой скорости вращения Земли и циркуляции атмосферы. Результаты анализа сезонной изменчивости сильных землетрясений показали их зависимость от внутригодового распределения атмосферной циркуляции, которое в различных сейсмических районах различно. Выявлено, что межгодовая изменчивость сильных землетрясений существенно зависит от повторяемости атмосферных процессов меридиональной формы С.

Атмосфера сильнее всего реагирует на приход возмущенного солнечного ветра (n_{max}) – на увеличение концентрации протонов, а знак реакции атмосферы зависит от полярности межпланетного магнитного поля (ММП) свидетельствует о том, что в механизме солнечно-атмосферных связей существенную роль играет магнитное поле Земли (Сытинский, Боков, Оборин 2003). Авторами была показана реакция атмосферы на приход n_{max} в зависимости от ММП с учетом параметров солнечного ветра. Рассчитанные карты приведены на рис.1. Анализ карт показывает, следующее географическое распределение зон положительных и отрицательных барических тенденций ΔP : в случае появления n_{max} в положительном секторе $\Delta P(\varphi)$ в среднем имеют максимальное падение в зоне 70- 60° и рост в зоне южнее 50° N, а для отрицательного сектора картина меняется на обратную. Таким образом, получен устойчивый результат зависимости планетарной циркуляции атмосферы от параметров солнечного ветра.

Результат данной работы позволил определить целое направление в метеорологии – влияние циркуляции атмосферы на экзогенные процессы земной коры и развитие методов краткосрочного прогноза сильных землетрясений (ЗТ) (Боков, 2000-2006).

Любой природный процесс, как правило, обусловлен одними причинами. Эти же причины влияют на данный процесс в различных диапазонах временной изменчивости (синоптической, сезонной и межгодовой). Прогноз землетрясений является одной из основных задач геофизики. На сегодняшний день принципиально решена задача прогноза землетрясений в синоптическом диапазоне изменчивости (Боков 2000, 2006). В ряде работ (Сытинский, Боков 2001, 2002) показано, что краткосрочный прогноз с заблаговременностью в 2-3 суток основан на связях с солнечной активностью (СА) и изменчивости атмосферной циркуляции. Исследования связей возникновения землетрясений с СА и атмосферной циркуляцией в диапазонах сезонной и межгодовой изменчивости имеют как научную, так и практическую сторону. Поэтому в докладе кратко рассмотрены связи сильных землетрясений с атмосферой в диапазонах сезонной и межгодовой изменчивости.

Сезонная изменчивость.

Наличие сезонной изменчивости в сейсмической активности выявлено только для слабых и умеренных сейсмических явлений (Кропоткин, Люстих 1974). Относительно сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 5.5$ единого мнения среди сейсмологов нет, хотя в большинстве работ сезонный ход ЗТ отрицается (Кропоткин, Люстих 1974). Это связано с тем, что сейсмологи не видят физических причин обуславливающих сезонную изменчивость землетрясений, кроме изменчивости сезонного хода скорости вращения Земли и с приливными воздействиями с периодичностью движения Земли по орбите. Сезонность скорости вращения Земли, как показано в работе (Сидоренкова, 2002) обусловлено атмосферной циркуляцией Земли.

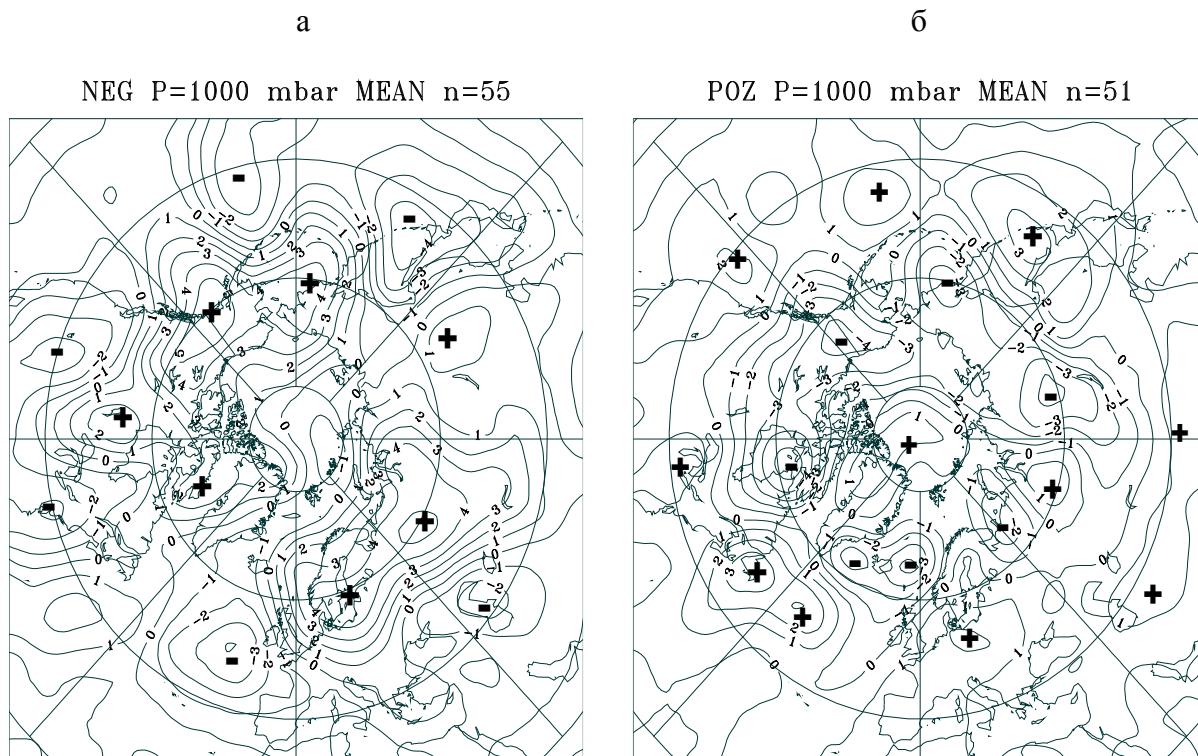


Рис.1. Пространственное распределение реакции приземного атмосферного давления на приход возмущенного солнечного ветра. а) для отрицательного сектора ММП, б) - для положительного сектора ММП.

Поскольку мы знаем, что сезонная изменчивость многих гидрометеорологических процессов обусловлена сезонным распределением солнечного тепла и атмосферной циркуляцией, распределяющей это тепло, то попробуем выявить сезонную изменчивость сильных ЗТ с региональной изменчивостью атмосферы. При этом подчеркнем, что речь идет о региональных сейсмических и атмосферных процессах, поскольку они существенно отличаются друг от друга на различных участках планеты. Это положение является основным постулатом сейсмо-синоптического метода (Боков 2001,2004). Этот факт, кстати, и не позволил большинству исследований, посвященных сезонной изменчивости ЗТ, получить положительный результат. В данных исследованиях рассматривались глобальные данные (Гохберг и др. 1995).

Покажет на ряде сейсмически активных регионов, что сильные ЗТ определяются главным образом изменчивостью атмосферной циркуляцией характерной для данных регионов.

С этой целью мы использовали данные Национального сейсмологического центра USGS (США) (<http://earthquake.usgs.gov>), где были выбраны ежедневные землетрясения с $M \geq 5.5$ для ряда регионов Северного полушария с 1901 по 2000 гг. Данные по повторяемости атмосферных процессов по регионам России взяты из «Атласа синоптических характеристик цикло-и антициклонеза и цикло и антициклолиза в Северном полушарии» (Хайрулин 1982). Из рассмотренных четырех типов циркуляционных процессов наиболее информативными оказались подвижные циклоны и антициклоны. Это также следует из концепции сейсмо-синоптического метода, в котором показано, что сильные ЗТ формируются мощными циклонами и антициклонами и их быстрыми смещениями на пространстве Земли.

Для района Кавказа, где на фоне повышенного атмосферного давления часто проходят циклонические образования, сезонное распределение сильных ЗТ, преимущественно, и обусловлено подвижными циклонами. Это хорошо видно на рис.2, на котором представлены графики внутригодовой изменчивости подвижных циклонов и землетрясений с магнитудой $M \geq 5.5$. Из рисунка видна, хорошая когерентность почти во все месяцы года циклонов и ЗТ, а коэффициент корреляции составляет $r = 0,57$.

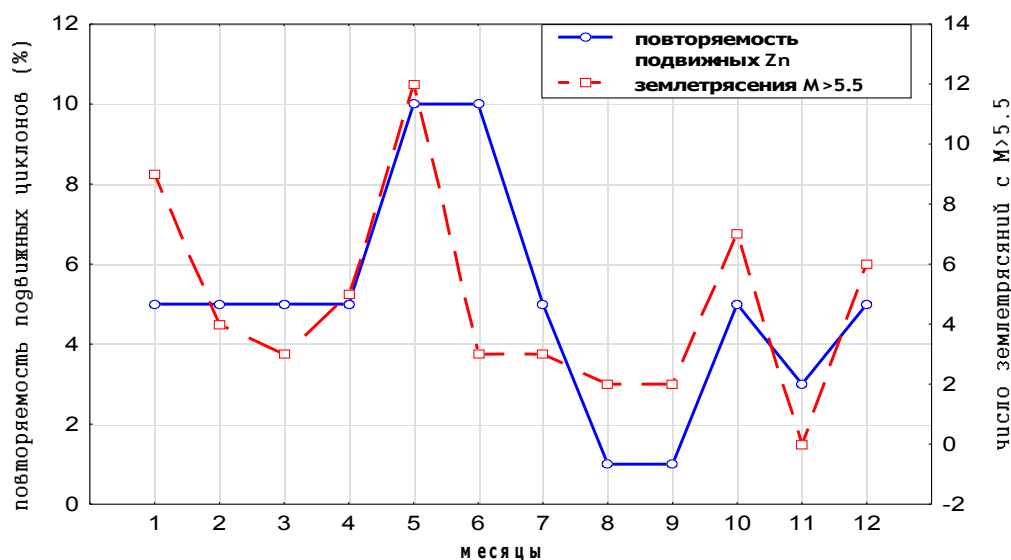


Рис.2. Сезонная изменчивость сильных землетрясений с $M \geq 5.5$ и подвижных циклонов в районе Кавказа.

Рассмотрим другие районы, находящиеся на востоке планеты. Район Курильских островов относится к наиболее сейсмически активным районам Земли. Атмосферные процессы здесь существенно отличаются от Кавказа и поэтому их сезонная изменчивость и соответственно ЗТ должны быть другими. Для этого региона характерна значительная атмосферная изменчивость и поэтому сильные ЗТ инициируются пространственной изменчивостью как циклонов, так и антициклонов. Основной вклад в инициирование сильных ЗТ того или иного атмосферного вихря зависит от местоположения очага ЗТ.

На рис.3 представлены графики внутригодовой изменчивости ЗТ с $M \geq 6$ и подвижных циклонов (рис.3.а) подвижных антициклонов (рис.3.б). Из рисунка видно, что в январе и декабре большая повторяемость ЗТ определяются антициклонными атмосферными процессами (рис. 3.б), а в остальные месяцы года циклоническими атмосферными процессами (рис.3.а). Анализируя сезонную изменчивость сильных ЗТ в районе Японии можно предположить, что она не будет существенно отличаться от района Курил, поскольку это соседние регионы с подобной атмосферной изменчивостью. Действительно, обращаясь к рис.4.а, рис.4.б можно отметить, что для ЗТ с $M \geq 6$ наибольшая повторяемость «обеспечивается» подвижными циклонами в январе и декабре. Из рисунка видно, что в апреле и октябре большая повторяемость ЗТ определяется совместным влиянием подвижных циклонами и антициклонов. В остальные месяцы года большая повторяемость ЗТ подвижными антициклонами (рис.4.б).

Впервые выполненный анализ сезонной изменчивости сильных землетрясений и региональных атмосферных процессов показал, что внутригодовая изменчивость сильных ЗТ для каждого конкретного региона определяется внутригодовой изменчивостью атмосферных процессов.

Межгодовая изменчивость.

В отличие от слабых и умеренных землетрясений, которые показывают тенденцию к росту в последние 30 лет, число землетрясений с магнитудой $M \geq 7.0$ не имеет ярко выраженного тренда (рис.5). Из рисунка видно, что для землетрясений с $M \geq 7.0$ наблюдается колебательный процесс. Выделяются периоды с повышенной повторяемостью землетрясений: в начале 20 века, сороковые года, период в конце шестидесятых и в начале 70 годов, а также девяностые годы. На том же рисунке приведен график числа землетрясений с магнитудой $M \geq 6.0$ за последние 30 лет, который показывает более существенную изменчивость во времени.

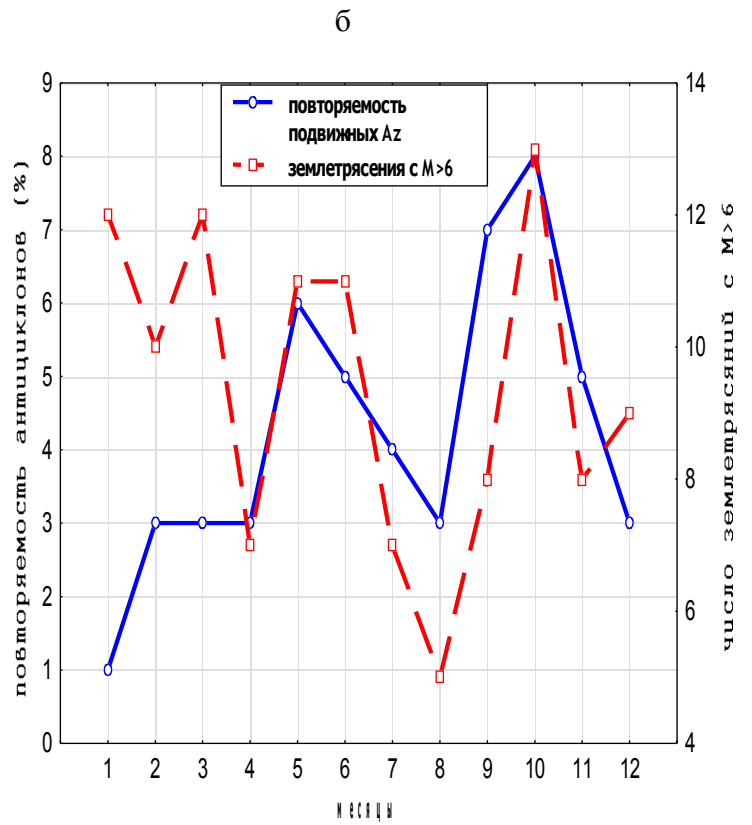
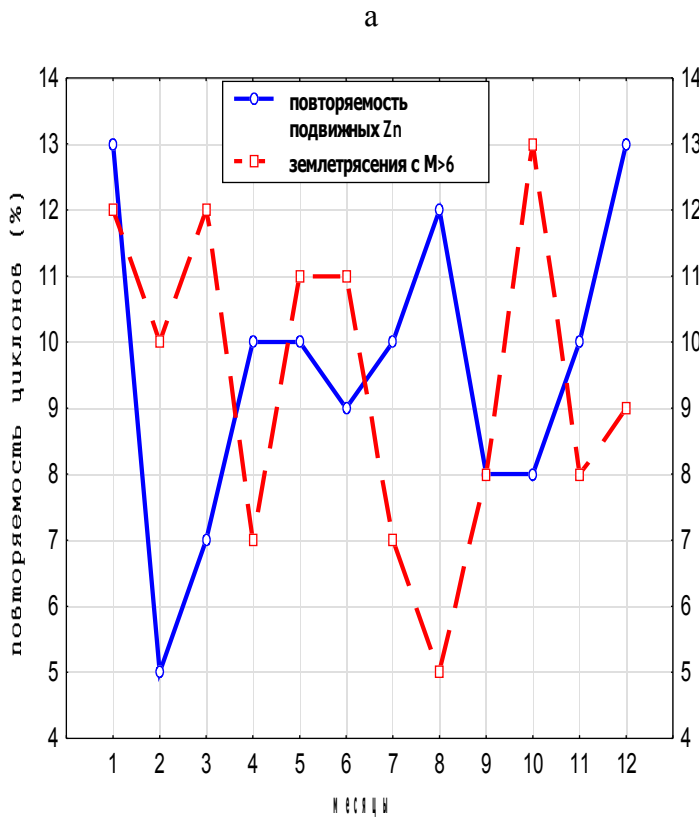


Рис.3. Сезонная изменчивость сильных землетрясений с $M \geq 6$ и подвижных циклонов (а) и подвижных антициклонов (б) в районе Курильских островов.

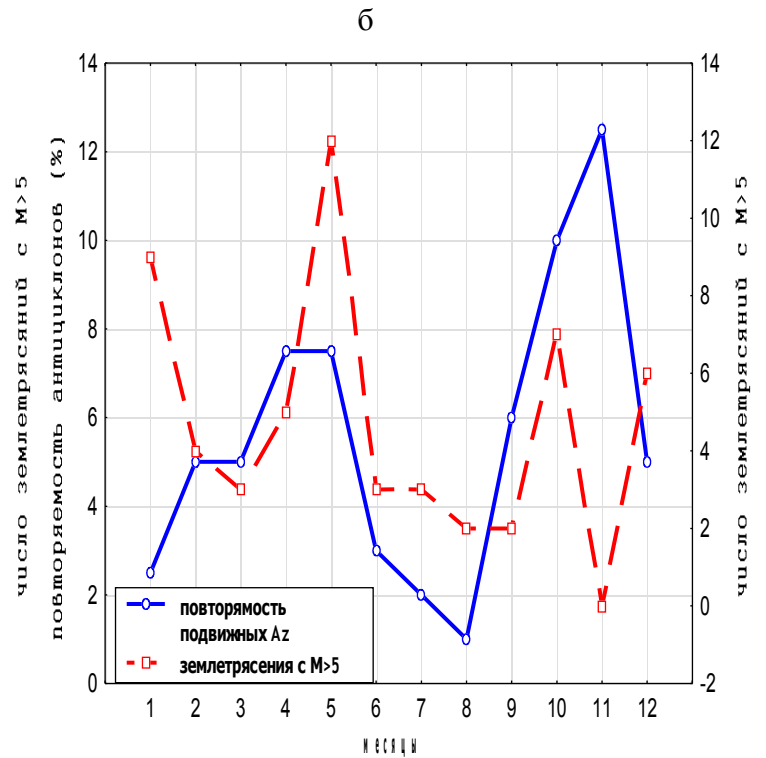
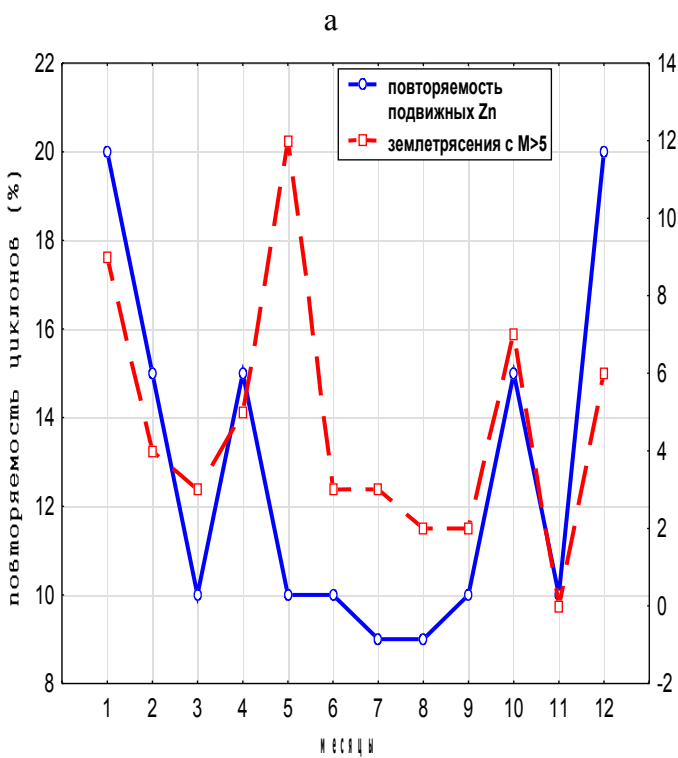


Рис.4. Сезонная изменчивость сильных землетрясений с $M \geq 6$ и подвижных циклонов (а) и подвижных антициклонов (б) в районе Японии.

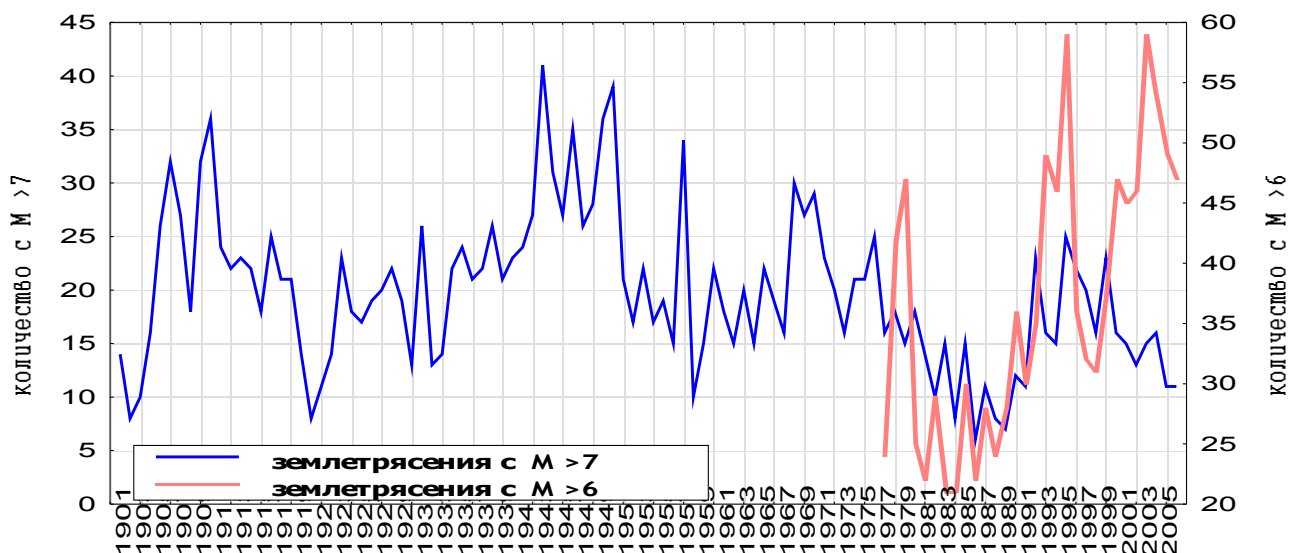


Рис.5. Временной ход землетрясений с магнитудой с $M \geq 7$ и землетрясений с магнитудой $M \geq 6$.

Кратко рассмотрим возможные причины, обуславливающие межгодовую изменчивость землетрясений.

Опубликовано много работ, в которых межгодовую изменчивость сейсмичности связывают с изменчивостью СА (Сытинский 1973, Барляева, Морозова 1999 Шестопапов, Харин 2006). Однако во многих из них с целью получения значимой корреляции применялось осреднение по большому интервалу времени, либо по короткому временному ряду, что приводит к сомнениям в реальности непосредственного влияния СА на сейсмичность. Можно признать обоснованным влияние СА на сейсмичность только на фазе 11 летнего солнечного цикла (Сытинский 1987).

Подчеркнем, что солнечный вековой цикл не соответствует временной изменчивости сильных ЗТ, поэтому его влияние на их периодичность опосредовано. Поскольку влияние СА на сейсмичность проявляется через атмосферу и магнитосферу (Сытинский 1987), то, рассмотрим влияние СА на межгодовую изменчивость атмосферной циркуляции.

Сопоставление графика зональной атмосферной циркуляции W с графиком СА (рис.6.а) показывает их зеркальный противоположный ход и высокую повторяемость зональных атмосферных процессов при минимуме СА. Между этими двумя рядами существует статистически значимая отрицательная корреляция $r = -0.21$. Очевидно, это связано с отсутствием частых вторжений солнечной плазмы в область авроральной зоны в периоды минимальных значений чисел Вольфа, что приводит к стабильности зонального воздушного переноса. Поэтому в периоды минимума СА, когда нагрев атмосферы заряженными частицами в полярных зонах минимален, увеличивается повторяемость зональных процессов W . Вековой цикл солнечной активности в начале 20 столетия имел минимум, то есть солнечная активность в максимумах 11-летних циклов была небольшой, минимальной. Поэтому в начале и конце прошлого века, а также в начале текущего века повторяемость зональной циркуляции была высокая.

Вековой ход меридиональных форм $S+E$ (рис.6.б) наоборот, имеет статистически значимую положительную корреляцию $r = 0.21$ и хорошо выраженную когерентность с СА, особенно это четко видно на кривых полинома 5 степени. Для кривых полинома 5 степени данных рядов корреляция достигает существенных величин $r = 0.91$.

Неоднократно предпринимались попытки обнаружить влияние угловой скорости вращения Земли на сильные землетрясения. Достоверно выявлена корреляция скорости вращения Земли $\Omega(t)$ со слабыми землетрясениями ($M \geq 4.0$) (Горькавый и др.1994,1995, Барсуков, Шаманин 2001). Однако по результатам работам (Горькавый и др.1994,1995) следует, что изменение скорости вращения Земли $\Omega(t)$ не имеет корреляции с сильными ЗТ ($M > 5.5$). В

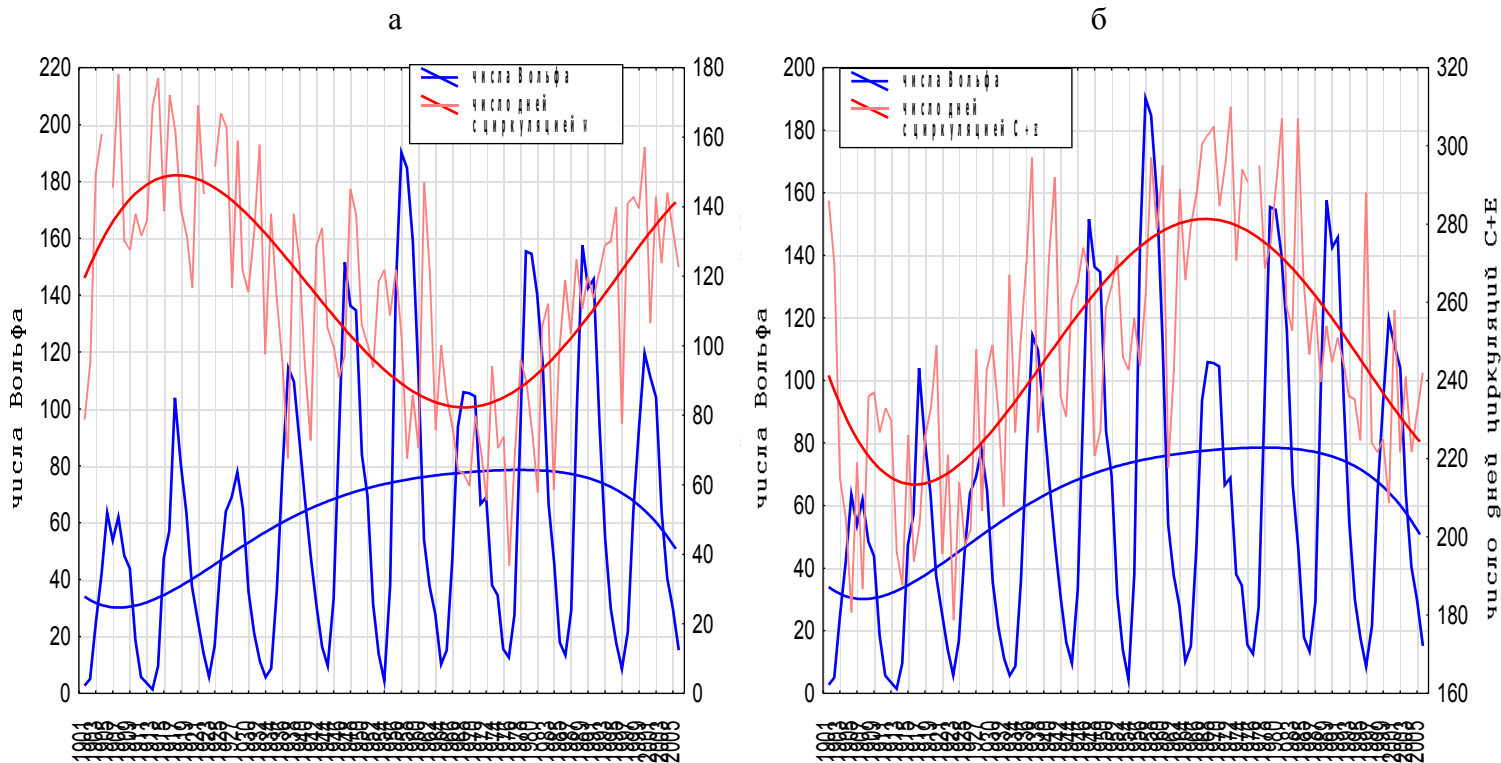


Рис.6. Межгодовая изменчивость зональной атмосферной циркуляции W (а) меридиональных форм атмосферной циркуляции C+E (б) в сопоставлении с изменчивостью чисел Вольфа.

тоже время с модулем производной $\Omega(t)$, т.е. $|\Omega(t)/dt|$ отмечается значимая корреляция с сильными ЗТ.

Поскольку $|\Omega(t)/dt|$ 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 (Кондратович и др. 2001, Сидоренков 2002, Вершовский 2006).

Исследования по влиянию атмосферы на угловую скорость Земли проводились достаточно давно, и полученные результаты позволяют говорить о существенном вкладе атмосферы в вариации $\Omega(t)$. Вариации $\Omega(t)$ особенно значимо проявляются при меридиональных атмосферных процессах. Соответственно и возникновение сильных землетрясений связано с меридиональными атмосферными процессами (Сытинский 1987, Боков, 2000-2006).

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 (Николаевский, Шаров, 1985, Павленкова 1989, Резанов 2002). Повышенное атмосферное давление превышает действие притяжения, и под воздействием избыточной воздушной массы земная поверхность прогибается (Сидоренков 2002). При этом в земной коре происходит ряд процессов, которые получают наибольшее развитие только при определенных пространственных изменениях атмосферной циркуляции (Боков, 2000-2006).

Совместный анализ синхронных временных рядов форм циркуляции атмосферы (Гирс, Кондратович 1978) и сильных ЗТ 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.

Совместные графики временной изменчивости перечисленных форм циркуляции атмосферы и число ЗТ с $M \geq 7$ представлен на рис.7.а. 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.7, где сопоставляются данные по западной форме циркуляции W и число ЗТ 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.

Другое соотношение мы отмечаем на рис.7.б из которого видно, что между меридиональными формами циркуляции C и ежегодным числом ЗТ 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 ЗТ с $M \geq 7$. Однако, достаточно низкий коэффициент корреляции, подчеркивает тот факт, что ЗТ готовится с участием всех сфер Земли - атмосферы, океана и литосферы, а происходит оно только в одном или нескольких подготовленных тектоникой районах.

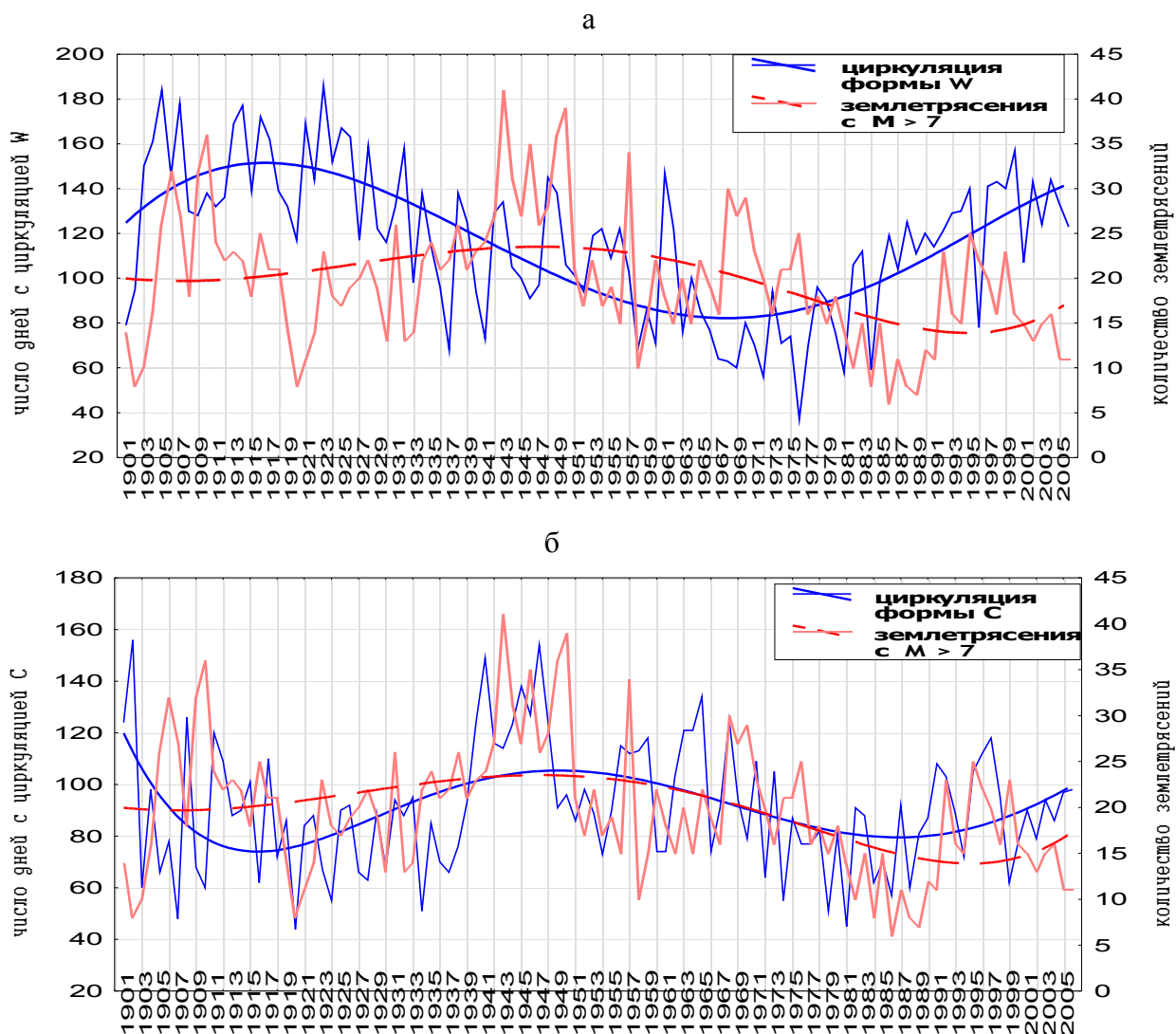
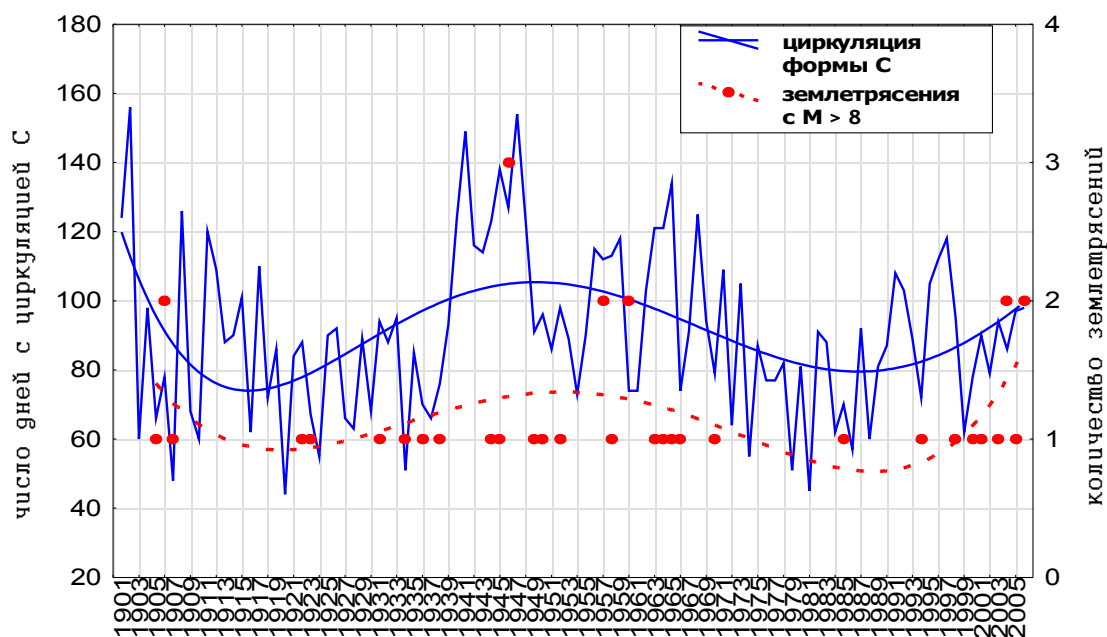


Рис.7. Временной ход циркуляции западной формы W(а) и C (б) и землетрясений с $M \geq 7$.

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

На рис. 8 представлены графики временной изменчивости: ежегодное число дней с формой циркуляции С и количество сильнейших ЗТ. Сильнейшие ЗТ 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 С. Кривые полинома 5 степени четко подчеркивают синфазность между числом сильнейших землетрясений и формами циркуляции С. 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

а



б

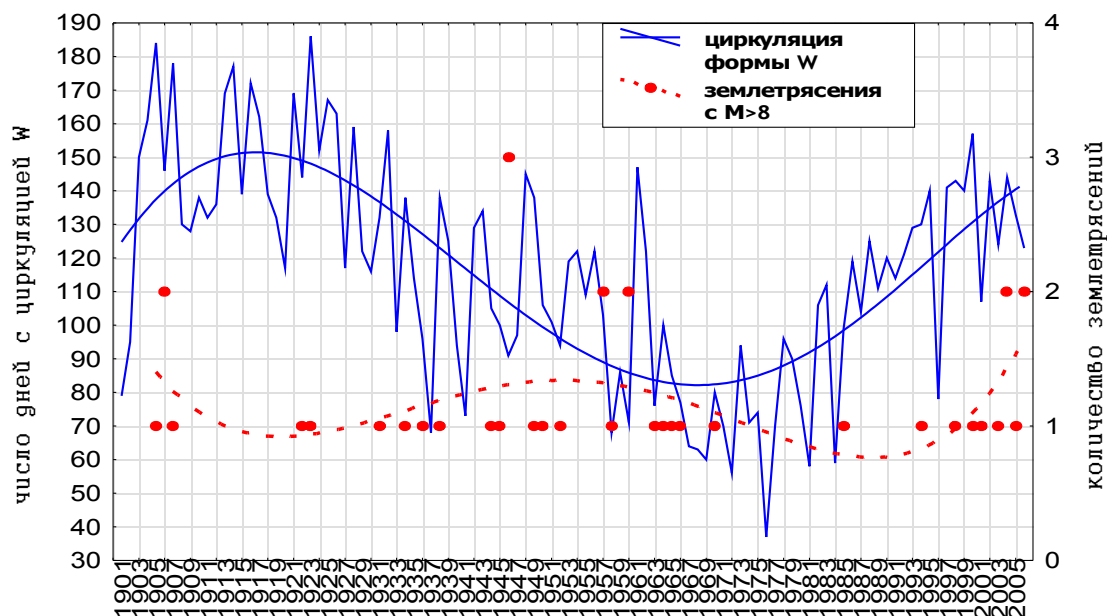


Рис.8 Межгодовая изменчивость числа дней с формой циркуляции С (а), с формой циркуляции W (б) и изменчивость сильнейших землетрясений с $M > 8$.

движений верхней мантии создают условия для возникновения сильного землетрясения, а взаимодействие с динамикой атмосферных процессов приводит к сильному землетрясению. На рис. 8.а также видны годы когда при увеличенной повторяемости формы С сильнейших ЗТ 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.

На рис.8.б представлены графики временной изменчивости числа дней с формой циркуляции W и количества сильных ЗТ ($M > 8$) 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 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 ЗТ.

Приведенные результаты позволяют говорить о том, что на межгодовую изменчивость сильных ЗТ не оказывает прямого воздействия солнечная активность. **Межгодовая изменчивость сильных ЗТ 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 ЗТ основываются на временной зависимости и их вероятности проявления во времени. Однако это статистические модели, в которых отсутствует физические явления, инициирующие ЗТ, 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 ЗТ на Земле. В данном представлении сейсмического процесса и с целью повышения обеспеченности долгосрочного прогноза сильных ЗТ необходимо учитывать два фактора: влияние фазы 11 летнего солнечного цикла и межгодовой изменчивости меридиональной циркуляции атмосферы С.

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. Барсуков О.М., Шаманин С.В. Сезонные изменения сейсмичности и скорости вращения Земли// ДАН, РАН, 2001.Т.379. № 1. с.99-100.
3. Боков В.Н. О перспективах использования солнечно-атмосферных связей в прогнозировании сейсмичности Земли.// Известия РГО РАН, 2000, т.132, вып.4., с. 38 – 46.
4. Боков В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции – инициатор сильных землетрясений.// Известия РГО РАН, 2003, т.135, вып.6., с. 54 – 65.
5. Боков В.Н., Сытинский А.Д. Оперативный краткосрочный прогноз землетрясений на основе сейсмо-синоптического метода (результаты годового испытания).// Научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников», МЧС, 26-27 июня, Доклады и выступления, М.: Центр «Антистихия», 2002, с.34-39
6. Боков В.Н. Оперативный краткосрочный прогноз землетрясений.// Жизнь и безопасность, 2003, №3-4, с. 147 – 151.
7. Боков В.Н. О стратегии в краткосрочном прогнозировании землетрясений, горных ударов и техногенных аварий.// Жизнь и Безопасность, 2004, № 2-3а, с.158-161.
8. Боков В.Н. Атмосфера и землетрясения.// Энергия, 2004, № 10, с.60-63.
9. Боков В.Н. Краткосрочный прогноз землетрясений.//Иновации, 2005, 9(86), ноябрь с.90-92.

10. Боков В.Н. Качество метеорологических прогнозов - основа точности прогноза землетрясений.//РГГМУ, Ученые записки №2, 2006, с.229-239.
11. Вершовский М.Г. Электронный журнал "Исследовано в России", 275, стр. 2651-2660, 2006. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/275.pdf>
12. Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды.//Л. Гидрометеиздат, 1978, 343 с.
13. 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, N 10,с.33-38.
14. Горькавый Н.Н., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О глобальной составляющей сейсмического процесса и ее связи с наблюдаемыми особенностями вращения Земли.// ДАН, Геофизика, 1994, т.338, N 4, с.525-527.
15. Гохберг М.Б. и др.//О механизме модуляции количества сильных землетрясений и частоты вращения Земли// ДАН, Геофизика, 1995. т.341, №6, с. 813-815.
16. Кондратович К. В., Куликова Л. А., Федосеева Н. В. Изменения атмосферных макропроцессов и температуры водной поверхности Атлантики в XX веке. // В сб.: Тимонов В.В. К 100-летию со дня рождения. – СПб.: Изд. РГГМУ. 2001. с. 30-37.
17. Кропоткин П.Н., Люстих А.Е. Сезонная периодичность землетрясений принцип Ньютона-Маха// ДАН АН СССР, 1974. Т.217. № 5. с.1061-1064.
18. Николаевский В.Н., Шаров В.И. Разломы и реологическая расслоенность земной коры// Физика Земли, 1985, N 1,с.16-28.
19. Павленкова Н.И. Структура земной коры и верхней мантии и тектоника плит // Геодинамические исследования, № 13. М., Наука, 1998
20. Резанов И.А. Эволюция представлений о земной коре// М., Наука, 2002, с.299
21. 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
22. Сытинский А.Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. Л.: Гидрометеиздат. 1987. 100 с.
23. Сытинский А.Д. О влиянии солнечной активности на сейсмичность Земли. // ДАН СССР, 1973, т.209, № 5, с.1078 – 1081.
24. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. – СПб.: Гидрометеиздат. – 2002. – С. 7-8.
25. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. – М.: Наука, 2002.
26. 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.