

УДК 551.59:550.344.37

На правах рукописи

Боков Виктор Николаевич

**ТРИГГЕРНЫЙ ЭФФЕКТ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ
ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ
В ВОЗНИКНОВЕНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.**

Специальность 25.00.30 — метеорология, климатология и агрометеорология

Специальность 25.00.10 — геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых

Автореферат

Диссертация на соискание ученой степени
доктора географических наук

Санкт-Петербург-2008

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете (РГГМУ).

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук

член-корреспондент РАН, профессор

В.И. Уткин

Доктор географических наук,

профессор

А.И. Угрюмов

Доктор географических наук,

профессор

Н.В. Кобышева

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный университет,
Кафедра климатологии и мониторинга окружающей среды.

Защита диссертации состоится "13" ноября 2008 г. в 15³⁰ час. На заседании диссертационного Совета Д.002.048.01 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан "10" октября 2008г.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98., Российский государственный гидрометеорологический университет.

Ученому секретарю диссертационного Совета Д. 002.048.01 доктору физико-математических наук А.Д. Кузнецову.

Ученый секретарь диссертационного Совета

Доктор физико-математических наук

 А.Д. Кузнецов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа «Триггерный эффект пространственно-временной изменчивости атмосферной циркуляции в возникновении землетрясений» посвящена разработке методологии анализа влияния изменчивости атмосферной циркуляции атмосферы на экзогенные процессы земной коры и сейсмичность Земли. Эта методология включает исследования, проводимые в различных диапазонах пространственно-временной изменчивости геофизических процессов, позволяющие определить физико-статистические связи возникновения сильных землетрясений в результате атмосферных преобразований. В рамках наук о Земле она может рассматриваться как *новое направление изучения влияния изменчивости атмосферных процессов на экзогенные процессы и сейсмичность*. Основой этого нового фундаментального направления являются подходы и методы оценки влияния атмосферных преобразований на сейсмические события, создававшиеся работами А.Д.Сытинского, Милькис М.Р., Сидоренкова Н.С. Гарагаш И.А., Ингель Л.Х., Ярошевич М.И. и др.

Актуальность работы. Актуальность работы имеет практический и теоретический аспекты. В исследованиях межгодового диапазона временной изменчивости сейсмичности, сейсмологами не рассматривались преобразования атмосферной циркуляции в качестве фактора определяющего возникновение периодов с повышенной сейсмичностью. В диссертационной работе этот вопрос рассмотрен достаточно подробно. До настоящего времени не была определена одна из основных причин сезонной изменчивости сильных землетрясений. В работе показано, что из главных факторов, инициирующих землетрясения в сезонном диапазоне изменчивости является пространственно-временная изменчивость атмосферной циркуляции. Решение проблемы краткосрочного прогноза землетрясений является одной из важнейших задач, стоящих перед человечеством. Ежегодные потери от землетрясений исчисляются десятками тысяч человеческих жизней, а ущерб составляет десятки и сотни миллиардов долларов. При этом уязвимость человечества перед землетрясениями постоянно растет, несмотря на принимаемые меры по улучшению качества строительства. Прогноз землетрясений превышающий случайную оценку на 25-30% позволил бы уменьшить экономический

ущерб и предотвращение гибели людей. Актуальность теоретического аспекта вытекает из ставшей очевидной в последние годы невозможности объяснить возникновение землетрясений в рамках детерминистической парадигмы. Выдвигаемые гипотезы о влиянии атмосферной циркуляции на сейсмичность Земли в межгодовом и сезонном диапазонах изменчивости, на формирование предвестников, а также инициирование землетрясений в синоптическом диапазоне, позволяют глубже понять сложный механизм образования землетрясений.

Цель исследования. Цель диссертационной работы;

- выявление связи атмосферной циркуляции с сильными землетрясениями в диапазонах сезонной и межгодовой изменчивости;
- определить воздействие изменения атмосферной циркуляции на появление геофизических предвестников землетрясений;
- методология и обоснование сейсмо-атмосферного предвестника;
- разработать методологию сейсмо-синоптического метода краткосрочного прогноза сильных землетрясений с заблаговременностью за двое суток

Методология. Для достижения поставленной цели предложено оригинальное методологическое решение совместного анализа прогностических метеорологических полей, расчетных значений сейсмо-атмосферного предвестника и текущей сейсмической обстановки.

Задачи исследований:

- выявить пространственные оценки реакции атмосферы на приход возмущенного солнечного ветра в зависимости от структуры межпланетного магнитного поля в дни, предшествующие сильным землетрясениям;
- выполнить исследования сезонной изменчивости сильных землетрясений для различных сейсмоактивных регионов Земли и определить ее связь с региональными атмосферными процессами в рассматриваемых районах;
- исследовать связь солнечной активности, атмосферной циркуляции, угловой скорости вращения Земли с сильными землетрясениями в диапазоне межгодовой изменчивости;

- оценить влияние изменчивости фазы 11 летнего солнечного цикла на сейсмичность Земли, рассчитанную по дополнительным данным в представлении изменчивости фазы цикла как периодически коррелированного случайного процесса;
- исследовать прогностические возможности сейсмо-атмосферного предвестника по текущим и ретроспективным данным для различных сейсмоактивных регионов Земли;
- разработать методологию и технологию создания сейсмо-атмосферного предвестника и формирования его каталогов;
- исследовать воздействие изменения атмосферной циркуляции на появление геофизических предвестников землетрясений;
- разработать методологию сейсмо-синоптического метода краткосрочных прогнозов землетрясений;
- выполнить оценку краткосрочных прогнозов землетрясений и обозначить дальнейшие пути его усовершенствования и развития.

Научная новизна

1. Впервые выявлена связь сезонной изменчивости сильных землетрясений в различных сейсмоактивных регионах Земли с региональными атмосферными процессами.
2. Впервые для выявления межгодовой изменчивости сильных землетрясений использованы данные по временной изменчивости форм циркуляции атмосферы и метод периодически коррелированных случайных процессов для анализа 11 – летнего цикла солнечной активности.
3. Впервые разработан и методологически обоснован сейсмо-атмосферный предвестник для использования в краткосрочных прогнозах землетрясений.
4. Впервые проведены исследования по оценке воздействия изменчивости атмосферной циркуляции на появление геофизических предвестников.
5. Разработан сейсмо-синоптический метод краткосрочного прогноза землетрясений, на основе совместного анализа прогностических метеорологических полей,

расчетных значений сейсмо-атмосферного предвестника и текущей сейсмической обстановки. Оправдываемость сейсмо - синоптического метода составляет около 75%.

Защищаемые положения:

1. Межгодовая изменчивость меридиональных форм циркуляции С и Е (классификация Вангенгейма-Гирса) оказывает влияние на формирование межгодовой изменчивости сейсмического режима Земли.

2. При современном состоянии информационной базы данных, исследование закономерности фазы 11-летнего солнечного цикла и атмосферно-сейсмических связей, рационально проводить в представлении периодически коррелированных случайных процессов.

3. Сезонная изменчивость сильных землетрясений, в локальных сейсмоактивных регионах Земли, связана с внутригодовой изменчивостью региональных атмосферных процессов.

4. Сейсмо-атмосферный предвестник – это типичные синоптические условия для локального района определяющие триггерный эффект возникновения землетрясений.

5. Изменчивость атмосферной циркуляции является источником проявления приоритетных геофизических предвестников землетрясений.

6. В настоящее время сейсмо-синоптический метод, на основе совместного анализа прогностических метеорологических полей, сейсмо-атмосферного предвестника и текущей сейсмической обстановки, позволяет составлять краткосрочные прогнозы землетрясений с заблаговременностью за 2 суток и с оправдываемостью 75%.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертации опубликованы в 26 печатных работах, в том числе в 9 статьях в ведущих рецензируемых российских журналах из Перечня ВАК.

Материалы исследований докладывались на: 1-ом и 2-ом Международном форуме «Экстрим-2000», «Экстрим-2001» Санкт-Петербург; Научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников», МЧС, Москва, (2001); Научной конференции по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии, Санкт-Петербург, 2002; Российской национальной выставке «Передовые российские технологии» г. Бангкок, (Таиланд, 2005); XI международной выставке-конгрессе «Высокие технологии, инновации, инвестиции» (HI – TESH'2006), Санкт-Петербург, 2006; Четвёртой

всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 2006 г., на Проблемном Совете «Сейсмичность Земли, природные и природно-техногенные катастрофы» ИФЗ РАН в 2008 г.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы (194 наименования), изложенных на 287 стр. машинописного текста, сопровождается 147 рисунками, 2 таблицами.

Благодарности. В течение семи лет автор постоянно имел приятную возможность обсуждать и выполнять совместные исследования с одним из первых исследователей солнечно-атмосферно-сейсмических связей в России, доктором физико-математических наук А.Д.Сытинским. Благодаря этим встречам, автор смог сформировать свое мировоззрение к рассматриваемой научной проблеме. Автор выражает искреннюю признательность проректору по научной работе, профессору В.Н. Воробьеву, с которым на разных этапах работы обсуждал её отдельные положения. Особую признательность выражаю В.И. Дымому, Г.А. Алексеенкову, Л.П.Киселевой и О.В. Боковой за техническую помощь на всех этапах подготовки диссертации. Всем вышеуказанным коллегам автор выражает самую глубокую благодарность.

Содержание работы.

Глава 1. Процессы солнечной активности, обуславливающие атмосферные возмущения.

В пределах солнечной системы солнечный ветер значительно изменяется, что обусловлено солнечной активностью, у него все время меняется скорость, поэтому он достигает Земли с различным временем запаздывания / Баранов В.Б., Краснобаев К.В, 1977 / . Межгодовая изменчивость солнечной активности влияет на временную структуру солнечной плазмы. Это показывают оценки спектральной плотности $S(\omega)$ концентрации солнечной плазмы n_{\max} , рассчитанные с учетом 11- летнего солнечного цикла, т.е. по данным относящихся к годам максимума и минимума цикла. Для обеих оценок $S(\omega)$ концентрации солнечной плазмы характерно наличие статистически значимых пиков на периоде 27, 14, 7 и 5 суток, отличающиеся по величине в зависимости от фазы 11- летнего солнечного цикла.

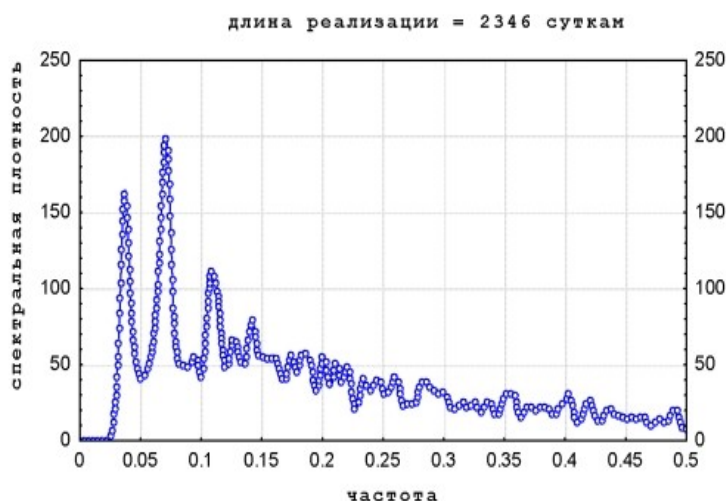


Рис.1. Оценки спектральной плотности $S(w)$ концентрации солнечной плазмы для лет максимума 11-летнего солнечного цикла.

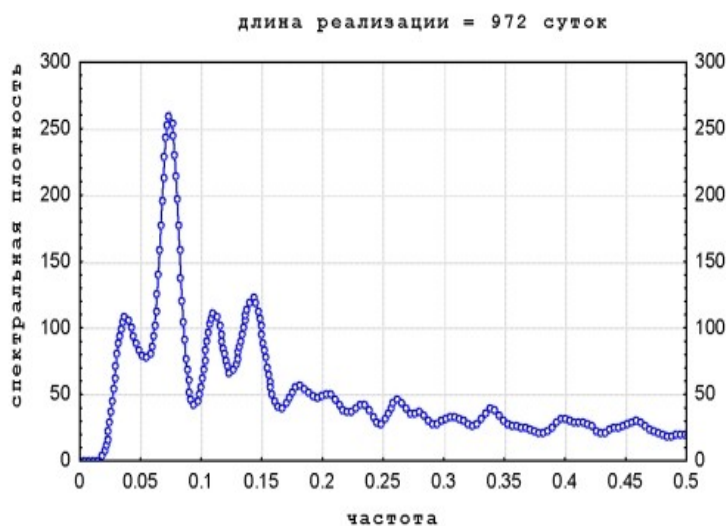


Рис.2. Оценки спектральной плотности $S(w)$ концентрации солнечной плазмы для лет минимума 11-летнего солнечного цикла.

Данные особенности $S(w)$ концентрации солнечной плазмы, возможно, влияют на режим атмосферной циркуляции Земли. В первом случае большее развитие получают меридиональные формы циркуляции, во втором случае – зональная циркуляция.

Поскольку Солнце вращается, то его магнитное поле приобретает поперечную компоненту (в плоскостях, перпендикулярных оси вращения), и силовые линии магнитного поля становятся спиральными / Баранов В.Б., Краснобаев К.В, 1977 / . Секторная структура и отмеченные вариации скорости и плотности тесно связаны с магнитосферными возмущениями. Магнитное межпланетное поле (ММП) оказывается разделенным на несколько перемежающихся секторов. В одном секторе напряженность направлена от Солнца, в другом – к Солнцу. И все эти сектора

вращаются вслед за Солнцем примерно с той же периодичностью – около 27 дней. При этом быстрые потоки догоняют медленные, и концентрация частиц возрастает. Обычно этих секторов либо 2, либо 4. Тогда знак магнитного поля меняется соответственно через 13-14 или 6-7 дней (т.е. половину или четверть периода обращения Солнца вокруг своей оси).

Анализ временного ряда данных по секторной структуре ММП с 1964 по 1985 гг. выполнен в приближении к периодически коррелированному случайному процессу (Драган, Яворский, Рожков, 1983), что является современным аналогом метода наложенных эпох. На рис.3 представлена квантильная диаграмма изменчивости секторной структуры ММП на интервале 27 дневного цикла вращения Солнца. Из рисунка четко видно преобладание 14 суточного цикла секторной структуры ММП и более короткие ритмы смены знака ММП – 8 и 5 суток. Этот же результат показывают оценки спектральной функции, рассчитанные по данным секторной структуры межпланетного магнитного поля с учетом 11-летнего солнечного цикла.

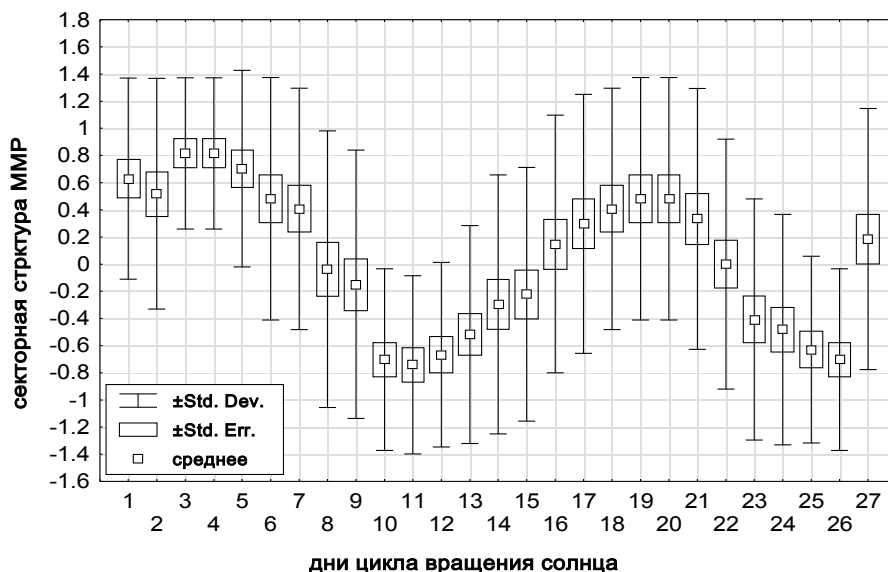


Рис.3. Изменчивость секторной структуры ММП на интервале 27 дневного цикла вращения Солнца.

Высокоскоростные потоки солнечного ветра, обтекая Землю, влияют на ее магнитосферу / Сытинский А.Д., Боков В.Н., Оборин А.Д., 2003/, которая непосредственно связана с более низкими слоями атмосферы. Для пространственной оценки реакции атмосферы на приход n_{max} в зависимости от ММП с учетом

параметров солнечного ветра были также построены средние карты изаллобар ΔP за 1977-1984 гг. для положительного (51 случай) и отрицательного (55 случаев) ММП.

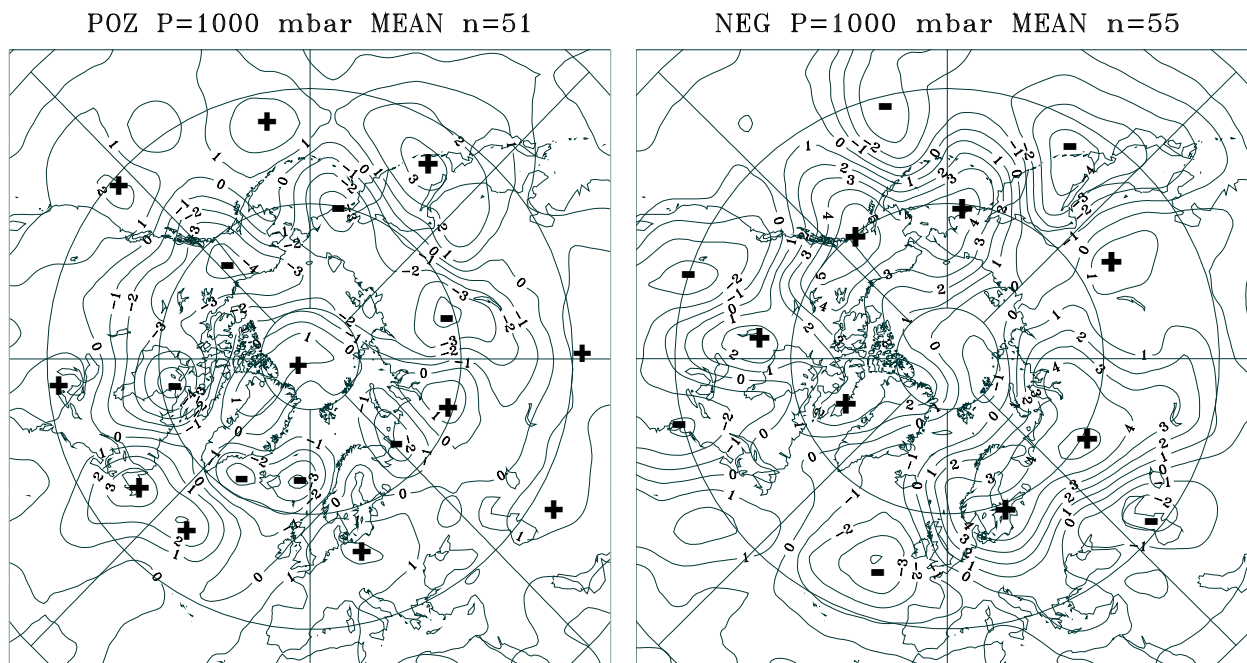


Рис.5. Пространственное распределение реакции приземного атмосферного давления на приход возмущенного солнечного ветра. слева) – для положительного сектора ММП, справа) - для отрицательного сектора ММП.

Совпадение повторяемости прихода возмущенного солнечного ветра (6-7 суток) с естественным синоптическим периодом указывает на то, что смена синоптических процессов с таким периодом носит вынужденный, а не автоколебательный характер.

Глава 2. Сезонная и межгодовая изменчивость атмосферной циркуляции и сейсмичности Земли

Информационная база данных.

При исследовании внутригодовой и межгодовой изменчивости сейсмических явлений и атмосферной циркуляции были использованы многолетние данные по сейсмическим явлениям и метеорологическим элементам.

С этой целью были использованы архивы и базы данных различных научных учреждений.

Для подготовки ежемесячных и годовых выборок по землетрясениям использовался ряд каталогов международных и национальных сейсмологических организаций: Европейского Средиземноморского сейсмологического информационного центра (EMSC) <http://www.emsc-csem.org/>; Института геодинамики национальной обсерватории Греции с 1964 по 2002 <http://www.gein.noa.gr/services/info-en.html>; Национального сейсмологического центра Геологической службы США (USGS) с 1901 по 2006 гг. (<http://earthquake.usgs.gov>); Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) с 1964 по 2002 <http://wwwsat.emsd.ru/seismicity.html>; Геофизическая служба Российской академии наук (ГС РАН) Обнинск <http://www.ceme.gsras.ru>.

В зависимости от рассматриваемого временного масштаба были использованы различные по степени детальности метеорологические данные.

Для исследования связей землетрясений с атмосферной циркуляцией в диапазоне внутригодовой изменчивости были использованы данные повторяемости циклонов, антициклонов и процессов антициклолиза, представленные в «Атласе синоптических характеристик цикло- и антициклогенеза и цикло- и антициклолиза в Северном полушарии» / Р.Р.Хайрулин, 1982/.

Для исследования межгодовой изменчивости использовались формы циркуляции Вангенгейма-Гирса / Гирс А.А., Кондратович К.В, 1978 /. При процессах форм W в тропосфере присутствуют волны малой амплитуды, быстро смещающиеся с запада на восток и обеспечивающие повышенную интенсивность зональных составляющих циркуляции и ослабленный междуширотный обмен воздушных масс. Процессы форм E и C являются двумя противоположными видами меридионального состояния атмосферы. При этих формах в тропосфере отмечается чередование теплых гребней и холодных ложбин в виде стационарных волн большой амплитуды. Наличие гребней и ложбин обуславливают существенные деформационные процессы земной коры.

Временные ряды числа дней в году с формами циркуляции Вангенгейма-Гирса (с 1891 по 2006 гг.) были любезно представлены отделом долгосрочных прогнозов погоды ААНИИ.

Сезонная изменчивость сейсмичности и атмосферной циркуляции в различных регионах Северного полушария.

Вопрос о существовании внутригодовой или сезонной изменчивости сильных землетрясений на сегодняшний день является дискуссионным. Ряд ученых считают, что сильным землетрясениям свойственна сезонная изменчивость /Барсуков О.М., Шаманин С.В. ,2001; Боков В.Н., Воробьев В.Н. 2007; Гохберг М.Б, 1995; Кропоткин П.Н., Люстих А.Е. 1974; Левин Б.В., Сасорова Е.В., Журавлев С.А, 2005/, а другие отрицают ее существование /Децереvская Е.В., Сидорин А.Я., 2005/. Действительно, с точки зрения сейсмологии весьма сложно объяснить наличие сезонного хода землетрясений. Анализ внутригодовой изменчивости землетрясений показал, что она имеет значительные различия, как по величине размаха, так и по синфазности годового хода даже для соседних сейсмоактивных районов.

По мнению ряда авторов, главной причиной сезонной изменчивости землетрясений являются сезонные изменения угловой скорости вращения Земли $\Omega(t)$ / Барсуков О.М., Шаманин С.В. , 2001; Гохберг М.Б, 1995; Кропоткин П.Н., Люстих А.Е. 1974 / или приливные явления луны и солнца / Левин Б.В., Сасорова Е.В., Журавлев С.А, 2005 /. Результаты исследований, представленные в перечисленных работах показывают, что указанные факторы обуславливают сезонную изменчивость только слабых и умеренных сейсмических явлений. В одной из последних работ, посвященных поиску причин сезонной изменчивости сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 5.5$ / Левин Б.В., Сасорова Е.В., Журавлев С.А, 2005/ показано, что сезонная изменчивость сильных землетрясений зависит сезонного изменения расстояния до Солнца, что отражает влияние приливных явлений Луны и Солнца. Даже визуальный анализ рис.5. заставляет усомниться в существенном влиянии расстояния до Солнца на внутригодовое распределение сейсмических событий. В большинстве немногочисленных работ, посвященных данной проблеме, преобладает гипотеза о влиянии сезонных изменений $\Omega(t)$. Однако, сезонная изменчивость скорости вращения Земли, как показано в работе / Сидоренкова Н.С., 2002 /, обусловлена её атмосферной циркуляцией. Исследования влияния изменчивости атмосферы на сезонную изменчивость сильных землетрясений, на ряде сейсмически активных регионов

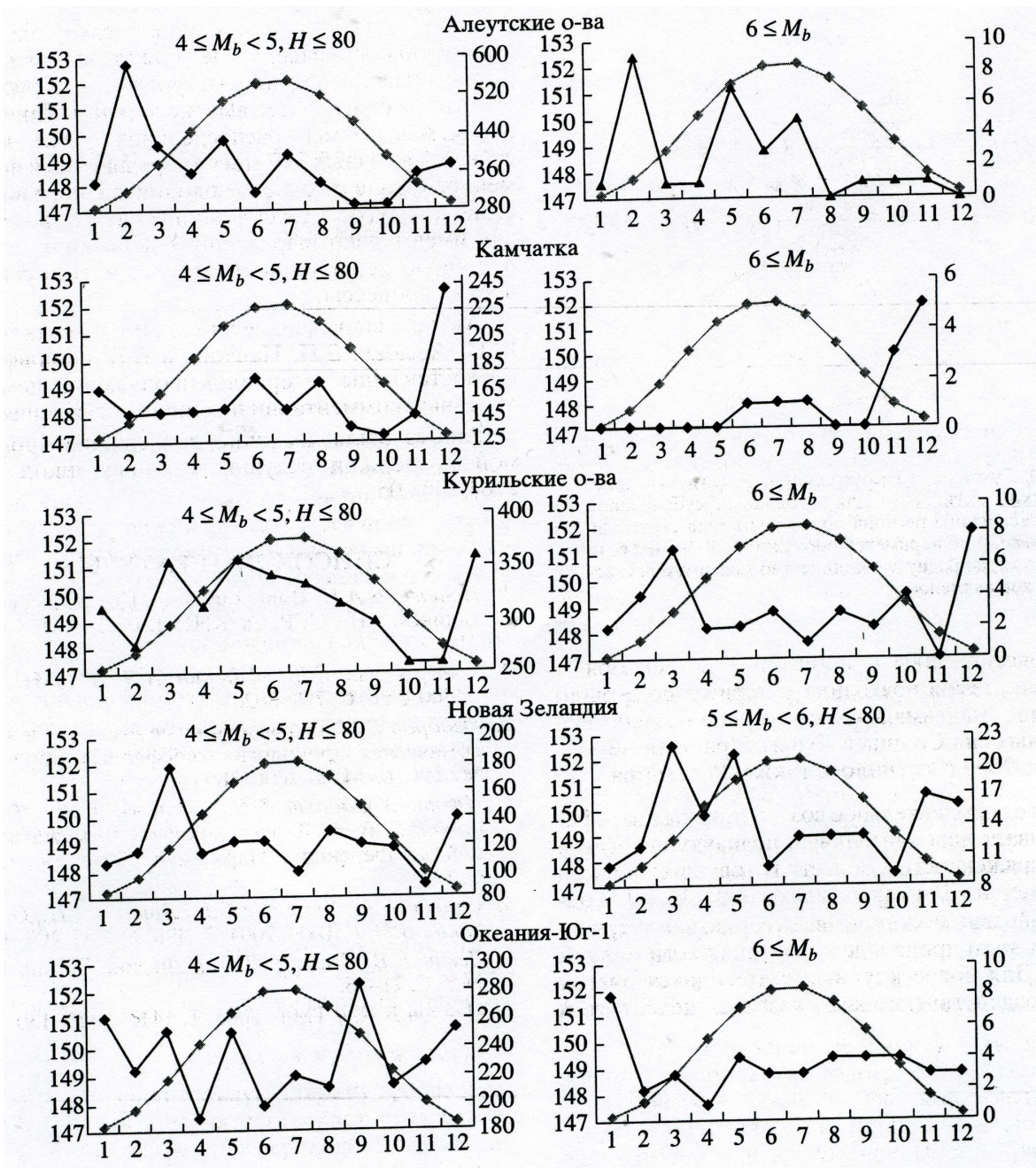
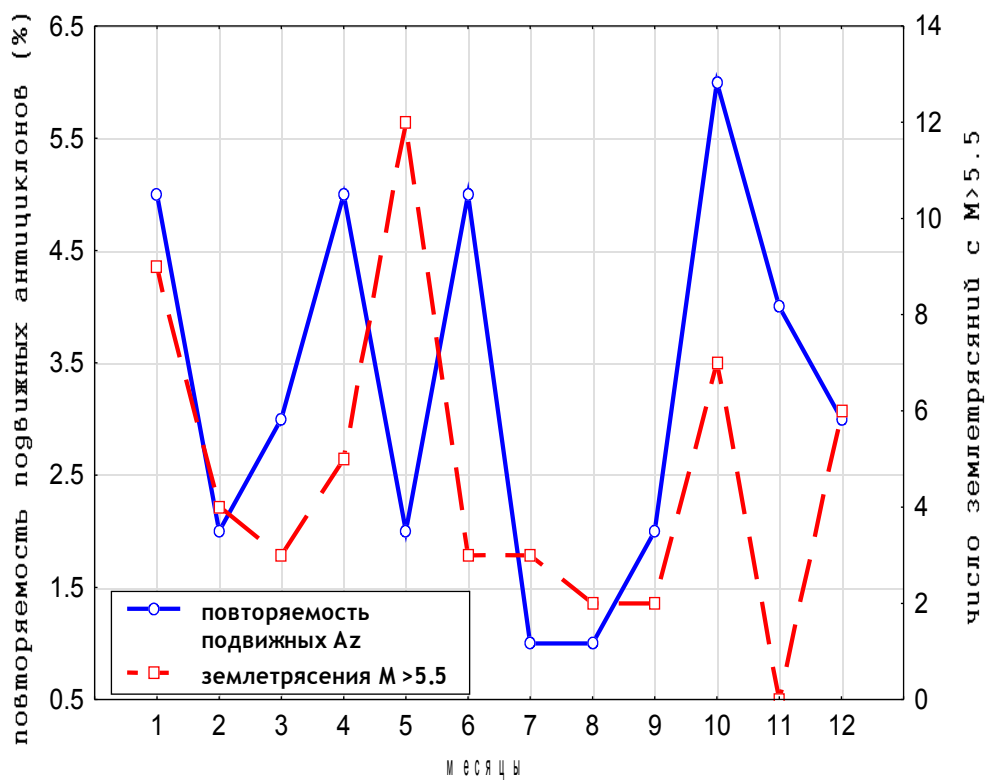


Рис.5. Внутригодовое распределение событий для поверхностных землетрясений для нескольких регионов Тихого океана (ломаная линия) и расстояние от Земли до Солнца в млн. км (линия в виде горба). Распределения событий представлены в магнитудах для двух интервалов: $4 \leq M_b < 5$ и $6 \leq M_b$. Правая вертикальная ось – количество событий, левая вертикальная ось – расстояние от Земли до Солнца, горизонтальная ось – месяц в году.

показали, что сильные землетрясения определяются главным образом изменчивостью атмосферной циркуляции, свойственной данным регионам / Боков В.Н., Воробьев В.Н., 2007/.

Для района Кавказа, где на фоне повышенного атмосферного давления часто проходят циклонические вихри, сезонное распределение сильных землетрясений и

а



б

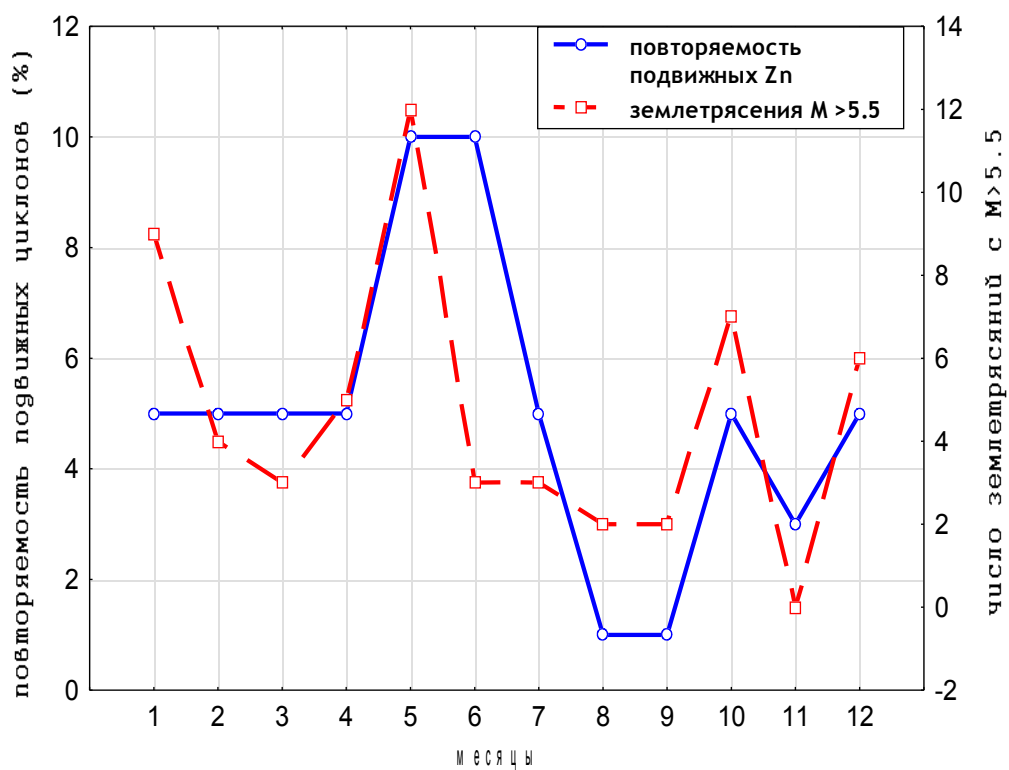


Рис.6. Внутригодовое распределение землетрясений на Кавказе в сопоставлении с подвижными антициклонами (а) и подвижными циклонами (б).

обусловлено, преимущественно, подвижными циклонами. Это хорошо видно на рис.6, 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 землетрясений с коэффициентом корреляции $r = 0,57$.

Закономерности, отраженные на рис.6. характерны для большинства сейсмоактивных регионов. В диссертации исследовано влияние изменчивости атмосферы на сезонную изменчивость сильных землетрясений, для района Курил, Японии, Камчатки, о. Сахалин, Турции и Греции. Инициирование землетрясений происходит при совместном участии, как циклонов, так и антициклонов. Поэтому был рассчитан комбинированный внутригодовой ход повторяемости циклонов и антициклонов с учетом их вклада по месяцам. Для этого сумму повторяемости подвижных циклонов и антициклонов разделили пополам. Полученный результат представлен на рис.7, из которого видно, что сезонная изменчивость сильных землетрясений определяется сезонной изменчивостью атмосферных процессов. Совмещение графика землетрясений и комбинированного графика циклонов и антициклонов показывают хорошую когерентность во все месяцы года,

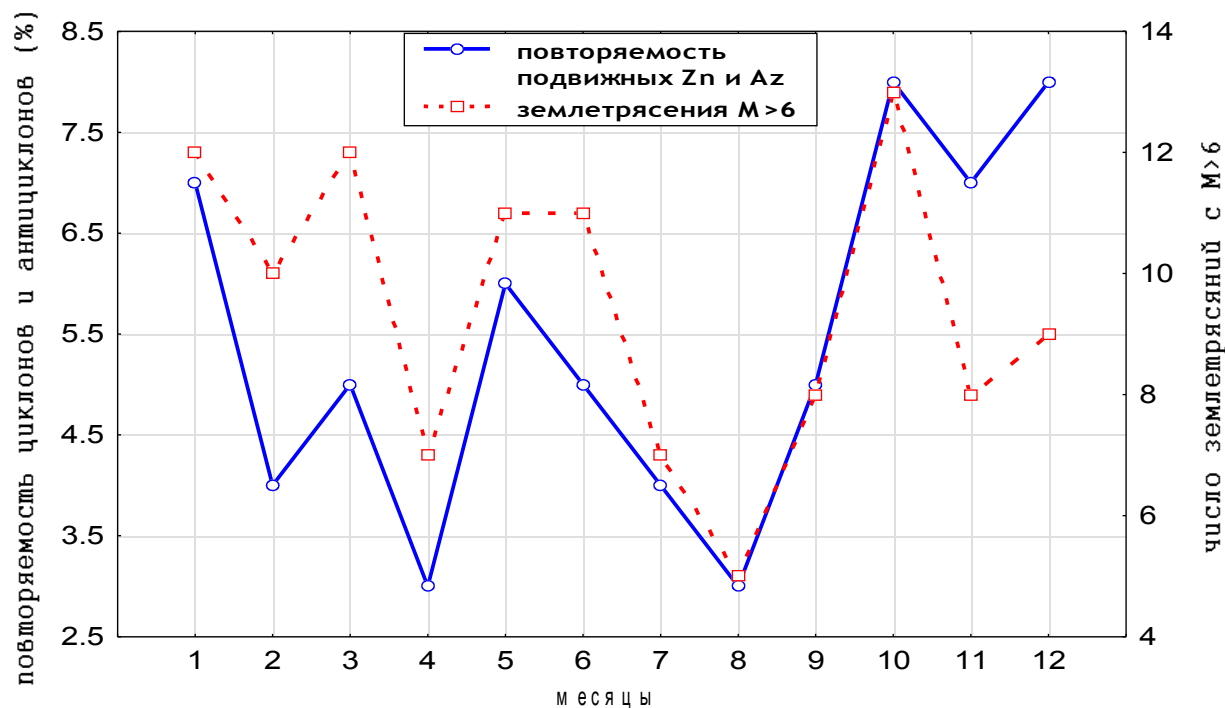


Рис.7. Внутригодовое комбинированное распределение землетрясений на Курильских островах в сопоставлении с общей повторяемостью подвижных антициклонов и циклонов.

землетрясений с коэффициентом корреляции $r = 0,65$. При этом следует учитывать, что это результат пространственно-временного обобщения информации, поскольку мы не рассматривает конкретные случаи по землетрясениям и сопутствующую им изменчивость атмосферных процессов.

Межгодовая изменчивость солнечная активности, сейсмичности и атмосферной циркуляции.

Из широкого спектра исследований солнечно-земных связей в диссертационной работе рассмотрены одиннадцатилетний и вековой солнечные циклы.

Солнечный одиннадцатилетний цикл и изменчивость сейсмичности Земли.

Наибольший интерес представляет оценка внутренней изменчивости или фазы 11-летнего солнечного цикла, определяющей межгодовые вариации многих гидрометеорологических процессов. Одним из первых исследователей, который детально разработал связи фазы 11-летнего солнечного цикла с сейсмичностью был А.Д.Сытинский. Полученные связи позволили ему составлять успешные долгосрочные фоновые прогнозы сейсмичности Земли и отдельных её областей. Метод долгосрочного, фонового прогноза землетрясений (А.Д.Сытинский) был разработан на основе анализа связей временных рядов чисел Вольфа и значений энергии общей сейсмичности Земли ΣE_k с помощью метода наложенных эпох. Разработка метода основывалась на данных семи солнечных циклов (с 1904 по 1977 гг.). За время, прошедшее с опубликования методики фонового прогноза, прошло два солнечных цикла. Учет данных по двум последним циклам предоставляет возможность уточнить предыдущий результат. Дополнительные данные ΣE_k за период с 1977 по 1997 гг. были рассчитаны и любезно предоставлены А.Д.Сытинским.

Метод вероятностного оценивания природных периодов.

Статистические закономерности колебательных процессов традиционно описываются в терминах теории стационарных случайных процессов. Однако для формулирования особенностей структуры колебаний необходимо накладывать дополнительные условия на вид корреляционной функции или спектральной

плотности исследуемого процесса (периодическая стационарность, узкий спектр и т.п.).

Адекватной математической моделью природных процессов, являющихся стохастическими и имеющих приближенную повторяемость значений, является периодически коррелированный случайный процесс (ПКСП) /Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н., 1983/.

Описание стохастических колебаний математической моделью предназначено для нахождения не только стохастичности колебаний, но также их повторяемости. Повторяемость - это результат закономерного (в вероятностном смысле) повторения циклов как взаимосвязанной последовательности фаз в развитии исследуемой системы. ПКСП - модель природного процесса, отражающая стохастичность и повторяемость временного ряда. Вероятностными характеристиками такой модели являются периодические функции. Строгая повторяемость значений вероятностных характеристик соответствует колебаниям с фазовой структурой в реализациях случайных процессов.

Идея анализа временных рядов, заложенная в методе наложенных эпох, близка к современному методу оценивания периодически нестационарных процессов / Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н., 1983 /. Процесс считается периодически нестационарным в широком смысле слова, если инвариантны математическое ожидание

$$m(t + T) = m(t), \quad (2)$$

дисперсия

$$D(t + T) = D(t), \quad (3)$$

корреляционная функция

$$K(t_1 + T, t_2 + T) = K(t_1, t_2) \quad (4)$$

Случайный процесс, периодически нестационарный в широком смысле (или с периодической корреляцией), называют периодически коррелированным случайным процессом.

Для ПКСП свойство (2.3.2.3) для переменных $t = (t_1 + t_2)/2$ и $\tau = t_1 - t_2$ записываются в виде / 66 /

$$K(t + T, \tau) = K(t, \tau) \quad (5)$$

Отсчеты значений ПКСП через период коррелированности при разном выборе начала отсчета (начальной фазы) $t_0 \in [0, T]$ образуют стационарную эргодическую векторную случайную последовательность: $\{\xi(t_0), t_0 \in [0, T], \text{ где } \xi(t_0) \equiv \xi(t_0 + kT), k \in \mathbb{Z}\}$, \mathbb{Z} - множество целых чисел. Данный метод стал широко использоваться в последние годы при анализе природных процессов вероятностные характеристики, которых инвариантны относительно сдвигов на положительное число T в выражениях (2 - 5).

Изложенная методика ПКСП может быть использована, когда период повторяемости свойств явления не постоянен, а изменяется медленно во времени (почти периодически коррелированный случайный процесс - ППКСП). В этих случаях реализацию процесса нужно разделять на участки, внутри которых эти изменения незначительны. Подобный прием применяется во многих работах при использовании метода наложенных эпох. В частности, это сделано и А.Д.Сытинским. Поскольку 11 летний солнечный цикл может изменяться от 7 до 14 лет, то реперными годами при использовании метода ППКСП, также как и в работе / Сытинский А.Д., 1987/, брались годы максимумов 11 летнего солнечного цикла. По аналогии с работой (А.Д.Сытинским) на рис.8 представлены рассчитанные в ППКСП приближении

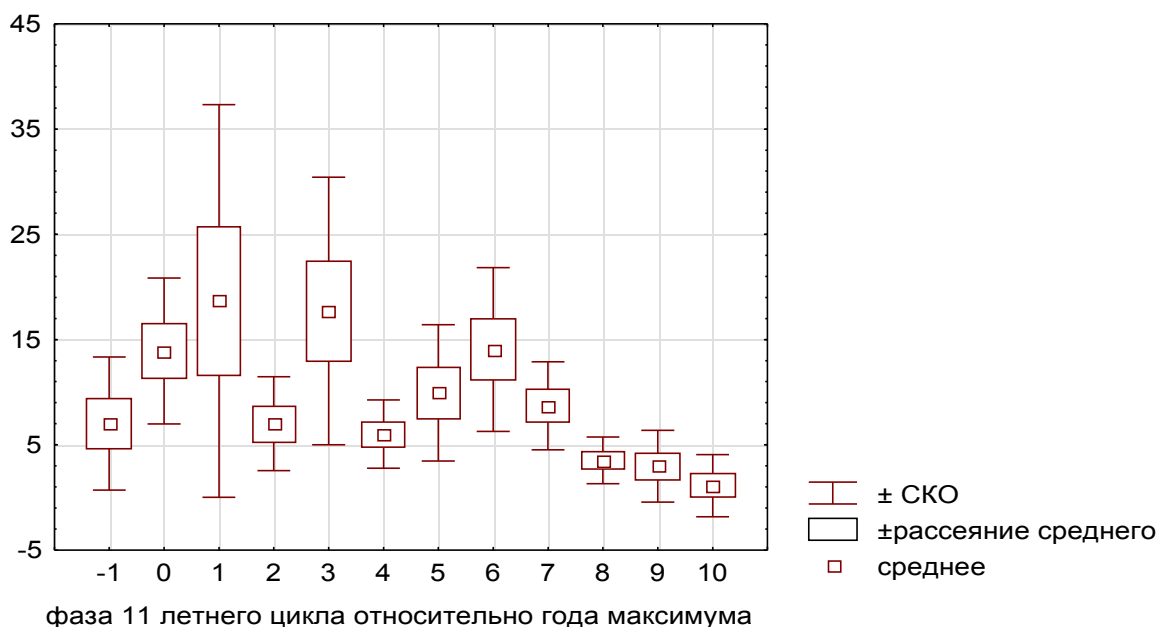


Рис.8. Распределение общей энергии землетрясений ΣE_k в 11-летнем цикле солнечной активности, где "0"-год максимума солнечной активности; распределение среднегодовых значений ΣE_k , ошибок среднего (СКО) на 11 летнем цикле с учетом данных за два дополнительных цикла.

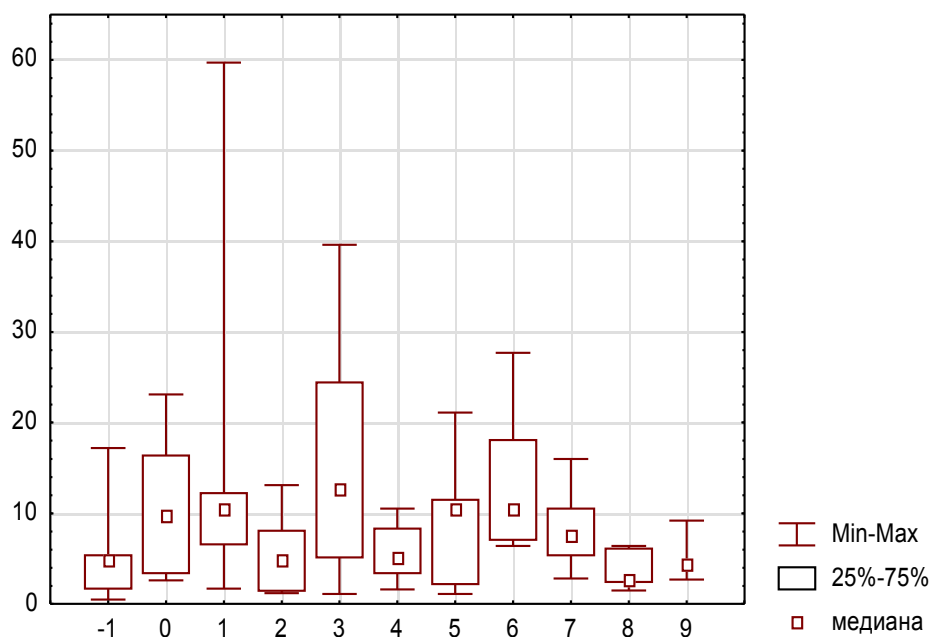


Рис.9. Вероятностные оценки изменчивости общей энергии землетрясений ΣE_k в 11 летнем цикле солнечной активности (по 9 солнечным циклам).

значения общей сейсмичности Земли ΣE_k по девяти случаям для каждого года солнечного цикла в виде среднегодовых оценок, их среднеквадратических отклонений, ошибок стандарта. Они показывают, что все закономерности обнаруженные А.Д.Сытинским выполняются и при увеличении длины выборки. Однако вычисление среднего значения ΣE_k для каждого года 11 летнего цикла при длине ряда $n = 9$ и тем более для $n = 7$ не является статистически обеспеченным результатом. Для этой цели необходимо применять робастное оценивание /Лонер Р.Л, Уилкинсон Г.Н., 1984/, а в качестве центра масштаба распределения использовать медиану. С этой целью были рассчитаны оценки медиан для каждого года 11 летнего солнечного цикла, а также значения квантилей и размаха общей сейсмичности Земли за 9 солнечных циклов. Перечисленные оценки представлены на рис.9. Из рисунка видно, что результат, отраженный в работе / А.Д.Сытинский, 1987 / с некоторыми изменениями сохранился.

Выполненные исследования убеждают, что при составлении долгосрочного прогноза землетрясений сейсмологам следует учитывать изменчивость фазы 11 летнего цикла СА

Вековой солнечный цикл и изменчивость сейсмичности Земли.

Кроме 11 - летнего солнечного цикла в поиске солнечно-сейсмических связей широко рассматривается и вековой солнечный цикл / Боков В.Н., 2000; Витинский Ю.И., 1973; Воротков М. В., Горшков М.В., Миллер Н.О., 2003; Пудовкин М.И., Распопов О.М., 1992; Рогожин Ю.А., Шестопалов И.П, 2007/. Следует отметить, что во многих работах с целью получения значимой корреляции применялось осреднение по большому интервалу времени / Рогожин Ю.А., Шестопалов И.П, 2007; Шестопалов И.П., Харин Е.П., 2006/, либо исследования основывались на коротком временном ряде / Витинский Ю.И., 1973; Воротков М. В., Горшков М.В., Миллер Н.О., 2003 /, что заставляет усомниться в реальности физического механизма непосредственного влияния СА на сейсмичность. Неоднозначность солнечно-сейсмических связей и позволяют утверждать, что СА не имеют непосредственного влияния на возникновение сильных землетрясений. В диссертации показано, что возникновение сильных землетрясений обусловлено влиянием возмущений солнечной активности опосредованно, через атмосферу.

Межгодовая изменчивость солнечная активности и атмосферной циркуляции.

Сопоставление графика зональной атмосферной циркуляции W с графиком СА 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 и в максимумах 11-летних циклов была небольшой. Поэтому в начале и конце прошлого века, а также в начале текущего века повторяемость зональной циркуляции была высокая.

Вековой ход меридиональных форм $S+E$ наоборот, имеет статистически значимую положительную корреляцию $r = 0.21$ и хорошо выраженную когерентность

с СА, особенно четко это видно на кривых полинома 5 степени. Для кривых полинома 5 степени данных рядов корреляция достигает существенных величин $r = 0.91$. Причиной появления меридиональных процессов С и Е является неравномерный прогрев тропосферы в экваториальной и полярной зонах.

Анализ данных и рассчитанных оценок по СА, повторяемости форм атмосферных процессов рассматриваемых процессов показали, что в диапазоне межгодовой изменчивости СА оказывает влияние на образование в атмосфере различных форм циркуляции атмосферы.

Межгодовая изменчивость сейсмичности, угловой скорости вращения Земли и атмосферной циркуляции.

Повторяемость землетрясений с магнитудой $M \geq 7.0$ не имеет ярко выраженного тренда, несмотря на увеличение общего числа землетрясений. Опубликовано много работ, в которых межгодовую изменчивость сейсмичности связывают с изменчивостью солнечной активности / Барляева Т.В, Морозова А.Л., Пудовкин М.И., 1999; Боков В.Н., 2000; Сытинский А.Д.,1961-2003; Шестопалов И.П., Харин Е.П. 2006 /.

На основании 106 летнего ряда сильных землетрясений ($M \geq 7$) сложно получить статистически значимые оценки влияния солнечного векового цикла на сейсмичность. Подчеркнем лишь, что солнечный вековой цикл не соответствует временной изменчивости сильных землетрясений. Влияние СА на сейсмичность проявляется опосредовано, через атмосферу, ионосферу и магнитосферу / Боков В.Н., 2000; Сытинский А.Д.,1961-2003 /. 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 Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М., 1994 /. Однако из результатов этих работ следует, что $\Omega(t)$ не имеет корреляции с сильными землетрясениями ($M > 5.5$). В тоже время с модулем производной $\Omega(t)$, т.е. $|\Omega(t)/dt|$ отмечается значимая корреляция с сильными землетрясениями. 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 / Вершовский М.Г., 2006; Кондратович К. В., Куликова Л. А., Федосеева Н. В., 2001; Сидоренков Н.С., 2002 /.

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 скорости движения остальных оболочек планеты.

Оценка влияния межгодовой изменчивости атмосферной циркуляции на периодичность сильных землетрясений.

Сильным землетрясениям предшествуют обширные пространственные вариации атмосферного давления, меняющие свой знак на областях земной поверхности сравнимых с размерами нескольких циклонов и антициклонов / Боков В.Н., 2000; Сытинский А.Д., 1987 /. Подобные пространственные распределения характерны для меридиональных форм циркуляции С и Е по типизации Вангенгейма-Гирса. В качестве примера, на рис.10 представлено поле атмосферного давления (верхний) для одного из сильнейших землетрясений, произошедшего у о. Суматра в 2004 г., а также его трехмерное представление (нижний).

На рисунке 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 иницировании 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 относятся 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 В.Н., 2006; Павленкова Н.И., , 1996, 1998; Резанов И.А., 2002 /. Повышенное атмосферное давление превышает действие

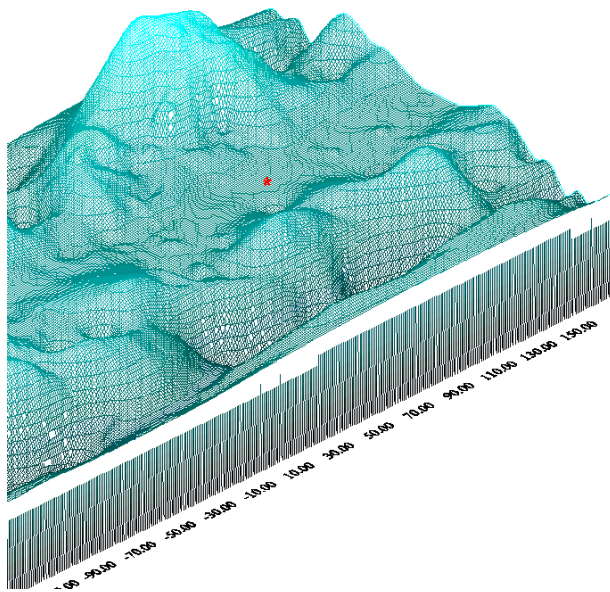
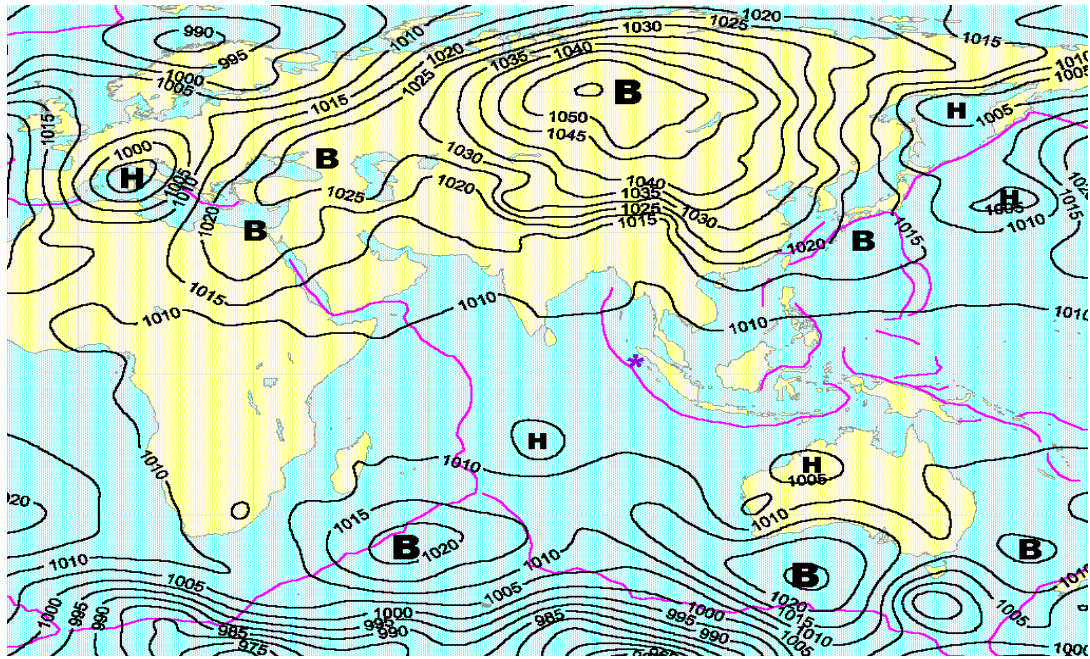


Рис.10. Синоптическая обстановка в день землетрясения у берегов Суматры (26.12.2004 г.) в двумерном (верхний) и трехмерном (нижний) изображениях. Звездочкой отмечен эпицентр землетрясения.

притяжения, и под воздействием избыточной воздушной массы земная поверхность прогибается / Сидоренков Н.С., 2002 /. При этом в земной коре происходит ряд процессов, которые получают наибольшее развитие только при определенных пространственных изменениях атмосферной циркуляции / Боков В.Н., 2000, 2003 /.

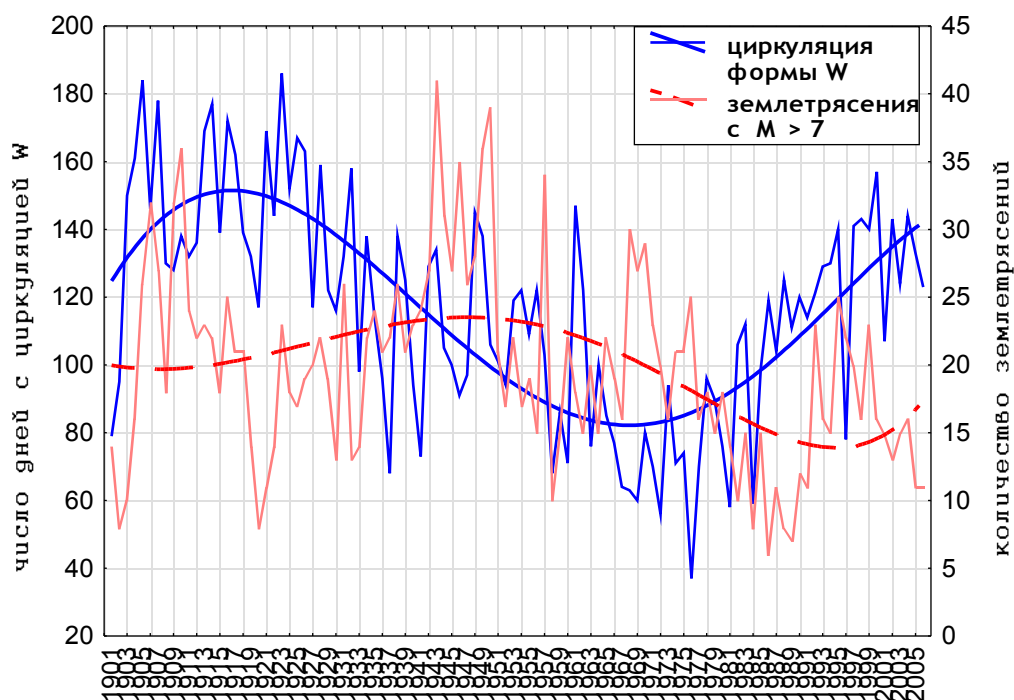


Рис.11. Временной ход циркуляции западной формы W и землетрясений с $M \geq 7$.

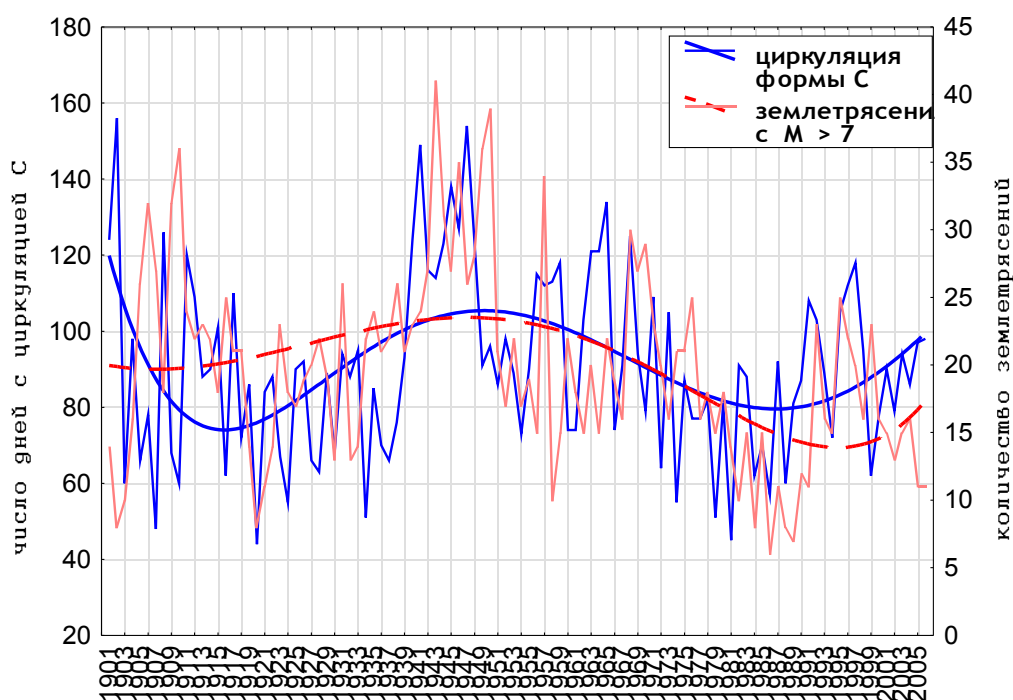


Рис.12. Временной ход циркуляции меридиональной формы C и землетрясений с $M \geq 7$.

Совместный анализ синхронных временных рядов форм циркуляции атмосферы и сильных землетрясений в диапазоне межгодовой изменчивости, указывает на 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.

На рис. 11, сопоставлены данные по повторяемости западной форме циркуляции W с числом землетрясений ($M \geq 7$). Из рисунка видно, что кривые полиномов идут почти в противофазе, хотя в ряде лет наблюдается согласование ежегодных данных. Другое соотношение мы отмечаем на рис. 12 из которого видно, что между меридиональными формами циркуляции S и ежегодным числом землетрясений с $M \geq 7$ наблюдается хорошо выраженная когерентность. Статистически значимый коэффициент корреляции между этими величинами составил $r = 0.20$, что подтверждает влияние меридиональной циркуляции атмосферы на сильные землетрясения. Сглаженные кривые полинома 5 степени особенно четко подчеркивают эту особенность между ними.

Полученные результаты позволяют утверждать, что на межгодовую изменчивость сильных землетрясений не оказывает прямого воздействия не CA не изменения угловой скорости вращения Земли. Межгодовая изменчивость сильных землетрясений определяется межгодовой изменчивостью форм циркуляции атмосферы, а также эндогенными и экзогенными процессами в земной коре обусловленные вариациями угловой скорости вращения Земли, которые в свою очередь зависят от атмосферы.

Глава 3. Сейсмо-атмосферный предвестник.

О проблеме выбора предвестников землетрясений.

К настоящему времени известно несколько сотен предвестников землетрясений / Завьялов А.Д., 2006; Зубков С.И., 1987, 1993 /. Предвестники являются феноменологическими, т.е. регистрируется только перед сейсмическим событием.

Для целей прогнозирования предвестник должен удовлетворять ряду условий / Завьялов А.Д., 2006 /:

1. универсальность проявления для любого сейсмоактивного региона с учетом региональных различий в характеристиках предвестника;
2. обеспечение статистически значимой оценки предвестника перед сильными землетрясениями для конкретного локального района на основе возможно большего числа случаев;
3. возможность ретроспективного проявления предвестника перед сильными землетрясениями.

Несмотря на наличие огромного числа предвестников, их использование для разработки методик краткосрочного прогноза землетрясений до недавнего времени не представлялось возможным. Поскольку в различных сейсмоактивных районах любые предвестники проявляют себя по-разному, то они не способны указать место, время и силу предполагаемого землетрясения.

Парадигма непредсказуемости землетрясений, преподносимая обществу сейсмологами в последнее десятилетие прошлого века, связана, в основном, с представлением литосферы, как хаотичной нелинейной системы / Geller В., Jackson D.D., Kagan Y.Y.; Соболев Г.А., 1999 /. Можно предположить, что хаотичность, свойственная процессам земной коры, определяется ярко выраженной хаотичностью атмосферных процессов. Поэтому к числу предвестников мы добавляем еще один, основанный на преобразованиях атмосферной циркуляции. В качестве такого предвестника предлагается рассчитанные оценки пространственно-временной изменчивости атмосферного давления относительно эпицентра сильного землетрясения. Научные исследования второй половины прошлого / Сытинский А.Д., 1961-2003 / и начала текущего веков / Боков В.Н., 2000, 2003 / позволили утверждать о нахождении требуемого предвестника.

Сейсмо-атмосферный предвестник – основа сейсмо-синоптического метода прогноза землетрясений.

Электронные карты атмосферных процессов, предшествующие землетрясению и являющиеся типичными для конкретного места (роя) землетрясений, являются

составляющими сейсмо-атмосферного предвестника. Под сейсмо-атмосферным предвестником (САП) понимается комплекс электронных карт, характеризующих пространственную изменчивость атмосферного давления за несколько дней до и после возникновения сильного землетрясения в конкретном месте сейсмически активного района. Кроме этого в САП входят сейсмологические параметры землетрясения (время, магнитуда, место эпицентра, тип деформации и др.) и расчетные значения термобарического инварианта / Боков В.Н., 2000, 2007 /. При других атмосферных процессах, отличных от САП, сильные землетрясения в данном месте не происходят. Поэтому триггерный процесс атмосферы проявляется избирательно, только при строго определенных условиях, а атмосферные преобразования, инициирующие сильные землетрясения, в каждом сейсмически активном районе различны.

Анализ синоптических условий четко указывает на возникновение перечисленных предвестников и позволяет определить силу, место и время землетрясения. Сила землетрясений определяется по величине барического градиента / Сытинский А.Д., 1987 /. Место и время предполагаемого землетрясения позволяет определить термобарический инвариант/ Боков В.Н., 2006 /. Для этого выполняются расчеты термобарического инварианта V_t на основе прогностических метеорологических полей, выпускаемых как в Гидрометеорологическом центре России, так и в других мировых метеорологических центрах.

Методические разработки по расчету и анализу многомерных атмосферных процессов разработаны в ряде работ / Боков В.Н., Бухановский А.В. Иванов Н.Е. Рожков В.А., 2001; Иванов Н.Е., Клеванцов Ю.П., Макарова А.В., Рожков В.А., 2003; Рожков В.А., 1996 /.

Поле барического градиента $\bar{V}(\bar{r}, t)$, зависящее от пространства $\bar{r}(x, y, z)$ и времени t , многомерно, а векторная случайная величина \bar{V} многомерна, т.к. в системе географических координат она описывается двумя проекциями – V_x на параллель и V_y на меридиан. Одноточечные моменты $\bar{m}_{\bar{V}}(\cdot)$ и $\mathbf{D}_{\bar{V}}(\cdot)$ зависят от \bar{r} и t , а двухточечные $\mathbf{K}_{\bar{V}}(\cdot, \cdot)$ – от \bar{r} , t и $\bar{\rho}$, τ ; $\bar{m}_{\bar{V}}(\cdot)$ – векторная величина, а $\mathbf{D}_{\bar{V}}(\cdot)$ – диадный тензор. Для количественной оценки неоднородности скалярного (температуры) ζ и

векторного (градиент атмосферного давления) \vec{V} полей используем их градиенты – пространственные производные

$$\vec{V} \zeta \equiv \frac{\partial \zeta}{\partial \vec{r}}, \quad (6)$$

$$\mathbf{Grad} \vec{V} \equiv \frac{\partial \vec{V}}{\partial \vec{r}} \quad (7)$$

Операции (6), (7) дают возможность при каждом \vec{r} и t поставить в соответствие скалярному полю ζ векторное поле $\vec{V} \zeta$ с компонентами

$$\left(\begin{array}{l} \zeta'_x = \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ \zeta'_y = \frac{\partial \zeta}{\partial y} \end{array} \right), \quad (8)$$

а векторному полю \vec{V} - тензорное поле $\mathbf{Grad} \vec{V} \equiv \frac{\partial \vec{V}}{\partial \vec{r}}$ с компонентами

$$\left(\begin{array}{cc} \frac{\partial V_x}{\partial x} & \frac{\partial V_y}{\partial x} \\ \frac{\partial V_x}{\partial y} & \frac{\partial V_y}{\partial y} \end{array} \right) \quad (9)$$

Средние значения $\vec{m}_{\vec{V}\zeta}$ и $M_{Grad\vec{V}}$ можно вычислить по полям ежесуточных величин $m_{\zeta}(\bullet)$ и $\vec{m}_{\vec{V}}(\bullet)$. Линейность операции осреднения постулирует равенство компонентов $(m_{\zeta'_x}, m_{\zeta'_y})$ вектора $\vec{m}_{\vec{V}\zeta}$ средним значениям проекций (8). Симметричная часть тензора (3.4.4) имеет линейный инвариант

$$I_1 = \text{div} \vec{V}, \quad (10)$$

и квадратичный инвариант

$$I_2 = \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} \cdot \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) - \frac{1}{4} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right)^2, \quad (11)$$

а кососимметричная часть тензора (4.4.4) – инвариант

$$\Omega = \frac{1}{2} \text{rot}_z \vec{V} \quad (12)$$

Симметричному тензору с инвариантами (10), (11) может быть поставлена в соответствие кривая второго порядка

$$\lambda^2 - I_1 \lambda + I_2 = 0 \quad (13)$$

с главными полуосями

$$\lambda_{1,2} = 0.5 \left(I_1 - \sqrt{I_1^2 - 4I_2} \right), \quad (14)$$

развернутыми на угол

$$\alpha = 0.5 \operatorname{arctg} \frac{(\partial V_y / \partial x + \partial V_x / \partial y)}{(\partial V / \partial x - \partial V_y / \partial y)} \quad (15)$$

относительно исходной системы координат. Для поля средних $\vec{m}_{\vec{v}}(\bullet)$ векторов \vec{V} барического градиента инварианты (10) - (15) позволяют дать характеристику средней неоднородности векторного поля.

Изменчивость термобарического инварианта рассчитывается как

$$V_t = 0.5 \left(I_1 - \sqrt{I_1^2 - 4I_2} \right)^2 + 0.5 \left(I_1 + \sqrt{I_1^2 - 4I_2} \right)^2 \quad (16)$$

Значения термобарического инварианта включает в себя ряд процессов происходящих в атмосфере, изменения которых инициируют экзогенные процессы земной коры. К этим процессам относятся крупномасштабная конвекция, адвекция тепла или холода, а также крупномасштабные смещения воздушных масс.

САП удовлетворяет всем требованиям, которые изложены выше. Он универсален, поскольку совпадение САП с прогнозом пространственно-временной изменчивости барического поля «указывает» на высокую вероятность сильного землетрясения в конкретной точке сейсмоактивного района. Для каждого сейсмически активного района САП отличен от других районов. Формирование каталога САП обеспечивает статистически значимую оценку проявления предвестника перед сильным землетрясением, поскольку для конкретного локального района выявляется достаточно большое число случаев САП. И третье, важное условие – ретроспективность, также присуще САП.

По сравнению с другими предвестниками САП обладает огромным преимуществом, поскольку он определяется по данным метеорологических прогнозов с заблаговременностью несколько суток. Для предвестников, выделяемых геологами, такой возможности не существует.

Ретроспективные свойства атмосферной циркуляции – основа создания банка предвестников землетрясений.

С целью ретроспективного формирования САП были использованы как сейсмологические, так и метеорологические данные. Источником сведений о

параметрах землетрясений послужил архив сейсмологических данных Национального Центра Информации о землетрясениях США (NEIC). Расчет САП для сильных землетрясений с 1946 года по 2001 г. был выполнен на основе архива реанализа метеорологических полей НМЦ США (NCEP/NCAR). После 2001 г. были использованы данные Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды с тем же шагом сетки (ECMWF).

Процесс определения САП достаточно прост. Выявляем в архиве все зарегистрированные землетрясения с $M \geq 6$ для конкретного места (роя) в сейсмоактивном регионе. Далее, из данных метеорологического архива извлекаем значения полей атмосферного давления и температуры для всех дат рассматриваемых землетрясений. Строим ежедневные (или за два срока в сутки) карты полей атмосферного давления и температуры за четверо суток до выбранной даты конкретного землетрясения и за одни сутки после данного землетрясения. За каждые рассматриваемые сутки рассчитываем пространственное распределение термобарического инварианта. Проводим анализ подобия полученных САП. Результаты анализа 600 случаев показали подобие САП для каждого конкретного места (роя) конкретных землетрясений.

Глава 4. Пространственно временная изменчивость атмосферной циркуляции - триггер региональной сейсмичности.

Характерные синоптические условия, инициирующие сильные землетрясения в различных регионах Северного полушария.

Для сейсмических событий пространственная направленность разломов и неоднородностей земной коры имеет существенное значение. Подобные свойства земной коры приводят к тому, что инициирование землетрясений в конкретном месте происходит только при строго определенной пространственной изменчивости атмосферного давления / Боков В.Н., 2003, 2006 /. Поэтому атмосферные преобразования, инициирующие сильные землетрясения, в каждом сейсмически активном районе различны. Это показано для сейсмоактивных регионов Камчатки, Командорских и Курильских островов, Японии, Ирана, Турции, США и Мексики. В

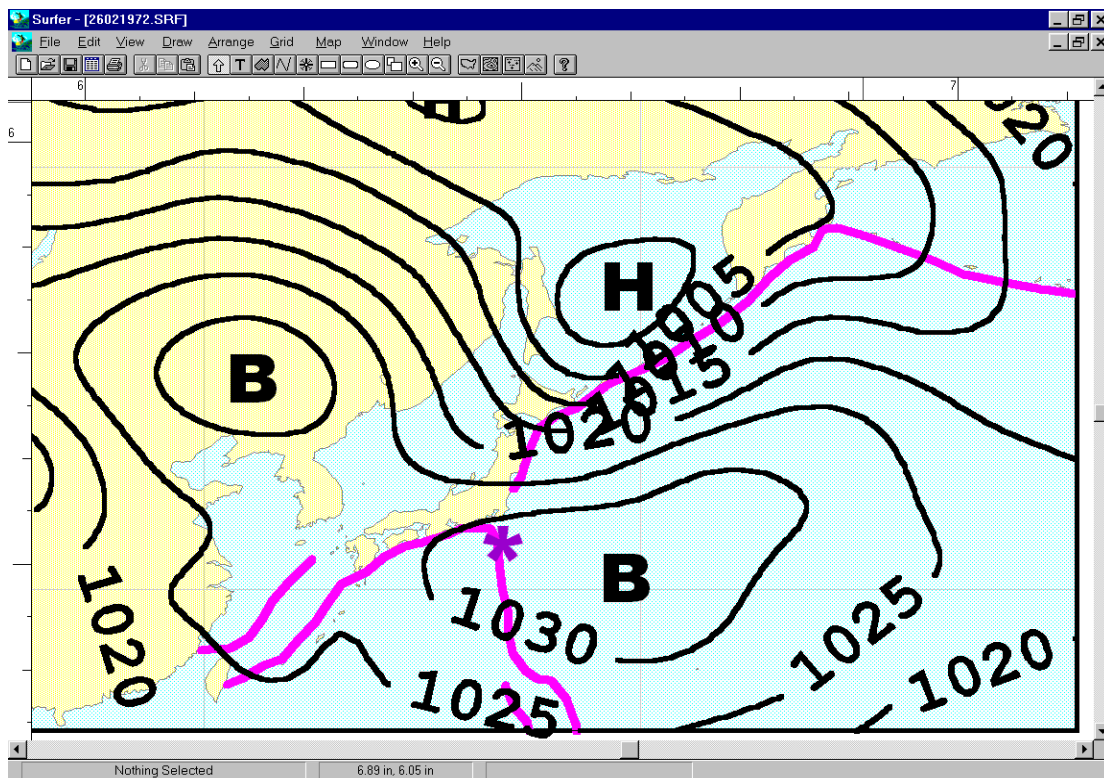
качестве примера рассмотрим один из сейсмоактивных районов Японии - юго-восточную оконечность о. Хонсю в точке с координатами $\varphi = 34^\circ$ СШ, $\lambda = 140^\circ$ ВД.

На рис.13.а представлено поле приземного атмосферного давления 26.02.1972 г. - за три дня до землетрясения. Эпицентр землетрясения отмечен знаком *. Из рисунка видно, что очаг землетрясения находится в центральной зоне высокого давления с атмосферным давлением более 1030 гПа. Над Камчаткой и Охотским морем находится область низкого давления. Через трое суток - 29.04.1972 г. произошло землетрясение с магнитудой $M = 7.2$. В пространственном распределении атмосферного давления (рис.13.б) произошли изменения, проявившиеся в образовании над территорией восточного Китая области низкого давления на месте бывшего расположения высокого давления. Аналогичная синоптическая ситуация, определившая очередное сильное землетрясение в той же точке, произошла почти через 10 месяцев. На рис.14.а представлено поле приземного атмосферного давления 01.12.1972 г. - за три дня до землетрясения. Из рисунка видно, что очаг землетрясения находится в центральной зоне высокого давления с атмосферным давлением более 1025 гПа. Над Камчаткой и Охотским морем в распределении атмосферного давления (рис.14.б) появились изменения, проявившиеся в образовании над территорией восточного Китая области низкого давления на месте бывшего расположения высокого давления. Оба рассмотренных случая сильных землетрясений в конкретном локальном районе были инициированы аналогичными синоптическими ситуациями, что подтверждает огромное влияние атмосферных процессов на сейсмичность поверхности Земли. Для других регионов Японии возникновению сильных землетрясений сопутствуют уже другие атмосферные процессы.

Глава 5. Влияние атмосферных процессов на возникновение предвестников.

Землетрясениям в большинстве случаев предшествуют различного рода предвестники. Поэтому подготовка землетрясений, проявляющаяся в образовании предвестников с последующим возникновением землетрясений, является единым геофизическим процессом. Появление геологических и сейсмологических предвестников также обусловлено атмосферной циркуляцией.

a)



б)

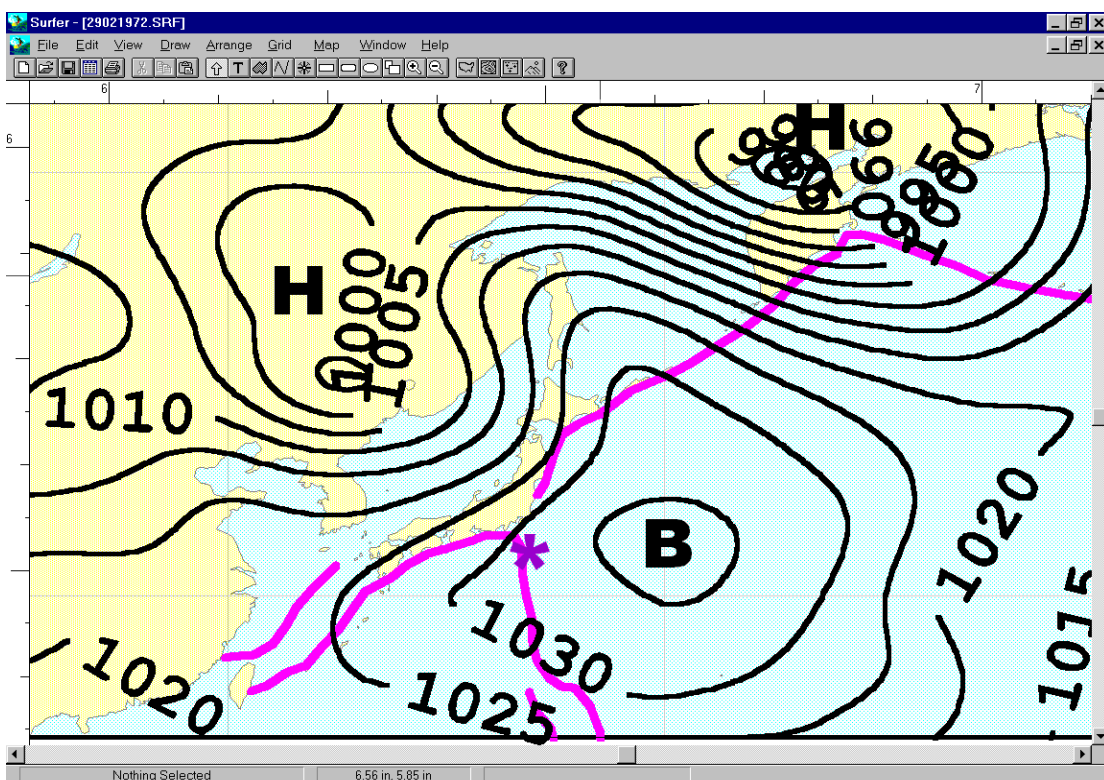
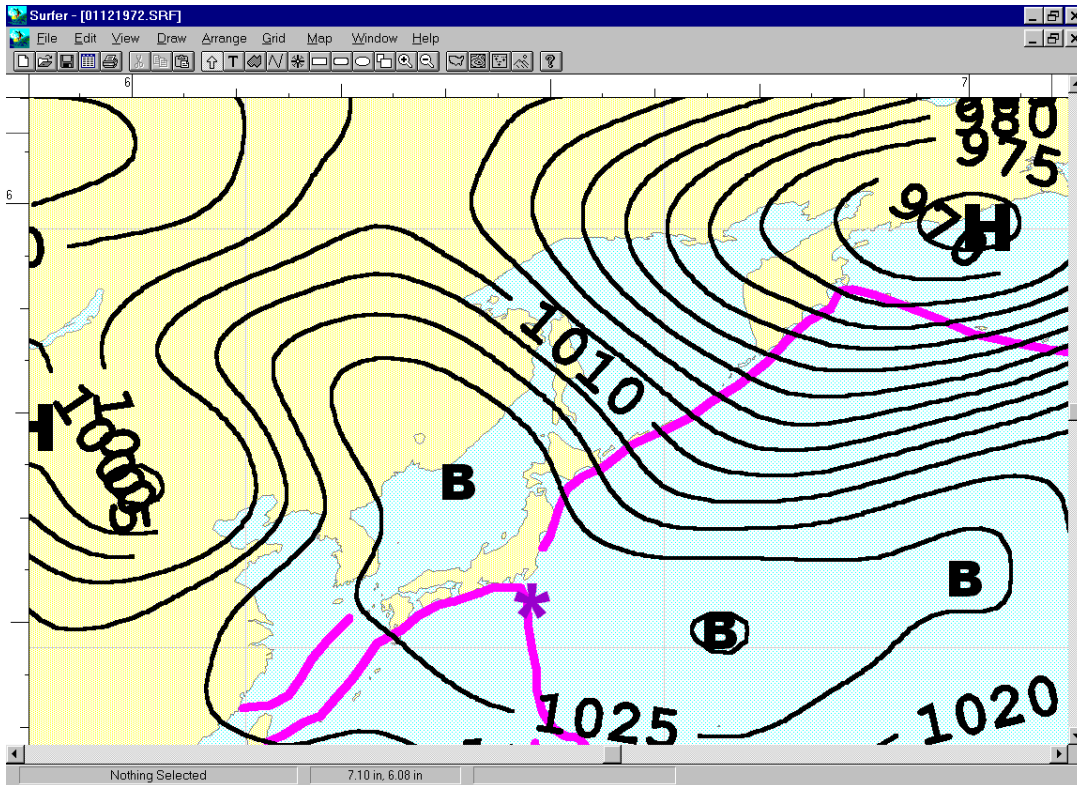


Рис. 13. Синоптическая ситуация инициирующая землетрясение 29.02.1972 с $M=7.7$. а)-за 3 суток, б)- в день землетрясения. Толстые линии - тектонические разломы (звездочкой указан эпицентр землетрясения).

a)



б)

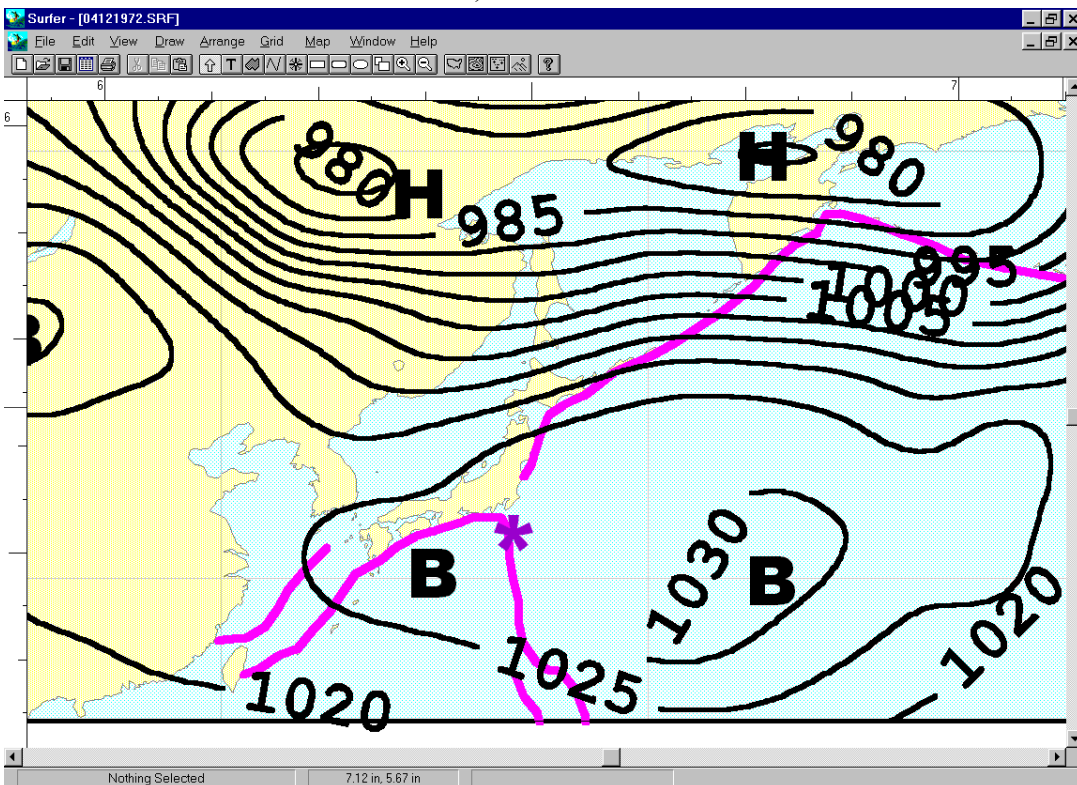


Рис.14. Синоптическая ситуация инициирующая землетрясение 04.12.1972 с $M=7.2$.
а) -за 3 суток, б)- в день землетрясения. Толстые линии – тектонические разломы (звездочкой указан эпицентр землетрясения).

Атмосферное давление оказывает влияние на изменчивость уровня подземных вод, появление наклонов земной поверхности, выход литосферных газов, выделение радона и ряд других коровых явлений, которые в геологии рассматриваются как предвестники землетрясений. Не имея возможности проведения экспериментальных исследований, было естественным обратиться к опубликованным результатам подобных исследований. Как правило, в подобных публикациях приводят ряды измерений, которые мы использовали для наших исследований.

Влияние атмосферных процессов на сейсмоакустическую эмиссию.

Сейсмоакустическая эмиссия наблюдается в шахтах, скважинах, туннелях, на поверхности Земли и на дне водоемов, характеризуя изменение состояния деформации земной коры. Геоакустическая эмиссия (ГАЭ) исследовалась в многочисленных работах для контроля сейсмического режима и определения возможности ее использования в качестве краткосрочного предвестника землетрясений. ГАЭ порождается не только процессом разрушения пород, дискретным характером крипа и ползучести, но и дегазацией обусловленной геохимическими процессами / Купцов А.В, 2005; Купцов А.В., Ларионов И.А., Шевцов Б.М., 2005; Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. 1997, 1998 /.

Во всех работах, посвященных исследованию ГАЭ, приводятся сведения о несоответствии измерений ГАЭ во временных рядах близко расположенных пунктов, а также в связях пространственного распределения результатов измерений с параметрами очага готовящегося землетрясения / Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В., 2006; Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И., Леонов В.Л., Чебров В.Н., 2004; Гордиенко В.А., Гордиенко Т.В., Купцов А.В. и др., 2006; Купцов А.В, 2005; Рыкунов Л.Н., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н., 1996; Салтыков В. А., Кугаенко Ю. А. Салтыков В. А., Кугаенко Ю. А. 2007 /. Показано, что коэффициент корреляции между энергией сейсмических событий и энергией их ГАЭ оказался небольшим и равным 0.3. Это указывает на наличие неизвестных факторов, влияющих на изменчивость ГАЭ в пространственном и временном масштабах. Следует отметить, что интенсивные и продолжительные сигналы ГАЭ наблюдаются только за 1-2 суток до сильных сейсмических событий. Это как раз тот характерный

временной интервал, в течение которого смещаются атмосферные вихри над пунктом измерений в районе Камчатки.

В диссертации проведен анализ временных серий измерений высокочастотной ГАЭ в пункте, расположенном на дне оз. Микижа (Камчатка) /Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В., 2006/. Анализ изменчивости атмосферной циркуляции и расчет термобарического инварианта показал, что нулевая изолиния термобарического инварианта, проходя над пунктом измерения ГАЭ, соответствует времени возникновения шумов регистрируемых приборами. Эта изолиния характеризует зону деформации земной коры, что сопровождается появлением ГАЭ. Влияние метеорологических аномалий распространяется на значительные глубины земной коры, достигающие нескольких километров и возможно больше. Поэтому эпицентры землетрясений, инициируемые атмосферной циркуляцией, могут располагаться как в осадочном чехле, так и в кристаллическом фундаменте / Гольдин С.В., 2005; Гуляев А.Н. и др. , 1996; Воск У., et.al. 1993 /. Глубина влияния атмосферной циркуляции на геодинамические процессы в земной коре была определена экспериментально (до глубины около 4,5 километров) в Уральской сверхглубокой скважине СГ-4 / Гуляев А.Н. и др. , 1996 /. Анализ карт барических полей и расчеты термобарического инварианта, показал результаты аналогичные данным Камчатки. Нулевая изолиния термобарического инварианта характеризует зону деформации земной коры, что сопровождается появлением ГАЭ.

Проявление изменчивости атмосферной циркуляции в гидродинамических процессах земной коры.

Гидрогеодинамические эффекты в режиме подземных вод, предваряющие сильные землетрясения, проявляются на огромных площадях, значительно превышающих очаговую область землетрясения, и были зарегистрированы на расстояниях в нескольких сот километров от эпицентра очага / Волейшо В.О., 1984; Киссин И.Г, 1982, 1993; Копылова Г.Н., 2001, 2005; Пруцкая Л.Д., 2004 /. Установлено также, что УПВ является чутким индикатором внешних нагрузок, в частности изменчивости атмосферного давления.

Пространственное распределение уровня подземных вод $h(t)$ может быть хорошим предвестником предстоящего землетрясения. Совместное применение двух

предвестников (сейсмо-атмосферного и гидродинамического) позволяют точнее определить время и место предполагаемого эпицентра землетрясений. Это показано в диссертации по данным ФГУПП «Кавказгеолсъемка». Практика многолетнего мониторинга атмосферных и сейсмических процессов показала, что быстрый рост положительных значений термобарического инварианта приводит к сейсмическим событиям в районе Кавказа.

Происходящие в момент землетрясения косейсмические скачки уровня воды в скважинах могут достигать амплитуды до первых десятков сантиметров / Копылова Г.Н., Сугробов В.М., Хаткевич Ю.М., 1994; Копылова Г.Н., 2005 /. Характер скачков по пространству определяется механизмом очага землетрясения / Wakita H., 1975 /: в области сжатия насыщенных пород происходит повышение уровня воды, в области расширения – его понижение. Эти выводы гидрогеологов соответствуют изменчивости атмосферной циркуляции. В диссертации рассмотрены поля атмосферного давления и измерения уровня подземных вод, сопутствующие Кроноцкому землетрясению 5 декабря 1997 г., произошедшему на Камчатке. Результаты показали четкую зависимость широко привлекаемого сейсмологами предвестника землетрясений – УПВ - от изменчивости атмосферного давления.

Вариации поверхностной температуры земной коры и эксгаляция радона под влиянием изменчивости атмосферного давления.

Интенсивность тепловых аномалий земной коры достигает $3 \div 4^{\circ}\text{C}$ выше окружающего фона. Воздух над аномалией также имеет повышенную температуру, что подтверждается данными метеорологических и спутниковых наблюдений за вертикальным разрезом атмосферы / Сальман А.Г., Тронин А.А., 1989, 1990 /. Появление тепловых аномалий происходит перед возникновением коровых землетрясения / Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В., Тронин А.А., 2005 /

В диссертации показан четкий отклик тепловых аномалий на изменение направлений деформаций обусловленных ростом атмосферного давления. Поскольку атмосферное давление меняется и во времени, и в пространстве, то продвижение антициклонов и циклонов приводит к деформации земной коры, появлению тепловых

аномалий и возникновению землетрясений. Появление предвестников - тепловых аномалий и затем землетрясений, согласуется с расчетными пространственно-временными значениями термобарического инварианта.

Похожие экзогенные процессы происходят и при эксгаляции подпочвенного радона (Rn) / Уткин В.И., Юрков А.К., 1997, 1998, 2000; Фирстов П.П., Понамарев Е.А., Чернева Н.В., Бузевич А.В., Малышева О.П. К, 2007 /.

Анализ изменчивости атмосферного давления, измерения радона и торона, а также данные демографов на полигоне Северного Тянь-Шаня показали, что геофизические измерения могут выполнить предназначенную им прогностическую роль только в случае совместного использования с метеорологическими данными.

Влияние атмосферных процессов на деформационные колебания земной коры.

Величина воздействия атмосферного давления на земную кору зависит как от изменчивости самого давления, так от латеральной неоднородности поверхностных слоев земной коры / Латынина Л.А., Васильев И.М., 2001 /. Оценка степени взаимосвязи вариаций атмосферного давления с наклонами земной поверхности показала значимую корреляцию между данными процессами в диапазоне от 10 до 2 суток / Широков И.А., Анохина К.М., 2003 /. Функции когерентности отчетливо выделяют периоды 8 и 4 суток, что является характерным интервалом времени для элементарного синоптического процесса и естественного синоптического периода. Анализ изменчивости атмосферной циркуляции и измерений деформаций для Спитакского землетрясения (7.12.1988 г., $M=6.9$), Нефтегорского землетрясения 27.05.1995 г. ($M_w=7.5$) Соликамского (05.01.95г.) и Березниковского (09.10.97 г) показал четкое проявление предвестников – деформаций в зависимости от изменчивости атмосферной циркуляции. Пространственная анизотропия упругих модулей горных пород и наличие разрывных нарушений определяется направлением вектора максимального барометрического наклона (градиента атмосферного давления).

О влиянии ветровых потоков на режим сейсмичности Земли.

Н.С.Сидоренков (2002) объясняет изменчивость сейсмического режима за счет существования западных ветров в умеренных широтах и восточных ветров в тропической зоне.

В связи с этим отметим два положения, которые являются существенными для понимания механизма изменчивости сейсмического режима Земли, предложенного Н.С.Сидоренковым. Первое – зональный воздушный перенос в умеренных широтах проявляется лишь при осреднении полей ветра за год. Второе – адекватное изучение ветра зависит от метода его расчета и анализа. Наиболее приемлемым для этой цели является векторно-алгебраический метод / Боков В.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А., 1987, Рожков В.А., 1996 /. С целью определения зонального воздушного потока над

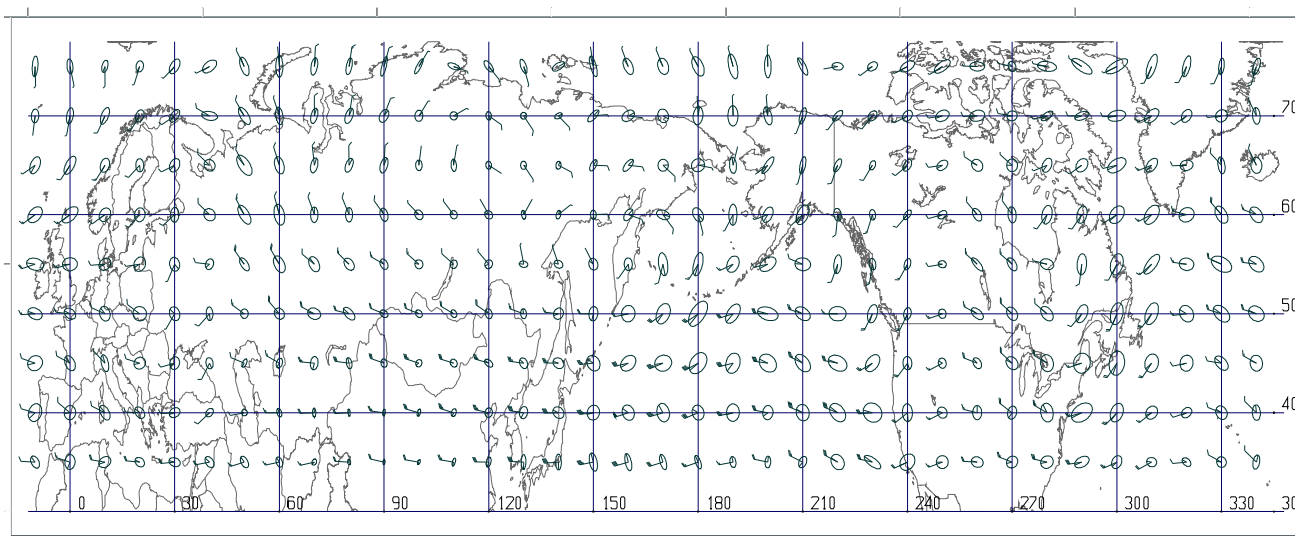


Рис.15. Среднемесячные значения результирующего ветра и его эллипса с.к.о. в марте 2000 года.

Северным полушарием в течение года, были рассчитаны среднемесячные векторные поля ветра за период в 40 лет на высоте $H=500$ гПа. Оценки внутригодовой изменчивости векторного представления ветра за каждый показали, что для умеренных широт нет ни одного месяца, для которого наблюдается четко выраженный западный воздушный перенос на всем пространстве полушария. В качестве примера это показано на рис. 15, где представлены среднемесячные значения результирующего ветра и его эллипса с.к.о. для марта 2000 года.

Приведенные результаты показывают, что в диапазоне синоптической изменчивости (от 1 дня до месяца), механизм возникновения сильных землетрясений, предложенный Н.С.Сидоренковым, не «работает».

Глава 6. Краткосрочный прогноз землетрясений и оценка его качества.

Методология составления краткосрочного прогноза землетрясений.

В отличие от методов, разработанных с детерминистических позиций, сейсмо-синоптический метод /Боков В.Н., 2003/ основан на прогнозе метеорологических полей, рассчитанных современными численными моделями с заблаговременностью до 10 суток.

В настоящей диссертационной работе не ставилась задача исследования механизма землетрясения, поскольку это область сейсмологии. Однако полученные результаты имеют прямое отношение к данной проблеме.

Напряжения в разломах земной коры возникают не только под воздействием эндогенных процессов, но под мощным влиянием экзогенных процессов – приливных явлений, атмосферных возмущений, изменчивости гидрологического режима в верхней части коры и ряда других. Землетрясение может произойти в условиях насыщения разлома флюидами и при возникновении атмосферного триггерного эффекта, обеспечивающих «скольжение» одного или нескольких зацепов разлома. После сильного землетрясения в зоне разлома между блоками образуются зацепы, которые укрепляются последующими временными сериями афтершоков. В течение нескольких месяцев, лет и даже десятилетий сильного землетрясения в данном месте не происходит, поскольку силы сцепления не достигли своего предельного значения.

Нарушение прочности горных пород наступает / Гарагаш И.А., Ингель Л.Х., Ярошевич М.И., 2004 /, если параметр прочности $R = \tau + \sin\varphi \sigma$ достигает своего предельного значения f или $\tau + \sin\varphi \sigma = f$, где φ – угол внутреннего трения; $\sigma = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_z)$ среднее напряжение земной коры; f – сила сцепления блоков; интенсивность касательных напряжений

$$\tau = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x + \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2} \quad (17)$$

Интенсивность касательных напряжений часто является определяющей в процессе сброса напряжений, поскольку формирует условия облегченного скольжения зацепов в флюидонасыщенном разломе (стыке блоков).

Механизм триггерного эффекта атмосферного давления на возникновение землетрясений. Рассмотрим физические представления, которые способны быть «спусковым крючком» при землетрясениях.

Достаточно быстрое возрастание дополнительной массы воздуха в среднем на $7 \div 9 \cdot 10^{11}$ кг (для циклона, наоборот атмосферное давление будет меньшим на эту же величину) над определенным участком земной коры приводит к увеличению нагрузки F_{AT} на кору, что порождает противоположные силы сопротивления $F_{ЗК}$ в коре. Антициклон является барическим образованием с максимумом давления массы в центре

$$F_{AT} = \iint_s \delta P \partial S \quad (18)$$

с уменьшением давления при приближении к границам области низкого атмосферного давления.

В этом случае составляющие силы сопротивления $F_{ЗК}$, в кристаллическом фундаменте будут равны противоположно направленному напряжению, обусловленному изменчивостью атмосферной циркуляции σ_A , которое можно представить следующим выражением:

$$\sigma_A = \frac{\iint_s \delta P \partial S}{2\pi r^2 \sin \alpha} \quad (19)$$

где r – радиус антициклона; α - угол наклона от центра антициклона к его границам

Наибольшие значения σ_A образуется на географической линии центр антициклона - центр циклона. В результате увеличения атмосферного давления (антициклона) возникает прогиб кристаллического фундамента плиты (блока) /Сидоренков Н.С., 2002/ и касательные напряжения τ с вертикальной составляющей на границах плит (блоков), способствующих изгибным напряжениям. Подчеркнем, что горизонтальный размер антициклона или циклона составляет сотни и тысячи километров, а средняя глубина плит всего около 33 км.

При прохождении линии разграничивающей антициклон и циклон над разломом, возникают существенные различия в физических действиях с разных сторон разлома. Со стороны антициклонического поля за счет изгиба кристаллического фундамента в глубину возникают растягивающие деформации, направленные к центральной части антициклона. Со стороны циклонического поля за

счет изгиба кристаллического фундамента к земной поверхности возникают деформации сжатия, направленные к центральной части циклона / Гарагаш И.А., Ингель Л.Х., Ярошевич М.И., 2004; Перцев Б.П., Ковалева О.В., 2004 /.

Технология составления краткосрочных прогнозов землетрясений.

1. Ежедневная оперативная работа по обработке и анализу изменчивости атмосферной циркуляции на пространстве Земли с использованием прогностических метеорологических полей ЕЦСПП. По прогностическим полям атмосферного давления и температуры выполняются расчеты ежедневных пространственных оценок термобарического инварианта с заблаговременностью за четверо суток. В оперативном режиме анализируются данные наблюдений за параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля по данным, выставляемым на сервере НАСА. Одновременно ежедневно в оперативном режиме ведется мониторинг сейсмической обстановки на пространстве Северного полушария. При этом применяется известный сейсмологический предвестник – «сейсмическое затишье» (исчезают слабые постоянные землетрясения) / Соколов Г.А., 1993, Соколов Г.А., Пономарев А.В., 2003 /, поскольку это единственно доступная информация.

2. Определение места эпицентра землетрясения. Анализ фактической и прогнозируемой пространственной динамики атмосферных вихрей совместно с картами оценок термобарического инварианта и оперативной сейсмической обстановки позволяет выделить точки, в которых возможны землетрясения. Основными предварительными критериями, определяющими данную точку, являются:

- продольное совмещение тектонического разлома с нулевой изолинией термобарического инварианта;
- наличие мощных вихрей противоположного знака с обеих сторон тектонического разлома или одного центра на разломе;
- место пересечения тектонического разлома с нулевой изолинией термобарического инварианта и линии направления градиентов атмосферного давления атмосферных вихрей противоположного знака указывает место эпицентра;
- наличие форшоковой активности в рассматриваемом сейсмоактивном регионе за последние несколько суток.

3. Выполняется анализ и выбор аналогичного сейсмо-атмосферного предвестника для предполагаемой точки землетрясения. При его выявлении прогнозируется землетрясение с $M > 4$ и более в той точке, которая определена на картах сейсмо-атмосферного предвестника.

4. Определение времени предполагаемого землетрясения. При определении времени землетрясения используются оперативные данные за солнечной активностью, а по прогностическим метеорологическим полям оценивают уровень интенсивности атмосферной циркуляции и амплитуду изменчивости термобарического инварианта на территории Северного полушария. Рост параметров солнечной активности – концентрации солнечного ветра, смена знака в секторной структуре межпланетного магнитного поля, означают усиление возмущений атмосферной циркуляции с последующим землетрясением через 2 суток / Сытинский А.Д., 1987 /.

5. Определение энергии землетрясения. Величина магнитуды (энергии) или силы землетрясения определяется по величине атмосферной изменчивости $|\delta(\Delta P)|$. В диссертации приведены данные, отражающие зависимость изменчивости атмосферного давления $|\delta(\Delta P)|$ и величины магнитуды землетрясений $f(M)$

Оценка оправдываемости краткосрочных прогнозов землетрясений.

Научная оценка прогнозов предусматривает расчет ряда показателей их оправдываемости с целью определения успешности метода прогнозирования и выявления путей улучшения качества прогнозов.

С мая 2001 по апрель 2008 гг. (исключая отпуска и ряд вынужденных перерывов) нами было спрогнозировано 10313 слабых, умеренных и сильных землетрясений, из которых 7750 оправдались (не оправдались 2563, в основном слабые сейсмические события). Оправдываемость краткосрочного прогноза землетрясений определялась как отношение числа землетрясений, прогноз которых оправдался, к общему числу прогнозов на территории, в %:

$$P = n/N \times 100\%, \quad (20)$$

где n - число землетрясений, для которых прогноз оправдался; N - общее число землетрясений на территории. Оценка оправдываемости прогнозов составила - 75,1%. Статистические оценки оправдываемости прогнозов за указанный период приведены

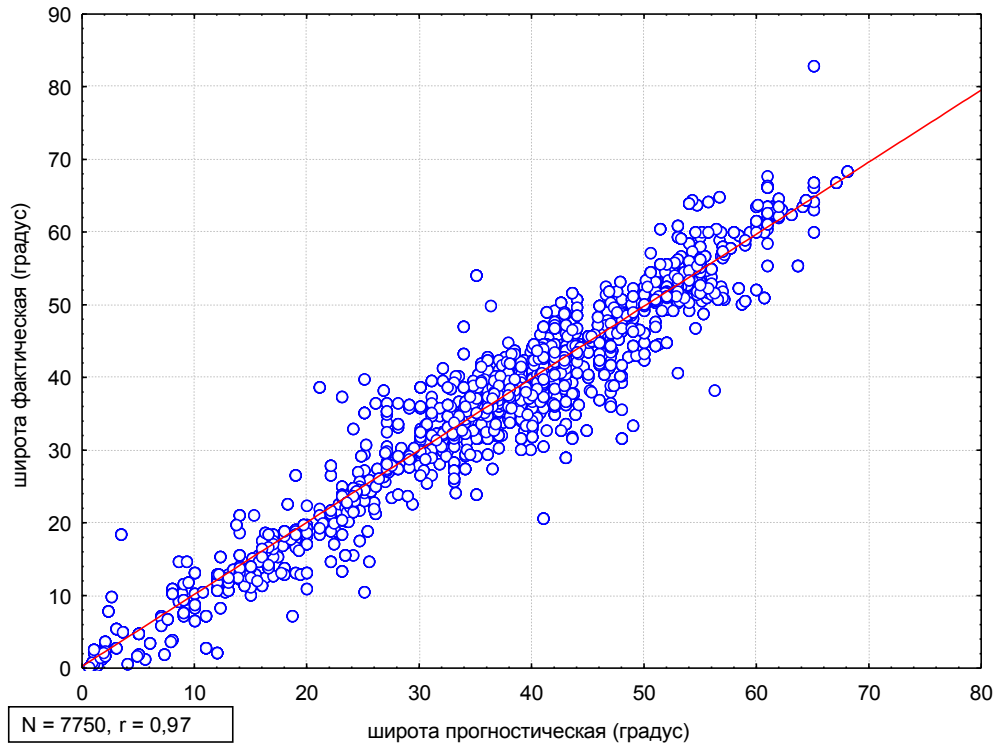


Рис.16. Корреляционный график прогностических и фактически установленных значений широт землетрясений.

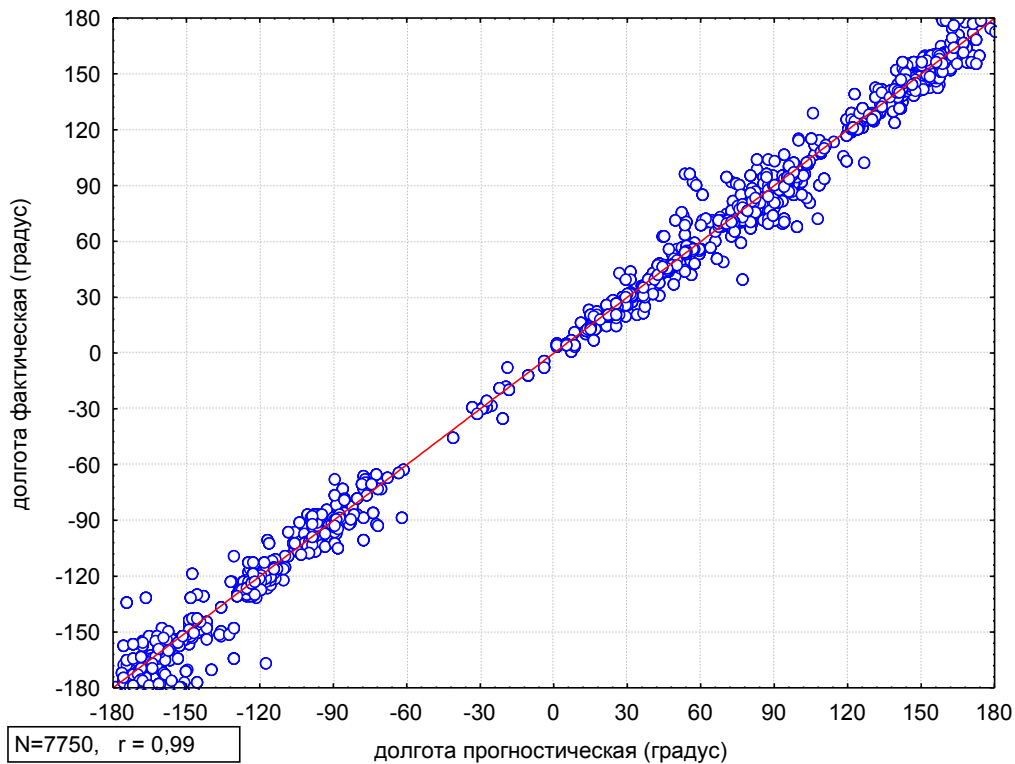


Рис.17. Корреляционный график прогностических и фактически установленных значений долгот землетрясений.

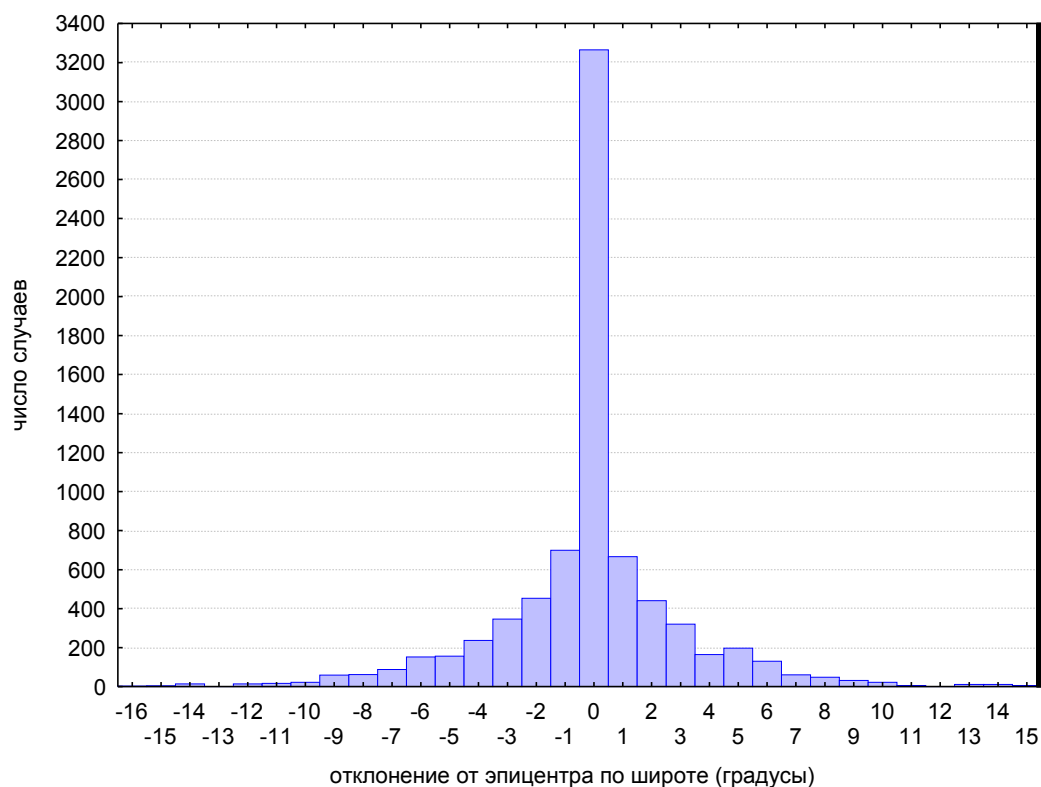


Рис.18. Гистограмма оценок прогностических значений эпицентра землетрясений по широте.

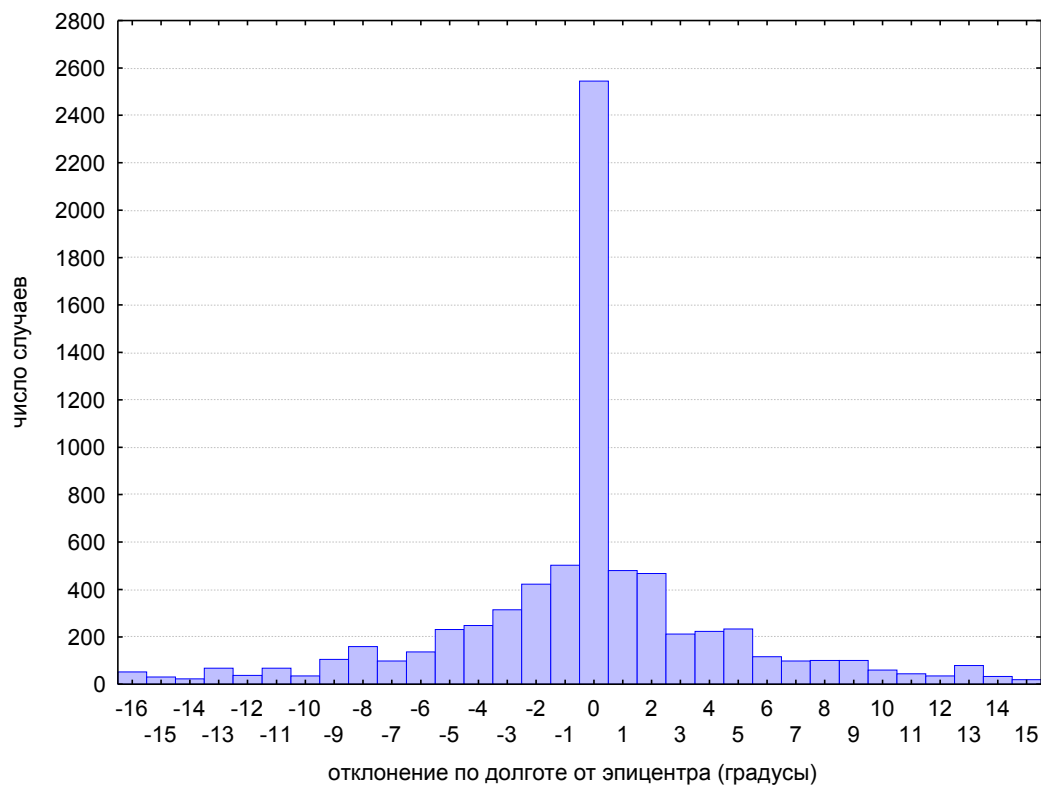


Рис.19. Гистограмма оценок прогностических значений эпицентра землетрясений по долготе.

на рис.16 – рис.19. Статистические оценки качества прогнозов выполнены по четырем критериям: 1) времени землетрясений; 2) - силе землетрясений; 3) - широте (пространственная оценка); 4) - долготе (пространственная оценка).

Время предполагаемого сейсмического события является важнейшим элементом краткосрочного прогноза. Подчеркнем, что в нашем распоряжении имелись прогностические метеорологические данные с 24 часовым интервалом, поэтому вариации времени наступления предполагаемого землетрясения допустимы в пределах ± 13 часов от расчетного срока. Из 7750 прогнозов 6249 случаев оправдались в тот день, на который они прогнозировались.

Дискретность прогностических значений силы землетрясений составляла 1 магнитуду, что отразилось на ухудшении связи корреляционного поля и уменьшении коэффициента корреляции ($r = 0.49$) с фактически измеренными значениями магнитуд.

Пространственные оценки прогнозов по широте и долготе. Сопоставление 7750 случаев прогностических и зарегистрированных эпицентров землетрясений по широте показало на их высокую связь с коэффициентом корреляции $r = 0.96$ (рис.16). Подобные оценки качества прогнозов получены по долготам. Соответственно, коэффициент корреляции прогнозов с наблюдениями землетрясений по долготе составляет $r = 0.99$ (рис. 17). Оценка прогноза местоположения эпицентров землетрясений по широте (рис.18) и фактически установленных для 7750 случаев показала, что в 3300 случаях разница между ними составила менее 1 градуса. Оценка прогностических и фактически установленных местоположений эпицентров землетрясений по долготе для 7750 случаев показала (рис.19), что в 2560 случаях разница между фактом и прогнозом составила менее 1 градуса.

Анализ и сопоставление метеорологических прогностических карт с картами прогноза землетрясений показали, что различия прогностических и зарегистрированных эпицентров землетрясений от 1 до 4 градусов обусловлены ошибками метеорологической информации. Очень часто прогностические центры атмосферных вихрей отличаются от фактического положения на величину от 100 до 400-500 км. Особенно это характерно для горных территорий и акваторий морей и океанов. Эти ошибки существенным образом влияют на определение места эпицентра

землетрясений и оценку их силы. Существование интервала ошибок с разницей от 4 до 15 градусов обусловлено отсутствием сейсмологических оперативных данных.

На сегодняшний день сейсмо-синоптический метод является самым перспективным прогностическим методом. Благодаря его применению были предсказаны многие разрушительные землетрясения. Например, такие разрушительные землетрясения с многочисленными жертвами, как в Иране (2002 г), в Алжире (2003г), в Марокко (2003 г), в Японии (2004, 2005, 2006, 2008 г.), 26 декабря 2004 и 28 марта 2005, у о. Суматра, в Пакистане (2005 г) и ряде других стран.

Заключение.

Все представленные в настоящей работе исследования направлены на установление воздействия атмосферной циркуляции на экзогенные процессы земной коры, усиление сейсмичности Земли в различных диапазонах временной изменчивости и создание методологии сейсмо-синоптического метода краткосрочного прогноза землетрясений.

В результате выполненных исследований:

1 Подтверждено существование солнечно-атмосферных связей. Совпадение повторяемости прихода возмущенного солнечного ветра (6 -7 суток) с естественным синоптическим периодом указывает на то, что смена синоптических процессов не только связана с автоколебательными процессами «Атмосфера-Океан», но и находится под влиянием солнечной активности. Тот факт, что атмосфера сильнее всего реагирует на приход возмущенного солнечного ветра, на увеличение концентрации протонов, а знак реакции атмосферы зависит от полярности ММП, свидетельствует о том, что в механизме солнечно-атмосферных связей существенную роль играет магнитное поле Земли.

2. Внутригодовая изменчивость землетрясений обусловлена внутригодовой изменчивостью атмосферной циркуляции. Максимальная изменчивость атмосферной циркуляции в весенние и осенние периоды совпадает с максимальным количеством случаев сильных землетрясений и имеет статистически значимый коэффициент корреляции. Основной причиной внутригодовой изменчивости землетрясений являются сезонные смещения климатических фронтов относительно тектонических разломов от зимы к лету, и наоборот. Они создают дополнительные нагрузки на

земную кору, усиливая в ней экзогенные процессы и инициируя сейсмические явления.

3. На внутригодовую изменчивость сильных землетрясений с $M > 6$, кроме общих циркуляционных процессов, влияют региональные особенности атмосферных процессов, существенно отличающиеся в различных сейсмоопасных регионах. Поэтому и внутригодовая изменчивость сильных землетрясений в различных сейсмоактивных районах отличается.

4. Солнечная активность не оказывает прямого воздействия на возникновение сильных землетрясений. Она влияет на атмосферу Земли, которая инициирует возникновение землетрясений различной силы в местах, подготовленных тектоникой. Наибольшее влияние оказывают атмосферные процессы меридиональных форм.

5. Сейсмо-атмосферный предвестник (САП) не только удовлетворяет требованиям предъявляемых геологами к предвестникам, но и является инициатором землетрясений. Универсальность САП проявляется в том, что сильные землетрясения инициируются только типичными САП, хотя для каждого сейсмоактивного района они различны. Каталоги сейсмо - атмосферных предвестников обеспечивают статистически значимую оценку, поскольку для большинства сейсмоактивных районов САП разработаны по большому числу случаев. По архивным метеорологическим и сейсмологическим данным успешно определяются САП для любого региона Земли. На сегодняшний день применение САП является самым эффективным из известных предвестников, поскольку его использование совмещено с метеорологическими прогнозами.

6. Изменение атмосферного давления влияет на процесс образования трещин в зонах разломов и трещиноватости, расположенных на глубинах до нескольких километров, сопровождающихся геоакустической эмиссией. Этому способствуют процессы дилатансии в породах. Выявлена четкая зависимость широко привлекаемого сейсмологами предвестника землетрясений – уровня подземных вод - от изменчивости атмосферного давления. Изменчивость атмосферного давления во времени и в пространстве, т.е. движение антициклонов и циклонов приводит к деформации земной коры, появлению тепловых аномалий и истечению подпочвенного радона.

7. Пространственная анизотропия геоблоков, складчатых структур, разломов и разрывных нарушений, приводящая к росту деформаций и возникновению землетрясений, зависит от направления барометрического наклона. Величина барометрического наклона, т.е. интенсивность отклика на вариации атмосферного давления, определяется механическими свойствами земной коры и величинами атмосферных градиентов, пространственной ориентацией атмосферных вихрей противоположного знака.

8. Сейсмо-атмосферный предвестник лежит в основе сейсмо-синоптического метода краткосрочных прогнозов землетрясений. Для достижения поставленной цели предложено оригинальное методологическое решение совместного анализа прогностических метеорологических полей, сейсмо-атмосферного предвестника и текущей сейсмической обстановки.

9. Практика является самым лучшим подтверждением выдвигаемой теории. В течение 7 лет опытные краткосрочные прогнозы землетрясений по Северному полушарию показали их оправдываемость – более 75%.

10. Точность прогнозов существенно будет возрастать при наличии их сейсмологического сопровождения, под которым понимается оперативное поступление информации о состоянии земной коры, измеряемое различными приборами, гидрогеологическими скважинами и другими средствами геофизического мониторинга. Учитывая многофакторность процесса прогнозирования, находящегося на стыке научных дисциплин, необходимо совместное участие метеорологов, сейсмологов и геологов в составлении прогноза, что позволит существенно повысить его достоверность.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Боков В.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Методы анализа пространственной и временной изменчивости скоростей ветра. - Метеорология и Гидрология, 1987, № 3, с. 106-109.

2. Боков В.Н., Шатов Б.Н. Пространственно- временная изменчивость режима ветра над Балтийским морем. // Метеорология и Гидрология. –1991.- №11.- с. 109-113

- 3.Боков В.Н, Клеванцов Ю.П., Рожков В.А. Оценки межгодовой изменчивости скорости ветра над морем.//Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 1993, т.29, № 2, с. 253-259.
- 4.Боков В.Н. Пространственно-временной режим ветра над Баренцевым и Охотским морями.//Метеорология и Гидрология.- 1995. - № 2. - с.46 - 54.
- 5.Боков В.Н., Бухановский А.В., Иванов Н.Е., Рожков В.А. Пространственно-временная изменчивость поля ветра в умеренных широтах Северного полушария.// Известия АН РАН Физика атмосферы и океана, т.37, №2, 2001, с 170-181
- 6.Боков В.Н., Сытинский А.Д. Оперативный краткосрочный прогноз землетрясений.//2-ой Международный форум «Экстрим-2001» С-Петребург, 5-8 июня 2001, Тезисы докладов, с.5.
- 7.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», Тезисы докладов, Москва, МЧС, 26-27 июня, 2001, с.9
- 8.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
- 9.Сытинский А.Д., Боков В.Н. Зависимость циркуляции атмосферы Земли от процессов на Солнце и межпланетной среды Тезисы докладов. Научная конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии, секция 1, СПб, Гидрометеиздат, 2002, с. 72-73.
- 10.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
- 11.Боков В.Н. Сеймо-синоптический способ краткосрочного прогнозирования землетрясений.// Патент на изобретение МПК 7 G 01 V 9/00, 2003

- 12.Боков В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции – инициатор сильных землетрясений.// Известия РГО РАН, 2003, т.135, вып.6., с. 54 – 65.
- 13.Боков В.Н. Влияние атмосферной циркуляции возникновение сильных землетрясений.// Вторые научные чтения памяти Ю.П.Булашевича. / Ядерная геофизика, Геофизические исследования литосферы. Геометрия. Екатеринбург, 2003, Материала (тезисы) с. 16 – 17.
- 14.Боков В.Н. Оперативный краткосрочный прогноз землетрясений.// Жизнь и безопасность, 2003, №3-4, с. 147 – 151.
- 15.Боков В.Н. О стратегии в краткосрочном прогнозировании землетрясений, горных ударов и техногенных аварий//Жизнь и Безопасность, 2004, № 2-3а, с.158-161.
- 16.Боков В.Н. Атмосфера и землетрясения./ Энергия, 2004, № 10, с.60-63.
- 17.Боков В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции – инициатор сильных землетрясений.//Уральский геофизический вестник, № 6, 2004. Екатеринбург. УрО РАН с. 5-11.
- 18.Боков В.Н. О перспективах краткосрочного прогноза сильных землетрясений.// Материалы Третьих Чтений Булашевича, Екатеринбург, УрО РАН. 2005. с.10-12
- 19.Боков В.Н. Краткосрочный прогноз землетрясений.// Инновации, 2005, 9(86), ноябрь с.90-92.
- 20.Боков В.Н. Качество метеорологических прогнозов - основа точности прогноза землетрясений.//РГГМУ, Ученые записки №2, 2006, с.229-239.
- 21.Боков В.Н., Тертышников А.В. Успехи краткосрочного прогнозирования сейсмической опасности // Четвёртая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г. Сборник тезисов конференции, с. 67-70
- 22.Боков В.Н. Сейсмо-синоптический метод краткосрочного прогноза землетрясений – научный прорыв 21 века.// Материалы Четвертых чтений памяти Ю.П.Булашевича, Екатеринбург, 2007 с. 100– 102
- 23.Боков В.Н., Воробьев В.Н. О связи сильных землетрясений с атмосферной циркуляцией в сезонном и межгодовом диапазонах изменчивости// Сборник трудов конференции «Юбилейные Чтения памяти А.Л.Чижевского, посвященные 110–летию ученого» 27-30 ноября 2007, Санкт-Петербург, изд. Политех. Университета. 2007. С. 51-56.

24.Боков В.Н. Межгодовая изменчивость сейсмичности и атмосферной циркуляции// РГГМУ, Ученые записки №6, 2008, с.139-147.

25.Боков В.Н, Тертышников А.В. Успехи краткосрочного прогнозирования сейсмической опасности.//Научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников», Тезисы докладов, Москва, МЧС, 26-27 июня, 2001, с.9

26.Вокон V.N., Tronin A.A. Atmospheric conditions and earthquakes. Kobe earthquake case. EInternational Workshop on Seismo Electromagnetics IWSE-2005, Tokyo, 2005, p. 296-299.

