

УДК 550.34

О ДИНАМИКЕ И СТРУКТУРЕ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМЛИ В ДЕКАБРЕ 2004 г. ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СЕЙСМОГРАВИМЕТРА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

© 2007 г. Л. Н. Петрова, Е. Г. Орлов, В. В. Карпинский

Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ)

E-mail: lnp@paloma.spbu.ru

Поступила в редакцию 03.10.2005 г.

Представлены феномены крупномасштабных деформаций, в частности, и долговременной деформации, которую испытала планета в течение 1–12 декабря 2004 г. перед циклом повышенной сейсмической активности. Рассчитан спектр сейсмических колебаний с периодами от 1 до 9 часов. Установлено высокое согласие между распределением по частоте значимых колебаний в этом спектре и колебаниями, которые должны возбуждаться чаще всего на основании статистического спектра сейсмогравитационных колебаний Земли.

Ключевые слова: аппаратура, сейсмогравитационные колебания, гравиинерциальное ускорение, аномалии ускорения, структура спектров.

PACS: 91.30.Bc

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей наук о Земле, и сейсмологии в частности, является выявление и исследование фундаментальных свойств планеты, которые проявляются посредством различных изменений в ее физических полях. Для их наблюдения и изучения необходимы средства, специально адаптированные к измерениям в изучаемой области. В отношении традиционных научных наблюдений и исследований нужно заметить, что объектом *сейсмических наблюдений* является область спектра колебаний Земли от единиц секунд до 1 часа, *приливные наблюдения*, как правило, ограничиваются сверху волнами с периодами не выше 12 часов (крайне редко – 8 часов). Систематические исследования колебаний с периодами между приливыми и собственными колебаниями Земли проводятся, как нам известно, только в Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ) на кафедре физики Земли. Основные сведения о структуре и свойствах колебаний, названных сейсмогравитационными, приведены в работах [Линьков, 1987; Петрова, 1999 и др.] и данных в них ссылках. Признанной теории сейсмогравитационных колебаний к настоящему времени нет. В то же время регистрация колебаний с устойчивыми частотами в этом диапазоне спектра, особенно в периоды повышенной интенсивности фоновых сейсмических колебаний, свидетельствует о существовании еще не познанных свойств пла-

неты. В связи с этим любые новые сведения о сверхнизкочастотных колебаниях Земли и наблюдаемых в этой области спектра феноменах представляются весьма актуальными.

В данной работе представлен способ наблюдения сверхнизкочастотных колебаний Земли, данные о колебаниях в декабре 2004 г. и их первичный анализ.

ИНЕРЦИОННЫЙ СПОСОБ НАБЛЮДЕНИЯ СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМЛИ И ХАРАКТЕРИСТИКА АППАРАТУРЫ

В области сверхдлинных периодов ($T > 0.5$ ч) эффективность работы сейсмографов, использующих инертную массу, связана с разработкой помехоустойчивых длинопериодных маятников и таких методов преобразования механических движений в электрические сигналы, которые обеспечили бы оптимальный уровень увеличения приборов в длинопериодном диапазоне спектра колебаний и волн. С начала 1960-х годов решение этой задачи в сейсмометрии шло в двух направлениях. В одном из них создавались широкополосные и длинопериодные сейсмографы с магнитоэлектрическими преобразователями, на выходе которых сигнал пропорционален скорости движения маятника, а значит, увеличение сейсмографа уменьшается обратно пропорционально отноше-

нию кубов периодов волн. В другом направлении разработок использовались параметрические преобразователи (емкостные, фотоэлектрические), которые обеспечивают изменение увеличения обратно пропорционально отношению квадратов периодов волн и тем самым позволяют существенно продлить частотную характеристику сейсмографа в длинноволновую область. Наличие инертной массы у сейсмометров оказывает влияние на их измерительные свойства в длиннопериодной области. К величине инерциального ускорения, которое испытывает основание прибора под действием сейсмической волны, добавляется гравитационное ускорение, испытываемое подвижной массой вследствие действия закона тяготения, и сейсмограф начинает работать в режиме сейсмогравиметра. Разделить вклады инерционного и гравитационного ускорения невозможно, но учитывать их совместное влияние при построении и использовании амплитудной частотной характеристики прибора необходимо.

В конце 70-х годов прошлого века в результате многолетней работы по улучшению защиты сейсмометров от влияния температуры, атмосферного давления [Линьков и др., 1982], а также наклонов [Линьков и др., 1988] на кафедре физики Земли Санкт-Петербургского университета создан сейсмогравиметрический комплекс [Линьков и др., 1996]. В его состав входят три сейсмометра СД со специальной защитой от помех, а также – микробарограф. Сейсмометры имеют собственный период 13 с, затухание – 0.7 и оснащены фотоэлектрическими преобразователями, имеющими линейные характеристики и чувствительности 4.5 мВ/мм. Измерительные свойства регистрирующих каналов вместе с системой аналоговых фильтров и усилителем отражают амплитудно-частотные характеристики (1–4), представленные на рис. 1. Увеличение V в области 0.03–0.9 МГц, или 0.3–9 ч, рассчитано для единиц отсчета цифрового преобразователя, т.е. единиц измерения выходного сигнала (1 отсчет = 0.7 мВ). При построении характеристики (1) учтено влияние гравитационного ускорения на вертикальный маятник, которое оценено независимыми способами на основании анализа уравнения движения сейсмогравиметра в работах [Линьков, 1987; Рыков, 1992]. Полученные в этих работах оценки свидетельствуют о том, что в области колебаний с периодами 1 час влияние инерционного и гравитационного ускорений на маятник сейсмометра равны. Соответствующая поправка введена также в частотную характеристику сейсмографов STS-1 [Wielandt and Streckeisen, 1982], которыми оснащена сеть станций GEOSCOPE [Romanowicz et al., 1991]. Амплитудно-частотная характеристика маятников этой сети приведена для сопоставления с характеристикой сверхдлиннопериодных сейсмометров в Петербурге. Характеристики из-

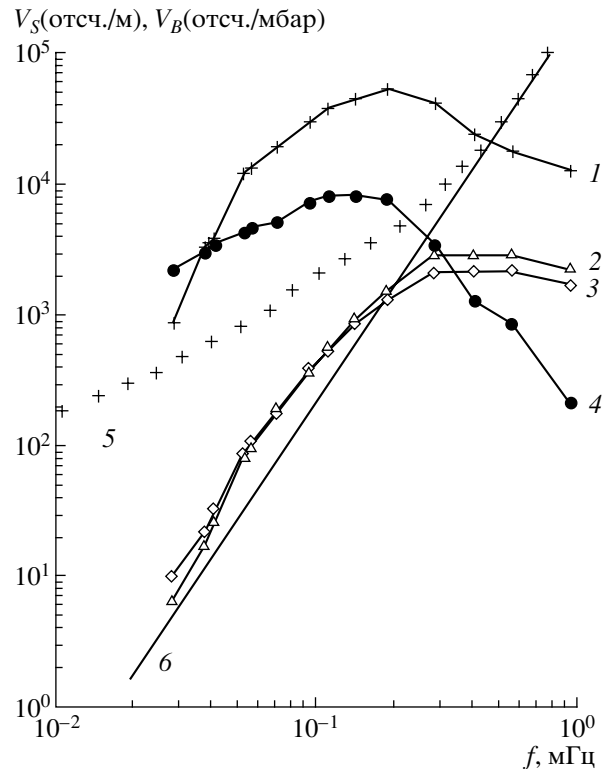


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики измерительных каналов сейсмогравиметрического комплекса: 1 – вертикальный канал, Z; 2 – горизонтальный канал, компонента NS; 3 – горизонтальный канал, компонента EW; 4 – микробарограф, а также станций сети Geoscope; 5 – вертикальный канал, Z; 6 – горизонтальные каналы.

мерительных каналов в СПбГУ сняты с помощью генераторного метода [Гостев, 1962], суть которого заключается в том, что относительные колебания маятника и основания специально вызывают возбуждающей силой, приложенной к инерционной массе маятника (силовое возбуждение). Для осуществления калибровки в заданной полосе частот необходимо найти для каждого значения приложенной силы соответствующее фиктивное смещение основания сейсмометра. Объемные трудности в применении этого метода для калибровки каналов в полосе периодов 0.3–9 ч связаны с отсутствием промышленного генератора, от которого можно получать сигналы с требуемыми сверхнизкими частотами. Для поставленной задачи на кафедре физики Земли СПбГУ был создан генератор сверхдлиннопериодных колебаний (ГСДК), с максимальным периодом сигнала $T_{\max} = 10^6$ с при нелинейности не более 0.5%, который построен на базе генератора сигналов специальной формы Г6-27. Генератор имеет не зависящую от частоты амплитудную частотную характеристику и поэтому может быть использован в качестве задающего генератора при калибровке сейсмографа, измеряющего ускорение, так

Землетрясения с магнитудой более 6.0 в феврале и декабре 2004 г.

№ п/п	Дата	Время в очаге	Координаты	<i>M</i>	Местоположение
Февраль 2004 года					
1	04	11-59-47.6	8.358; -82.877	6.1	Панама–Коста-Рика
2	05	21-05-02.8	-3.615; 135.538	7.0	Папуа, Индонезия
3	07	02-42-35.2	-4.003; 135.023	7.3	сев. Папуа, Индонезия
4	08	08-58-51.8	-3.665; 135.339	6.7	Папуа, Индонезия
Декабрь 2004 года					
1	06	14-15-11.8	42.900; 145.228	6.8	о-в Хоккайдо
2	14	23-20-13.3	18.958; -81.409	6.8	р-н Каймановых о-вов
3	18	18-06-45-23.2	49.070; 156.150	6.5	Курильские о-ва
4	23	23-14-59-04.4	-49.312; 161.345	8.1	о-в Маккуори
5	26	00-58-53.4	3.295; 95.982	9.0	север о-ва Суматра
6	26	04-21-29.8	6.910; 92.958	7.1	Никобарские о-ва
7	26	26-09-20-01.6	8.879; 92.375	6.6	Никобарские о-ва

как в этом случае требуется приложить к маятнику силу, пропорциональную нулевой степени частоты.

Определение амплитудной частотной характеристики сейсмического канала основано на следующих положениях. При силовом возбуждении маятника, которое осуществляется через катушку затухания, между током генератора I и моментом силы M_c , вызываемым этим током, существует связь

$$M_c = GI, \quad (1)$$

где G – электродинамическая постоянная катушки затухания (Bc). При этом фиктивное ускорение основания сейсмометра вращательного типа равно

$$\ddot{x} = -\frac{M_c l}{K}, \quad (2)$$

где l – приведенная длина маятника (м), K – момент инерции маятника ($кг \cdot м^2$). Подставляя в выражение (2) значение M_c из формулы (1), получим

$$\ddot{x} = -\frac{GI}{K}. \quad (3)$$

По величине ускорения основания \ddot{x} путем последовательного интегрирования можно вычислить скорость \dot{x} и смещение x . В случае установившихся колебаний с круговой частотой ω смещение будет

$$x = \frac{GI}{\omega^2 K}. \quad (4)$$

Амплитудные частотные характеристики каналов сейсмогравиметрического комплекса сняты по смещению. Их усиление V определяется отно-

шением амплитуды на записи A , (м) к фиктивному смещению основания прибора x , (м):

$$V = \frac{A\omega^2 K}{GI}. \quad (5)$$

В формуле (5) величины G , l , K берутся из паспортных данных сейсмометра. Увеличение амплитудной частотной характеристики определяется для набора частот из полосы (0.03–0.9) мГц. При проведении калибровочных работ сейсмометрический канал загружается, величина амплитуды сигнала генератора задается значительно выше видимых при этом амплитуд колебаний естественного фона. За сохранением формы возбуждающего сигнала (отсутствием нелинейных искажений) ведется постоянный контроль. Погрешность оценок получаемых таким способом амплитудно-частотных характеристик, как показали расчеты, составляет 15–20%. Характер записей сейсмогравиметрического комплекса иллюстрирует рис. 2. Сведения о сейсмических событиях в рассматриваемом интервале времени представлены в таблице. Направление смещения почвы для каждого канала указано справа, все данные приведены в единицах отсчета, частота опроса цифрового преобразователя равна 1 мин. Кривая ФЭП- Z представляет собой сигнал, выходящий непосредственно после преобразователя вертикального маятника, и иллюстрирует таким образом весь спектр колебаний, воздействующих на основание прибора. На ней отчетливо зафиксированы сильные землетрясения (магнитуда более 6.5), которые произошли за указанное время, а также начальная фаза деформации земной поверхности в период времени 8–10 февраля, сопровождающаяся повышением интенсивности колебаний с периодами выше 1 часа, что отчетливо видно на всех трех

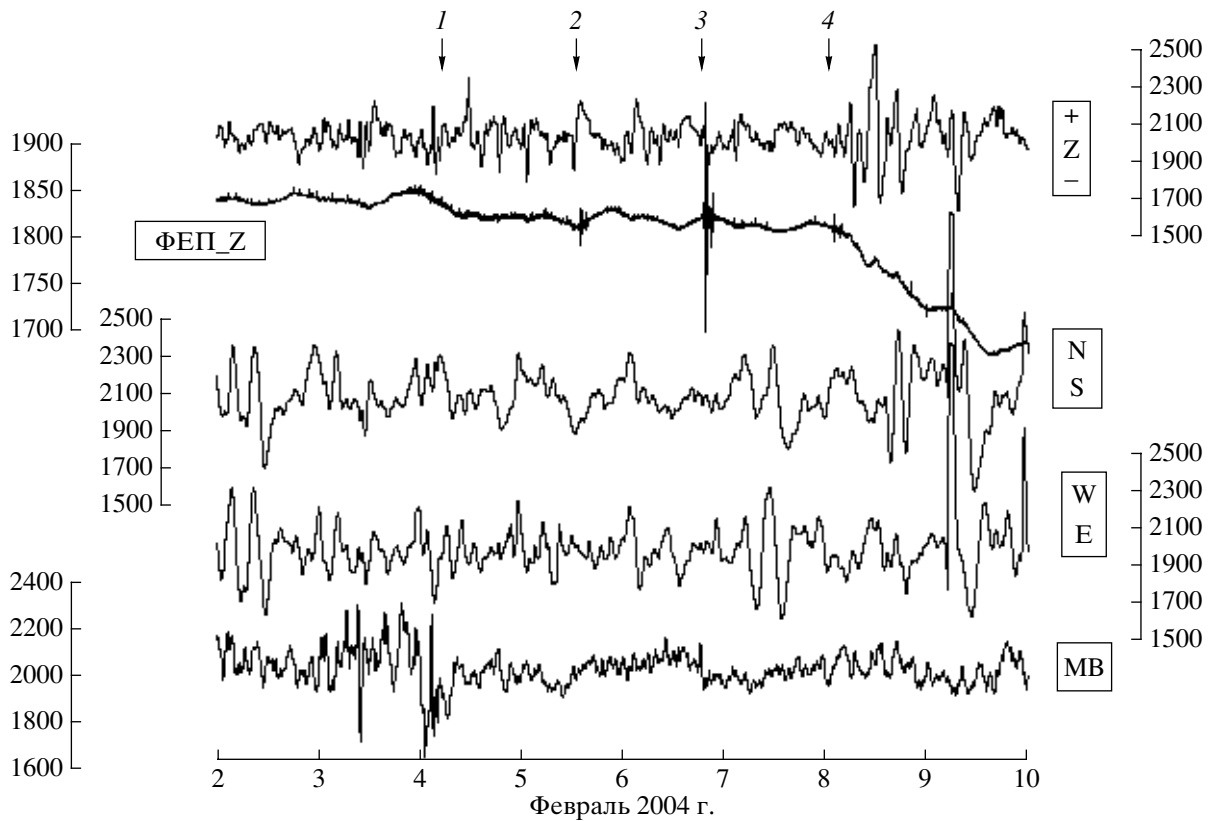


Рис. 2. Пример записи сейсмогравиметрического комплекса в Санкт-Петербурге. Горизонтальные маятники ориентированы по сторонам света, направления смещений указаны справа от кривых. Вертикальными стрелками отмечены моменты времени в очаге землетрясений, см. таблицу. Остальные объяснения в тексте.

сейсмических каналах. Следует обратить внимание на запись микробарографа, которая указывает, что 8–10 февраля интенсивность вариаций приземного атмосферного давления была относительно низкой, если сравнивать ее с интервалом времени 3–4 февраля. В этот период времени наблюдалось действие местного циклона, что отразилось только в записях Z-компоненты в виде некоторого повышения плотности колебаний в единицу времени. Амплитуды вариаций атмосферного давления 4–8 февраля существенно снизились. Несмотря на их незначительное усиление к 10 числу, вариации атмосферного давления, вероятнее всего, не могут рассматриваться в качестве причины сейсмического возбуждения. Этот пример имеет своей целью исключительно констатацию факта, указывающего на то, что в противовес устойчивому мнению многих ученых в рассматриваемой сверхнизкочастотной области колебаний с периодами более 1 часа не следует утверждать или предполагать априори определяющее влияние атмосферы на колебания поверхности Земли.

АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ СЕЙСМОГРАВИМЕТРА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

В работе проанализированы данные наблюдений на выходе преобразователя вертикального маятника (ФЭП-Z) за период с 1 по 31 декабря 2004 года, дающие информацию о колебаниях поверхности Земли на разных масштабно-временных уровнях. Следует заметить, что кинематическим элементом, который измеряет вертикальный сейсмограф на периодах колебаний, превышающих его собственный период, является ускорение, причем ускорение, имеющее гравиинерциальный характер, как уже отмечено выше. Так как разделить вклады инерциального и гравитационного ускорения невозможно, то общая амплитуда относительного перемещения маятника, которая представлена в единицах напряжения (мВ), лишь частично отражает истинное смещение поверхности Земли. Напомним, что на периоде 1 час вклады инерциального и гравитационного ускорений равны. С ростом периода вклад последнего должен увеличиваться.

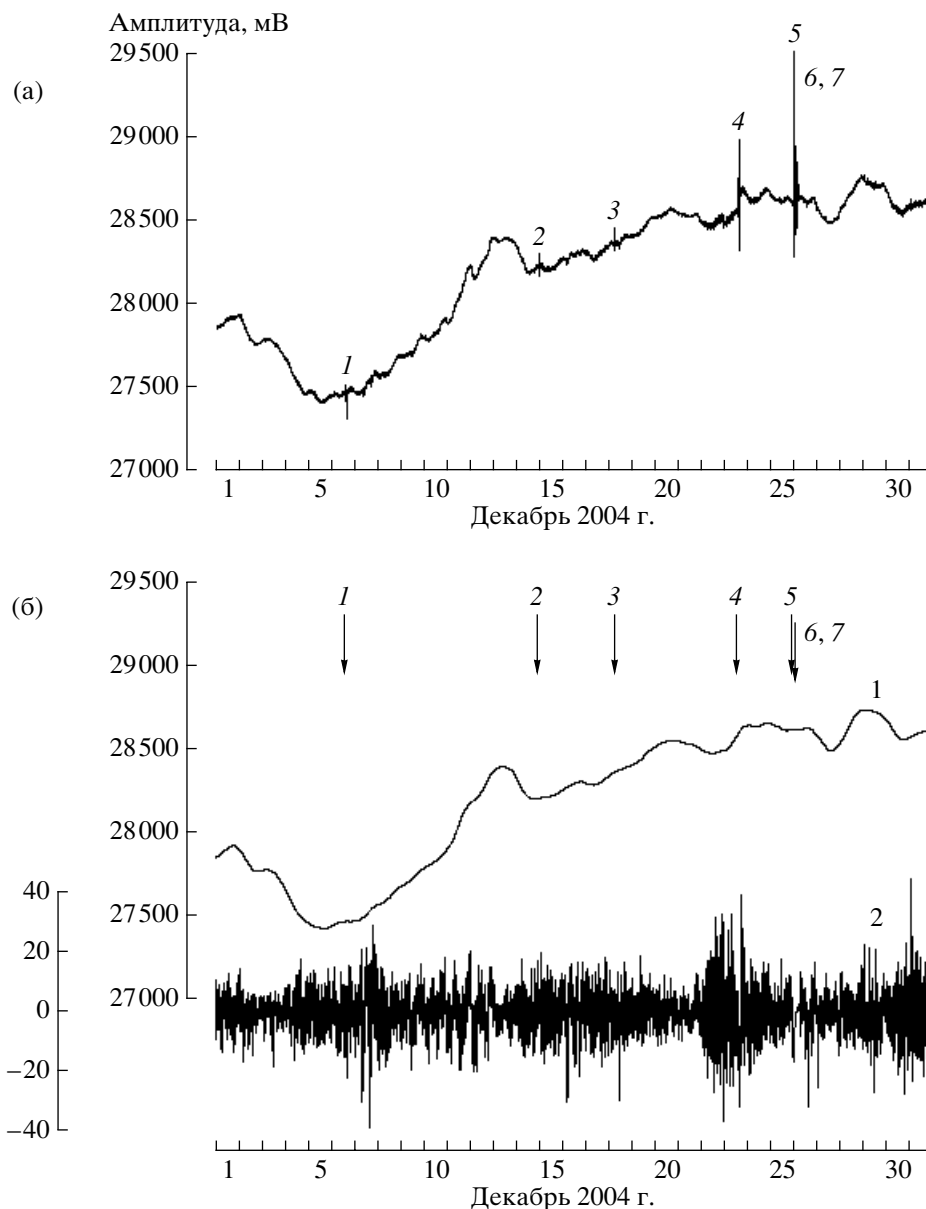


Рис. 3. Сейсмогравитационные колебания Земли по наблюдениям в декабре 2004 г.: (а) – запись с выхода фотоэлектрического преобразователя вертикального сейсмометра; (б) – низкочастотная (1) и высокочастотная (2) часть наблюдений, вертикальными стрелками отмечены моменты времени в очагах землетрясений.

1. Долговременные и крупномасштабные деформации Земли

Общая характеристика сейсмических колебаний и сейсмическая активность в декабре представлены на рис. 3а. Сведения о произошедших землетрясениях приведены в таблице. Отличительной чертой наблюдений за рассматриваемый период времени являются аномалии в записях ускорений и соответствующих уровнях смещений поверхности Земли по отношению к среднему уровню ускорений и смещений в фоновом процессе. Первая аномалия зарегистрирована с 1 по 12 декабря, в период ее максимума произошло зем-

летрясение в Японии (06.12.04; магнитуда $M = 6.8$). Следующие две аномалии, обе продолжительностью по 2 суток, произошли с 21 по 23 и с 26 по 28 декабря. Вторая аномалия зарегистрирована непосредственно перед землетрясением на о-ве Маккуори (23.12.04; магнитуда $M = 8.1$), а после третьей аномалии землетрясение с магнитудой $M = 6.6$ произошло 1.01.05 западнее Северной Суматры (в иллюстрациях не показано). Перед сильнейшим землетрясением на о-ве Суматра 26.12.04 других особенностей, кроме отмеченных выше аномалий, не зарегистрировано. Подобные феномены регистрировались и раньше, в частности, в

марте 1998 г. перед землетрясением в Северном Иране (14.03.98; магнитуда $M = 6.9$), в августе 1999 г. перед землетрясением в Турции (17.08.99; магнитуда $M = 7.8$), в сентябре 1999 г. перед землетрясением на Тайване (20.09.99; магнитуда $M = 7.7$) и в ряде других случаев. Их продолжительность составляла от 1.5 до 2 суток. Ретроспективно существование указанного феномена в 1998 и 1999 гг. подтверждено синхронными наблюдениями на станциях сети Geoscope NYB, WUS и SSB [Петрова и др., 2005].

Если предположить, что это явление может быть описано линейным законом, то при собственном периоде маятника 13 сек и затухании $D = 0.7$, амплитуды первых двух аномалий, с учетом линейной характеристики фотоэлектрического преобразователя и его чувствительности 4.5 В/мм, оказываются равными 28.65 и 0.26 мГалл соответственно. Для сравнения: огибающая амплитуд теоретического прилива, как следует из расчета, должна быть выше 40 мГалл с 5 по 10 и 20 по 25 декабря с максимумом 7 и 22 декабря в 60 мГалл. Минимум огибающей прилива – 14–16 декабря имеет расчетную амплитуду –20 мГалл. Кроме указанных деформаций зарегистрировано также возрастание интенсивности сейсмогравитационных колебаний Земли (периоды 1–5 часов), наблюдавшееся с 4 по 11, с 13 по 20 и более активное с 22 по 27 и далее с 29 числа (см. рис. 3). Все землетрясения, указанные в таблице, произошли именно в такие периоды времени, причем возрастание интенсивности, как неоднократно отмечалось в публикациях [Петрова и др., 1994; 1995; 1998] всегда предвещало время разрыва в очаге. Весьма вероятно, что это связанные друг с другом явления, и можно предположить, что они являются основными факторами, провоцирующими разрыв в очаге, практически, подготовленного землетрясения. Механизм их воздействия можно представить как “плавное” растяжение/сжатие геофизической среды в течение нескольких суток, усиленное разрушающим действием квазирегулярных вибраций на устойчивых сейсмогравитационных частотах.

2. Сейсмогравитационные колебания Земли и колебания в области мультиплета ${}_0S_2$

Для анализа сейсмогравитационных колебаний Земли из наблюдений, представленных на рис. 3а были удалены землетрясения, путем вырезания из записи соответствующих участков с применением линейной интерполяции. Последующее применение метода скользящего среднего позволило разделить данные наблюдений на сверхнизкочастотную часть (1), так называемый «длинно-периодный» тренд, и высокочастотную часть (2), которая дополнительно была подвергнута высокочастотной фильтрации с границей 10 часов, чтобы уменьшить влияние прилива. Для филь-

трации использован не искажающий фазу колебаний, физически не реализуемый фильтр Поттера. Результат представлен на рис. 3б. Кривая (2) содержит, в частности, сейсмогравитационные колебания Земли (СГКЗ), т.е. колебания, периоды которых превышают 1 час, и иллюстрирует отмеченное выше свойство СГКЗ, заключающееся в повышении время от времени их амплитуд. Как видно из рис. 3б активизация колебаний с амплитудами, превышающими значения ± 10 мВ, что в два раза выше обычных фоновых колебаний, всегда начинается до землетрясений и приурочена ко времени повышенных значений деформаций растяжения. Структура этих колебаний и их основные свойства довольно подробно изучены по ансамблям выборок с повышенной интенсивностью колебаний, наблюдавшихся в течение более 20 лет [Петрова, 1999; 2002]. В предыдущих работах продолжительность выборок в ансамблях не превышала 7 суток, здесь же наблюдения охватывают целый месяц, и они полностью использованы при расчете спектра колебаний вплоть до найквистовой частоты 694 мкГц. Разрешение в спектрах составляет 0.37 мкГц (или 2.2×10^{-5} мин⁻¹). Результаты спектрального анализа, представленные на рис. 4, демонстрируют структуру спектра от нулевой частоты до 335 мкГц. Спектры на рис. 4а–4в получены простым выделением данных из общей спектральной функции. Прежде всего следует отметить, что диапазон частот выше суточной и полусуточной приливных волн, вплоть до частоты 75 мкГц (период 3.7 ч), содержит ряд составляющих, амплитуды которых достигают величины 1/3 от спектральной амплитуды суточной приливной волны. Этот диапазон частот заканчивается заметным уменьшением амплитуд, особенно резким после частоты 87 мкГц. Минимум спектральных амплитуд наблюдается от 87 до 95 мкГц и, по видимому, является физически обоснованным, так как во втором диапазоне спектра, представленном на рис. 4б, характер спектральной функции совершенно другой: спектральные пики группируются, а группы колебаний отчетливо разнесены на частотной оси. Второй диапазон характеризуется границами 95–225 мкГц, т.е. периодами от 1.23 до 2.92 часа.

На рис. 4в представлена спектральная функция в области собственного колебания Земли второй степени, обычно записываемого как ${}_0S_2$. Над кривой приведены данные о теоретическом расщеплении спектра мультиплета ${}_0S_2$ вследствие вращения Земли. Вообще в зарубежных научных публикациях полное расщепление этого мультиплета в экспериментальных наблюдениях графически не представлялось до работы [Rosat, 2003]. Имелся только результат численных оценок всех пяти линий в работе [Buland et al., 1977]. Такая ситуация объясняется тем, что, во-первых, этот мультиплет возбуждается только сильнейшими

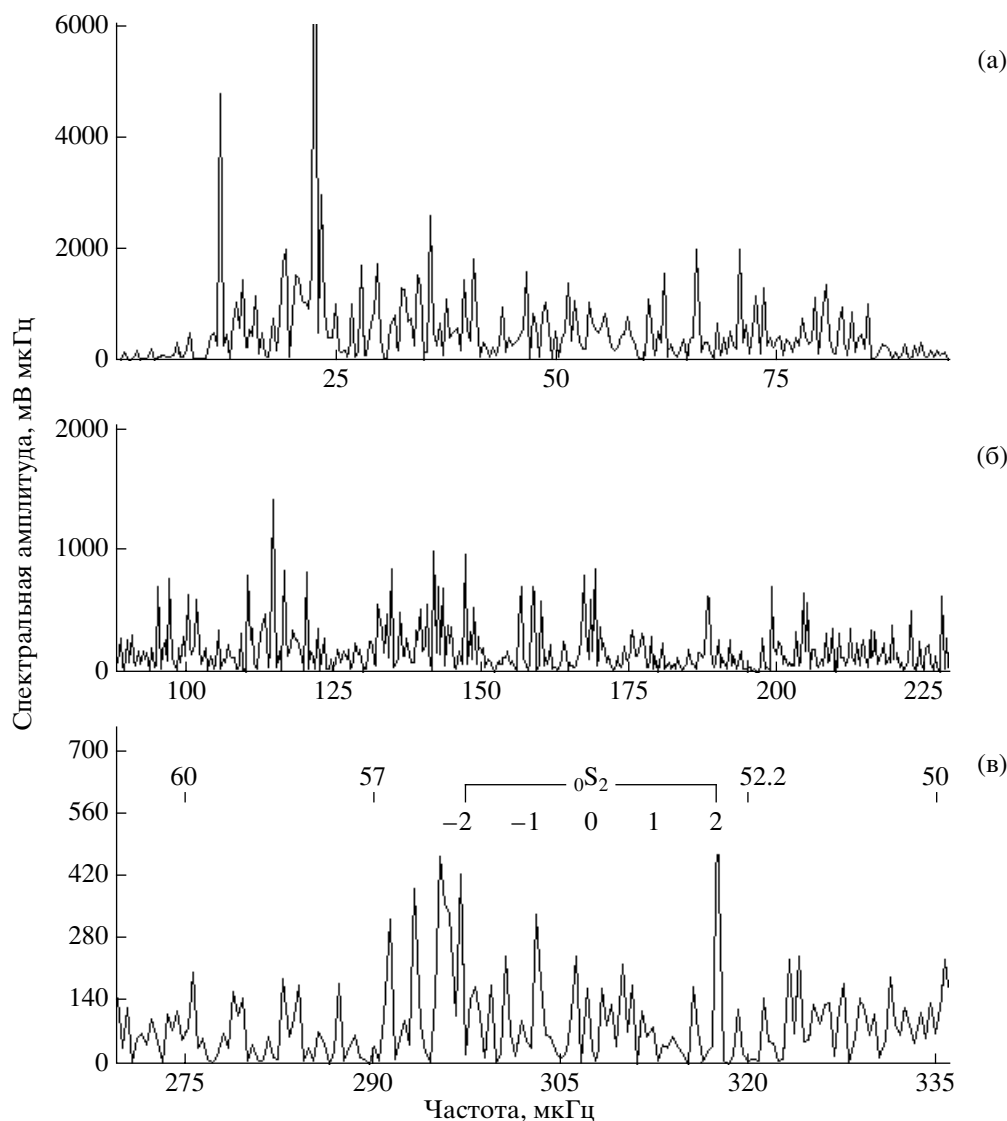


Рис. 4. Спектральная плотность сейсмогравитационных колебаний Земли в диапазоне до 100 мкГц (а), от 100 до 225 мкГц с выраженным группированием колебаний (б) и в области собственного колебания ${}_0S_2$ (в).

землетрясениями, магнитуа которых $M \cong 8.0$ и больше. Во-вторых, на частотной оси справа и слева от мультиплета ${}_0S_2$ обычно фиксируются другие колебания с достаточно большими спектральными амплитудами, так что мультиплет ${}_0S_2$ находится, как бы, в “яме”, что затрудняет его выделение на фоне “шума”. Чаще всего в спектрах присутствуют две линии, однако при специальном анализе удается выделить три, а иногда и все пять линий [Петрова, 1999]. В анализируемых наблюдениях, как можно видеть на рис. 4в, по крайней мере, три линии в рассчитанном спектре практически совпадают с линиями мультиплета, имеющими широтный параметр $m = -2, -1$ и 2 . Слева от мультиплета ${}_0S_2$ зафиксированы 4 спектральные составляющие, не имеющие отношения к собственным колебаниям Земли. Справа от него ам-

плитуды отдельных спектральных пиков постепенно возрастают. При значениях периодов менее 36 минут некоторые из них достигают амплитуд 380–480 мВ мкГц, т.е. более высоких, чем в мультиплете ${}_0S_2$. Периоды этих составляющих весьма близки к периодам собственных колебаний Земли более высоких порядков, однако их анализ не входит в задачу настоящей работы.

Ранее по многолетним наблюдениям в Санкт-Петербурге был установлен статистический спектр сейсмогравитационных колебаний Земли, который основан на анализе спектров выборок из наблюдений сейсмических колебаний в периоды их повышенной интенсивности. Наблюдения декабря 2004 года также относятся к наблюдениям с повышенной интенсивностью колебаний: в этот период времени высока сейсмическая активность

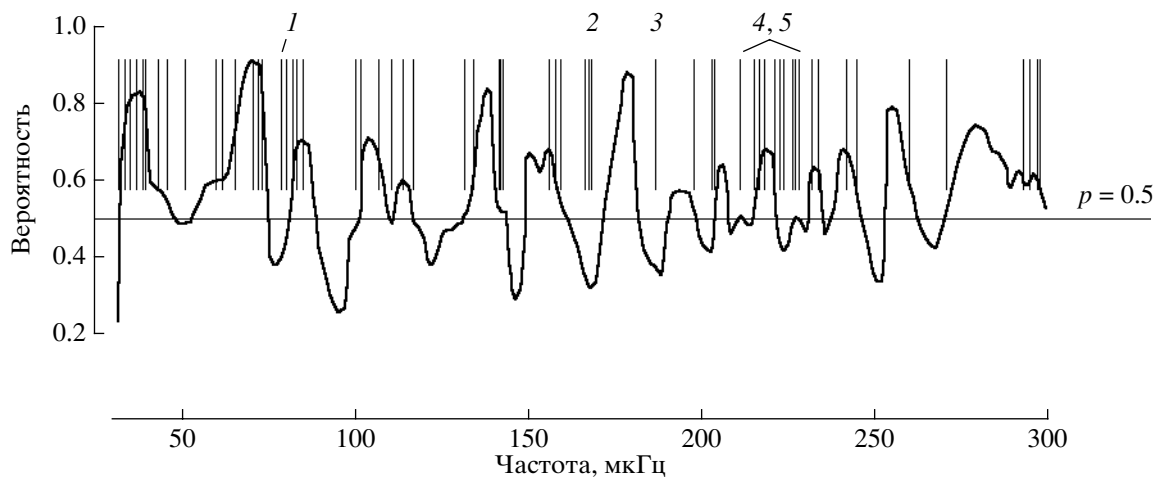


Рис. 5. Распределение наблюдаемых сейсмогравитационных колебаний на частотной оси (вертикальные отрезки) и их связь с ранее установленным статистическим спектром.

(см. табл. 1), в этот период произошло “землетрясение века” около о-ва Суматра с магнитудой $M = 9.0$. Можно полагать, что в результате сильного возбуждения планеты в диапазоне спектра сейсмогравитационных колебаний Земли проявится их основное свойство, а именно: возбуждение колебаний именно с теми частотами, которые предсказываются статистическим спектром. Результаты сопоставления максимальных пиков спектральных функций, представленных на рис. 4, со статистическим спектром иллюстрирует рис. 5, на котором спектр анализируемых наблюдений изображен вертикальными отрезками линий. Отчетливо видно, что во всем диапазоне спектра от 1 до 9 часов наблюдается группирование спектральных пиков около “значимых” областей спектра, т.е. тех областей, расположенных выше линии $p = 0.5$, в которых чаще всего должно происходить возбуждение планетарных колебаний. При высоком общем согласии полученных результатов с прогнозируемыми, имеется несколько несоответствий. Основное несоответствие связано с группой линий, отмеченных литерами 2 и 3. Они полностью не согласуются со статистическим спектром, в котором вероятность возбуждения этих частот крайне низкая. Отмеченные литерой 1, крайние линии этой группы так же плохо согласуются с третьей областью статистического спектра. На этом несоответствия заканчиваются, поскольку линии, отмеченные литерами 4 и 5, соответствуют экстремумам статистического спектра, для которых вероятность возбуждения равна 0.5. Следует также подчеркнуть высокое согласие сравниваемых результатов с характерными минимумами в низкочастотной части статистического спектра. Кроме частот 75 и 87–95 мкГц, отмеченных выше в качестве характерных граничных значений для спектра на рис. 4а, нужно отметить, что в области частоты 50 мкГц в спектре также

зарегистрирован минимум спектральной функции. В целом, спектр колебаний на рис. 4а имеет три характерных минимума в спектральной функции, частоты которых кратны, а именно: 25, 50 и 75 мкГц. Проинтерпретировать физический смысл этого результата пока затруднительно. По крайней мере, можно предположить, что если сейсмогравитационные колебания действительно являются собственными изгибными колебаниями, как показано в работе [Лисков, Петрова, 2002], то указанные выше кратные частоты должны быть связаны в обратной зависимости с величиной объема среды, участвующего в этом процессе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В начале декабря 2004 года по наблюдениям в Санкт-Петербурге зарегистрирована 12-дневная деформация растяжения. На основании накопленных к настоящему времени данных о таких феноменах, подтвержденных ретроспективно наблюдениями станций NYB, WUS, SSB сети Geoscope, предполагается, что она имеет не только долговременный, но и крупномасштабный характер. Зарегистрированы также две 2-х сутокные деформации растяжения.

Динамическую активность планеты в рассмотренный период времени можно характеризовать как повышенную. Благодаря этому интенсивность сейсмогравитационных колебаний Земли также резко возросла, вследствие чего в рассмотренном диапазоне спектра от 1 до 9 часов были выявлены колебания в 13 частотных областях из 14, в которых, согласно ранее определенному статистическому спектру, колебания должны возбуждаться чаще.

Опережающее по времени проявление указанных динамических событий по отношению к мо-

менту разрыва в очаге землетрясений позволяет предположить, что они являются провоцирующим фактором, механизм действия которого можно представить как относительно “плавную” разгрузку/пригрузку геофизической среды в течение нескольких суток, усиленную разрушающим действием квазирегулярных вибраций на нескольких сейсмогравитационных частотах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность и признательность сотруднику кафедры физики Земли А.А. Миронову за помощь и техническую поддержку при решении ряда инженерных задач и создание сверхдлиннопериодного генератора для калибровки сейсмометрических каналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гостев М.А.* Градуировка и контроль сейсмических станций электродинамическим способом. Тр. ин-та Физики Земли. 1962. № 25(192). С. 30–43.
- Линьков Е.М.* Сейсмические явления. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1987. 248 с.
- Линьков Е.М., Дунаев А.В., Петрова Л.Н.* Наблюдения длиннопериодных колебаний Земли горизонтальным сейсмографом на антинаклонной платформе. Исследование по сейсмометрии. Сейсм. приборы. Вып. 20. 1988. С. 90–96.
- Линьков Е.М., Орлов Е.Г., Петрова Л.Н., Карпинский В.В.* Сейсмогравиметрический комплекс. Развитие методов и средств экспериментальной геофизики. Вып. 2. М. 1996. С. 252–259.
- Линьков Е.М., Типисев С.Я., Буценко В.П.* Помехоустойчивость длиннопериодного сейсмографа и анализ его записей. Геофизическая аппаратура. Вып. 75. Л., 1982. С. 78–87.
- Линьков Е.М.* Сейсмические явления. Л.: Изд-во ЛГУ. 1987. 248 с.
- Лисков А.И., Петрова Л.Н.* К вопросу о колебаниях земной коры // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 4. 2002. № 2(12). С. 99–102.
- Петрова Л.Н.* О динамическом воздействии сейсмогравитационных колебаний Земли на горные породы. Физика и механика разрушения горных пород применительно к горной геомеханике и сейсмологии. 1994. С. 168–172.
- Петрова Л.Н.* Сейсмический процесс в интервале частот (0.05–0.5) мГц. Закономерности и особенности // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4–5. С. 116–124.
- Петрова Л.Н.* Сейсмогравитационные колебания Земли при наблюдениях разнесенными в пределах Евразии вертикальными маятниками // Физика Земли. 2002. № 4. С. 83–95.
- Петрова Л.Н., Карпинский В.В.* О связи сейсмогравитационных колебаний Земли с сейсмической активностью. Физика и механика разрушения горных пород применительно к прогнозу динамических явлений. СПб. 1995. С. 104–110.
- Петрова Л.Н., Орлов Е.Г., Карпинский В.В.* Интенсивность сейсмогравитационных колебаний Земли и сильная сейсмичность. Вопросы геофизики. Вып. 35. СПб. 1998. С. 98–105.
- Петрова Л.Н., Орлов Е.Г., Карпинский В.В.* Крупномасштабные деформации Земли перед сильными землетрясениями по наблюдениям с помощью сейсмогравиметров. Физические основы прогнозирования разрушения горных пород. 7 международная школа-семинар, г. Борок 17–21 октября 2005 г. М. 2005. С. 46.
- Рыков А.В.* Сейсмометр и колебания Земли // Физика Земли. 1992. № 2. С. 76–80.
- Buland R., Berger J., Gilbert F.* Observations from the IDA network of attenuation and splitting during a recent earthquake // Nature. 1977. V. 277. № 5695. P. 358–362.
- Romanowicz B.* The GEOSCOPE Program: Present Status and Perspectives // Bull. Seism. Soc. Am. February. 1991. V. 81. № 1. P. 243–264.
- Rosat S., Hinderer J., Rivera L.* First observation of ${}_2S_1$ and study of the splitting of the football mode ${}_{01}S_2$ after the June 2001 Peru earthquake of magnitude 8.4 // Geophys. Res. Letters. 2003. V. 30. № 21, 2111, doi: 10.1029/2003GL018304.
- Wielandt E., Streckeisen G.* The leaf-spring Seismometer: Design and Performance // Bull. Seism. Soc. Am. December. 1982. V. 72. № 6. P. 2349–2367.