

УДК 550.343

Аномалии показаний астрономических часов Федченко перед некоторыми сильными землетрясениям

© 2009 г. А.П. Сливинский^{1,2}, Ф.И. Бушуев¹, Н.А. Калюжный^{1,2}

¹ Научно-исследовательский институт “Николаевская астрономическая обсерватория”,
г. Николаев, Украина

² Украинский радиотехнический институт, г. Николаев, Украина

На аппаратурном комплексе НИИ НАО по аномально большим отклонениям хода часов Федченко выделяются сейсмические волны от некоторых сильных землетрясений (Курилы, Пакистан, Индонезия, Молуккское море, Турция, Греция и пр.). За несколько минут перед сейсмической волной наблюдалось уменьшение дисперсии показаний астрономических часов Федченко.

Ключевые слова: предвестники землетрясений, астрономические часы Федченко, сейсмические волны.

Введение

В г. Николаев с 1829 г. функционирует Николаевская астрономическая обсерватория. Ее основная задача – это астрометрические измерения положения звезд для нужд морского флота. Вместе с тем именно здесь впервые на территории Российской Империи в 1892 г. были начаты непрерывные сейсмические наблюдения, которые организовал директор обсерватории И.Е. Кортацци, используя в качестве датчика горизонтальный маятник, который ему предоставил немецкий астроном Ребер-Пашвитц [*Козырева и др.*, 2007].

В настоящее время Николаевская астрономическая обсерватория обрела статус научно-исследовательского института (НИИ НАО). В НИИ НАО ведутся наблюдения за положением малых планет, астероидов, искусственных спутников Земли и космического “мусора”. Кроме того, непрерывно осуществляется цифровая запись амплитуды сигналов точного времени и частоты двух радиостанций СДВ диапазона: DCF-77 (Германия) и RBU (Москва). Проводится также анализ отклонений от невозмущенного значения величины разности псевдодальностей, измеренных перманентными GPS станциями.

Анализ полученных данных подтверждает их зависимость от состояния нижнего D-слоя ионосферы, которое определяется текущей гелио-геофизической обстановкой. На фоне спокойных гелио-геофизических условий и в условиях низкой солнечной активности отмечалось существенное уменьшение дневных значений амплитуды сигналов СДВ за несколько суток до некоторых разрушительных землетрясений, которое коррелировало с возмущениями верхней ионосферы по данным GPS станций [*Сливинский и др.*, 2008].

С целью дальнейшего исследования процессов формирования и развития возмущений над очагами подготовки землетрясений в 2005 г. в НИИ НАО для регистрации сейсмических волн начали проводить мониторинг показаний астрономических часов Федченко (АЧФ), регистрируя изменения скорости их хода. В книге [*Демидов, 1977*] автор приводит слова знаменитого пулковского астронома: “...Часы Федченко являются лучшими из всех существующих типов маятниковых часов ... Директор Главной ас-

трономической обсерватории, профессор В.А. Крат” и от себя добавляет: “Маятниковые часы сегодня сменили профессию. Это уже не столько устройство для измерения времени (его гораздо лучше хранят атомные, квантовые генераторы), сколько точнейший гравиметрический прибор”.

В процессе анализа наблюдаемых данных по показаниям было обнаружено, что за несколько минут до прихода сейсмических волн от некоторых сильных землетрясений наблюдались специфические искажения показаний АЧФ. В настоящей работе приводятся некоторые результаты наблюдений подобных искажений показаний АЧФ. Цель работы – анализ результатов наблюдений аномалий показаний АЧФ и обсуждение возможного физического механизма возникновения подобных аномалий.

Характеристики астрономических часов Федченко

С июля 2005 г. в НИИ НАО регулярно с дискретностью 2 с производится цифровая запись показаний времени по часам Федченко. Столь низкая тактовая частота записи данных существенно отличает этот регистрирующий прибор от традиционных сейсмомодатчиков. Астрономические часы Федченко, структурная схема устройства которых представлена на рис. 1, *а*, представляют собой вертикально подвешенный маятник, заключенный в герметичную колбу, вакуум внутри которой поддерживается на уровне ~4 мм ртутного столба. Маятник состоит из стальной неподвижной 1 и подвижной 2 штанги (диаметром 6 мм и длиной 1 м, что соответствует периоду колебаний маятника $T \approx 2$ с) и прикрепленного к ней снизу груза массой 8 кг.

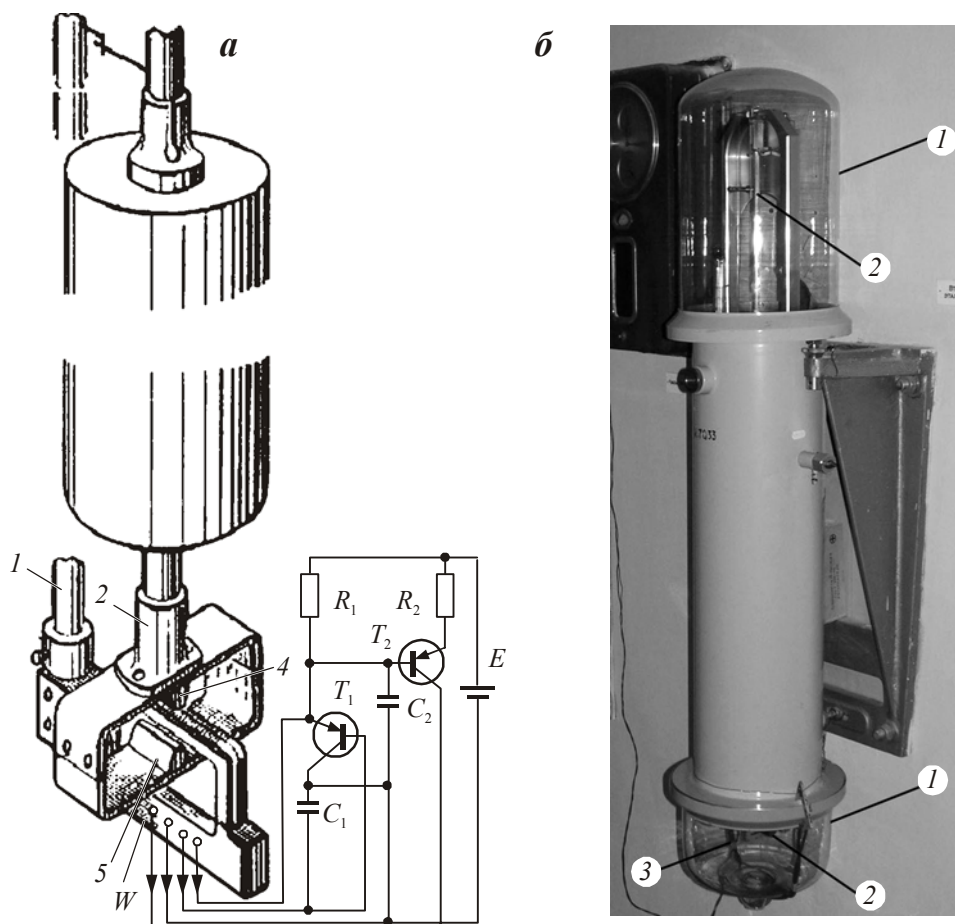


Рис. 1. Схема устройства (*а*) и фотография (*б*) АЧФ. Пояснения см. в тексте

Моменты времени t_{Φ} показаний АЧФ определяются при замыкании и размыкании платиновых контактов 3, расположенных в верхней части колбы на неподвижной и подвижной штангах. В нижней части колбы, для покрытия потерь механической энергии при движении маятника, располагается магнитоэлектрический привод, состоящий из двух частей – подвижной и неподвижной. Подвижная часть состоит, в свою очередь, из двух постоянных магнитов 4 и 5, прикрепленных к нижнему концу штанги. Неподвижная часть состоит из прямоугольной катушки W и электронной схемы, смонтированных в специальном отсеке пластмассовой пластины. Обмотка катушки имеет две секции. Одна – секция освобождения, с нее снимается сигнал, опирающийся схему. Другая – импульсная, на нее подается импульс тока от внешнего источника.

В секциях катушки во время движения маятника возникают противоположные токовые импульсы. Взаимодействие магнитного поля катушки, определяемое величиной разности положительного и отрицательного импульсов, с полем постоянных магнитов создает необходимый подталкивающий импульс. Нормальная амплитуда для часов АЧФ находится в пределах 90–110 дуговых минут. Источником питания АЧФ служит окиснортутный элемент E напряжением в 1.4 В, что обеспечивает в течение нескольких лет независимость работы электронной схемы от напряжения питающей цепи на пункте регистрации. Минимальная дисперсия показаний времени по часам Федченко составляет ~ 1 мкс.

На рис. 1, б приведена фотография АЧФ, где указаны следующие элементы: 1 – герметичная колба с помещенным в нее маятником; 2 – маятник, состоящий из стальной штанги и прикрепленного к ней снизу груза с магнитной системой с зазором; 3 – неподвижная катушка индуктивности прямоугольного вида, малая сторона которой в процессе качания маятника пересекает центральную область зазора магнитной системы. Подробное описание устройства АЧФ можно найти в книге [Пипуныров, 1972]. Понятно, что указанные особенности устройства АЧФ при использовании их для регистрации сейсмических событий могут стать причиной качественных отличий получаемых при этом данных от записей с помощью традиционно используемых сейсмоприемников.

Моменты t_{Φ} размыкания контактов 3 АЧФ сверялись с показаниями времени атомного стандарта частоты службы времени НИИ НАО и оцифровывались. Оцифрованные значения показания t_{Φ} представляют собой 4 целых десятичных числа, соответствующие часам, минутам, секундам и долям секунды текущего времени. Погрешность измерения долей секунд составляет 10^{-8} с.

Обозначим через T_{Φ} целое 8-разрядное число, равное значениям долей секунд показаний t_{Φ} . Период колебаний маятника АЧФ превышает 2 с примерно на $18.08 \cdot 10^{-6}$ с. По этой причине один раз в течение 1.28 сут происходит переход T_{Φ} через нуль и изменяется четность секунд в показаниях t_{Φ} . При рассмотрении показаний АЧФ на длительных интервалах времени переходы через нуль учитывались добавлением очередной секунды (т.е. числа 10^8) к текущим значениям T_{Φ} . Для устранения существенного регулярного отклонения хода часов Федченко дополнительно составлялись две разности $dT_i = T_{\Phi_i} - T_{\Phi_{i-1}}$ и $\delta T_i = T_{\Phi_i} - T_{\text{trend}_i}$, где i – порядковый номер показаний t_{Φ} , а T_{trend} – линейная интерполяция T_{Φ} методом наименьших квадратов на заданном интервале времени.

Результаты анализа

Учитывая уникальную чувствительность АЧФ к изменениям гравитационного поля, мы провели спектральный анализ массива наблюдаемых данных δT_i по показаниям АЧФ, усредненным на часовых интервалах времени с 11.12.2007 г. по 10.12.2008 г.

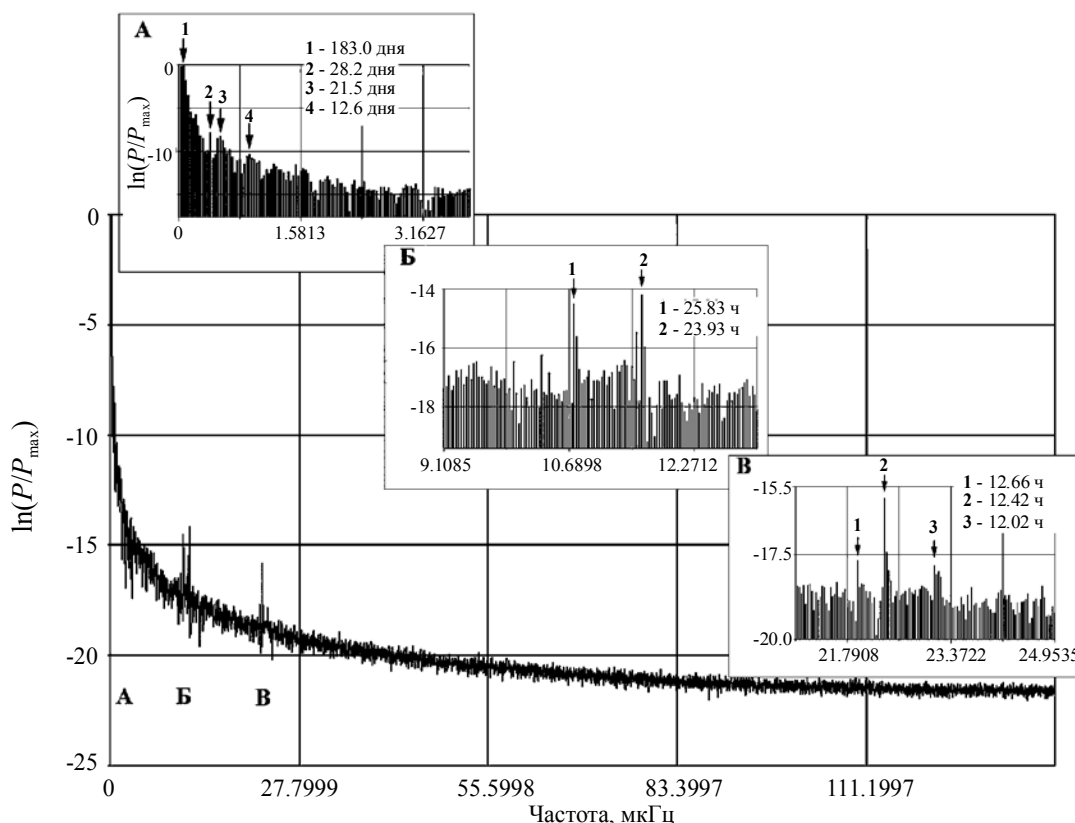


Рис. 2. Распределения спектральной плотности, оценка по среднечасовым значениям $\delta T_i = T_{\Phi_i} - T_{\text{trend } i}$. Пояснения см. в тексте

(при этом линейная интерполяция исходных 2-секундных отсчетов T_{Φ} была выполнена на всем интервале анализа без прореживания и усреднения). На рис. 2 приведен график всего спектра для среднечасовых значений (за исключением нулевого фильтра и симметричной части спектра), полученного на годовом интервале с шагом 1 ч, т.е. шаг по частоте (в герцах) равен $1/(8784 \cdot 3600)$, где 8784 – анализируемый интервал времени в часах. Поскольку выборка действительная, это означает, что рассматривался интервал частот от $1/(8784 \cdot 3600)$ до $1/(2 \cdot 3600)$ Гц. По оси абсцисс на графике отложены микрогерцы, а по оси ординат – натуральный логарифм нормированной мощности спектральных линий. Нормировка производилась на максимальную мощность, которая определялась во всем анализируемом интервале частот.

При отброшенном нулевом фильтре максимум спектра находится во втором фильтре, соответствующем периоду 183.0 сут. Для трех интервалов частот, обозначенных как А, Б и В, длиной примерно по 4 мкГц, приводятся спектральные диаграммы в увеличенном масштабе. Оси абсцисс и ординат на этих диаграммах имеют те же размерности и смысл, что и на основном графике. Стрелками на каждой диаграмме отмечены характерные спектральные линии, для которых там же на диаграммах приводятся номиналы периодов колебаний: для диаграммы А – в сутках, а для диаграмм Б и В – в часах.

По данным рис. 2, А, наиболее яркий период колебаний соответствует полугодовому циклу 183 сут и примыкающему к нему 52 сут. Кроме того, отчетливо выделяются лунный месячный период (28 сут) и ряд комбинационных периодов. На рис. 2, Б представлены лунные и солнечные суточные колебания, а на рис. 2, В – приливные лунные и солнечные колебания (12.6, 12.4 и 12 ч).

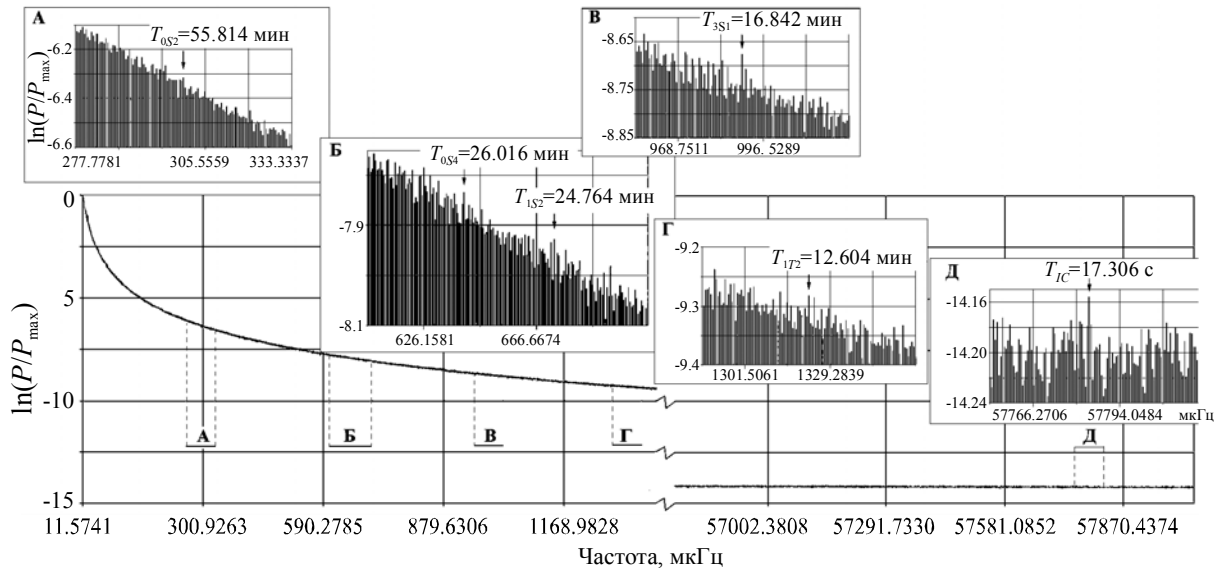


Рис. 3 Положения локальных максимумов спектральной плотности, сравнимых с периодами свободных колебаний Земли

С целью обеспечения возможности выделения слабых сигналов, связанных со свободными колебаниями Земли, спектральному анализу подвергалась временная последовательность δT_i 2-секундных отсчетов на протяжении 20 сут (с 1.07 по 20.07.2008 г.). В качестве иллюстрации на рис. 3 представлены локальные максимумы спектральной плотности, которые сравнивались с экспериментальными оценками периодов свободных колебаний Земли, приведенными, например, в работах [Nath et al., 2005; Arora et al., 2008].

На рис. 3, А представлен локальный максимум, относимый к свободному сферическому колебанию Земли ${}_0S_2$ с периодом $T_{0S_2} \approx 55.8$ мин. На рис. 3, Б, В представлены локальные максимумы, относимые к свободным сферическим колебаниям Земли ${}_0S_4$ с периодом $T_{0S_4} \approx 26$ мин, ${}_1S_2$ с периодом $T_{1S_2} \approx 24.7$ мин и ${}_3S_1$ с периодом $T_{3S_1} \approx 16.8$ мин. На рис. 3, Г представлен локальный максимум, относимый к тороидальным колебаниям Земли ${}_1T_2$ с периодом $T_{1T_2} \approx 12.6$ мин.

В высокочастотной области спектра, представленной на рис. 3, Д, выделено колебание с периодом $T_{1C} \approx 17.3$ с, возможно связанное с вращением внутреннего ядра Земли, механизм которого изложен на сайте http://www.ivanov-portal.ru/astron/00_e.htm.

С 22.11. на 23.11.2008 г. Николаевской метеослужбой (наблюденные данные имеются на сайте НИИ НАО: <http://www.mao.nikolaev.ua/eng/meteo.html>) был отмечен ураганный ветер, сопровождающийся мощными низкочастотными звуковыми эффектами, исходящими от городской телевизионной вышки, расположенной на краю территории НИИ НАО. На рис. 4, а приведены временные реализации 2-секундных показаний δT_i и dT_i за 22.11.2008 г. Согласно рис. 4, а, существенное возмущение временных последовательностей δT_i и dT_i началось в окрестности времени 9^h UT, когда средняя скорость ветра, по данным метеослужбы НИИ НАО, достигла величины 6.5 м/с. Максимального значения 11 м/с средняя скорость ветра достигла около 17 ч, когда произошло резкое изменение направления ветра. По данным, представленным на рис. 4, в это время произошло заметное уменьшение дисперсии показаний АЧФ.

На рис. 4, б представлены графики нормированных на P_m распределения спектральных плотностей для 21600 2-х секундных значений временной последовательности δT_i первой (верхний график) и второй половины суток (нижний график). Из сравнения графиков рис. 4, б следует, что развитие ураганного ветра привело к разбросу

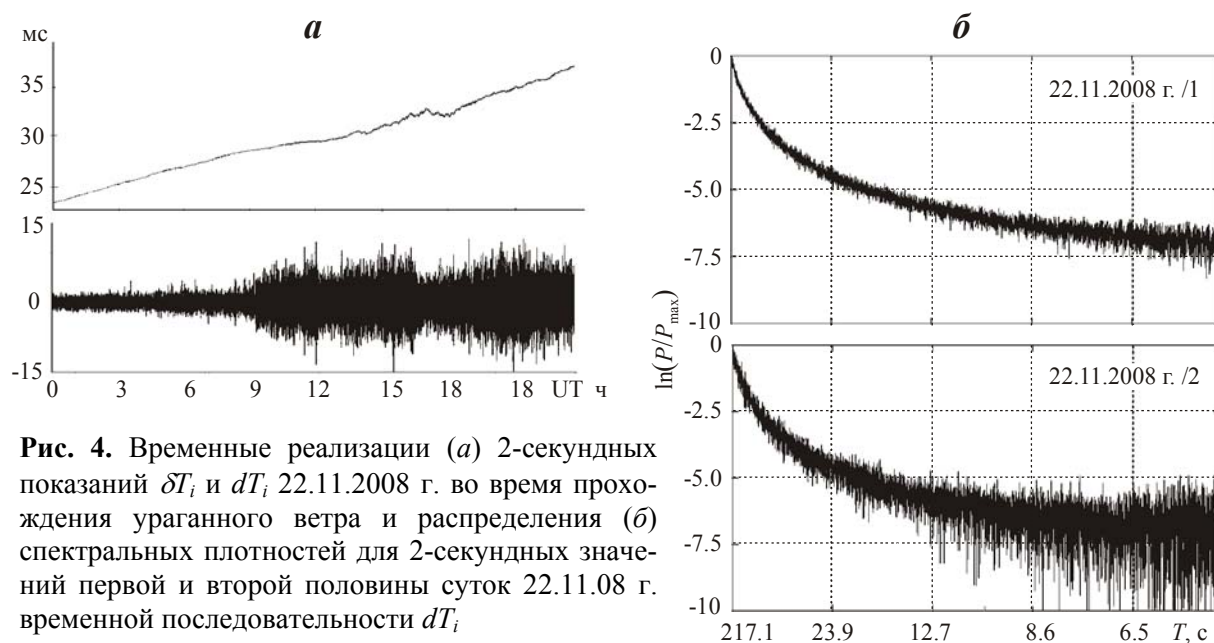


Рис. 4. Временные реализации (а) 2-секундных показаний δT_i и dT_i 22.11.2008 г. во время прохождения ураганного ветра и распределения (б) спектральных плотностей для 2-секундных значений первой и второй половины суток 22.11.08 г. временной последовательности dT_i

значений спектральной плотности показаний δT_i во второй половине суток на соседних частотах и усилению акустических шумов в окрестности периодов колебаний в интервалах 200–15 и 6.6–4.5 с. На рис. 5, а, по данным работы [Rhie et al., 2004] и сайта Free oscillations_Storms\Microseism-Wikipedia, the free encyclopedia.htm, представлена мощность спектральной плотности вероятности (в dB относительно $(\text{m/s})^2/\text{Hz}$) для вертикальной компоненты сейсмических данных, записанных в течение 20 лет на мексиканской станции ANMO. Из сравнения данных на рис. 4, б и рис. 5, а следует, что интервал

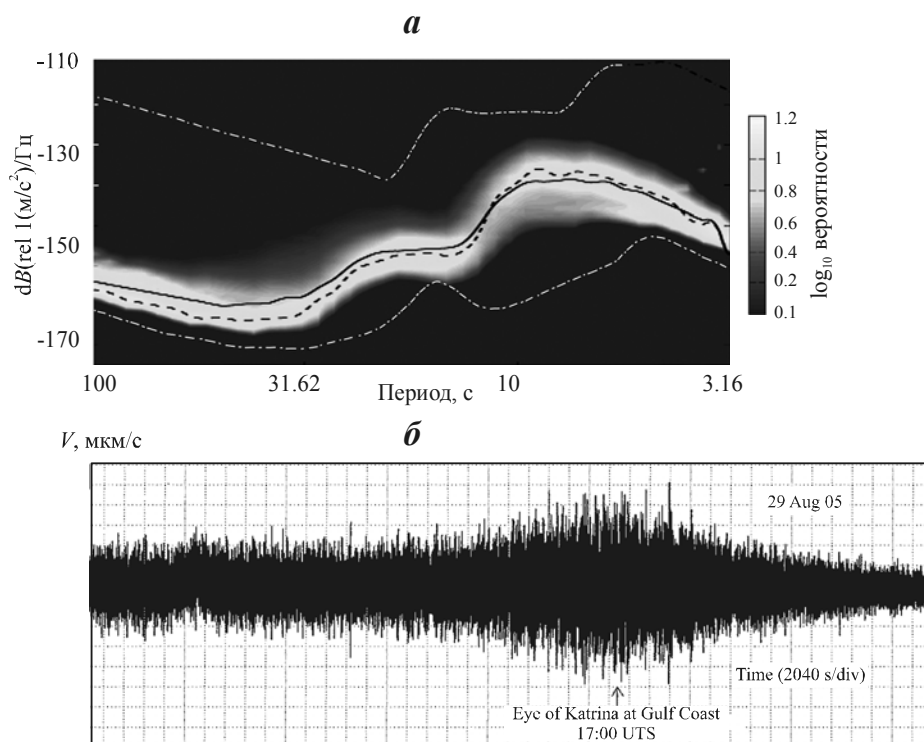


Рис. 5. Мощность (а) спектральной плотности вероятности для вертикальной компоненты сейсмических данных, полученных в течение 20 лет на мексиканской станции ANMO по данным сайта <http://arxiv.org/html/physics/0506162>, эволюция микросейсм (б), порожденных ураганом “Катрин” 29.08.2005 г.

периодов около 6.6–4.5 с приходится на максимум мощности спектральной плотности вероятности, полученный по данным мексиканской станции ANMO.

На рис. 5, б, согласно данным, приведенным на сайте <http://arxiv.org/html/physics/0506162>, представлена эволюция многочисленных микросейсм за счет океанических возмущений, порожденных ураганом “Катрин” за 29.08.2005 г. (здесь по оси абсцисс отложена скорость смещения в $\mu\text{m/s}$), когда наблюдалось максимальное возмущение скорости. Из сравнения данных на рис. 4, а и рис. 5, б можно сделать вывод об их качественном подобии. Это обстоятельство позволяет предположить, что в нашем случае микросейсмы могли порождаться “дрожью” поверхности Земли, возникающей за счет ветровой нагрузки 185-метровой телевизионной вышки, расположенной в ~ 250 м от места установки АЧФ.

Дополнительно проводился сравнительный анализ с данными о температуре воздуха и атмосферном давлении в пункте наблюдений. Корреляций усредненных на часовых интервалах времени показаний АЧФ с ходом температуры и давления не выявлено.

Аномалии показаний астрономических часов Федченко в связи с приходом сейсмических волн

Сейсмическая волна деформации, при ее достаточной энергии, по достижении маятника могла вызвать дополнительное увеличение флуктуаций момента размыкания контактов 3 АЧФ, что в свою очередь может увеличивать разброс показаний часов Федченко. С момента начала регулярной регистрации показаний времени было зафиксировано 43 аномальных отклонений показаний часов, связываемых с землетрясениями, указанными в таблице. Здесь не приводятся события, попавшие на периоды времени неисправностей аппаратуры и сбоев электропитания.

На рис. 6 приводится заимствованная с сайта <http://www.iris.edu/> сейсмограмма землетрясения в Пакистане (08.10.2005 г., событие № 1 в таблице). Она записана турецкой сейсмостанцией ANTO (г. Анкара), из работающих на то время станций самой близкой к г. Николаев. Согласно информации, приведенной на рис. 6, выделяются два крутых фронта по времени прихода сейсмических волн. Первый фронт условно относят ко времени прихода группы продольных (внутренних) волн, второй – группы поверхностных волн деформации. По известному расстоянию от гипоцентра до Анкары скорость V_{pw} прихода первого фронта составила $V_{pw} \approx 9.2$ км/с, а второго $V_{sw} \approx 5.0$ км/с.

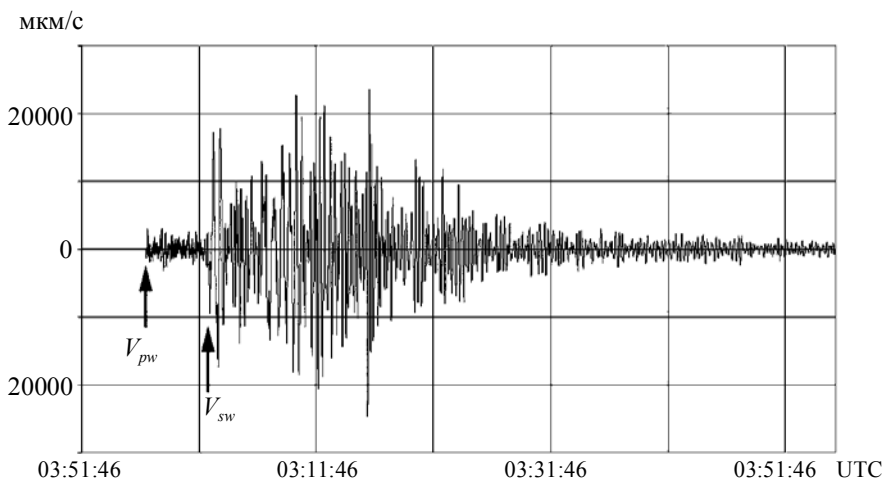


Рис. 6. Сейсмограмма землетрясения в Пакистане 08.10.2005 г., записанная на турецкой сейсмостанции ANTO (сайт <http://www.iris.edu/>)

На рис. 7, а иллюстрируется пример выделения сейсмической волны по показаниям АЧФ для этого же землетрясения в Пакистане, с эпицентром на расстоянии $R=3720$ км от пункта регистрации в Николаеве. По оси абсцисс отложено текущее время UTC, а по оси ординат – величины δT_i и dT_i . Здесь и ниже по тексту линейная интерполяция исходных 2-секундных отсчетов T_Φ производилась на суточном интервале, соответствующем дате землетрясения. На рис. 7 момент прихода в г. Николаев P -волны обозначен как T_p , момент землетрясения – как T_0 и момент начала аномалии показаний АЧФ – как T_a .

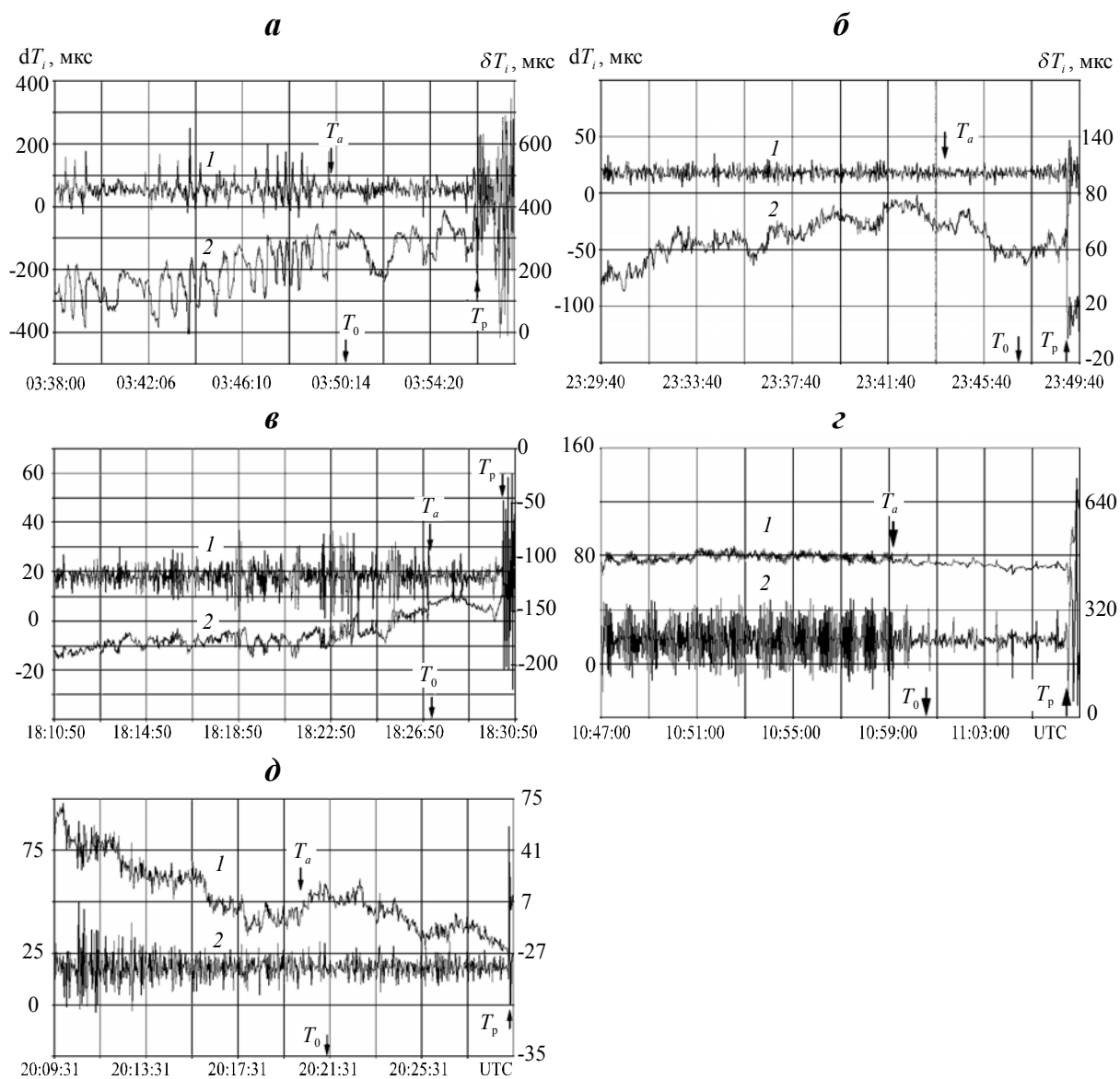


Рис. 7. Иллюстрации аномального уменьшения дисперсии показаний АЧФ, предшествующие приходу сейсмических волн

а – 08.10.2005 г., Пакистан, $T_p = 03.56.22$ UTC, $T_a = 03.50.02$ UTC, $T_0 = 03.50.38$ UTC, $M=7.6$, $H=10$ км, $D=3722$ км; б – 26.12.2007 г., Турция, $T_p = 23.49.10$ UTC, $T_a = 23.44.04$ UTC, $T_0 = 23.47.08$ UTC, $M=5.6$, $H=5$ км, $D=846$ км; в – 20.02.2008 г., Южная Греция, $T_p = 18.30.20$ UTC, $T_a = 18.27.08$ UTC, $T_0 = 18.27.11$ UTC, $M=6.1$, $H=35$ км, $D=1421$ км; г – 10.09.2008 г., Иран, $T_p = 11.06.28$ UTC, $T_a = 10.59.14$ UTC, $T_0 = 11.00.35$ UTC, $M=6.1$, $H=15$ км, $D=3056$ км; д – 03.01.2009 г., Афганистан, $T_p = 20.29.19$ UTC, $T_a = 20.20.17$ UTC, $T_0 = 20.23.22$ UTC, $M=5.9$, $H=220.8$ км, $D=3387$ км

Согласно данным, представленным на рис. 7, а и в таблице, следует, что резкое увеличение величин δT_i и dT_i произошло в $T_p = 03.56.22$, т.е. спустя $T_p - T_0 = \Delta t = 03.56.22 - 03.50.38 = 344$ с после первого толчка (здесь и далее моментом T_0 со стрелкой отмечается время события и моментом T_p со стрелкой – время прихода сейсмической волны, определяемое по показаниям АЧФ). Отсюда оценка средней скорости распространения сейсмической волны $V_p \approx R/\Delta t \approx 10.8$ км/с. Из сравнения с оценкой скорости, полученной по данным турецкой сейсмостанции ANTO и на АЧФ, следует, что аномальный ход показаний соответствовал волне деформации, пришедшей со скоростью группы продольных сейсмических волн.

На рис. 7, а для последовательности dT_i с отсутствием временного тренда отчетливо видно заметное уменьшение дисперсии показаний часов Федченко примерно за 7 мин до прихода сейсмической волны (момент начала уменьшения дисперсии отмечается здесь и далее на рисунках как T_a) $T_a = 03.50.02$ со стрелкой, т.е. с опережением $T_0 - T_a = \Delta T_{0a} = 03.50.38 - 03.50.02$, т.е. примерно за 35 с до землетрясения. Кроме того, на рис. 7, а для последовательности с временным трендом δT_i на указанном 7-минутном интервале времени визуально выделяется колебательный процесс с периодом $T \approx 120$ с.

Аналогичные феномены наблюдались для событий из приведенной таблицы под №№ 4, 6, 10-13, 15-18, 21, 23, 25, 27-30, 38, 42 и 43. В тех случаях, когда визуально было затруднительно оценить период T , оценка проводилась с помощью фурье-анализа на часовых интервалах времени перед землетрясениями. Соответствующие периоды колебаний приведены в таблице. Согласно экспериментальным данным, обсуждаемые аномалии наблюдались как до, так и после момента землетрясения, т.е. разность ΔT_{0a} могла быть как положительной, так и отрицательной величиной. Для иллюстрации на рис. 7, б-д представлены события, для которых разность $\Delta T_{0a} > 0$. Наибольшие значения $\Delta T_{0a} \approx 180$ с отмечены для событий на рис. 7, б и д.

Феномен уменьшения дисперсии показаний часов Федченко перед сейсмической волной наблюдался не для всех событий, приведенных в таблице. Последнее обстоятельство может быть обусловлено степенью удаленности очага землетрясения от пункта регистрации, магнитудой, глубиной эпицентра, особенностями строения среды вдоль трассы распространения сигналов, а также уровнем акустических шумов. Например, для

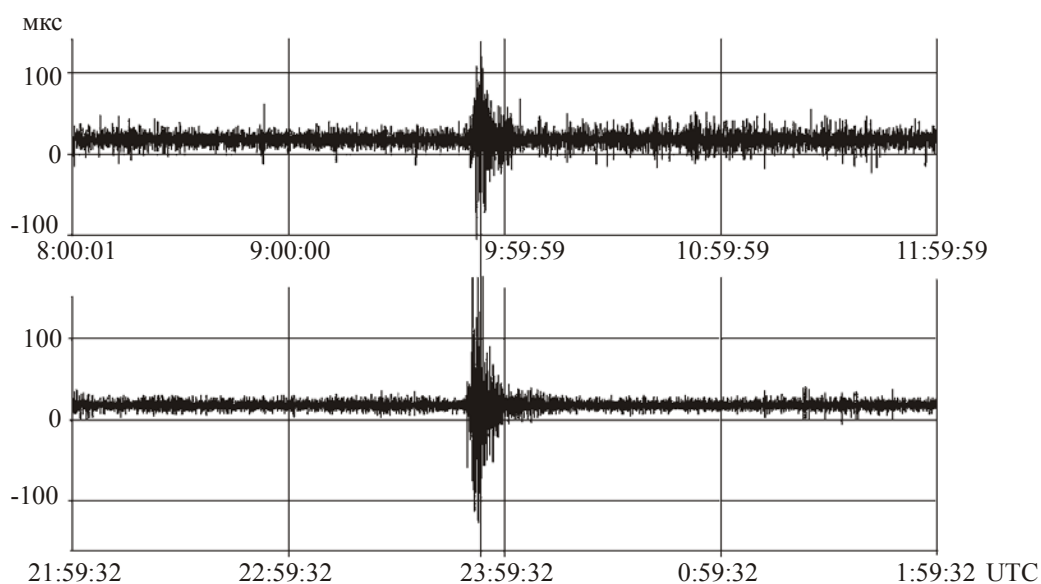


Рис. 8. Временные последовательности dT_i для событий № 8 и 9 (см. таблицу) в дневных и ночных условиях, соответственно

событий № 8 и 9 с одинаковыми параметрами разница заключалась только в том, что событие № 8 наблюдалось в дневных условиях, а событие № 9 – в ночных.

В качестве иллюстрации, на рис. 8 приводятся временные последовательности dT_i для событий № 8 и 9 (см. таблицу). На рис. 8, в верхней части приведена временная последовательность dT_i для события № 8, а в нижней части в том же масштабе для события № 9 из таблицы. Из сравнения данных видно, что фоновый шум показаний часов Федченко, предшествующий сейсмической волне, в дневных условиях для события № 8 был приблизительно вдвое выше, чем в ночных для события № 9. Это могло маскировать феномен уменьшения дисперсии для события в дневных условиях его регистрации по аналогии с гипотезой о природе суточной и сезонной периодичности землетрясений [Децереvская, Сидорин, 2004а,б, 2005а,б; Сидорин, 2004, 2005].

Обсуждение результатов

Итак, в НИИ НАО была предпринята попытка использования для регистрации сейсмических волн показаний астрономических часов Федченко (АЧФ). В процессе анализа экспериментальных данных по показаниям АЧФ было обнаружено, что за несколько минут до прихода сейсмических волн от некоторых сильных землетрясений наблюдались специфические искажения показаний часов Федченко. Природу обнаруженного явления мы пока не можем объяснить. В качестве одной из возможных гипотез мы попытались рассмотреть возможность электромагнитного механизма возникновения обнаруженного явления.

Основанием для такого предположения могут служить, например, результаты работ [Поиск..., 1988; Soloviev et al., 2005]. Их авторы осуществляли одновременную регистрацию электромагнитного излучения и сейсмических волн, возникающих при проведении взрывов. В результате было обнаружено электромагнитное излучение, как опережающее приход сейсмических волн, так и совпадающее с ним. В частности, в работе [Soloviev et al., 2005], где скорость сейсмической волны составила $V_{PW} \approx 4$ км/с, наблюдалось предшествующее сейсмической волне электромагнитное излучение с периодом $T \approx 10$ мс. Его возникновение объяснялось электрическим дипольным излучением (ЭДИ) от источника взрыва. Образование и разделение электрических зарядов в эпицентре взрыва формирует электрический ток, обуславливающий наблюдавшееся низкочастотное ЭДИ. По оценкам, представленным в работе [Soloviev et al., 2005], скорость распространения электрического сигнала $V_{ЭДИ}$ составляла величину $V_{ЭДИ} \approx 38$ км/с.

Допуская сходство процессов при подземных взрывах и землетрясениях в качестве гипотезы можно предположить, что в эпицентре землетрясения формируется электрический ток определяющий ЭДИ. С точки зрения теоретических представлений весьма низкая по величине экспериментальная оценка скорости распространения электрического сигнала $V_{ЭДИ} \approx 38$ км/с, позволяет использовать для описания наблюдаемого явления низкочастотную асимптотику. В низкочастотном приближении [Ландау, Лифшиц, 1982], комплексный показатель преломления определяется выражением:

$$n = (\sigma / \epsilon_0 \omega)^{1/2} (1 - i) = (\sigma T / 2 \pi \epsilon_0)^{1/2} (1 - i), \quad (1)$$

Для групповой скорости $V_{ЭДИ}$ распространения электрического дипольного излучения в среде с показателем преломления n имеем:

$$V_{ЭДИ} = d\omega / dk = c / (d(\omega n) / d\omega) = 2c / n, \quad (2)$$

где c – скорость света в вакууме, σ – проводимость среды в См/м; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая проницаемость среды; T – период колебаний ЭДИ; i – мнимая единица. Тогда с помощью (1) и (2) получаем связь:

$$|V_{\text{эди}}| = 2c/(\sigma T/2\pi\epsilon_0)^{1/2}. \quad (3)$$

Согласно (1) модуль волнового вектора k ЭДИ можно представить в форме:

$$k = \beta - i\alpha = (\omega / V_{\text{эди}})(1 - i) = (\pi\sigma/2c^2T\epsilon_0)^{1/2}(1 - i) = 1.4 \cdot 10^{-3}(\sigma/T)^{1/2}(1 - i) \text{ м}^{-1}. \quad (4)$$

Так как мнимая часть волнового вектора определяет декремент затухания волны α , то согласно (4) получим:

$$\alpha = 1.4 \cdot 10^{-3}(\sigma/T)^{1/2}.$$

Понятно, что в реальных условиях проводимость среды существенно неоднородна и по глубине, и по трассе распространения сейсмических волн. Поэтому для грубых, сугубо качественных, оценок будем полагать, что проводимость среды составляет некоторое эффективное значение, сопоставимое с типичными значениями $\sigma \approx 10^{-5}$ С/м. Так как мнимая часть волнового вектора определяет декремент затухания волны α , то по известным значениям T и σ для 1-го события (см. таблицу) согласно (4) получим:

$$\alpha \approx 4.9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-1}.$$

Величина, обратная α : $\delta = 1/\alpha \approx 2400$ км, определяет глубину скин-слоя ЭДИ для среды с проводимостью $\sigma \approx 10^{-5}$ С/м. Следовательно, подобные сверхнизкочастотные электромагнитные волны с такими параметрами могут распространяться в литосфере с малыми потерями на большие расстояния.

Электромагнитное дипольное излучение из эпицентра землетрясения, воздействуя на индукционную катушку часов Федченко, могло приводить к возможным изменениям фазы качания маятника.

Рассмотренная гипотеза в своей основе поддерживается и результатами работ по одновременной регистрации сейсмических и электромагнитных колебаний из очага землетрясений одним прибором, которая осуществлялась сотрудниками Института физики Земли в Колорадо, США [Левин и др., 1988], на Камчатке [Гохберг и др., 1989], а также на Кавказе и в других регионах. Для регистрации этих сигналов были разработаны специализированный комплекс аппаратуры и методика выделения очень слабого электромагнитного сигнала из очага землетрясения на фоне сильных электромагнитных ионосферных и техногенных помех [Крылов и др., 1990]. Также была разработана теория генерации электромагнитных сигналов очагом землетрясений [Гульельми, Левшенко, 1994, 1995]. Все это обеспечило очень высокую достоверность сделанного в перечисленных работах вывода о существовании электромагнитного излучения из очага землетрясения.

Заключение

В работе представлены некоторые результаты использования астрономических часов Федченко для регистрации сейсмических волн от удаленных землетрясений в Николаевской астрономической обсерватории. Такая возможность обеспечивается тем обстоятельством, что эти часы представляют собой точнейший гравиметрический прибор, в основе которого использован вертикально подвешенный маятник, заключенный в герметичную колбу, внутри которой поддерживается вакуум на уровне около 4 мм ртутного столба.

Получены длительные временные ряды наблюдений. Их анализ подтвердил факт надежной регистрации с помощью часов Федченко не только землетрясений, но и приливов в твердой Земле. При анализе экспериментальных данных было обнаружено, что за несколько минут до прихода сейсмических волн от некоторых сильных землетрясений наблюдались специфические искажения показаний АЧФ. Их природа пока неясна.

Обзор литературных данных и оценочные расчеты показывают, что одним из гипотетических механизмов возникновения обнаруженного явления может быть электромагнитный. Для более определенных выводов нужны дополнительные исследования.

Благодарности

Авторы выражают благодарность рецензентам за их очень полезные замечания, а также терпение и неоднократное рецензирование одной за другой нескольких, постоянно улучшаемых версий статьи.

Литература

- Гохберг М.Б., Крылов С.М., Левшенко В.Т. Электромагнитное поле очага землетрясений // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308, № 2. С.62–65.
- Гульельми А.В., Левшенко В.Т. Электромагнитные сигналы от землетрясений // Физика Земли. 1994. № 5. С.65–70.
- Гульельми А.В., Левшенко В.Т. Вопросы теории сейсмоэлектромагнитных сигналов. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 12 с.
- Демидов В.Е. Время, хранимое как драгоценность. М.: Знание, 1977. 66 с.
- Децеровская Е.В., Сидорин А.Я. Особенности сезонной периодичности землетрясений Гармского полигона с разными энергетическими и пространственными характеристиками // Сейсм. приборы. 2004а. Вып. 40. С.45–56.
- Децеровская Е.В., Сидорин А.Я. Некоторые результаты изучения суточной периодичности землетрясений Гармского полигона // Сейсм. приборы. 2004б. Вып.40. С.57–70.
- Децеровская Е.В., Сидорин А.Я. Ложная годовая периодичность землетрясений, обусловленная сезонными изменениями помех // Докл. РАН. 2005а. Т. 400, № 6. С.798–802.
- Децеровская Е.В., Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений Гармского полигона // Докл. РАН. 2005б. Т. 402, № 3. С.383–387.
- Козырева Л.И., Мишина Р.Л., Сидорин А.Я. Организаторы первых инструментальных сейсмических наблюдений в России: И.Е. Кортацци (1837–1903) и Г.В. Левицкий (1852–1917) // Геофизические исследования. 2007. Вып. 7. С.146–147.
- Крылов С.М., Левшенко В.Т. Сейсмамагнитный датчик // Сейсм. приборы. М.: Наука, 1990. Вып. 21. С.3–8.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982.
- Левин Дж., Левшенко В.Т., Садовский А.М. О некоторых особенностях регистрации землетрясений безинерционным сейсмометром // Докл. АН СССР. 1988, Т. 300, № 2. С.326–328.
- Пипуныров В.Н. История часов. М.: Наука, 1982. 495 с.
- Поиск электромагнитных предвестников землетрясений / Под ред. М.Б. Гохберга. М.: ИФЗ, 1988. 243 с.
- Сидорин А.Я. Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум // Сейсм. приборы. 2004. Вып. 40. С.71–80.
- Сидорин А.Я. Полуденный эффект во временных рядах землетрясений и сейсмического шума // Докл. РАН. 2005. Т. 402, № 6. С.822–827.
- Сливинский А.П., Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Шульга А.В. Эффекты проявлений возмущений ионосферы над очагами подготовки румынских землетрясений // Геофиз. журн. 2008. Т. 30. С.95–104.
- Arora B.R., Kamal, Kumar A., Rawat G., Kumar N., Choubey V.M. First observations of free oscillations of the earth from Indian superconducting gravimeter in Himalaya // Current Science. 2008. V. 95, N 11. P.1611–1617.
- Nath K., Bhattacharya S.N., Vyas M., Pal I., Sengupta P., Mitra S., Mohanty W.K., Ganguli S.S. The great Sumatra–Andaman earthquake of 26 December 2004 as perceived from the broadband

seismograms of Indian Institute of Technology, Kharagpur Seismological Observatory // *Current Science*. 2005. V. 88, N 9. P.1381–1383.

Rhie J., Romanowicz B. Excitation of Earth's continuous free oscillations by atmosphere-ocean-seafloor coupling // *Nature*. 2004. V. 431. P.552–556.

Soloviev S.P., Sweeney J.J. Generation of electric and magnetic field during detonation of high explosive charges in boreholes // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110, B01312, doi:10.1029/2004JB003223.

Сведения об авторах

СЛИВИНСКИЙ Александр Петрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, научно-исследовательский институт “Николаевская астрономическая обсерватория”, Украина, 54030 г. Николаев, ул. Обсерваторная, д. 1; старший научный сотрудник, Украинский радиотехнический институт, Украина, 54031 г. Николаев, ул. Кирова, д. 238. E-mail: slivinsky_ap@mail.ru

БУШУЕВ Феликс Иванович – научный сотрудник, научно-исследовательский институт “Николаевская астрономическая обсерватория”, Украина, 54030 г. Николаев, ул. Обсерваторная, д. 1. E-mail: bushuev@mao.nikolaev.ua

КАЛЮЖНЫЙ Николай Афанасьевич – младший научный сотрудник, научно-исследовательский институт “Николаевская астрономическая обсерватория”, Украина, 54030 г. Николаев, ул. Обсерваторная, д. 1; ведущий инженер, Украинский радиотехнический институт, Украина, 54031 г. Николаев, ул. Кирова, 238. E-mail: knamylova@rambler.ru

The anomalies of Fedchenko astronomic clocks readings before some large earthquakes

A.P. Slivinskij^{1,2}, F.I. Bushuev¹, N.A. Kalyuzhny^{1,2}

¹ *Research Institute Nikolaev Astronomical Observatory, Nikolaev, Ukraine*

² *Ukrainian Radio Technical Institute, Nikolaev, Ukraine*

Abstract. On an instrumental complex of SRI NAO, by anomalous great deviations in the course of Fedchenko clock, seismic waves are revealed caused by some large earthquakes (the Kurils, Pakistan, Indonesia, The Molucca Sea, Turkey, Greece, etc). Several minutes before a seismic wave arrival, decrease of dispersions of Fedchenko astronomic clock readings presumably caused by arrival of an infra low frequency electromagnetic radiation from an epicenter of earthquake was observed.

Key words: earthquake precursors, Fedchenko astronomic clock, seismic waves.