

УДК 550.34

## ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЛИВНОГО ОТКЛИКА СРЕДЫ В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОКРЕСТНОСТИ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ЯПОНИИ

© 2011 г. Д.С. Молоденский, М.С. Молоденский

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Обсуждаются возможности предсказания катастрофических землетрясений по данным о временных изменениях приливного отклика. Приведены результаты гармонического анализа годичного ряда приливных наблюдений двумя длиннопериодными вертикальными сейсмометрами на ст. МАЮ (о-в Хонсю) вблизи эпицентра катастрофического землетрясения 11 марта 2011 г. магнитудой  $M_w=9$  и полугодичного ряда наблюдений горизонтальным маятником на ст. ERM вблизи о-ва Хоккайдо с 13.03.2010 г. по 12.03.2011 г. и с 26.04.2010 по 03.08.2010 г. соответственно. Выявлены относительные изменения приливных амплитуд величиной около 3 % и 4 %. Яркие выраженных прогностических признаков пока выделить невозможно, необходимо значительное расширение как пространственной, так и временной статистики. Для полноценной и обоснованной интерпретации результатов необходим анализ «фоновых» вариаций приливных амплитуд на указанных станциях, в частности их возможных сезонных изменений. Для этого требуются более длительные ряды наблюдения – в течение, как минимум, нескольких лет.

*Ключевые слова:* земные приливы, землетрясения, предвестники.

PACS: 91.45.Ga

### Введение

Катастрофическое землетрясение, которое произошло у северо-восточного побережья Японии 11 марта 2011 г. [Маловичко и др., 2011; Рогожин и др., 2011] дает уникальную возможность практически проверить идею С. Беамонта и Д. Берджера [Beaumont, Berger, 1974] о возможности предсказания землетрясений с помощью непрерывного мониторинга временных изменений приливного отклика. Этому способствуют следующие факторы: 1) очень большая энергия землетрясения (магнитуда  $M_w=9$ ) и, следовательно, большие размеры его очага, благодаря чему отпадает необходимость в использовании чрезмерно густой сети приливных станций; 2) наличие хорошей сети на-

блюдений с достаточно глубокими штольнями, не подверженными влиянию термоупругих деформаций, благодаря чему относительная погрешность определения амплитуд приливных волн по данным GSN-наблюдений оказывается очень низкой; 3) обнаружение предвестников этого землетрясения с помощью различных алгоритмов обработки данных сейсмических наблюдений [Любушин, 2011; Сидорин, 2011; Шебалин, 2011].

Как отмечалось в работах Д.С. Молоденского [2010а,б], идея С. Беамонта и Дж. Берджера смогла получить эффективное применение лишь в последние годы, с появлением GPS-данных о поле перемещений поверхности Земли в сейсмических регионах и глобальной сейсмической сети (GSN), содержащей приливные наклономерные и гравиметрические данные в окрестностях эпицентров сильных землетрясений до и после сильнейших сейсмических событий. Для оценки возможностей обсуждаемого метода в работе [Молоденский, 2010а] были приведены детальные расчеты временных изменений приливного отклика среды при малых изменениях модулей упругости, связанных с подготовкой землетрясения, и представлены результаты моделирования изменений во времени приливного отклика среды в окрестности предполагаемого очага землетрясения. Модель очага включала данные о протяженности и ориентации поверхности разлома, а также о величине разрыва касательной компоненты вектора смещений на ее противоположных берегах. Она строилась по GPS-данным о горизонтальных и вертикальных перемещениях земной поверхности.

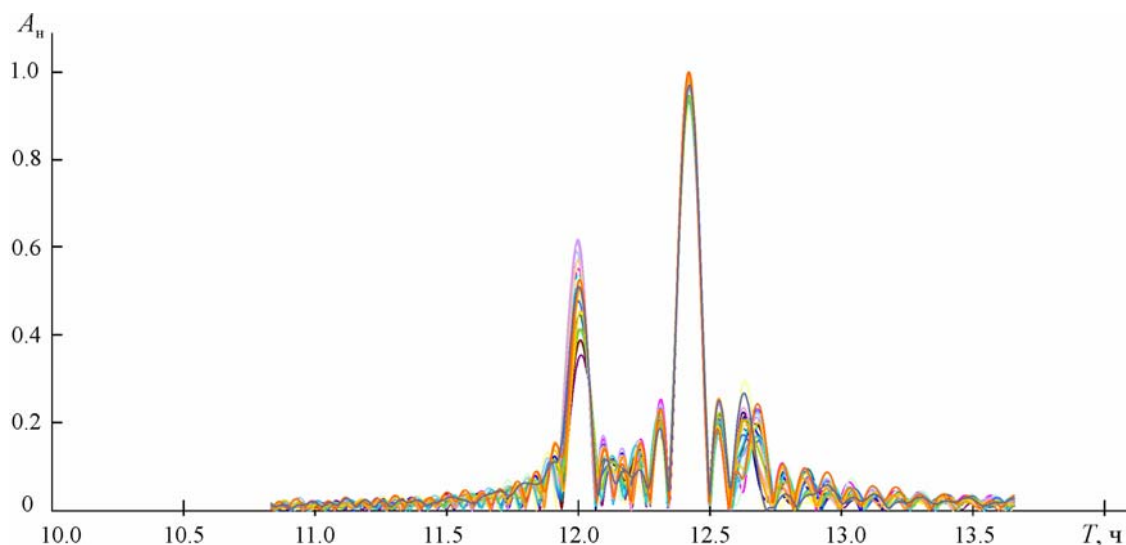
Для сравнения модельных расчетов с реальными данными в работе [Молоденский, 2010б] приведены результаты статистического анализа приливного отклика среды в окрестностях эпицентров землетрясений в Перу 2001 г., на Суматре 2004 г. и в Чили 2010 г. Было установлено, что во всех трех случаях перед землетрясением наблюдалось бухтообразное уменьшение амплитуд приливных наклонов, а после него происходил медленный возврат амплитуд к их исходному значению. Это можно объяснить релаксацией сдвиговых тектонических напряжений.

В настоящей работе приведены результаты гармонического анализа годичного ряда приливных наблюдений двумя длиннопериодными вертикальными сейсмометрами на ст. МАЮ на о-ве Хонсю вблизи эпицентра землетрясения и полугодичного ряда наблюдений горизонтальным маятником на ст. ERM вблизи о-ва Хоккайдо в период с 13.03.2010 г. по 12.03.2011 г. и с 26.04.2010 г. до 03.08.2010 г. соответственно.

### **Спектры приливных изменений ускорения силы тяжести и приливных наклонов на ст. ERM вблизи о-ва Хоккайдо**

На рис. 1 представлена спектральная плотность приливных изменений силы тяжести по результатам гармонического анализа годичного ряда (10.03.2010 г. – 12.03.2011 г.) приливных наблюдений двумя длиннопериодными вертикальными сейсмометрами на ст. МАЮ на о. Хонсю вблизи эпицентра землетрясения, происшедшего в Японии 11 марта 2011 г. Расчеты выполнены методом скользящего спектрального анализа с окном Гана, спектральная плотность оценивалась методом минимизации среднеквадратического отклонения анализируемого и синтезируемого рядов. Каждая кривая представляет спектральную плотность по интервалу длительностью 81 сут (три лунных месяца), шаг по времени – 13 сут, общая длительность анализируемого ряда – 367 сут, общее количество шагов –  $22 \cdot 13 + 81 = 367$ .

Как видно на рис. 1, изменения во времени полусуточной лунной приливной вариации с периодом 12.4 ч во много раз меньше тех же изменений для солнечной

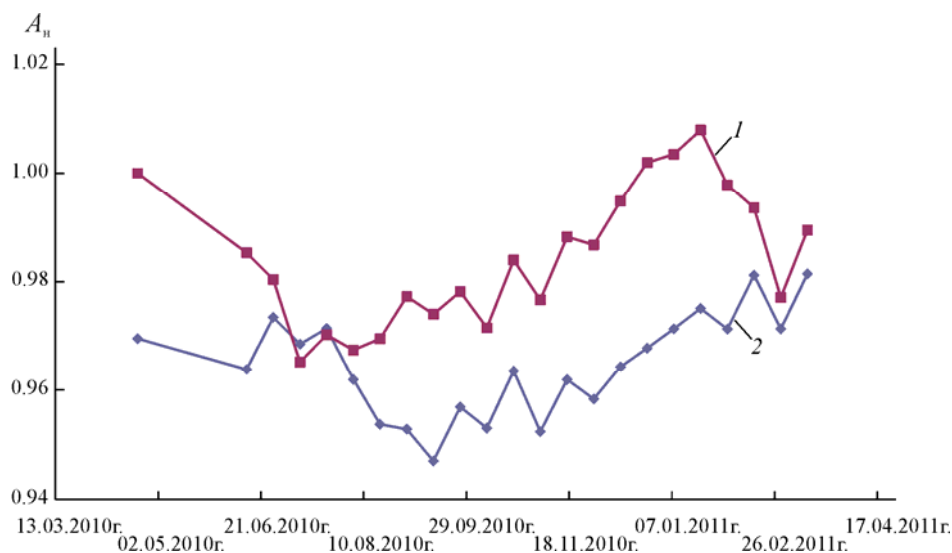


**Рис. 1.** Нормированная спектральная плотность приливных изменений силы тяжести по результатам гармонического анализа годового ряда приливных наблюдений двумя длиннопериодными вертикальными сейсмометрами на ст. МАЮ на о-ве Хонсю вблизи эпицентра землетрясения в период времени с 10.03.2010 г. по 12.03.2011 г. Расчеты выполнены методом скользящего спектрального анализа с окном Гана, спектральная плотность оценивалась методом минимизации среднеквадратического отклонения анализируемого и синтезируемого рядов

компоненты с периодом 12 ч. Связано это, по-видимому, с эффектами температурных воздействий (эффектов термоупругих деформаций и прямого воздействия температуры на длиннопериодный сейсмограф). Поскольку суточные колебания температуры происходят в основном с периодом 24 ч, в данном случае мы видим эффект первой гармоники. Поскольку температура, в отличие от приливной силы, изменяется не строго по гармоническому закону, первые несколько гармоник могут быть того же порядка, что и основная температурная волна с периодом 24 ч. Поэтому предположение о температурной природе колебаний амплитуд с периодом 12 ч представляется достаточно правдоподобным.

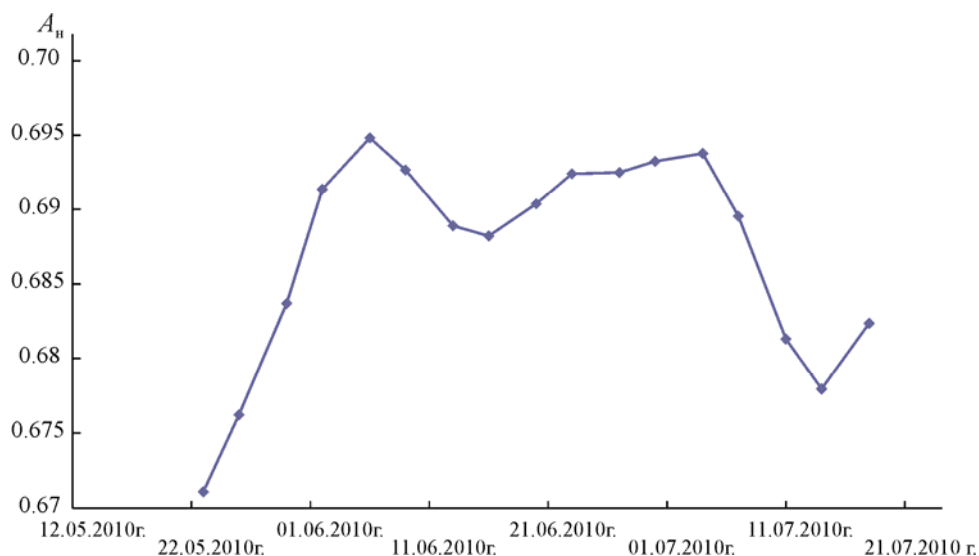
Вместе с тем обнаружение суточной периодичности землетрясений наводит на мысль о возможности воздействия на земную кору динамических процессов в атмосфере, где доминирует термический прилив с отчетливо выраженными максимумами спектра на периодах 24 и 12 ч [Сидорин, 2004, 2009а,б].

На рис. 2 представлены изменения во времени амплитуды  $A$  волны  $M_2$  приливных изменений силы тяжести с периодом 12.4 ч по результатам гармонического анализа годового ряда приливных наблюдений двумя длиннопериодными вертикальными сейсмометрами на ст. МАЮ на о-ве Хонсю вблизи эпицентра землетрясения в период с 13.03.2010 г. по 12.03.2011 г. Как видно, по обоим приборам получилась примерно одна и та же картина: в первые один-два месяца происходит довольно быстрое уменьшение приливной амплитуды (что соответствует увеличению модулей упругости), затем в течение 6–7 мес наблюдается длительный и сравнительно медленный рост амплитуды (что соответствует уменьшению модулей) и, наконец, в последний месяц происходят более резкие изменения амплитуд. Хорошая корреляция кривых свидетельствует о достаточной надежности результатов.



**Рис. 2.** Изменения во времени нормированной амплитуды волны  $M_2$  приливных изменений силы тяжести с периодом 12.4 ч по результатам гармонического анализа годового ряда приливных наблюдений двумя длиннопериодными вертикальными сейсмометрами на ст. МАЮ на о-ве Хонсю вблизи эпицентра землетрясения в период времени с 13.03.2010 г. по 12.03.2011 г.

На рис. 3 представлены изменения во времени нормированной амплитуды волны  $M_2$  по данным трехмесячной записи горизонтальным маятником на ст. ERM вблизи о-ва Хоккайдо в период с 26.04.2010 г. по 03.08.2010 г. Каждая точка представляет спектральную плотность по интервалу длительностью 54 сут (два лунных месяца). Шаг по времени равен 3.4 сут, общая длительность анализируемого ряда – 111.8 сут. Общее количество шагов – 17 ( $17 \cdot 3.4 + 54 = 111.8$ ).



**Рис. 3.** Изменения во времени нормированной амплитуды волны  $M_2$  по данным трехмесячной записи горизонтальным маятником на ст. ERM вблизи о-ва Хоккайдо в период с 26.04.2010 г. по 03.08.2010 г. Каждая точка представляет спектральную плотность на интервале длительностью 54 сут (два лунных месяца), шаг по времени – 3.4 сут, общая длительность анализируемого ряда – 111.8 сут, общее количество шагов – 17 ( $17 \cdot 3.4 + 54 = 111.8$ )

Как и на о. Хонсю в эпицентральной зоне, изменения амплитуд приливных наклонов также происходят в сравнительно узком диапазоне нормированных амплитуд (от 0.67 до 0.695), что свидетельствует о стабильной работе длиннопериодного горизонтального сейсмографа. Видно (как и для кривой 2 на рис. 2) резкое изменение амплитуд в последний месяц перед землетрясением.

Ярко выраженных прогностических признаков по рис. 2 и 3 выделить, конечно, невозможно, необходимо значительное расширение как пространственной, так и временной статистики (в том числе, с учетом данных через достаточно большое время после землетрясения). Однако сопоставление теоретических значений ожидаемых эффектов из работы [Молоденский, 2010а] (~30–50 %) с полученной относительной ошибкой наблюдений (менее ~3–4 %) показывает, что продолжение этих исследований вполне перспективно.

### Заключение

В результате проведенных исследований в пространственно-временной окрестности катастрофического землетрясения ( $M_w=9$ ) выявлены относительные изменения приливных амплитуд величиной около 3 % и 4 %. Ярко выраженных прогностических признаков пока выделить невозможно, необходимо значительное расширение как пространственной, так и временной статистики. Для полноценной и обоснованной интерпретации результатов необходим анализ «фоновых» изменений приливных амплитуд на указанных станциях, а также анализ их возможных сезонных изменений, для чего необходимы более длительные наблюдения в течение, как минимум, нескольких лет.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность А.Я. Сидорину за проявленный интерес к данной работе и многочисленные ценные замечания.

### Литература

- Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 г.: долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсам // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 9–35.
- Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В., Чепкунас Л.С. Катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. в Японии // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, № 1. С. 5–16.
- Молоденский Д.С. Моделирование изменений приливного отклика среды в процессе подготовки землетрясения // Сейсмические приборы. 2010а. Т. 46, № 3. С. 64–73.
- Молоденский Д.С. Изменения приливного отклика среды перед сильными землетрясениями // Сейсмические приборы. 2010б. Т. 46, № 4. С. 57–64.
- Рогожин Е.А. Строение очага землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. ( $M=9.0$ ) в Японии, его макро-сейсмические, сейсмологические и геодинамические проявления // Вопросы инженерной сейсмологии. 2011. Т. 38, № 1. С. 5–20.
- Сидорин А.Я. Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум // Сейсмические приборы. 2004. Вып. 40. С. 71–80.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений Греции // Сейсмические приборы. 2009а. Т. 45, № 3. С. 60–76.

- Сидорин А.Я.* Суточная периодичность землетрясений и ее сезонные изменения // Сейсмические приборы. 2009б. Т. 45, № 4. С. 69–84.
- Сидорин А.Я.* Выдающееся достижение Российской академии наук: успешный прогноз землетрясения в Японии 11 марта 2011 г. // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 5–8.
- Шебалин П.Н.* Широкомасштабная краткосрочная активизация сейсмичности перед сильнейшими землетрясениями Японии и Курил // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 36–46.
- Beaumont C., Berger J.* Earthquake prediction: modification of the earth tide tilts and strains by dilatancy // Geophys. J. Roy. Astr. Soc. 1974. V. 39, N 1. P. 111–122.

#### *Сведения об авторах*

**МОЛОДЕНСКИЙ Дмитрий Сергеевич** – аспирант, Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, г. Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (499) 766-26-56. E-mail: molodensky2008@rambler.ru

**МОЛОДЕНСКИЙ Михаил Сергеевич** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник. Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, г. Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (499) 766-26-56. E-mail: molodensky2008@rambler.ru

## **TIDAL RESPONSE CHANGES IN SPACE AND TIME VICINITY OF THE CATASTROPHIC EARTHQUAKE OF 11 MARCH, 2011 IN JAPAN**

**D.S. Molodenskiy, S.M. Molodenskiy**

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Abstract.** The possibilities of the strong earthquakes prediction on the base of tidal response temporal variations are discussed. The results of a spectral analysis of two years series data of gravity variations at the station MAJO near the epicentral zone of the catastrophic earthquake of 11 March, 2011 in Japan and of semiannual tiltmetric series at the station ERM near Hokkaido in time intervals between 13.03.2010 – 12.03.2011 and 26.04.2010 – 03.08.2010, respectively, are presented. Relative changes in tidal amplitudes about 3 % and 4 % are revealed. Up to now it is impossible to reveal the strongly pronounced prognostic attributes; the significant expansion of both spatial and time statistics are necessary. The high-grade and proved interpretation demands the analysis of background changes in tidal amplitudes at the specified stations and their possible seasonal changes for the maximally long series of the observations as a minimum, within several years.

*Keywords:* Earth tides, earthquake, prediction.