

**УДК 550.343.6+531.715.1+539.3**

***Боборыкина О.В., Насонкин В.А.***

## **О ВОЗМОЖНОСТИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАПИСЕЙ ЛАЗЕРНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ- ДЕФОРМОГРАФОВ**

В настоящее время проблема прогноза землетрясений является одной из актуальных и нерешенных задач естествознания. В основе современных методов прогноза лежит поиск предшествующих землетрясениям аномалий в различных геофизических полях. Деформационные предвестники занимают особое место в системе прогноза как наиболее информативные, поскольку первопричиной землетрясений являются процессы аналогичной природы.

Согласно современным представлениям, явления в земной оболочке, вызывающие землетрясения, в качестве характерного времени развития имеют годы и десятилетия. Помимо этого, сигналы, несущие информацию об этих процессах, чрезвычайно слабы по сравнению с техногенными шумами и метеорологическими процессами. Классическая сейсмологическая аппаратура для исследования долговременных предвестниковых явлений не предназначена.

На данный момент лазерные интерферометры являются наиболее чувствительными приборами для измерения деформаций Земли в широком диапазоне частот. Причем частотный диапазон начинается от нуля герц и ограничивается сверху лишь быстродействием электроники, что теоретически составляет десятки мегагерц.

В начале 80-х годов в Таврическом национальном университете были разработаны уникальные по точности, чувствительности и динамическому диапазону, большебазовые лазерные интерферометрические комплексы. Их частотный диапазон существенно превосходит частотный диапазон современных сейсмографов. Два комплекса установлено в Геофизической обсерватории университета в районе г. Севастополя (бухта Казачья) в подземных сооружениях бывшей 35-й батареи дальнобойных морских орудий, на глубине приблизительно 20 метров. В обсерватории с 1987 г. ведутся синхронные измерения литосферных деформаций, метеорологических параметров и геофизических полей. Обсерватория ТНУ уникальна не только из-за используемой в ней аппаратуры, но и благодаря исключительной стабильности метеорологических параметров в измерительной полости. Существенное значение имеет стационарное энергоснабжение комплекса.

Степень подобия данных, получаемых на измерительных комплексах, иллюстрирует рисунок 1. На нём изображены записи землетрясения, произошедшего 11 ноября 1999 года на территории Турции. Его магнитуда оценивается величиной 5.7, а расстояние – около 500 км от места наблюдения.

Приведенные записи сделаны двумя независимыми интерферометрами. Коэффициент корреляции между последовательностями данных составляет 0.989. Протяженность временного интервала записей равна 16 минутам. Масштаб по вертикали равен единице аналого-цифрового преобразования сигнала, поступающего от системы регистрации измерительного комплекса.

В результате предшествующих многолетних исследований были, в частности, обнаружены деформации не приливного происхождения с периодами свыше одного часа, которые получили название сверхдлиннопериодных литосферных деформаций. Было установлено, что в некоторых случаях, такие деформации предшествуют сильным региональным землетрясениям. Одной из причин возникновения такого рода деформаций, могут быть собственные колебания уровня жидкости в Черном и Азовском морях [1].

Перспективность изучения деформаций, вызванных собственными колебаниями Черного моря, связана с тем, что очаги большинства крымских землетрясений находятся на дне моря. Следовательно, собственные колебания Черного моря могут возбуждаться как сейсмическими событиями, так и деформационными процессами, им предшествующими. Поскольку собственные колебания Черного моря имеют довольно высокую добротность (порядка 10), мы получаем некоторый природный механизм генерирования предвестниковых процессов.

Самым заметным сейсмическим событием 1999 года в Черноморском регионе, безусловно, следует считать землетрясение магнитудой 7.5, произошедшее 17 августа вблизи города Измит (Турция). На этом примере удобно изложить схему предлагаемой нами прогностической методики. Сначала данные, полученные на тестовом временном интервале, разбиваются на пересекающиеся сегменты. Затем каждая из этих реализаций подвергается предварительной обработке с целью исключения эффектов, рассматриваемых по тем или иным причинам как помехи. Сюда включаются процедуры цифровой фильтрации, компенсации приливов, поточечного умножения на весовую функцию и т.п. Именно из-за использования весовых функций целесообразно применять «перекрывающиеся» сегменты, поскольку в противном случае вклад в итоговую спектральную оценку данных из начальных и завершающих интервалов каждого из сегментов будет непропорционально мал.

На следующем этапе вычисляются оценки спектральной плотности мощности (СПМ) по каждой последовательности. В заключение определяются диапазоны частот (периодов), в пределах которых производятся оценки суммарной мощности сигнала в данном частотном диапазоне и строятся зависимости этих величин от номера того сегмента данных, на основе которого получены эти оценки. Для наглядности представления результатов каждому номеру сегмента данных можно, руководствуясь произвольным условным правилом, сопоставить момент времени из того временного интервала, к которому исходная последовательность данных принадлежит. Так на представленных ниже рисунках числа, указанные вдоль горизонтальных осей графиков, соответствуют суткам, прошедшим с момента начала тестового временного интервала.

Эти рассуждения иллюстрируются рисунками 2 -- 4 для серии наблюдений, которую мы в ссылках упоминаем с индексом (а). Естественно, выбор диапазонов периодов, их количество, степень перекрытия сегментов данных между собой в известном смысле носят субъективный характер. Однако, безусловно, объективным является существенно нестационарный характер поведения получаемых в результате последовательностей.

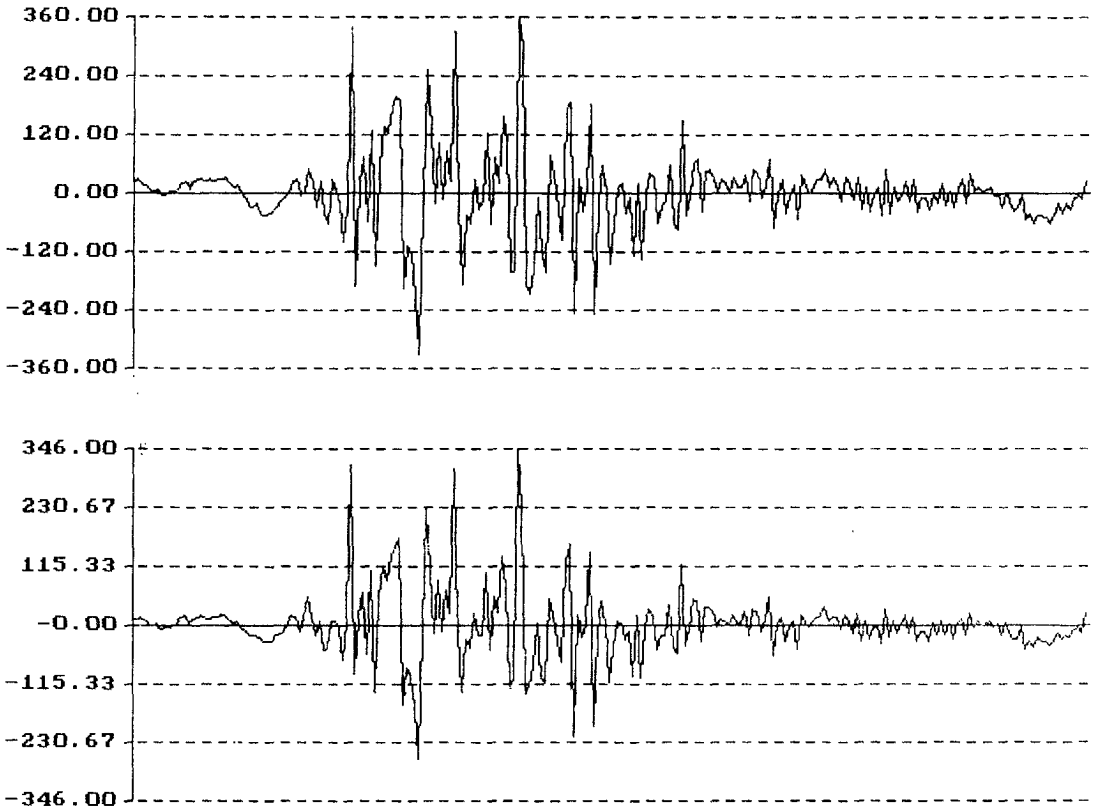


Рис. 1. Запись землетрясения, выполненная синхронно двумя интерферометрическими комплексами 11 ноября 1999 года

Для того чтобы сделать предварительные выводы о возможных причинах столь ярко выраженной нестационарности, в Таблице 1 приводятся данные о погоде, которые были зафиксированы наблюдателем на интерферометрической станции в течение тестового промежутка. В этой же таблице содержится информация о времени, на протяжении которого накапливались исходные данные о деформациях.

## О возможности краткосрочного прогноза землетрясений на примере записей лазерных интерферометров деформографов

Нетрудно видеть, что такое поведение СПМ не может быть объяснено только динамикой метеорологических параметров.

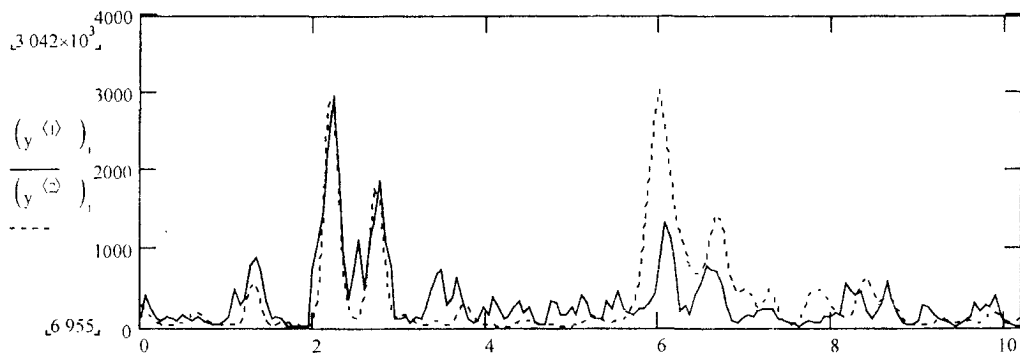


Рис. 2а. Результаты анализа данных, зарегистрированных накануне землетрясения 17.08.99, серия (а).

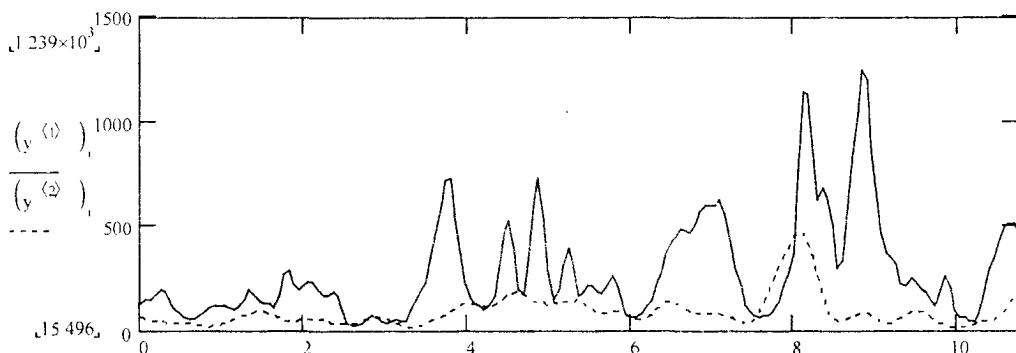


Рис. 2б. Результаты анализа данных, предложенных для сравнения. Диапазон периодов последовательностей представленных сплошными кривыми: 212 – 540 минут, точечными кривыми: 121 – 212 минут, серия (б).

В качестве материала, иллюстрирующего типичную динамику СПМ, получаемую в результате анализа данных, предлагаются рисунки для серии (б) и собранные в Таблице 2 данные о погоде в районе наблюдений. Основная причина, по которой мы сравниваем эти две последовательности измерений, заключается в существенной схожести между собой отмеченных погодных проявлений. Не трудно заметить, что погода в течение серии (б) была даже несколько более беспокойной по сравнению с погодой в течение серии (а).

Из приведенных рисунков видно, что максимальные значения спектральной плотности мощности в сопоставимых диапазонах частот для серии (а) существенно превосходят аналогичные величины в серии (б). Наиболее ярко это отличие демонстрируют рисунки 3а и 3б. В качестве одного из возможных критериев

степени нестационарности процесса в диапазоне периодов можно выбрать отношение максимального значения СПМ к её минимальному значению. Чем больше эта величина, тем, очевидно, сильнее нестационарность в данном частотном диапазоне. В Таблице 3 приводятся значения указанной характеристики для обеих серий наблюдений во всех рассматриваемых диапазонах периодов. В четвёртом столбце указаны отношения значений величин, характеризующих серии наблюдений.

Разумеется, можно предложить и другие определения для лаконичной характеристики поведения СПМ. В основе схемы анализа геофизических данных, предлагаемой авторами, лежит безусловно нестационарный характер этого поведения. Мы полагаем, что для столь сложного, информационно запутанного процесса, каковым являются деформационные процессы в литосфере, такой подход к проблеме прогноза землетрясений окажется плодотворным.

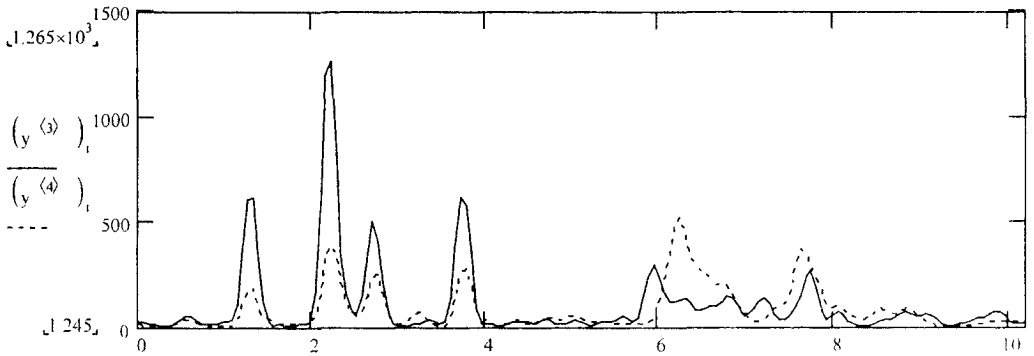


Рис. 3а. Результаты анализа данных, зарегистрированных накануне землетрясения 17.08.99, серия (а).

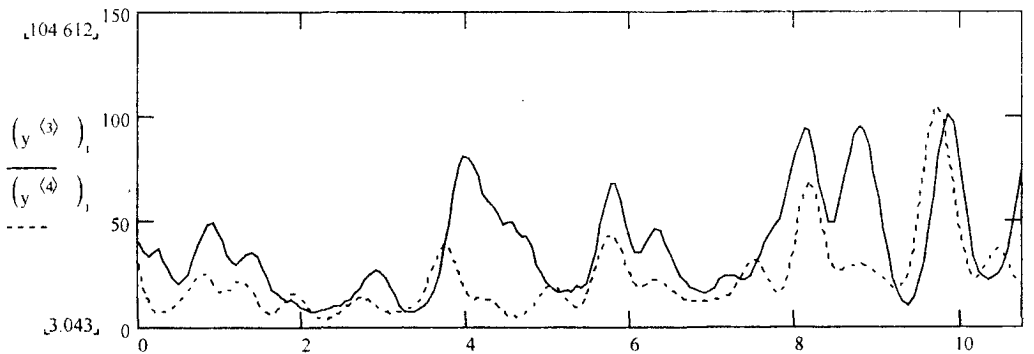


Рис. 3б. Результаты анализа данных, предложенных для сравнения. Диапазон периодов последовательностей представленных сплошными кривыми: 79 – 121 минута, точечными кривыми: 59 – 79 минут, серия (б).

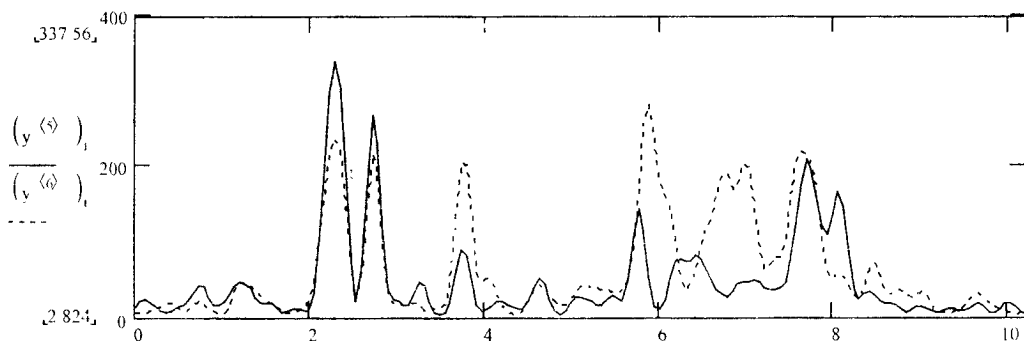


Рис. 4а. Результаты анализа данных, зарегистрированных накануне землетрясения 17.08.99, серия (а).

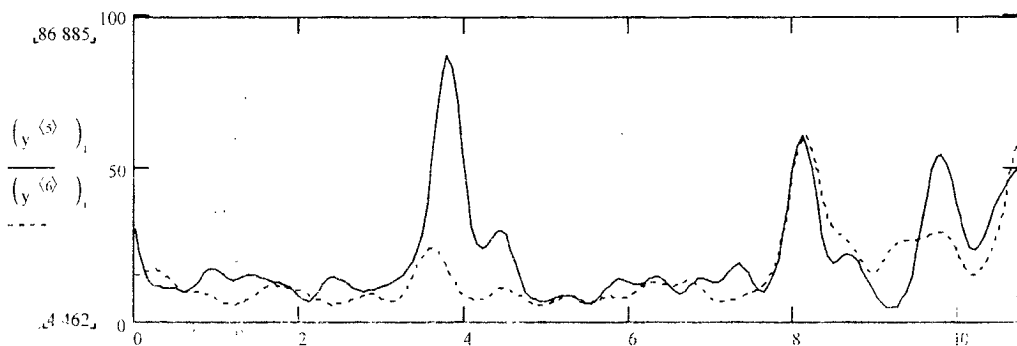


Рис. 4б. Результаты анализа данных, предложенных для сравнения. Диапазон периодов последовательностей представленных сплошными кривыми: 44 – 59 минут, точечными кривыми: 33 – 44 минуты, серия (б).

По вышеизложенной совокупности фактов мы выдвигаем предположение, что причиной необычного поведения СПМ в течение декады накануне землетрясения в Измите могли быть геодинамические процессы, протекавшие в очаговой области в это время.

Однако проблема предсказания землетрясений не может быть решена на основе только узкоспециальных методов. Очевидно лишь комплексный подход, использующий всё разнообразие предлагаемых современной наукой методов, внушает надежду на успех. Сложное финансовое положение государства не только не позволяет создавать современные центры сбора необходимой информации, но даже не даёт возможности сохранять в дееспособном состоянии прежнюю исследовательскую аппаратуру. В этой связи авторы выражают признательность руководству Крымского Экспертного Совета, в рамках хоздоговора с которым были

получены средства на восстановление и модернизацию лазерных измерительных комплексов.

Таблица 1

Информация о погоде во время измерений в канун землетрясения 17.08.99.

Индекс аргумента	Часы	Дата	Давлен.	Направление и сила ветра	Состояние моря
0,5	0	7.08.99	756	штиль	штиль
1,0	12	7.08.99	755	штиль	штиль
1,5	0	8.08.99	754	штиль	штиль
2,0	12	8.08.99	754	«С-З», лёгкий	1 балл
2,5	0	9.08.99	754	штиль	штиль
3,0	12	9.08.99	754	«З», лёгкий	2 балла
3,5	0	10.08.99	754	штиль	штиль
4,0	12	10.08.99	756	«С», лёгкий	1 балл
4,5	0	11.08.99	755	штиль	штиль
5,0	12	11.08.99	755	штиль	штиль
5,5	0	12.08.99	755	штиль	штиль
6,0	12	12.08.99	753	штиль	штиль
6,5	0	13.08.99	753	штиль	штиль
7,0	12	13.08.99	753	«Ю», слабый	2 балла
7,5	0	14.08.99	750	штиль	штиль
8,0	12	14.08.99	750	«Ю-З», слабый	2 балла
8,5	0	15.08.99	752	«С-В»,	3 балла
9,0	12	15.08.99	755	«С-В»,	3 балла
9,5	0	16.08.99	756	штиль	штиль
10,0	12	16.08.99	756	штиль	штиль
10,5	0	17.08.99	756	штиль	штиль

Таблица 2

Информация о погоде во время сбора данных, выбранных для сравнения

Индекс аргумента	Часы	Дата	Давлен.	Направление и сила ветра	Состояние моря
1	2	3	4	5	6
0,5	0	21.03.99	751	штиль	штиль
1,0	12	21.03.99	751	«С-З», слабый	2 балла
1,5	0	22.03.99	753	«С-З»,	3 балла

**О возможности краткосрочного прогноза землетрясений на примере записей лазерных интерферометров деформографов**

1	2	3	4	5	6
2,0	12	22.03.99	755	штиль	штиль
2,5	0	23.03.99	756	штиль	штиль
3,0	12	23.03.99	760	«Ю-В», лёгкий	1 балл
3,5	0	24.03.99	760	«Ю-В», слабый	2 балла
4,0	12	24.03.99	757	«Ю-В»,	3 балла
4,5	0	25.03.99	757	«Ю», слабый	2 балла
5,0	12	25.03.99	758	«С-З»,	3 балла
5,5	0	26.03.99	760	«С-В», сильный	4 балла
6,0	12	26.03.99	760	штиль	штиль
6,5	0	27.03.99	761	штиль	штиль
7,0	12	27.03.99	761	штиль	штиль
7,5	0	28.03.99	758	штиль	штиль
8,0	12	28.03.99	755	«С», лёгкий	1 балл
8,5	0	29.03.99	753	штиль	штиль
9,0	12	29.03.99	753	штиль	штиль
9,5	0	30.03.99	754	штиль	штиль
10,0	12	30.03.99	754	штиль	штиль
10,5	0	31.03.99	754	штиль	штиль

Таблица 3

Сравнение отношения значений максимумов к минимумам в двух сериях наблюдений

Дианазоны периодов	Серия (а) (Max/Min)	Серия (б) (Max/Min)	(а)/(б)
212 – 540 минут	425,2	55,99	7,59
121 – 212 минут	297,1	29,79	9,97
79 – 121 минута	271,0	14,49	18,7
59 – 79 минут	416,0	34,41	12,1
44 – 59 минут	119,5	19,47	6,14
33 – 44 минуты	74,59	11,77	6,34

**Список литературы**

- 1 Нестеров В.В. Большебазовые лазерные интерферометры в геофизических исследованиях – Симферополь: Таврия, 1996. – 285 с.

Статья поступила в редакцию 05.04.2001 г.