

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Юшко В.А.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский,
vikayushko@rambler.ru*

Введение

В течение нескольких десятилетий на Камчатке ведется мониторинг электротеллурического поля (ЭТП) с целью обнаружения предвестников землетрясений [3]. В основе многолетнего эксперимента лежит предположение о том, что процессы подготовки землетрясений находят отклик в вариациях ЭТП [6]. Камчатским филиалом Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) проводится регистрация разности электротеллурических потенциалов на системах измерительных линий трех пунктов наблюдений, в том числе на пункте Верхняя Паратунка (ВП).

Одновременное комплексное воздействие различных факторов влияния внешнего и внутреннего происхождения проявляется в широком диапазоне частот, что чрезвычайно усложняет интерпретацию временных рядов ЭТП и затрудняет выделение аномальных сигналов, связанных с сейсмичностью. Поэтому обработка экспериментальных данных регистрации ЭТП должна выполняться с учетом влияния внешних и внутренних факторов влияния. В настоящей работе в качестве внешнего фактора влияния на изменения ЭТП рассматриваются вариации среднесуточного К-индекса геомагнитной активности Земли [1]. В качестве внутреннего фактора, вызывающего сезонные изменения разности электротеллурических потенциалов, используются данные о вариациях температуры воздуха.

Целью данной работы являлось исследование вариаций разности электротеллурических потенциалов на трех измерительных линиях пункта ВП для выделения сигналов синхронизации в их совместном поведении (как возможных предвестников сильных землетрясений) с учетом сезонного фактора и геомагнитной активности. Обработка данных проводилась с использованием методов фрактального анализа и канонических когерентностей для выделения сигналов синхронизации в изменениях шумовых компонент ЭТП на пункте ВП. В работе использовались программные средства, разработанные д. ф.-м. н. А.А. Любушиным и детально описанные в [4, 5].

В работе использовались часовые временные ряды данных наблюдений за вариациями разностей электротеллурических потенциалов на линиях 1, 3, 4, на пункте ВП за период с 1.10.1996 г. по 23.06.2001 г. (рис. 1). Привлекались данные о среднесуточных вариациях температуры воздуха, полученные с метеостанции «Пионерская» Камчатского гидрометеоцентра, а также временной ряд среднесуточных вариаций К-индекса геомагнитной активности, предоставленный Институтом космофизических исследования и распространения радиоволн ДВО РАН. Кроме этого, использовались данные о сильных ($M \geq 6.3$) землетрясениях, произошедших на Камчатке в течение рассматриваемого интервала времени (табл.).

Таблица. Характеристика сильных землетрясений, произошедших в 1996 – 2001 гг.

Дата дд.мм.гггг	Координаты		Глубина, км	M_s	$K_s^{Ф68}$	R, км	Балл MSK-64
	град., с.ш.	град., в.д.					
05.12.1997	54.64	162.55	10	7.9	15.5	354	5
01.06.1998	52.81	160.37	31	6.3	13.8	151	4-5
08.03.1999	51.93	159.72	7	6.9	14.3	148	4-5

Примечание: M_s – магнитуда, определяемая по поверхностным волнам в Геофизической службе РАН, г. Обнинск; $K_s^{Ф68}$ – энергетический класс землетрясений, определяемый по S-волнам в КФ ГС РАН [8]; R – гипоцентральное расстояние землетрясений до пункта ВП; балл MSK-64 – бальность в районе г. Петропавловск-Камчатский по данным КФ ГС РАН.

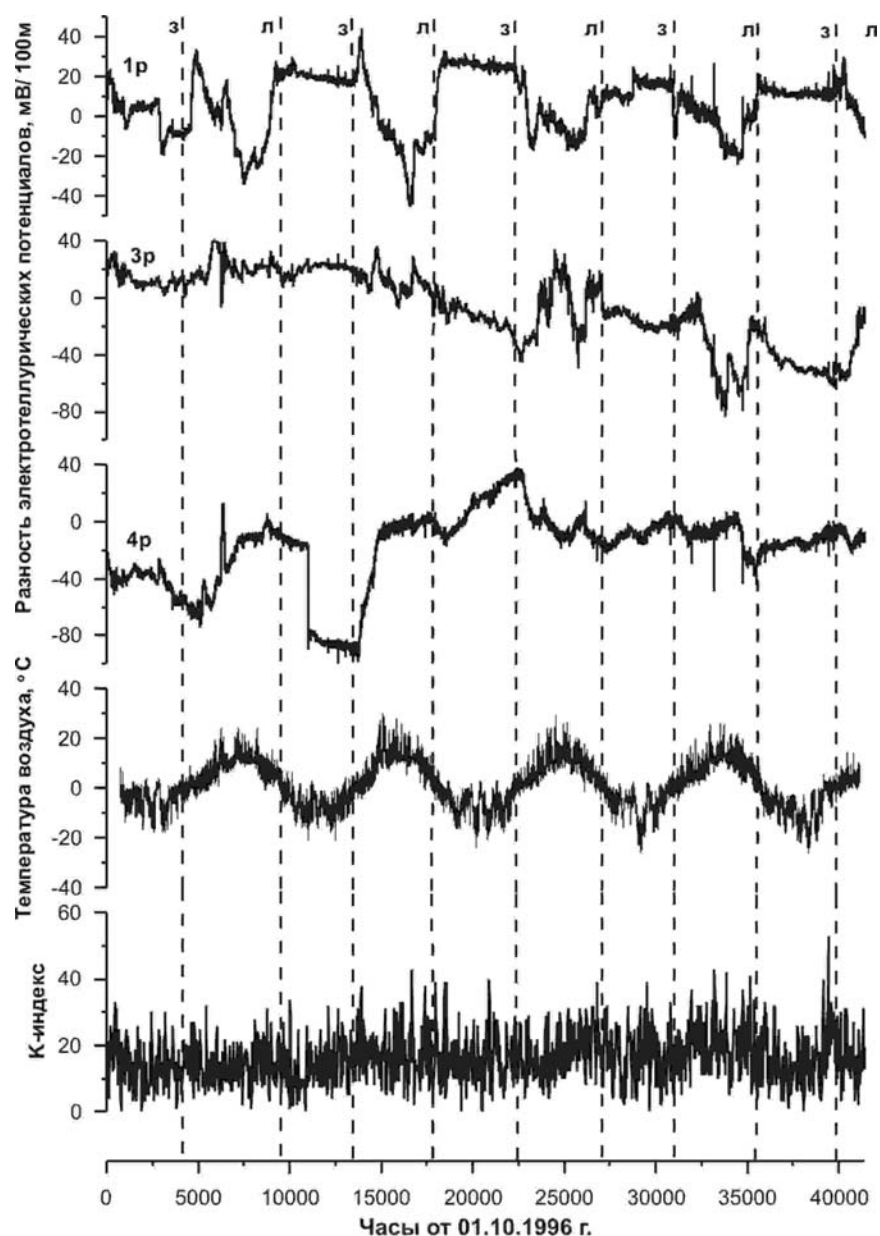


Рис. 1. Часовые вариации разности электротеллурических потенциалов на измерительных линиях 1р, 3р, 4р пункта Верхняя Паратунка, изменение температуры воздуха и вариаций К-индекса магнитной активности за период 01.10.1996 – 23.06.2001 гг. Пунктирными линиями обозначены времена перехода среднесуточных температур воздуха через 0°C . Буквой «з» показаны интервалы времени с отрицательными температурами воздуха, буквой «л» - с положительными температурами воздуха.

Методика анализа данных

Временные ряды данных геофизических наблюдений после исключения детерминированных циклических трендов сезонного характера проявляют черты самоподобного поведения на различных временных масштабах. Анализ фрактальных и мультифрактальных свойств временных рядов данных геофизического мониторинга применим для таких сигналов, которые с точки зрения спектральной теории являются не более чем случайным процессом (белым шумом) [2]. В данной работе проводится анализ фрактальных свойств временных рядов данных электротеллурических наблюдений с применением методики, детально описанной в работе [4]. При этом осуществлялся переход от исходных часовых временных рядов к характеристикам их мультифрактальных спектров сингулярности, характеризующих общие свойства их статистических флуктуаций.

Оценка спектров сингулярности временных рядов данных электротеллурических наблюдений осуществлялась с помощью программы F(Alfa)_DFA, позволяющей анализировать флуктуации после исключения масштабно-зависимых трендов. Использование вариаций разностей электротеллурических потенциалов с исключенными масштабно-зависимыми трендами

направлено на подавление факторов сезонности и на выделение шумовых составляющих в изменениях ЭТП по направлениям измерительных линий.

Способ оценки спектров сингулярности основан на построении зависимости размаха выборки от ее длины и близок к технике известного американского гидролога Херста, выполнившего анализ фрактальных свойств временных рядов среднегодового расхода воды в реках [7]. Построение спектров сингулярности учитывает эмпирическое соотношение Херста:

$$R(\tau)/\sigma(\tau) = \tau^H$$

где $R(\tau)$ - разность между максимальными и минимальными значениями приращений наблюдаемой величины на временном интервале длиной τ , $\sigma(\tau)$ - стандартное отклонение, $0 < H < 1$ – показатель Херста [7], и предполагает наличие у временного ряда свойств самоподобия.

Для самоподобного процесса $X(t)$ среднее значение квадрата приращений выражается как $\langle |X(t + \delta t) - X(t)|^2 \rangle \sim |\delta t|^{2H}$, где δt - шаг по времени. Если допустить зависимость постоянной Херста от времени $\langle |X(t + \delta t) - X(t)|^2 \rangle \sim |\delta t|^{2H(t)}$, $0 < H(t) < 1$, то распределение вероятности значений $H(t)$ описывается мультифрактальным спектром сингулярности $F(\alpha)$. Спектр сингулярности равен фрактальной размерности множества точек, для которых $|X(t + \delta) - X(t)| \sim |\delta|^\alpha$, $\delta \rightarrow 0$ и в окрестности которых показатель Гельдера-Липшица равен α [2, 5, 7].

Спектры сингулярности временных рядов вариаций разностей электротеллурических потенциалов на линиях 1р, 3р и 4р, построенные в скользящем временном окне длиной 672 ч (28 сут) приводятся на рис. 2. Характеристическими параметрами каждого спектра являются: α_{\min} – минимальное значения показателя Гельдера-Липшица; α_{\max} – максимальное значение показателя Гельдера-Липшица; α^* - обобщенный показатель Херста; $F(\alpha^*)$ – фрактальная размерность носителя меры.

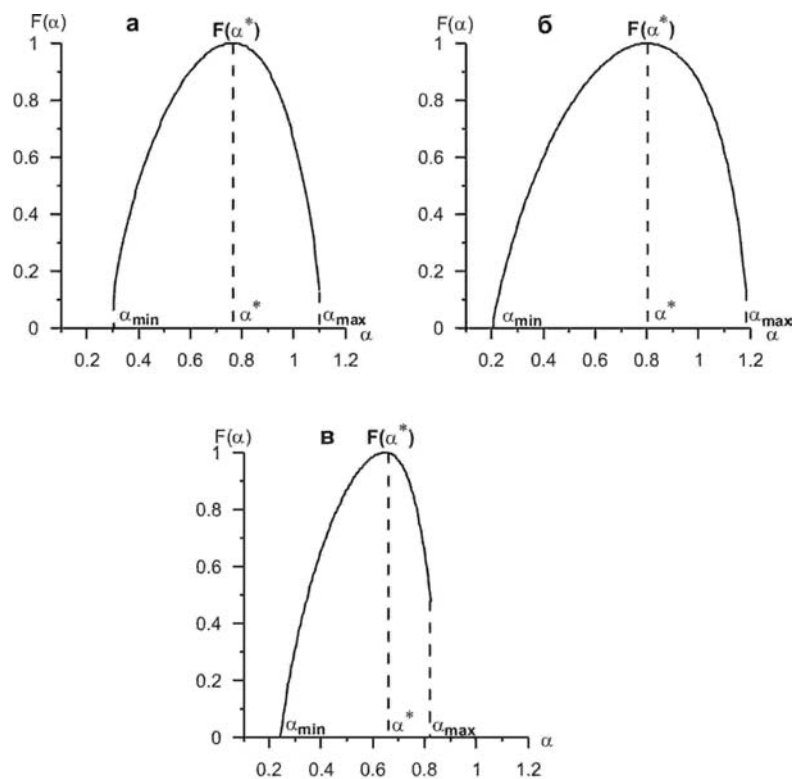


Рис. 2. Мультифрактальные спектры сингулярности, построенные для первого временного окна длиной 672 ч (28 суток) по данным регистрации разности электротеллурических потенциалов на линиях 1р (а), 3р (б), 4р (в) в диапазоне времен от 30 до 135 ч. Характеристические параметры спектра сингулярности: α^* - обобщенный показатель Херста, α_{\max} и α_{\min} – минимальное и максимальное значение показателя Гельдера-Липшица, $F(\alpha^*)$ – фрактальная размерность носителя меры.

Следует отметить, что для каждого спектра сингулярности его характеристические параметры принимают различные значения ($\alpha_{\min}=0.2-0.3$, $\alpha_{\max}=0.83-1.18$, $\alpha^*=0.66-0.8$). Такое различие может быть связано с особенностями геологических условий в областях заложения измерительных линий и свидетельствует об индивидуальном поведении шумовых компонент отдельных временных рядов и характеризует мультифрактальный процесс.

В совокупном поведении параметров спектров сингулярности для трех временных рядов данных электротеллурических наблюдений достаточно сложно выявить аномальные изменения (рис. 3). Поэтому в качестве предмета дальнейшего изучения рассматривались вариации обобщенного показателя Херста α^* , как наиболее характерного параметра спектра сингулярности, реализующего его максимум (рис. 2).

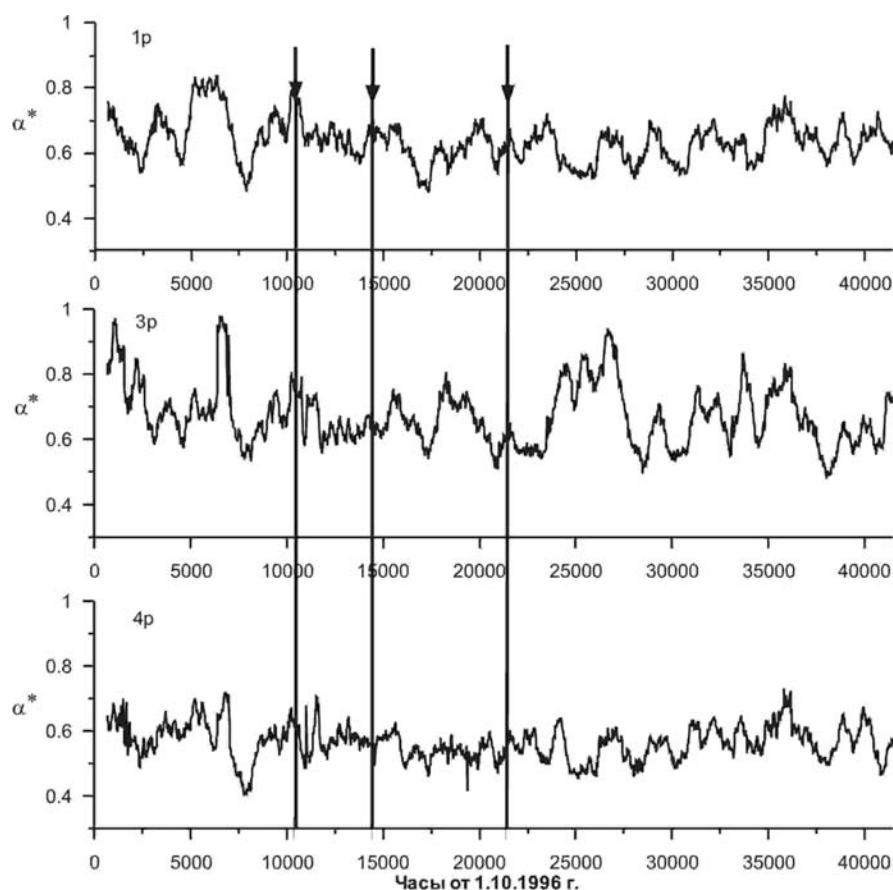


Рис. 3. Графики изменения обобщенных показателей Херста для временных рядов разностей электротеллурических потенциалов на линиях 1р, 3р и 4р в зависимости от правого конца скользящего временного окна длиной 672 ч. Вертикальными линиями показаны моменты землетрясений 5.12.1997 г., 1.06.1998 г., 8.03.1999 г. (табл.). Временной интервал 1.10.1996 г. 0 ч – 23.06.2001 г. 23 ч.

В вариациях обобщенных показателей Херста не прослеживаются ярко выраженные аномальные изменения, связанные с произошедшими сильными землетрясениями (рис. 3). Поэтому проводился многомерный анализ трёхмерного ряда вариаций обобщенного показателя Херста с использованием аппарата канонических когерентностей [2], направленного на выделение сигналов увеличения коллективного (синхронного, когерентного) поведения компонентов анализируемого многомерного временного ряда в частотно-временной области (рис. 4). Использовался алгоритм, основанный на вычислении покомпонентных канонических когерентностей многомерного ряда, характеризующих связанность на частоте ω вариаций i -той компоненты с вариациями совокупности всех прочих компонент. Такой подход позволяет рассчитывать частотно-зависимые статистики, характеризующие степень синхронного поведения компонентов многомерного временного ряда в скользящем временном окне заданной длины.

Построение частотно-временных диаграмм эволюции логарифма спектра мощности среднесуточных вариаций К-индекса (рис. 4) проводилось с помощью программы разведочного анализа свойств временных рядов Spectra_Analyzer, предоставленной А.А. Любушиным [5].

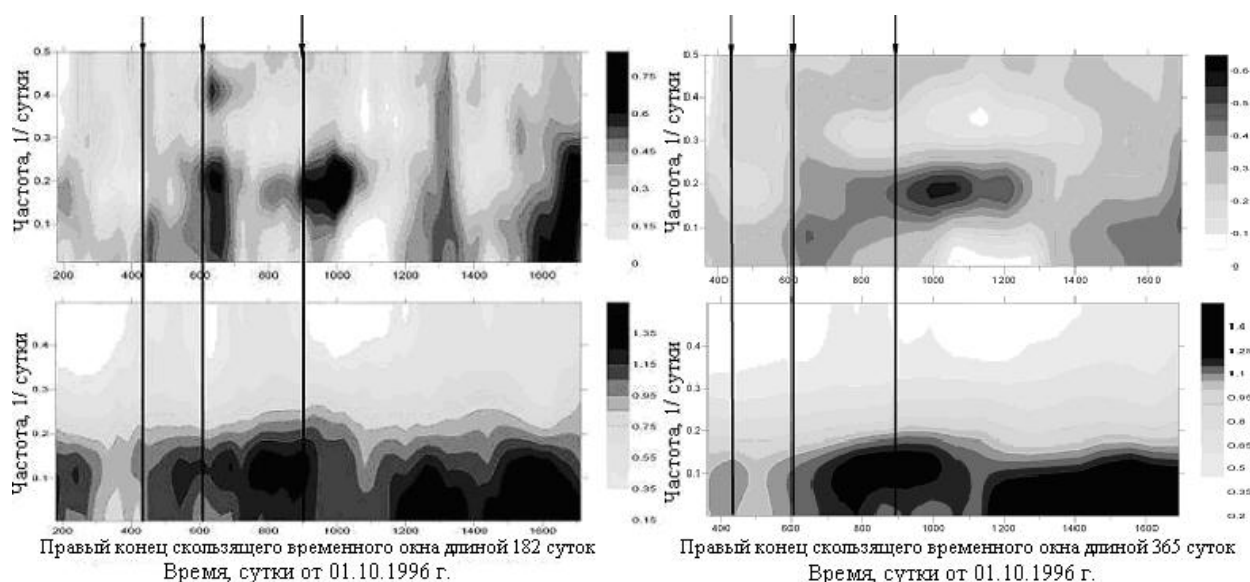


Рис. 4. Сопоставление частотно-временных диаграмм эволюции произведения покомпонентных канонических когерентностей 3-мерного временного ряда обобщенных показателей Херста (верхняя диаграмма) и логарифма спектра мощности вариаций среднесуточного К-индекса магнитной активности (нижняя диаграмма), построенных в эффективных окнах длиной 182 суток и 365 суток. Рассматриваемый диапазон частот 0.5–0.011 сут⁻¹. Вертикальными линиями обозначены моменты сильных ($M \geq 6.3$) землетрясений (табл.).

Заключение

1. С использованием алгоритмов фрактального анализа, разработанных А.А. Любушиным [2, 4, 5], построены временные ряды параметров спектра сингулярности для вариаций разностей электротеллурических потенциалов на трех измерительных линиях пункта Верхняя Паратунка. В качестве наиболее представительного параметра, характеризующего изменчивость шумовых свойств вариаций теллурических потенциалов на отдельных измерительных линиях, выбран обобщенный показатель Херста.

2. Для диагностики скрытых сигналов синхронизации в изменении шумовых компонент 3-мерного временного ряда вариаций обобщенных показателей Херста выполнен анализ эволюции произведения покомпонентных канонических когерентностей в частотно-временной области в сопоставлении с сезонными изменениями температуры воздуха, мощностью вариаций среднесуточного К-индекса геомагнитной активности и моментами сильных землетрясений.

3. Обнаружено, что сигналы синхронизации в изменениях шумовых компонент разности электротеллурических потенциалов по времени могут соответствовать повышенной возмущенности геомагнитного поля Земли и весенне-летним периодам с положительными температурами воздуха. Отдельные сигналы синхронизации по времени соответствуют периодам подготовки и реализации наиболее сильных ($M \geq 6.3$) землетрясений на гипоцентральных расстояниях до 150 км от наблюдательного пункта.

Список литературы

1. Амиантов А.С., Зайцев А.Н., Одинцов В.И., Петров В.Г. Вариации магнитного поля Земли: База цифровых данных магнитных обсерваторий России за период 1984-2000 гг. М.: СтройАрт, 2001. 52 с.
2. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука, 2007. 228 с.
3. Любушин А.А., Копылова Г.Н. Многомерный вейвлет-анализ временных рядов электротеллурических наблюдений на Камчатке // Физика Земли. 2004. № 2. С. 82-96.
4. Любушин А.А., Максютова М.В. Мультифрактальные меры синхронизации геофизических временных рядов // Геофизика столетия: 2006 год. Сб. трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского. Тверь: ООО Издательство ГЕРС, 2007. С. 403-409.
5. Любушин А.А., Соболев Г.А. Мультифрактальные меры синхронизации микросейсмических колебаний в минутном диапазоне периодов // Физика Земли. 2006. № 9. С. 18-28.
6. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 314 с.
7. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 254 с.
8. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.