

УДК 550.837.2:550.34.113

## МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ЭЛЕКТРОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ПУНКТЕ ВЕРХНЯЯ ПАРАТУНКА (КАМЧАТКА)

© 2007 В. А. Юшко<sup>1, 2</sup><sup>1</sup>Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, 683032<sup>2</sup>Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

e-mail: vikayushko@rambler.ru

Для выделения аномальных сигналов в изменениях разностей электротеллурических потенциалов на системе измерительных линий пункта Верхняя Паратунка выполнена оценка параметров спектров сингулярности в скользящем временном окне и построены временные ряды обобщенных показателей Херста. Для диагностики сигналов синхронизации в изменениях многомерного ряда 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. 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 землетрясений на гипоцентральных расстояниях до 150 км от наблюдательного пункта.

### ВВЕДЕНИЕ

В течение нескольких десятилетий на Камчатке проводится регистрация электротеллурического поля с целью обнаружения предвестников землетрясений (Любушин, Копылова, 2004). Априорной основой многолетнего эксперимента по регистрации разности теллурических потенциалов на системах измерительных линий является предположение о том, что процессы подготовки землетрясений могут находить отклик в вариациях электротеллурического поля (ЭТП) (Соболев, 1993). Трудность интерпретации временных рядов ЭТП обусловлена комплексным влиянием различных внешних и внутренних факторов, вследствие ионосферных, метеорологических, техногенных и других воздействий. В результате такого воздействия могут проявляться разнообразные вариации ЭТП в широком диапазоне частот, которые затрудняют выделение аномальных сигналов, связанных с сейсмичностью (Копылова и др., 2001; Кролевец, Копылова, 2003). Поэтому интерпретация экспериментальных данных регистрации ЭТП должна выполняться с учетом влияния внешних и внут-

ренних факторов влияния. В качестве внешнего фактора влияния на изменения ЭТП можно рассматривать вариации геомагнитного поля Земли, а в качестве внутреннего фактора, вызывающего сезонные изменения разности электротеллурических потенциалов – температуру воздуха.

Для выделения в вариациях разностей электротеллурических потенциалов аномальных изменений, связанных с подготовкой землетрясения, используются различные методы обработки данных, основанные на оценивании статистических свойств временных рядов и их изменчивости во времени (Копылова и др., 2001; Любушин, Копылова, 2004). Одним из используемых методов является анализ изменения во времени многомерных статистических связей характеристических параметров с точки зрения фрактальных и мультифрактальных свойств временных рядов (Любушин, Соболев, 2006; Смирнов и др., 2005).

Эффективность комбинации методов фрактального анализа и канонических когерентностей для выделения сигналов синхронизации в изменениях шумовых компонент ЭТП на пункте

Верхняя Паратунка (ВП) показана в работе (Любушин, Максютова, 2007).

Целью настоящей работы является освоение использованной в (Любушин, Максютова, 2007) методики для обработки временных рядов разностей электротеллурических потенциалов на системе измерительных линий пункта ВП с учетом сезонных факторов и геомагнитной активности. В работе использовались программы, разработанные д. ф.-м. н. А.А. Любушиным, ИФЗ РАН, (Любушин, 1998; Любушин, Максютова, 2007; Любушин, Соболев, 2006).

В настоящей работе, также как и в (Любушин, Копылова, 2004; Любушин, Максютова, 2007) используются временные ряды регистрации разности электротеллурических потенциалов на пункте ВП за период с 1.10.1996 г. по 23.06.2001 г. Для этого интервала времени получены качественные данные без пропусков и без существенного воздействия техногенных факторов. В течение этого времени на Камчатке произошли три сильных землетрясения, в т. ч. Кроноцкое землетрясение 5.12.1997 г. ( $M_s=7.9$ ). В дополнение к способу исследования связи сигналов синхронизации в связи с сильными землетрясениями, использованному в (Любушин, Максютова, 2007), привлекаются данные о вариациях температуры воздуха и среднесуточного К-индекса геомагнитной активности.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Пункт ВП (координаты  $52.83^\circ$  с. ш.,  $158.12^\circ$  в.д.) (рис. 1а) расположен в южной части долины р. Паратунки при впадении в нее р. Карымшина в районе с выраженной геоэлектрической неоднородностью среды по направлениям измери-

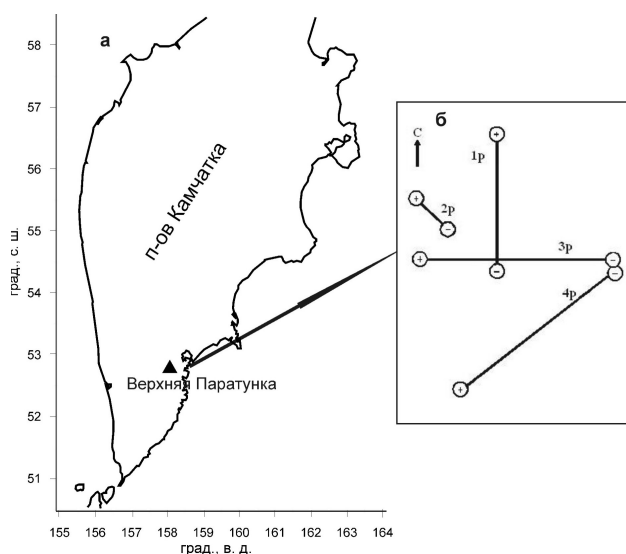
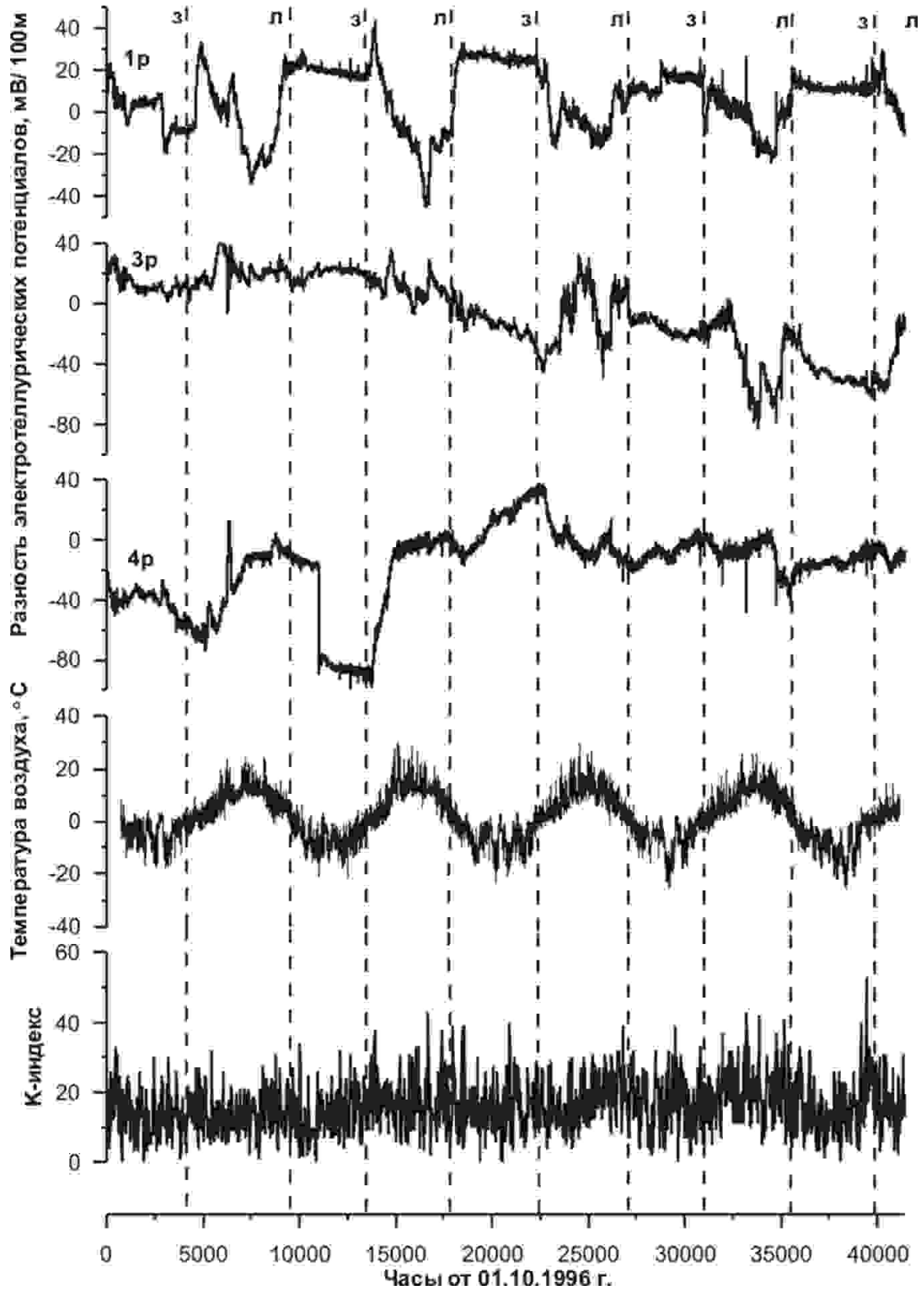


Рис. 1. Схема расположения пункта Верхняя Паратунка (а) и измерительных линий (б).

тельных линий (Мороз и др., 1995). Регистрация разности электротеллурических потенциалов на четырех измерительных линиях с использованием геофизической радиотелеметрической системы проводится с 1996 г. (Балеста и др., 1999; Любушин, Копылова, 2004). Система регистрации на пункте ВП состоит из четырех измерительных линий длиной 20-100 м, ориентированных в меридиональном (север-юг - линия 1, длина 70 м), широтном (запад-восток - линия 3, длина 100 м) и диагональном (юго-запад - северо-восток - линия 4, длина 100 м и северо-западно-юго-восток - линия 2, длина 20 м) направлениях (рис. 1б). В качестве заземления измерительных линий используются свинцовые электроды, помещенные в шурфы на глубину около 2-2.5 м для минимизации температурных влияний. Все электроды находятся в зоне аэрации. Для телеизмерений используется блок цифровых каналов БЦК-09М, который работает в автоматическом режиме с частотой регистрации разности теллурических потенциалов равной 1 мин., точность регистрации составляет 0.5 мВ. Расстояние пункта наблюдений от приемного центра Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) составляет 42 км.

В работе исследовались часовые временные ряды наблюдений за вариациями разностей электротеллурических потенциалов на линиях 1, 3, 4 (рис. 2). Временной ряд наблюдений на линии 2р (из-за ее малой длины - 20 м) не использовался, в связи с тем, что в нем отсутствуют высокочастотные составляющие ЭТП ионосферного происхождения. В отличие от работы (Любушин, Копылова, 2004; Любушин, Максютова, 2007), данные регистрации разности электротеллурических потенциалов на линии 4р имеют противоположную полярность. Длина временных рядов составляет 4 года 8 месяцев (с 01.10.1996 по 23.06.2001 г.). Количество отсчетов в каждом временном ряду составляло  $N=41448$  ч. Данные о среднесуточных вариациях температуры воздуха (рис. 2) получены на метеостанции «Пионерская» Камчатского гидрометеоцентра, расположенной на расстоянии 32 км от пункта ВП. Используемый в работе временной ряд среднесуточных величин К-индекса геомагнитной активности (рис. 2) предоставлен Институтом космофизических исследований и распространения радиоволн (ИКИР) ДВО РАН расположенным в п. Паратунка (координаты  $53.00^\circ$  с. ш.,  $158.30^\circ$  в. д.) на расстоянии 23 км от пункта ВП. Локальный К-индекс представляет собой численную характеристику степени геомагнитной возмущенности в пункте наблюдений, выраженную в баллах. Каждому баллу геомагнитного индекса соответствует амплитуда вариаций магнитных элементов за трехчасовой про-



**Рис. 2.** 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°С. Буквой «з» показаны интервалы времени с отрицательными температурами воздуха, буквой «л» - с положительными температурами воздуха.

межутки времени с поправкой на спокойную суточную вариацию (Амиантов и др., 2001).

На рис. 2 определены времена перехода среднесуточных температур воздуха через 0°C. В периоды установления отрицательных температур воздуха (з), когда происходит промерзание зоны аэрации и прекращение инфильтрации атмосферных осадков, отмечается относительно спокойное поведение разностей электротеллурических потенциалов на измерительных линиях. В это время в изменениях теллурических потенциалов проявляются, в основном, суточные и полусуточные периодичности и всплески во время магнитных бурь. В периоды установления положительных температур воздуха (л), когда влажность отложений в зоне аэрации существенно изменяется в зависимости от выпадения осадков и инфильтрации метеогенных вод, в изменениях разностей теллурических потенциалов проявляются амплитудные вариации продолжительностью сутки-недели. Это указывает на значительное воздействие сезонного фактора обводнения отложений в области заложения электродов измерительной системы на поведение анализируемых временных рядов.

#### МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Одним из перспективных направлений исследования геофизических процессов, протекающих в земной коре, является анализ фрактальных и мультифрактальных свойств временных рядов данных геофизического мониторинга. Фрактальный анализ применим для таких сигналов, которые с точки зрения спектральной теории являются не более чем случайным процессом (белым шумом).

В данной работе проводится анализ фрактальных свойств временных рядов электротеллурических наблюдений с применением методики, детально описанной в работе (Любушин, Максюткова, 2007). Оценка спектров сингулярности временных рядов данных электротеллурических наблюдений осуществлялась с помощью программы F(Alfa)\_DFA, позволяющей анализировать флуктуации после исключения масштабно-зависимых трендов (Любушин, Максюткова, 2007; Любушин, Соболев, 2006). 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 извест-

ного американского гидролога Херста, выполнившего анализ фрактальных свойств временных рядов среднегодового расхода воды в реках (Федер, 1991). Построение спектров сингулярности учитывает эмпирическое соотношение Херста:

$$R(\tau)/\sigma(\tau)=\tau^H, \quad (1)$$

где  $R(\tau)$  - разница между максимальными и минимальными значениями приращений наблюдаемой величины на временном интервале длиной  $\tau$ ,  $\sigma(\tau)$  - стандартное отклонение,  $0 < H < 1$  - показатель Херста (Федер, 1991), и предполагает наличие у временного ряда свойств самоподобия.

Для самоподобного процесса  $X(t)$  среднее значение квадрата приращений выражается как

$$\langle |X(t+\delta t) - X(t)|^2 \rangle \sim |\delta t|^{2H}, \text{ где } \delta t - \text{ шаг по времени.}$$

Если допустить зависимость постоянной

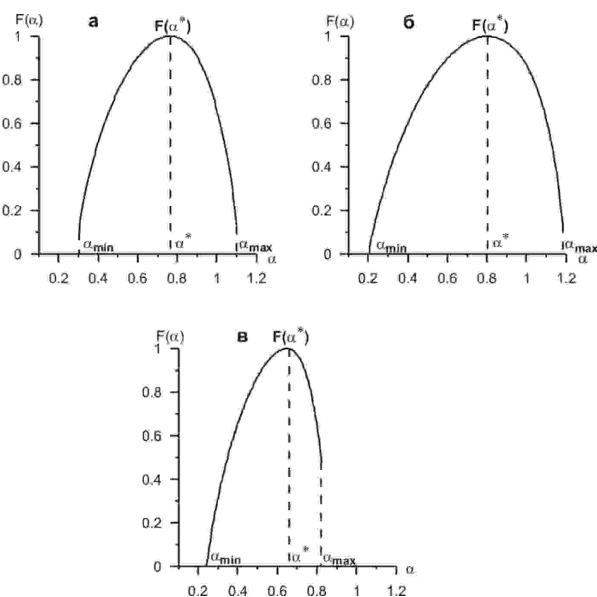
$$\text{Херста от времени } \langle |X(t+\delta t) - X(t)|^2 \rangle \sim |\delta t|^{2H(t)},$$

$0 < H(t) < 1$ , то распределение вероятности значений  $H(t)$  описывается мультифрактальным спектром сингулярности  $F(\alpha)$ , где  $\alpha$  - показатель Гельдера-Липшица (Любушин, Максюткова, 2007; Любушин, Соболев, 2006; Федер, 1991).

Спектры сингулярности временных рядов вариаций разностей электротеллурических потенциалов на линиях 1р, 3р и 4р, построенные в скользящем временном окне длиной 672 ч (28 суток) приводятся на рис. 3. Характеристическими параметрами каждого спектра являются:  $\alpha_{\min}$  - минимальное значение показателя Гельдера-Липшица;  $\alpha_{\max}$  - максимальное значение показателя Гельдера-Липшица;  $\alpha^*$  - обобщенный показатель Херста;  $F(\alpha^*)$  - фрактальная размерность носителя меры. Показатель Гельдера-Липшица  $\alpha(x)$  для меры  $M(x)$  определяется из соотношения (Любушин, 2006):

$$|M(x+dx) - M(x)| \sim |dx|^{\alpha(x)} \text{ или } \alpha(x) = \frac{\ln|M(x+dx) - M(x)|}{\ln|dx|} = \ln \frac{|dM(x, dx)|}{\ln|dx|}. \quad (2)$$

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.



**Рис. 3.** 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:  $\alpha^*$  – обобщенный показатель Херста,  $\alpha_{\max}$  и  $\alpha_{\min}$  – минимальное и максимальное значение показателя Гельдера-Липшица,  $F(\alpha^*)$  – фрактальная размерность носителя меры.

Изменение параметров спектров сингулярности во времени для трех временных рядов данных электротеллурических наблюдений представлено на рис. 4. При вычислении параметров спектра сингулярности использовалось скользящее временное окно 672 ч (28 суток). Смещение соседних окон равнялось 24 ч. Устранение трендов и низкочастотных вариаций в изменениях разностей теллурических потенциалов в каждом окне производилось полиномом 4-ого порядка.

В совокупном поведении параметров спектров сингулярности для трех временных рядов данных электротеллурических наблюдений достаточно сложно выявить аномальные изменения (рис. 4). Поэтому в качестве предмета дальнейшего изучения рассматривались вариации обобщенного показателя Херста  $\alpha^*$  (рис. 5), как наиболее характерного параметра спектра сингулярности, реализующего его максимум (рис. 3).

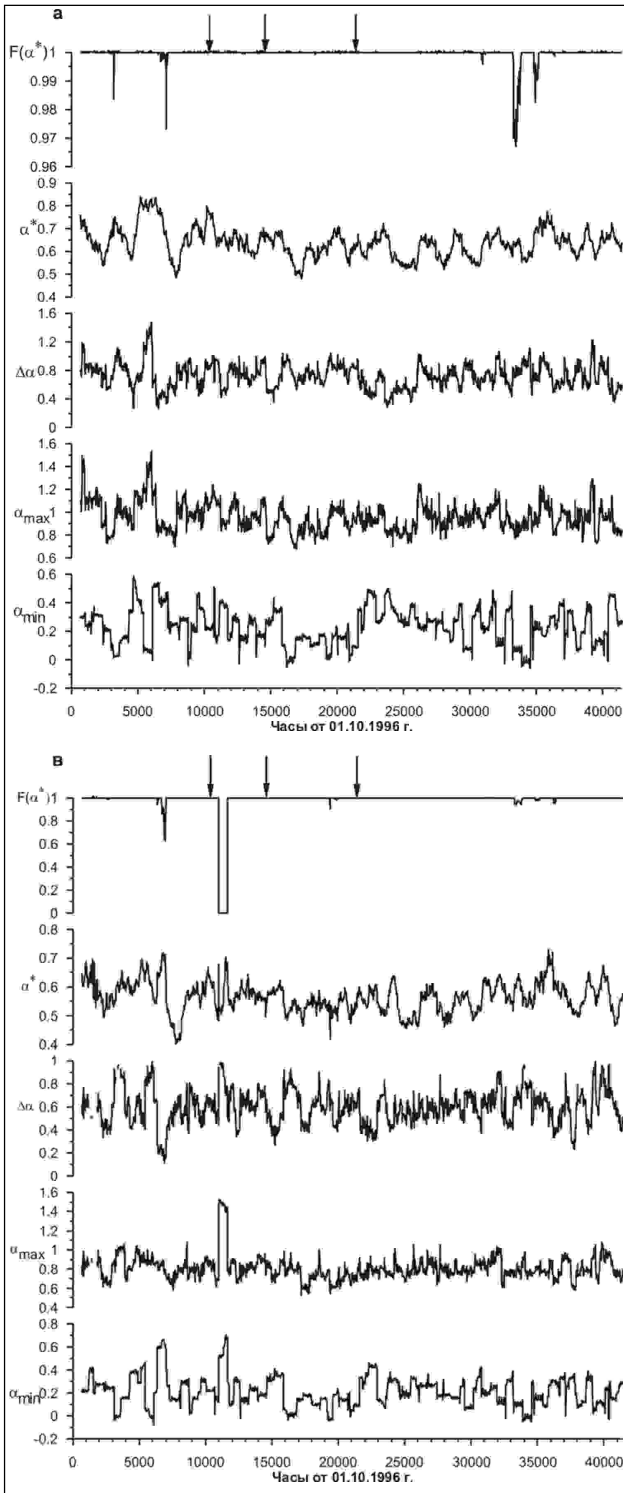
Период времени с 1996 по 2001 гг. характеризуется повышенной сейсмической активностью на Камчатке, которая определялась возникновением трех землетрясений с магнитудами 6.3 – 7.9 (табл.). В вариациях обобщенных показателей Херста не прослеживаются ярко выраженные аномальные изменения, связанные с произошедшими сильными сейсмическими событиями (рис. 5).

В настоящей работе предпринята попытка выявления скрытых сигналов синхронизации в совместных (коллективных) изменениях шумовых компонент временных рядов данных электротеллурических наблюдений. Для этого проводился многомерный анализ трехмерного ряда вариаций обобщенного показателя Херста с использованием аппарата канонических когерентностей (Любушин, 1998), направленного на выделение сигналов увеличения коллективного (синхронного, когерентного) поведения компонент анализируемого многомерного временного ряда в частотно-временной области. Использовался алгоритм, основанный на вычислении покомпонентных канонических когерентностей многомерного ряда и позволяющий рассчитывать частотно-зависимые статистики, характеризующие степень синхронного поведения компонент многомерного временного ряда в скользящем временном окне заданной длины.

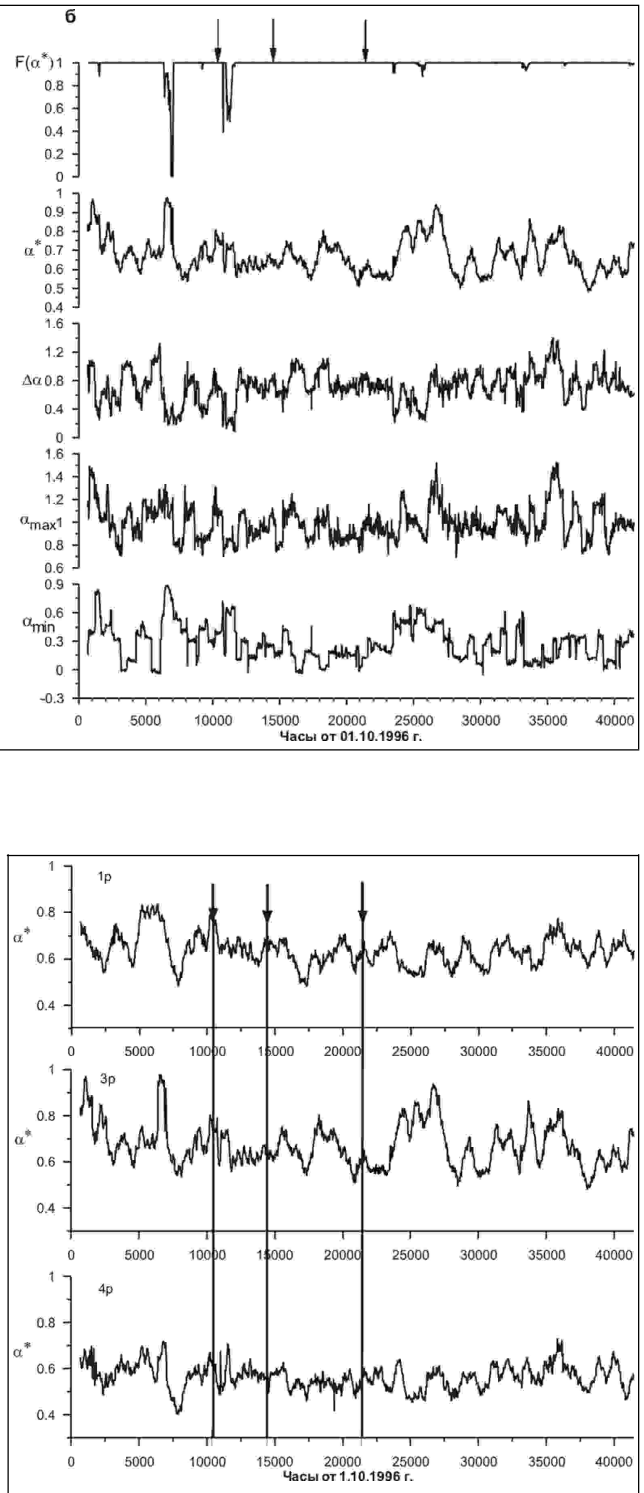
Построение частотно-временных диаграмм эволюции логарифма спектра мощности среднесуточных вариаций К-индекса проводилось с помощью программы разведочного анализа свойств временных рядов Spectra\_Analyzer, предоставленной А.А. Любушиным (Любушин, Соболев, 2006). Для построения диаграмм использовались скользящие окна длиной 90 суток (3 мес.), 182 суток (6 мес.) и 365 суток (1 год). Смещения соседних окон составляли 20, 30 и 70 суток соответственно (рис. 6).

В результате были построены частотно-временные диаграммы эволюции произведения покомпонентных канонических когерентностей для трехмерного ряда обобщенных показателей Херста в скользящих временных окнах длиной 63, 155 и 338 значений, соответствующие эффективным окнам 90, 182 и 365 суток соответственно, и частотно-временные диаграммы эволюции логарифма спектра мощности среднесуточных вариаций К-индекса (рис. 6).

В эволюции произведения покомпонентных канонических когерентностей трехмерного ряда обобщенных показателей Херста, характеризующих степень синхронного поведения шумовых компонент в изменениях разностей теллурических потенциалов на отдельных линиях, в частотно-временной области выделяются фрагменты минимальных значений, на которых сигналы синхронизации отсутствуют (рис. 6). Кроме этого, прослеживаются фрагменты с резкими вариациями характеристического параметра (произведения покомпонентных канонических когерентностей), диагностирующие различные обстановки в совместном поведении трехмерного ряда – от неупорядоченного до коллективного.



**Рис. 4.** Графики изменения параметров спектра сингулярности в скользящем временном окне 672 ч (28 суток) для временных рядов часовых вариаций разности теллурических потенциалов на линиях 1р (а), 3р (б), 4р (в):  $\alpha^*$  - обобщенного показателя Херста,  $\alpha_{\max}$  и  $\alpha_{\min}$  - минимального и максимального значения показателя Гельдера-Липшица,  $\Delta\alpha$  - разности между величинами  $\alpha_{\max}$  и  $\alpha_{\min}$ ,  $F(\alpha^*)$  - фрактальной размерности носителя меры. Вертикальными стрелочками показаны моменты сильных землетрясений с  $M > 6.3$ .



**Рис. 5.** 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.

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

Дата	Координаты		Глубина, км	$M_s$	$K_s^{\Phi 68}$	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
03.06.2000	52.00	159.10	59	4.9	12.9	114	3-4
27.08.2000	52.68	159.10	87	4.8	12.2	110	3-4

Примечание.  $M_s$  – магнитуда, определяемая по поверхностным волнам в Геофизической службе РАН, г. Обнинск;  $K_s^{\Phi 68}$  – энергетический класс землетрясений, определяемый по S-волнам в КФ ГС РАН (Федотов, 1972); R – гипоцентральное расстояние землетрясений до пункта ВП; Балл MSK-64 – балльность в районе г. Петропавловск-Камчатский.

На диаграмме, построенной в эффективном окне длиной 90 суток (рис. 6а), по повышенным значениям произведения покомпонентных канонических когерентностей выделяются временные интервалы увеличения синхронизации в поведении обобщенных показателей Херста, которые прослеживаются во всем диапазоне частот. Отчетливо прослеживается связь фрагментов повышенной синхронизации с сезонностью, выявленной по изменениям температуры воздуха. Большая часть временных интервалов проявления повышенной синхронизации приурочена либо к переходу от отрицательных температур воздуха к положительным, либо к летнему времени. Следует отметить, наличие тесной связи во времени областей с максимальными значениями произведения покомпонентных канонических когерентностей с увеличением мощности вариаций К-индекса магнитной активности. Кроме этого, выделяются три фрагмента повышенной синхронизации в совместном поведении трехмерного ряда обобщенных показателей Херста во всем диапазоне частот, которые, возможно, являются предвестниками сильных землетрясений ( $M > 6.3$ ) (табл.).

На диаграмме, построенной в эффективном окне длиной 182 суток (рис. 6б), фрагменты увеличения синхронизации в поведении обобщенных показателей Херста прослеживаются в диапазоне частот  $0.01-0.3 \text{ сут}^{-1}$ , за исключением умеренной синхронизации во всем диапазоне частот на временном интервале с марта по август 2000 г., которая может быть связана с сейсмическими событиями 03.06.2000 г. ( $M=4.9$ ) и 27.08.2000 г. ( $M=4.8$ ), произошедшими на гипоцентральных расстояниях 114 км и 110 км соответственно (табл.). Следует отметить, что по диаграммам, построенным в окнах длиной 182 суток, связь сигналов синхронизации в изменениях шумовых компонент разностей теллурических потенциалов с сезонностью и изменениями мощности вариаций К-индекса выражена в меньшей степени, по сравнению с результатами обработки данных в скользящем окне с эффек-

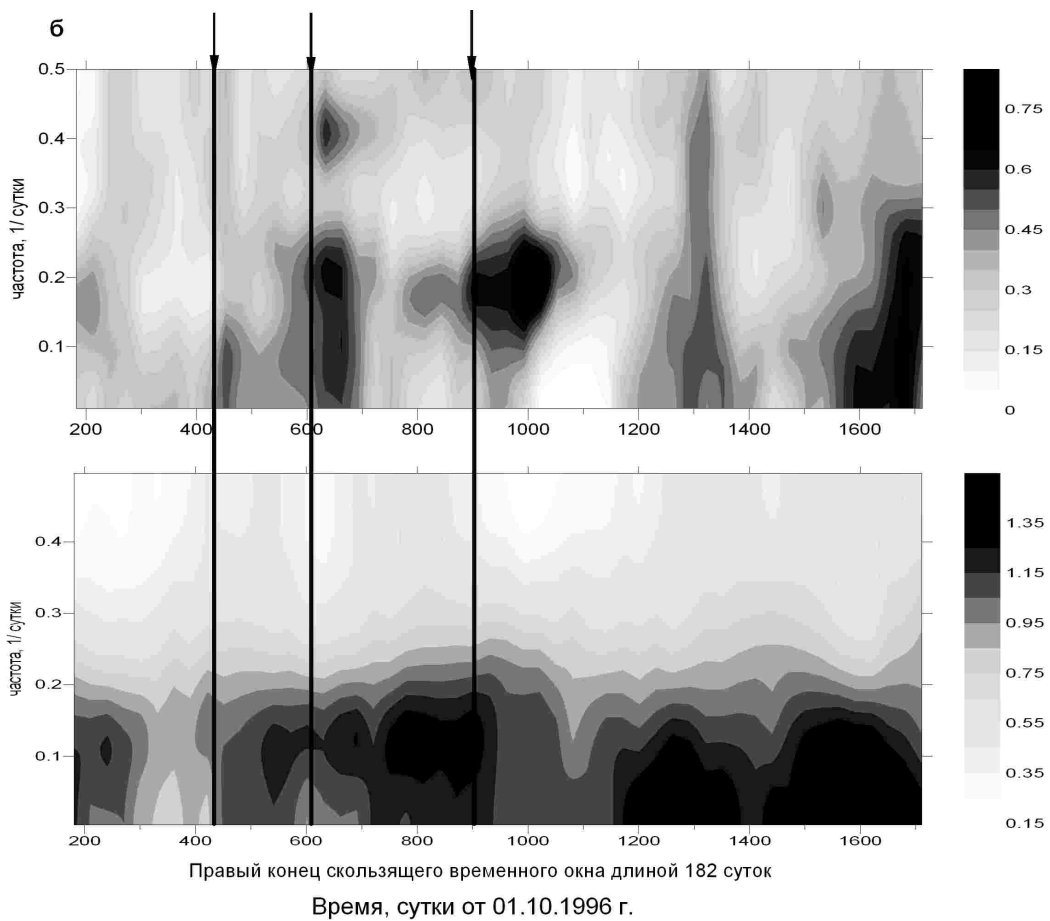
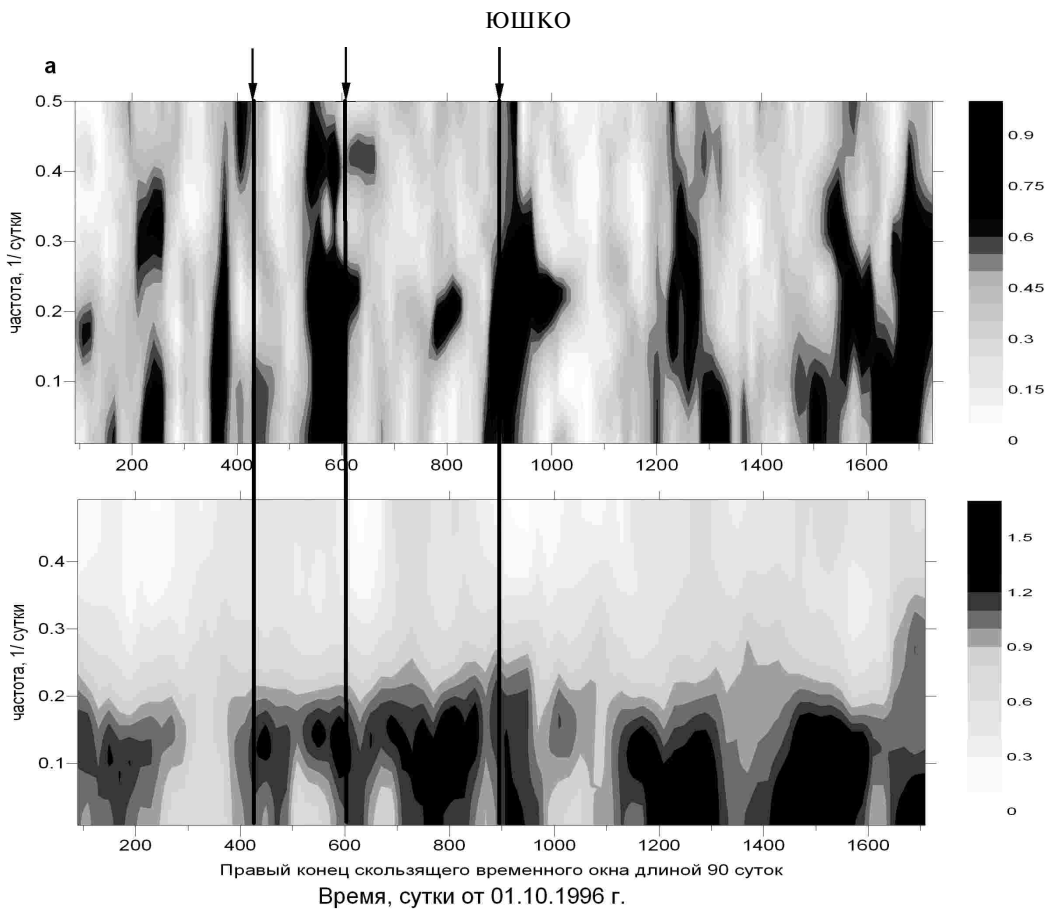
тивной длиной 90 суток. При этом наиболее значимое увеличение синхронизации приурочено к моментам сейсмических событий ( $M > 4.8$ ) (табл.). В этом случае фрагменты повышенной синхронизации в изменениях обобщенных показателей Херста имеют преимущественно постсейсмический характер.

На диаграмме, построенной в эффективном окне длиной 365 суток (рис. 6в), выделяются два продолжительных сигнала синхронизации в диапазонах частот  $0.01-0.25 \text{ сут}^{-1}$  и  $0.01-0.4 \text{ сут}^{-1}$ . Связь этих сигналов в изменениях шумовых компонент ЭТП с сезонностью отсутствует. Вместе с тем, прослеживается их соответствие по времени с максимумами логарифма спектра мощности К-индекса магнитной активности (нижняя диаграмма), а также с возникновением сейсмических событий. Первый сигнал начал формироваться после Кроноцкого землетрясения (5.12.1997 г.). Его длительность составляет 2 года 5 месяцев и перекрывает два последующих сильных сейсмических события. Второй сигнал синхронизации может рассматриваться в качестве предвестникового, так как он начал формироваться примерно за один год до землетрясения 8.10.2001 г. ( $M=6.6$ ;  $R=156$  км).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

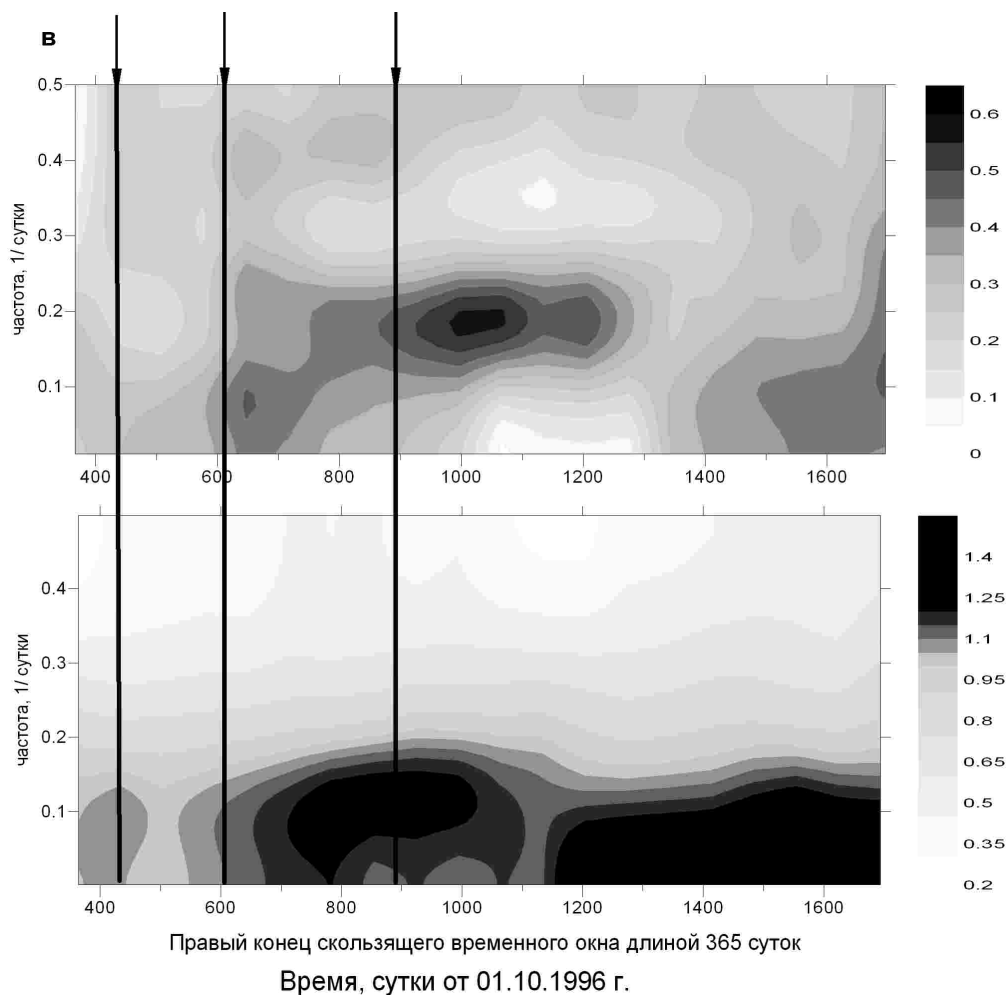
1. С использованием алгоритмов фрактального анализа, разработанных А.А. Любушиным (Любушин, Максютова, 2007; Любушин, Соболев, 2006), построены временные ряды параметров спектра сингулярности для вариаций разностей электротеллурических потенциалов на трех измерительных линиях пункта Верхняя Паратунка. В качестве наиболее представительного параметра, характеризующего изменчивость шумовых свойств вариаций теллурических потенциалов на отдельных измерительных линиях, выбран обобщенный показатель Херста.

2. Выполнен многомерный анализ трехмерного временного ряда вариаций обобщенных показателей Херста с применением аппарата ка-



**Рис. 6.**





**Рис. 6.** Сопоставление частотно-временных диаграмм эволюции произведений покомпонентных канонических когерентностей 3-хмерного временного ряда обобщенных показателей Херста (верхняя диаграмма) и логарифма спектра мощности вариаций среднесуточного К-индекса геомагнитной активности (нижняя диаграмма), построенных в эффективных окнах длиной 90 суток (а), 182 суток (б) и 365 суток (в). Рассматриваемый диапазон частот 0.5–0.011 сут<sup>-1</sup>. Вертикальными линиями обозначены моменты сильных ( $M \geq 6.3$ ) землетрясений (табл.).

нонических когерентностей, направленный на обнаружение сигналов синхронизации в изменениях шумовых компонент электротеллурического поля. Показано, что с выделенными в частотно-временной области сигналами синхронизации в поведении обобщенных показателей Херста могут быть сопоставлены сезонные изменения в поведении теллурических потенциалов, вариации геомагнитного поля Земли с повышенной интенсивностью и наиболее сильные сейсмические события, происходящие на минимальном расстоянии от пункта Верхняя Паратунка.

3. Однозначный вывод о связи выявленных сигналов синхронизации в изменениях шумовых компонент ЭТП на пункте Верхняя Паратунка с процессами подготовки и реализации произошедших землетрясений представляется преждевременным. В дальнейшем планируется совершенствование методов обработки и анализа

электротеллурических данных с учетом влияния факторов-помех и исследование временных рядов данных наблюдений с других пунктов регистрации ЭТП на Камчатке.

Автор выражает благодарность: научному руководителю к.г.-м.н. Г.Н. Копыловой, КФ ГС РАН, за постановку настоящей работы и Н.В. Черновой, ИКИР ДВО РАН, за предоставленные геомагнитные данные.

#### Список литературы

- 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.
- Балеста С.Т., Копылова Г.Н., Латыпов Е.Р., Кузьмин Ю.Д.* Комплексные геофизические

- наблюдения на Петропавловском полигоне, Камчатка // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4-5. С. 90-100.
- Копылова Г.Н., Любушин А.А. (мл.), Таранова Л.Н.* Применение многомерного статистического анализа для обработки данных электротеллурических наблюдений на Камчатке // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений. I Российско-Японский семинар, Хабаровск, 26-29 сентября 2000г. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 225-245.
- Кролевец А.Н., Копылова Г.Н.* Приливные составляющие в электротеллурическом поле // Физика Земли. 2003. № 5. С. 75-84.
- Любушин А.А.* Анализ канонических когерентностей в задачах геофизического мониторинга // Физика Земли. 1998. № 1. С. 59-66.
- Любушин А.А., Копылова Г.Н.* Многомерный вейвлет-анализ временных рядов электротеллурических наблюдений на Камчатке // Физика Земли. 2004. № 2. С. 82-96.
- Любушин А.А., Максютова М.В.* Мультифрактальные меры синхронизации геофизических временных рядов // Геофизика столетия: 2006 год. Сборник трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского. Тверь: ООО Издательство ГЕРС, 2007. С. 403-409.
- Любушин А.А., Соболев Г.А.* Мультифрактальные меры синхронизации микросейсмических колебаний в минутном диапазоне периодов // Физика Земли. 2006. № 9. С. 18-28.
- Мороз Ю.Ф., Бахтияров В.Ф., Воронаев В.Ф. и др.* О мониторинге электротеллурического поля для прогноза сильных землетрясений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 139-149.
- Смирнов В.Б., Пономарев А.В., Qian Jiadong и др.* Ритмы и детерминированный хаос в геофизических временных рядах // Физика Земли. 2005. № 6. С. 6-28.
- Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 314 с.
- Федер Е.* Фракталы. М.: Мир, 1991. 254 с.
- Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.

## MULTIDIMENSIONAL ANALYSIS THE TIME SERIES OF ELECTROTELLURIC DATA ON THE STATION VERCHNYA PARATUNKA (KAMCHATKA)

V. A. Yushko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Vitus Bering Kamchatkan State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683032, Russia*

<sup>2</sup>*Kamchatkan Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, 9, Piip Blvd., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

For allocation irregular signals in changes of electrotelluric potentials differences in system of measuring lines which situated in Verchnya Paratunka station the estimation of parameters of singularity spectrum in moving time window and time series of generalized Hurst indexes have been made. For diagnostics of synchronization signals in changes of multivariate series of generalized Hurst indexes the analysis of evolution of component-wise canonical coherences product in time-and-frequency field in comparison with seasonal changes air temperature, power of average daily K-index geomagnetic activity variations and instances of power earthquakes. Synchronization signals in changes of noise components of electrotelluric potentials difference by time may correspond to higher Earth geomagnetic field perturbation and spring-summer periods with positive air temperatures have been determined.