

ЭФФЕКТЫ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТКИ

Г.Н. Копылова

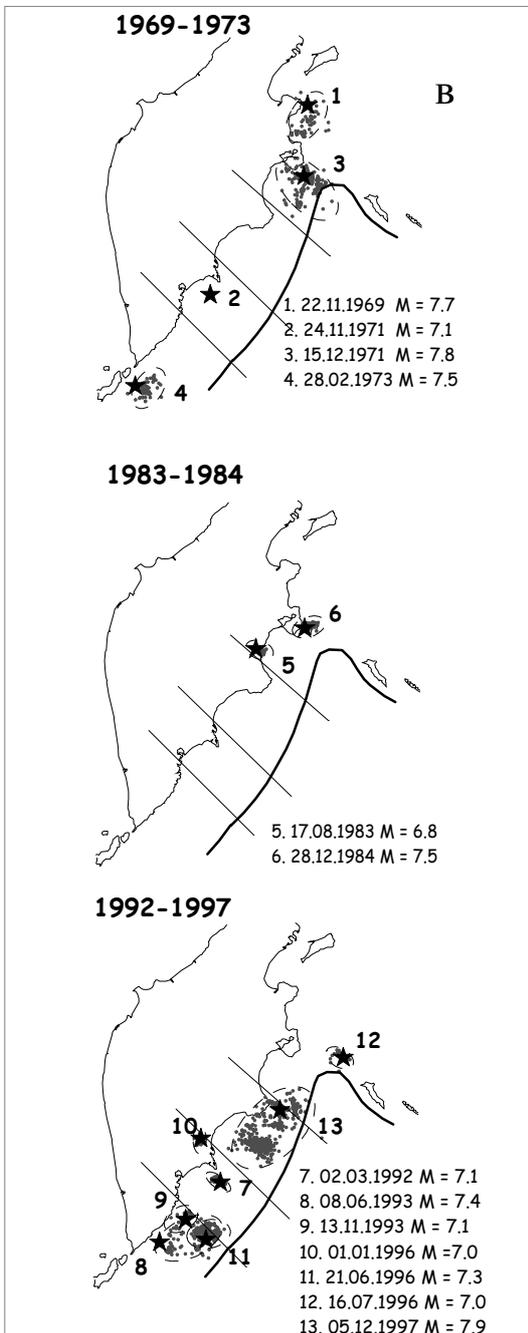
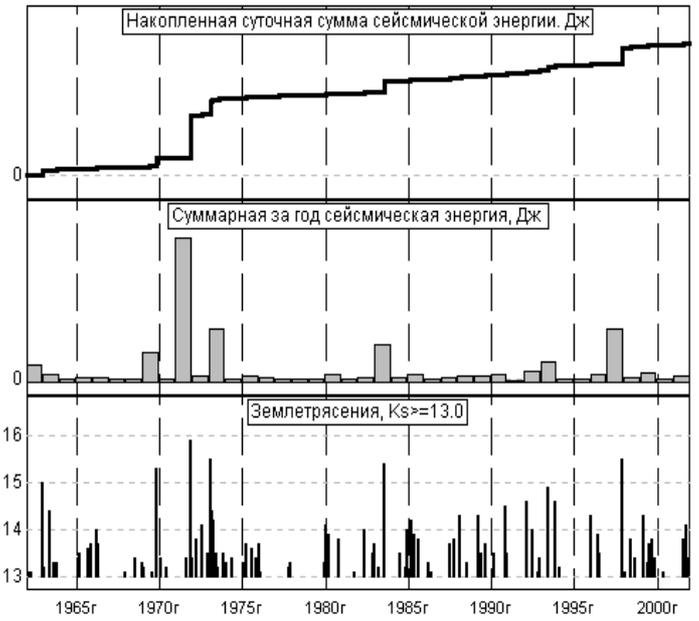
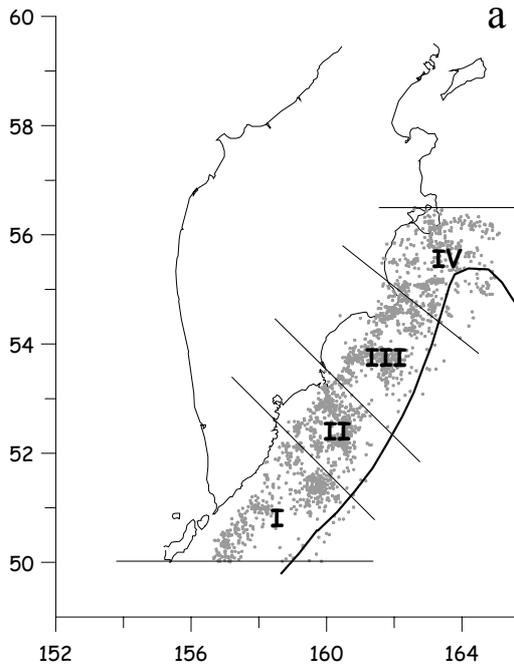
Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006, e-mail: gala@emsd.iks.ru

Под коллективным поведением сейсмичности понимается увеличение синхронизации в изменении сейсмического режима во всех или в большинстве районов, образующих обширную сейсмоактивную область. Синхронизация может проявляться в усилении или в ослаблении сейсмической активности, а также в резких (нестационарных) изменениях различных параметров сейсмического режима во времени - сейсмического энерговыделения, числа землетрясений и других. Эффекты коллективного поведения обусловлены увеличением радиуса корреляции поля сейсмичности в пределах рассматриваемой области и могут отражать развитие процесса более общего порядка по отношению к изменениям сейсмического режима в отдельных районах и к возникновению аномалий-предвестников.

В работе представлены результаты применения метода вейвлет-агрегированных сигналов в традиционной и робастной модификациях [1, 2] для обработки данных детального каталога землетрясений Камчатки, Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН, за 1962-2001 годы. При построении временных рядов параметров сейсмического режима использовались выборки землетрясений с $K_s \geq 11.0$, $H=0-70$ км.

Графики на рис. 1 характеризуют сейсмический режим Камчатской сейсмоактивной области и составляющих ее четырех районов, выделенных по сейсмологическими и геолого-геофизическими данными. Наблюдались три периода повышения сейсмической активности в регионе, когда происходили серии землетрясений с $M_s \geq 6.8$: 1 - 1969-1973 гг., 2 - 1983-1984 г., 3 - 1992-1997 гг. (рис. 1б-в). На рис. 1г представлены временные ряды накопленных суточных сумм энергии землетрясений, произошедших в районах I-IV. Эти ряды составляют 4-х мерный временной ряд, каждая скалярная компонента которого характеризует вариации сейсмического режима в соответствующем районе. Характер рядов предопределяет применение для их обработки многомерного вейвлет-анализа, нацеленного на выделение синхронных нестационарных вариаций в изменениях 4-х мерного ряда.

В качестве входных параметров алгоритма использовались вейвлеты Добеши 2, 4 и 12 порядков; окна адаптации длиной 3, 4 и 5 лет, порог представительности для выборочных оценок ковариационных матриц вейвлет-коэффициентов $L_{min}=10$.



Г

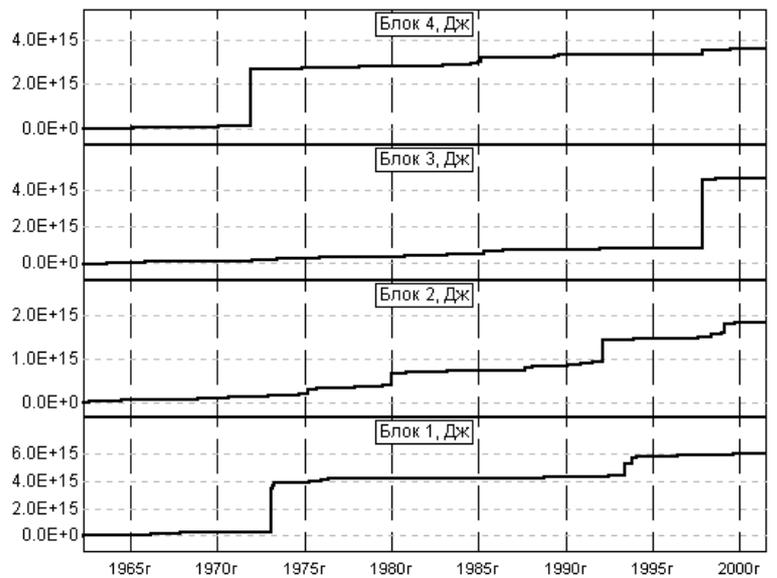


Рис. 1. Характеристика сейсмического режима Камчатской сейсмоактивной области и четырех выделенных районов в 1962-2001 гг. А – эпицентры землетрясений с $K_s \geq 11.0$, $H = 0-70$ км и границы районов I-IV; б – графики, характеризующие изменения сейсмического режима Камчатской сейсмоактивной области. Сверху вниз: накопленные суточные суммы энергии землетрясений; изменение годовых сумм энергии землетрясений; землетрясения с $K_s \geq 13.0$; в – эпицентры сильных ($M_s \geq 6.8$) землетрясений и их афтершоков для трех периодов сейсмической активизации; г – изменение накопленных суточных сумм энергии землетрясений, произошедших в районах I-IV.

Выходными параметрами алгоритма являются собственно вейвлет-агрегированный сигнал (ВАС) - скалярный сигнал, который в максимальной степени аккумулирует в себе наиболее общие изменения всех компонент многомерного ряда; его вейвлет-коэффициенты на различных уровнях детальности кратно-разрешающего анализа; статистики: $\lambda_1(\tau, \alpha)$ - максимальное собственное число ковариационной матрицы канонических вейвлет-коэффициентов, $v_1^2(\tau, \alpha), \dots, v_q^2(\tau, \alpha)$ - покомпонентные канонические вейвлет-корреляции в количестве, равном числу исходных временных рядов (в данном случае $q=4$); $\rho^2(\tau, \alpha)$ - среднее значение квадратов канонических вейвлет-корреляций.

В изменении ВАС (рис. 2а) выделяются отдельные всплески, указывающие на увеличение коллективности в поведении 4-х мерного ряда. По изменениям вейвлет-коэффициентов на различных уровнях детальности (или для различных характерных периодов) оценивается частотный диапазон проявления того или иного всплеска. Например, всплеск ВАС в 1985 г. проявляется в диапазоне периодов от 2 до 512 суток, а всплеск в 1989 г. - относительно более высокочастотный и проявляется на периодах 2-256 суток.

Изменения статистик $\lambda_1(\tau, \alpha)$ (рис. 2б) и $\rho^2(\tau, \alpha)$ (рис. 2в) характеризуют развитие во времени коллективности поведения 4-х мерного ряда на различных уровнях детальности. Вариации статистик $v_i^2(\tau, \alpha)$ показывают развитие степени связности или коллективности поведения отдельного временного ряда по отношению ко всем другим рядам, составляющим многомерный ряд. Так, изменение $v_2^2(\tau, \alpha)$ (рис. 2г) характеризует синхронизацию сейсмического энерговыделения в районе II по отношению к совокупному сейсмическому энерговыделению в районах I, III и IV.

Робастная модификация метода вейвлет-агрегированных сигналов применялась для обработки 4-х мерного ряда 10-суточных сумм энергии землетрясений, произошедших в районах I-IV. Использовались вейвлет Добеши 2-ого порядка, окна адаптации 4 и 5 лет, $L_{min}=10$. В этом случае всплески ВАС и его вейвлет-коэффициентов проявляются более четко при существенном уменьшении уровня шума, а поведение статистик $\rho^2(\tau, \alpha)$ и $v_i^2(\tau, \alpha)$ (рис. 3) приобретает выраженную структуру. Традиционный и робастный алгоритмы метода вейвлет-агрегированных сигналов дают сопоставимые результаты при обработке 4-х мерных временных рядов накопленных суточных и 10-суточных сумм энергии землетрясений, произошедших в районах I-IV. Независимо от модификации метода и входных параметров главные всплески ВАС устойчивы, что позволяет надежно диагностировать скрытые сигналы повышенной синхронизации сейсмического режима Камчатской сейсмоактивной области. Изменения $\lambda_1(\tau, \alpha)$, $\rho^2(\tau, \alpha)$ и $v_i^2(\tau, \alpha)$ также достаточно устойчивы и позволяют оценивать развитие и особенности коллективного поведения сейсмичности в пределах всей рассматриваемой области ее отдельных районов.

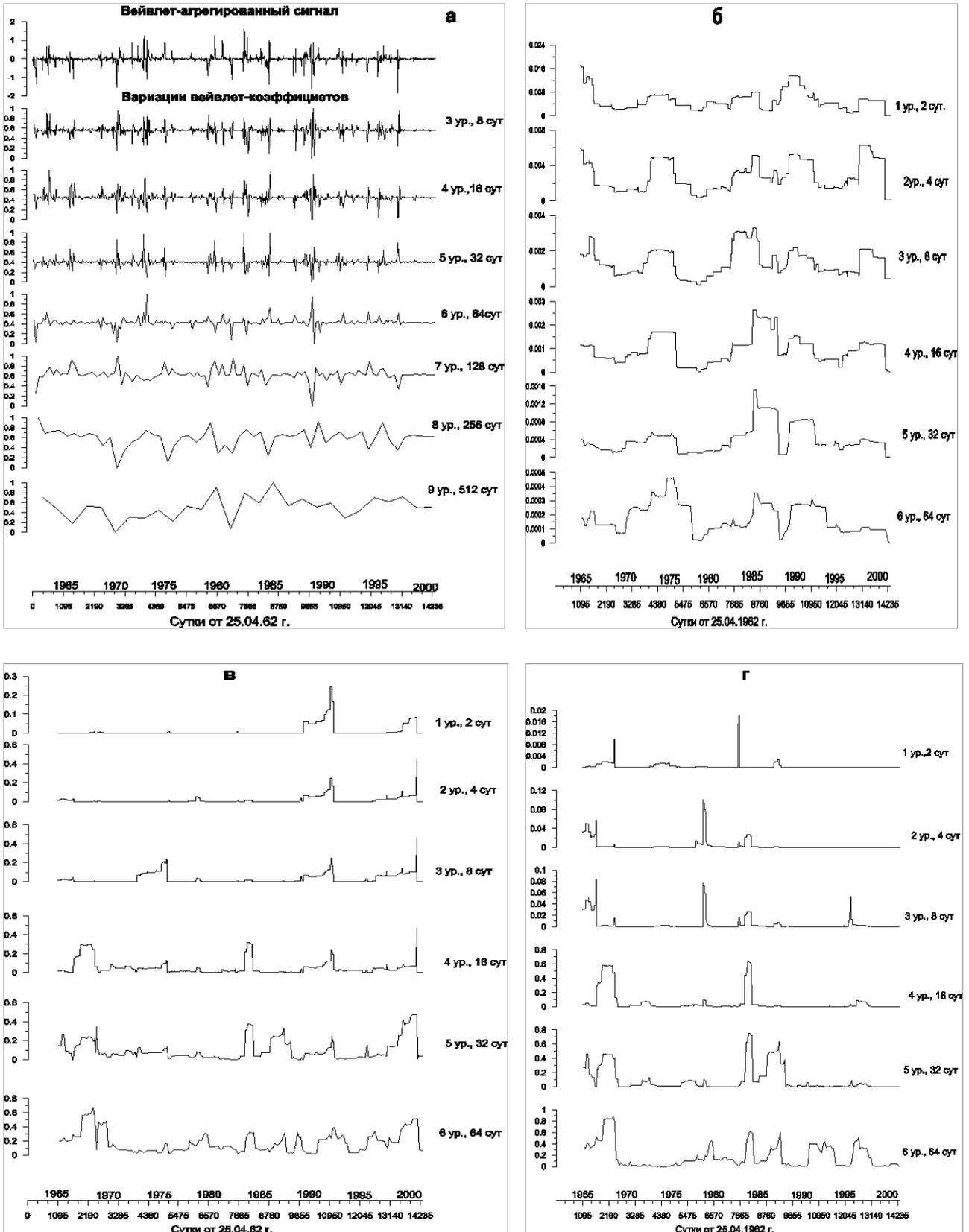


Рис. 2. Результаты обработки 4-х мерного временного ряда накопленных суточных сумм энергии землетрясений методом вейвлет-агрегированных сигналов [1]. Использованы: вейвлет Добеши 2-ого порядка, окно адаптации 1095 сут., $L_{min}=10$. Временной интервал 25.04.62 г. – 2.08.01 г., 14345 сут. Представлены изменения: вейвлет-агрегированного сигнала и его вейвлет-коэффициентов (а), максимального собственного числа ковариационной матрицы канонических вейвлет-коэффициентов $\lambda_1(\tau, \alpha)$ (б); среднего значения квадратов покомпонентных канонических вейвлет-корреляций $\rho^2(\tau, \alpha)$ (в); второй покомпонентной канонической вейвлет-корреляции $v_2^2(\tau, \alpha)$ (г) на различных уровнях детальности (обозначены цифрами с указанием характерного периода в сутках).

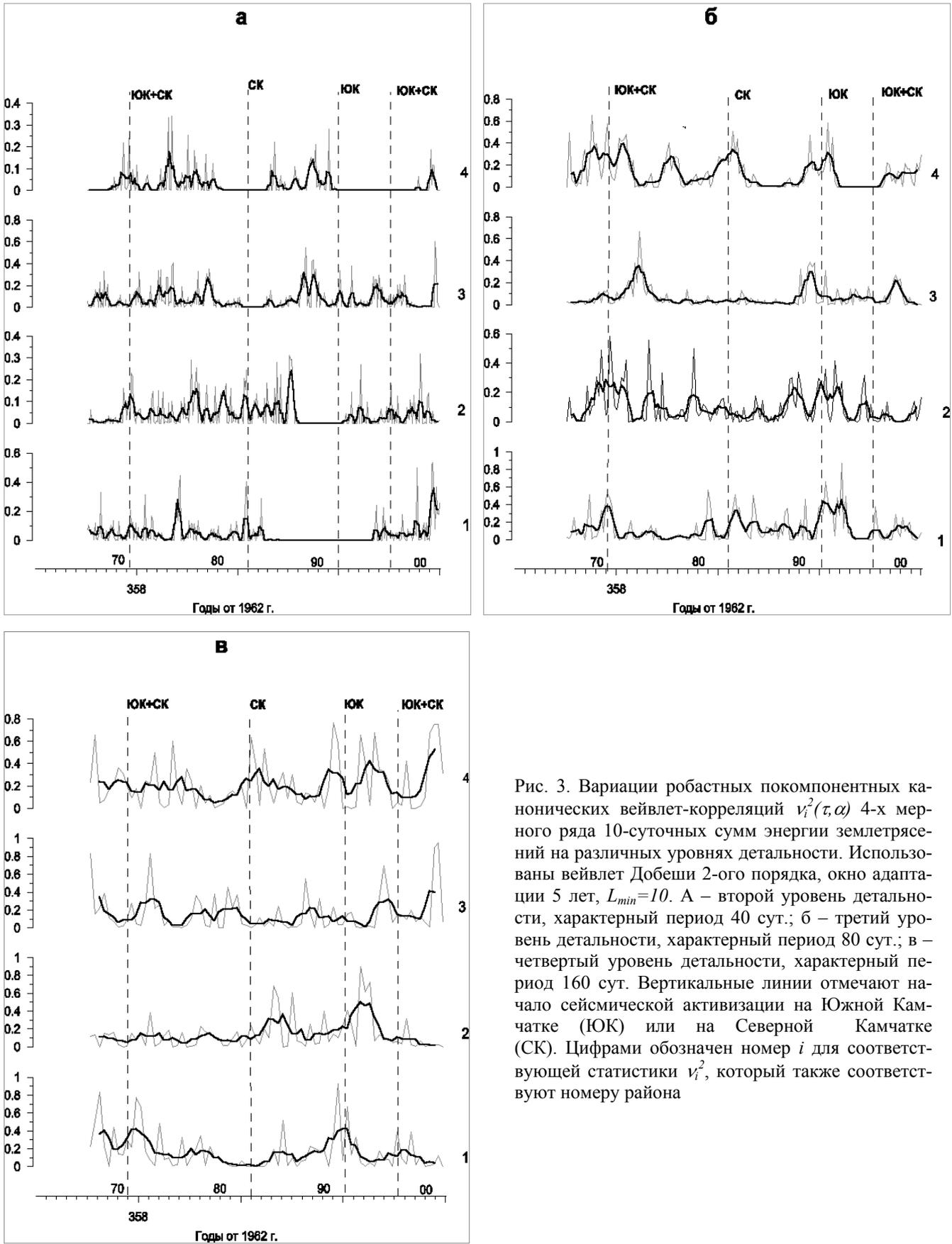


Рис. 3. Вариации робастных покомпонентных канонических вейвлет-корреляций $v_i^2(\tau, \alpha)$ 4-х мерного ряда 10-суточных сумм энергии землетрясений на различных уровнях детальности. Используются вейвлет Добеши 2-ого порядка, окно адаптации 5 лет, $L_{min}=10$. А – второй уровень детальности, характерный период 40 сут.; б – третий уровень детальности, характерный период 80 сут.; в – четвертый уровень детальности, характерный период 160 сут. Вертикальные линии отмечают начало сейсмической активизации на Южной Камчатке (ЮК) или на Северной Камчатке (СК). Цифрами обозначен номер i для соответствующей статистики v_i^2 , который также соответствует номеру района

Основные результаты и выводы

1. Впервые для анализа коллективного поведения сейсмичности Камчатки применен многомерный статистический метод вейвлет-агрегированных сигналов. Получены временные распределения ВАС 4-х мерных рядов накопленных сумм энергии землетрясений, его вейвлет-коэффициентов и статистик $\lambda_l(\tau, \alpha)$, $\rho^2(\tau, \alpha)$ и $v_i^2(\tau, \alpha)$ на различных уровнях детальности. Выделены скрытые сигналы повышенной синхронизации сейсмического режима в 1983 г. – начале 1984 г., в 1985 г., в конце 1988 г. – 1989 г., в 1995 г., в 1997 г. и в 1999 г.

3. По поведению статистик $\lambda_l(\tau, \alpha)$ и $\rho^2(\tau, \alpha)$ прослежена эволюция коллективного поведения сейсмичности в пределах Камчатской сейсмоактивной области. Периоды активизации сейсмичности на Камчатке, включающие серии землетрясений с $M_s \geq 6.8$, сопровождаются увеличением статистик на периодах десятки-первые сотни суток. Для некоторых уровней детальности (характерных периодов) увеличение статистик начинается за первые годы до возникновения сильных землетрясений.

4. По поведению статистик $v_i^2(\tau, \alpha)$ прослежена эволюция синхронизации сейсмического режима в пределах отдельных районов по отношению к изменениям сейсмического режима во всех других районах, составляющих сейсмоактивную область. Отмечаются минимальные величины $v_i^2(\tau, \alpha)$ на некоторых уровнях детальности, предшествующие усилению сейсмичности в соответствующем i -том районе (рис. 3а). Это может указывать на повышенную индивидуальность вариаций сейсмического режима в районе будущей активизации и на развитие специфических сейсмологических предвестников.

5. Результаты работы могут быть полезны: (1) при изучении сейсмического режима Камчатки, в частности эффектов миграции коллективного поведения сейсмичности (по поведению статистик $v_i^2(\tau, \alpha)$); (2) для оценки сейсмической опасности (по поведению статистик $\lambda_l(\tau, \alpha)$ и $\rho^2(\tau, \alpha)$); (3) при проведении геофизического мониторинга Камчатки, в частности, для объяснения «ложных тревог» и аномалий в геофизических, геохимических и деформационных полях по поведению вейвлет-агрегированного сигнала, его вейвлет-коэффициентов и других статистик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любушин А.А. (мл.) Многомерный вейвлет-анализ сейсмичности // Физика Земли. 2000. № 8. С. 74-85.
2. Любушин А.А. (мл.) Робастный вейвлет-агрегированный сигнал для задач геофизического мониторинга // Физика Земли. 2002. № 9. С. 37-48.