

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО ГЛУБИНЕ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ- РАЗЛОЖЕНИЙ

ANALYSIS OF CHANGES IN DEPTH DISTRIBUTION OF PROBABILITIES OF SEISMIC EVENTS ON THE BASIS OF EXPANSION INTO WAVELETS

В.В. Богданов, О.В. Мандрикова

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

In the present paper we suggest a method of detection of high seismic periods in Kamchatka on the data of earthquake catalogue. Data processing is based on joint application of statistical methods of modeling and wavelet-transform construction. The suggested approach allowed to find anomalous characteristics in possibility variations of events in depth before strong seismic earthquakes in Kamchatka.

С целью разработки комплексных методов выделения аномалий, приуроченных к сильным землетрясениям п-ова Камчатка, были обработаны данные сейсмического каталога Камчатского региона, который ведется с 1962 г. Положение, границы, размещение очагов землетрясений в сейсмофокальном слое, изменение сейсмической активности по объему этого слоя изучаются с самого начала инструментальных сейсмических исследований на Камчатке. В данной работе этот большой массив данных использовался для того, чтобы при помощи современных автоматических методов обработки исследовать свойства сейсмофокального слоя и проанализировать изменения интенсивности событий по времени, по расположению эпицентров и по глубине. В каталоге приводятся время возникновения землетрясений, координаты эпицентров, глубины очагов, энергетический класс. Землетрясения за конкретный период времени и для выбранной части сейсмоактивной области образуют полную группу событий, а сейсмические режимы описывались в виде соответствующих законов распределения вероятностей [1]. Затем сравнивались сейсмические режимы отдельных участков региона за различные периоды времени, и анализировались реальные изменения в этих режимах, проявившиеся в локальной области за некоторый период времени. В работе анализу были подвержены изменения частот формирования землетрясений, их перераспределение по глубине. Анализ был выполнен на основе вейвлет-преобразования. В качестве исследуемых областей брались параллелепипеды с основанием $\Delta\varphi \times \Delta\lambda = 1^\circ \times 1.5^\circ$ и высотой $H=100$ км. Обработке были подвержены 14 сейсмически активных восточных областей полуострова, находящихся в интервале координат: по широте – $50^\circ-56^\circ$, по долготе – $157^\circ-163^\circ$. Было выбрано временное окно $\Delta T=1$ год и с шагом равным одному году осуществлялось скольжение по каталогу однородных по представительному энергетическому классу ($K>9$) событий. Распределение вероятностей рассчитывалось в каждой анализируемой области, как в пределах временного окна, так и за весь анализируемый период с 01.01.77 г. по 31.01.97 г. С целью проведения анализа вариаций в распределениях вероятностей в каждом районе для каждой глубины было определено ее среднее значение по всем анализируемым временным окнам $\mu_{ср}$. Далее полученные ряды распределения вероятностей сейсмических событий по глубине были представлены в виде непрерывного вейвлет-преобразования. Т.к. значения коэффициентов вейвлет-преобразования характеризуют распределение энергии процесса по масштабам, был выполнен расчет суммы вейвлет-коэффициентов по всем масштабным уровням, характеризующей распределение энергии исследуемого сигнала по глубине [2].

На основе анализа результатов обработки всего массива данных были выделены признаки возрастания сейсмической активности в различных районах полуострова, которые предшествовали потокам сильных сейсмических событий на Камчатке. За

анализируемый период были зарегистрированы три наиболее сильных потока землетрясений. В 1980 г. в четырех районах произошло 9 землетрясений энергетического класса с $K \geq 13$. В период с 1992 по 1993 г.г. в разных районах полуострова произошло 12 землетрясений энергетического класса $K \geq 13$. Наиболее сильные события произошли на глубине 40 км, два с $k=14,6$ и одно с $k=14,9$. Третий, самый сильный поток землетрясений, наблюдался на Камчатке в период с 1996 по 1997 г.г. В этот период на полуострове произошло 26 землетрясений энергетического класса $k \geq 13$, самым сильным из которых было Кроноцкое событие. Накануне всех трех потоков землетрясений на основе предложенной методики были выделены аномальные особенности в анализируемых районах, которые проявлялись в виде резкого увеличения суммарных значений вейвлет-коэффициентов в окрестностях разных глубин. В 1990 г. в районах с координатами 51-52 град. с.ш., 158,5-160 град. в.д.; 51-52 град. с.ш., 160-161,5 град. в.д.; 53-54 град. с.ш., 161,5-163 град. в.д.; 54-55 град. с.ш., 161,5-163 град. в.д.; 54-55 град. с.ш., 163-164,5 град. в.д.; 55-56 град. с.ш., 161,5-163 град. в.д. происходит превышение среднего значения вероятности событий более чем в 1,5 раз. В 1996 г. в 8 районах полуострова в окрестности малых глубин происходит резкое увеличение вероятности событий более чем в 1,5 раз. Эти районы имеют координаты: 50-51 град. с.ш., 157-158,5 град. в.д.; 51-52 град. с.ш., 157-158,5 град. в.д.; 51-52 град. с.ш., 158,5-160 град. в.д.; 51-52 град. с.ш., 160-161,5 град. в.д.; 52-53 град. с.ш., 160-161,5 град. в.д.; 52-53 град. с.ш., 161,5-163 град. в.д.; 54-55 град. с.ш., 161,5-163 град. в.д.; 55-56 град. с.ш., 161,5-163 град. в.д. На рис. 2, 4 показаны результаты расчета суммарных значений вейвлет-коэффициентов, рассчитанные в пределах временных окон $\Delta T = 1$ год для районов с координатами 54-55 град. с.ш., 161,5-163 град.в.д. и 51-52 град. с.ш., 158,5-160 град.в.д. Также на рис. 1, 3 показаны результаты расчета вероятностей по глубине, рассчитанные для этих районов за период с 1990г. по 1997 г.г. Из графиков на рис. 1, 3 видно, что в среднем большинство событий в этих районах происходит на малых глубинах. Анализ суммарных значений вейвлет-коэффициентов в районе с координатами: по широте – 54-55 град.; по долготе – 161,5-163 град (рис. 2), показывает, что в 1990 г. можно отметить увеличение суммарных значений вейвлет-коэффициентов и их смещение в окрестность глубины 20 км. В 1996 г. также наблюдается резкое увеличение их значений в окрестности малых глубин. В другом районе (рис. 4) также наблюдается увеличение суммарных значений вейвлет-коэффициентов в 1991-1992 г.г. и в 1996-1997 г.г. Таким образом, на основе предложенной методики был выполнен анализ формирования вероятностной структуры распределения сейсмических событий по глубине накануне сильных землетрясений на Камчатке и выделены периоды повышенной сейсмической активности.

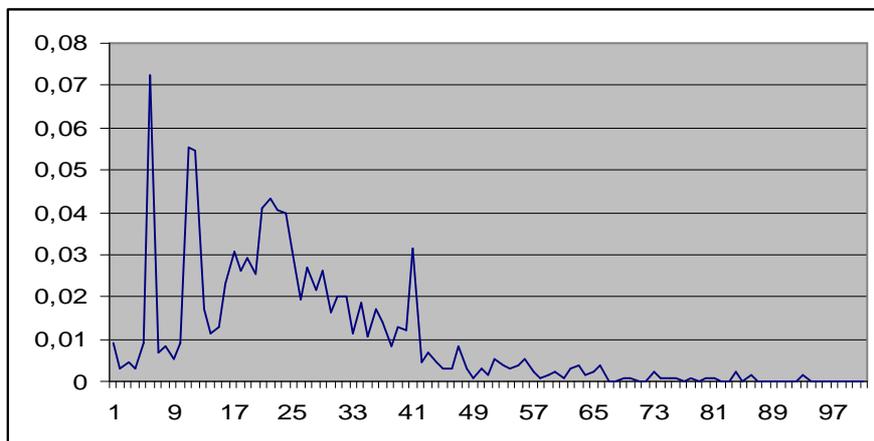


Рис.1. Значения вероятностей событий по глубине, рассчитанной за период 1990-1997 г.г., для района с координатами 54-55 град. с.ш., 161,5-163 град. в.д.

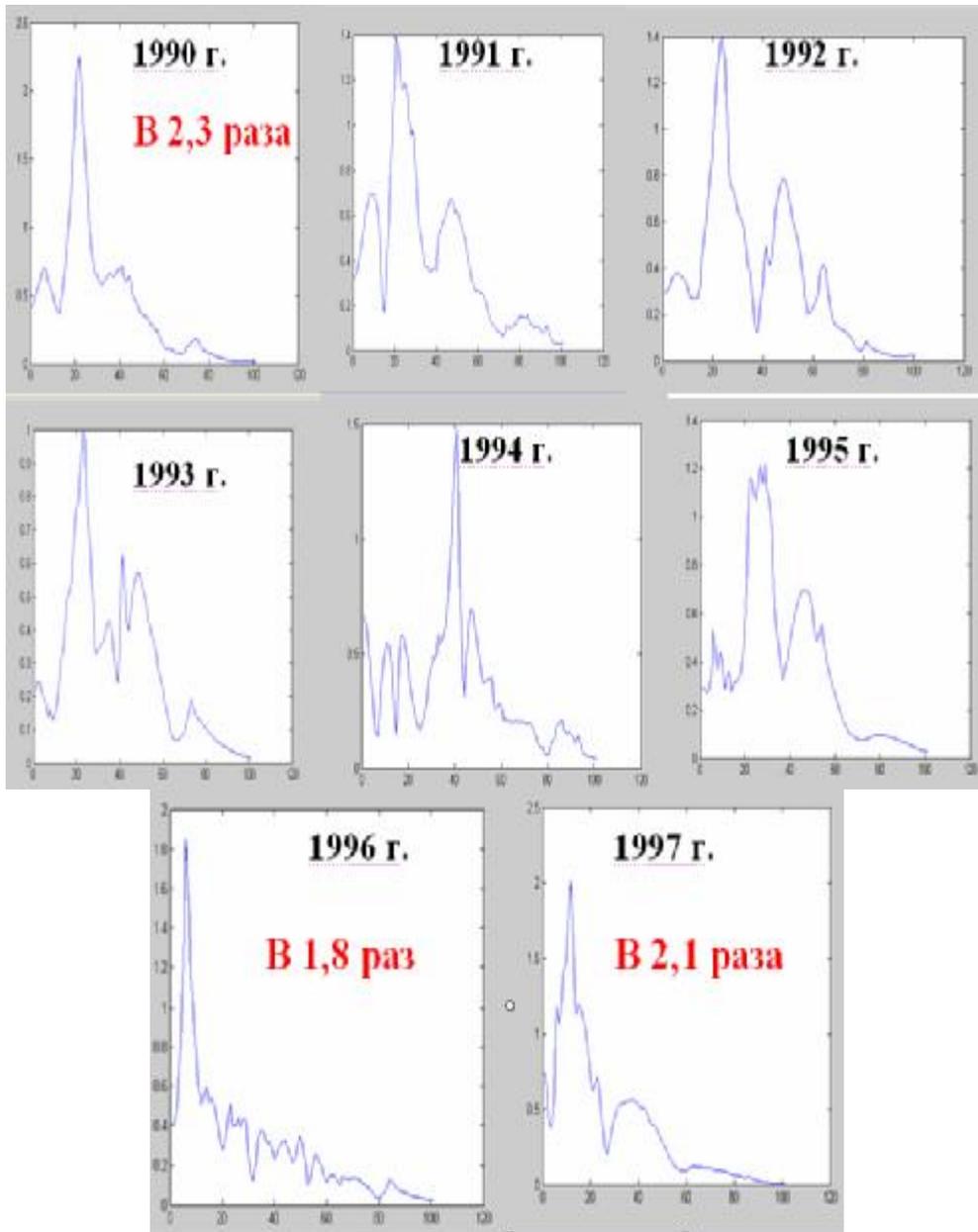


Рис.2. Суммарные значения вейвлет-коэффициентов, рассчитанные в пределах временных окон, равных 1 году, для района с координатами 54-55 град. с.ш., 161,5-163 град. в.д.

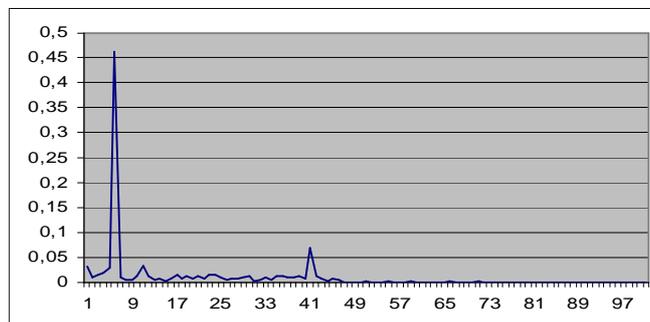


Рис.3. Значения вероятностей событий по глубине, рассчитанной за период 1990-1997 г.г., для района с координатами 51-52 град. с.ш., 158,5-160 град. в.д.

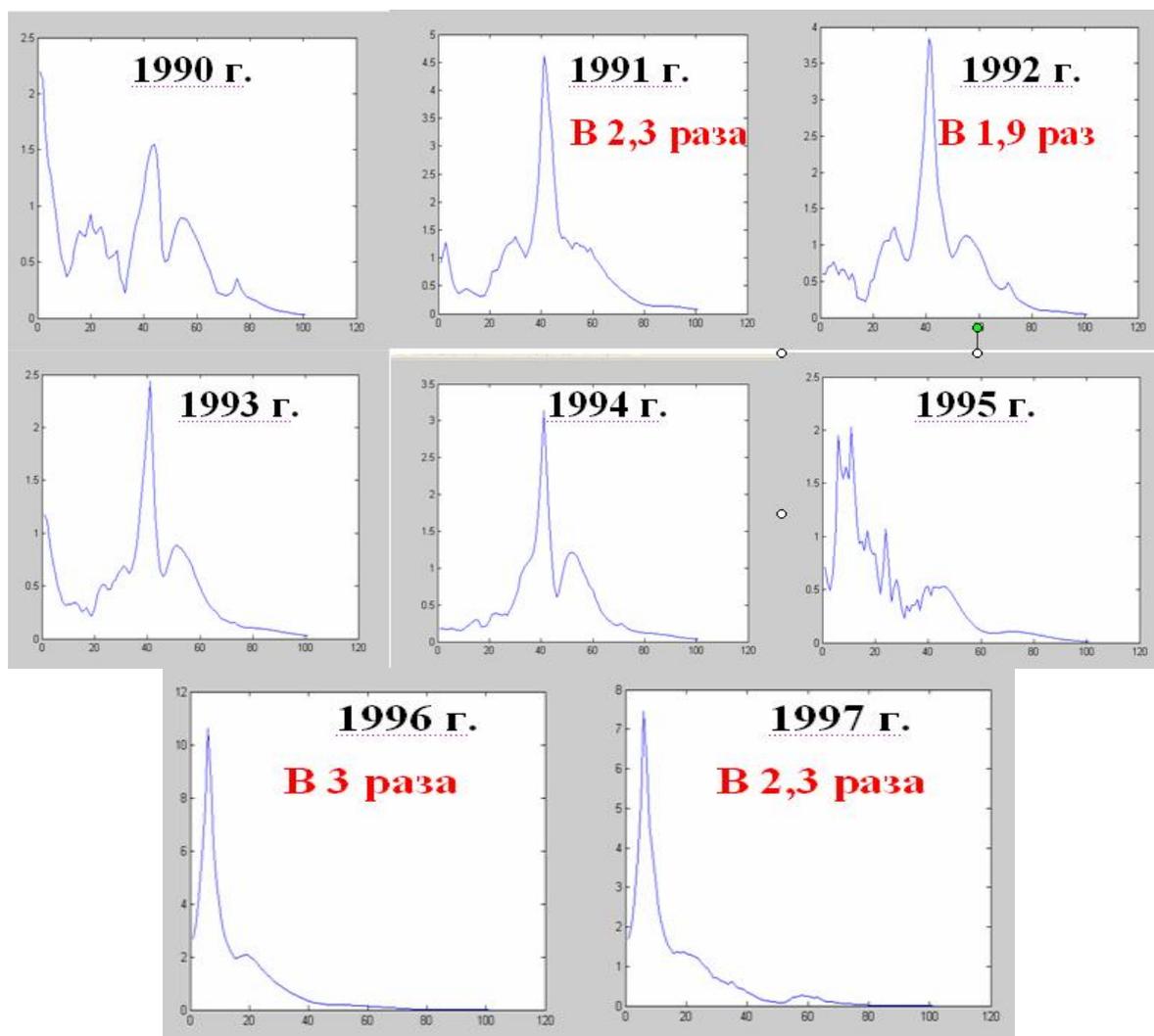


Рис.4. Суммарные значения вейвлет-коэффициентов, рассчитанные в пределах временных окон, равных 1 году, для района с координатами 51-52 град. с.ш., 158,5-160 град. в.д.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта по программе Президиума РАН № 16 (№ контракта 10104-37/П-016/041-404/240507-003) и проекта ИНТАС 06-1000013-8823.

Список литературы

1. Богданов В.В. Вероятностная интерпретация закона повторяемости землетрясений на примере Камчатского региона // Докл. АН. 2006. Т. 408, № 3. С. 393-397.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / пер. с англ. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. – 464 с.