

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА ПО ГЛУБИНЕ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ СЕЙСМИЧНОСТИ RESEARCH OF DISTRIBUTIONS OF SEISMIC EVENTS OF KAMCHATKA REGION ON DEPTH ON THE BASIS OF PROBABILISTIC MODEL OF SEISMICITY

Богданов В.В., Павлов А.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка ybogd@ikir.ru, alpvl@yandex.ru

Research of seismic activity of Kamchatka was conducted on the basis of the probability-theoretic approach to the catalogue of earthquakes of the Kamchatka region. The analysis of distributions of seismic events on depth (up to 70 км), calculated with a time window $\Delta T=1$ year and sliding step three months for the period from 01.01.1962 up to 01.05.2010 for the same areas is submitted in the report. Mathematical expectation value and mean square deviation of depth, both for the separate area, and all area including the considered areas were calculated for each period. The behavior of the received statistical parameters in the periods previous to earthquakes with energy class $K_s \geq 14$ is analyzed. It is received, that to occurrence of the majority of seismic events with the given energy class, occurred in considered areas, precedes sharp change a mathematical expectation of their depth and, except for it, depths of these earthquakes lay within the limits of one mean square deviation from their mathematical expectation.

Применение методов теории вероятностей к каталогу сейсмических событий позволяет рассматривать каждое землетрясение как элементарное событие ω_i в пространстве элементарных событий Ω . При этом каждое единичное событие ω_i можно охарактеризовать системой случайных непрерывных величин: энергетическим классом k , широтой φ , долготой λ , глубиной h , временем t . Время единичного землетрясения из системы случайных величин исключается. Сейсмичность всего региона или его выбранной части за некоторый период времени рассматривается как полная группа событий и описывается в виде распределений условных и безусловных вероятностей P , имеющих частотное представление. Случайные события определяются как комбинации системы случайных величин k, φ, λ, h в множестве $\tilde{F}$. Это позволяет представить каталог сейсмических событий за период наблюдений как вероятностное пространство трех объектов $\{\Omega, \tilde{F}, P\}$ и дает возможность вычислять распределения вероятностей для различных случайных событий [1]. Если закон распределения системы случайных величин задан в аналитической форме посредством функции распределения $F(\varphi, \lambda, h, k)$ или ее плотности $f(\varphi, \lambda, h, k)$, то по стандартным формулам можно найти законы распределения отдельных величин. Для непрерывных величин вероятности попадания случайных событий в заданные интервалы по широте $\Delta\varphi_i$, долготе $\Delta\lambda_j$, глубине Δh_m и по классу Δk_n вычисляются по формуле:

$$P(\Delta\varphi_i, \Delta\lambda_j, \Delta h_m, \Delta k_n) = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\lambda \int_{h_1}^{h_2} dh \int_{k_1}^{k_2} dk f(\varphi, \lambda, h, k) = F(\varphi_i, \lambda_j, h_m, k_n) - F(\varphi_{i-1}, \lambda_{j-1}, h_{m-1}, k_{n-1}) =$$

$$= P(\Delta\varphi_i)P(\Delta\lambda_j|\Delta\varphi_i)P(\Delta h_m|\Delta\lambda_j, \Delta\varphi_i)P(\Delta k_n|\Delta h_m, \Delta\lambda_j, \Delta\varphi_i) \quad (1),$$

где i, j, m и n – индексы, соответствующих интервалов случайных величин. В этом выражении

приняты обозначения: $P(\Delta\varphi)$ – безусловная вероятность попадания событий в интервал $\Delta\varphi$; $P(\Delta\lambda|\Delta\varphi)$ – вероятность попадания событий в $\Delta\lambda$ при условии, что широта событий – $\Delta\varphi$; $P(\Delta h|\Delta\varphi, \Delta\lambda)$ – вероятность попадания в Δh при условии, что широта и долгота соответственно – $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$; $P(\Delta k|\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h)$ – вероятность попадания в интервал энергетического класса Δk при условии, что широта, долгота и глубина – $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ и Δh . Обработка каталога по приведенной формуле дает возможность вычислить частоты возникновения сейсмических событий в том или ином заданном интервале изменения случайных величин Δ и получить значения функции распределения $F(\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h, \Delta k)$ [2]. На рис.1 в качестве примера представлено распределение вероятностей сейсмических событий по глубине.

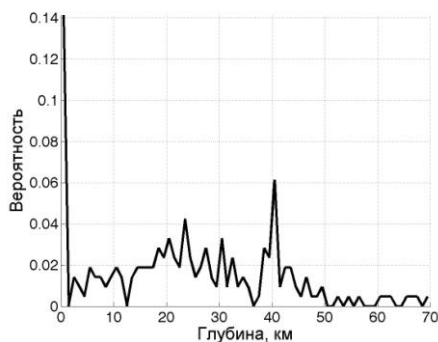


Рис.1. Распределение вероятностей $P(h)$ сейсмических событий по глубине для сейсмоактивной области $\Delta\varphi=51^\circ - 55^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=157^\circ - 164,5^\circ$ в.д. за 1990 г.

Для исследования распределений глубин землетрясений были выбраны восемь сейсмоактивных областей, расположенных вдоль восточного побережья Камчатки (таблица 1). Таблица 1.

№	Координаты области	№	Координаты области
1	$\Delta\varphi=51^\circ - 52^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=157^\circ - 158,5^\circ$ в.д.	5	$\Delta\varphi=53^\circ - 54^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=161,5^\circ - 163^\circ$ в.д.
2	$\Delta\varphi=51^\circ - 52^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=158,5^\circ - 160^\circ$ в.д.	6	$\Delta\varphi=53^\circ - 54^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=161,5^\circ - 163^\circ$ в.д.
3	$\Delta\varphi=52^\circ - 53^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=158,5^\circ - 160^\circ$ в.д.	7	$\Delta\varphi=54^\circ - 55^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=161,5^\circ - 163^\circ$ в.д.
4	$\Delta\varphi=52^\circ - 53^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=160^\circ - 161,5^\circ$ в.д.	8	$\Delta\varphi=54^\circ - 55^\circ$ с.ш., $\Delta\lambda=163^\circ - 164,5^\circ$ в.д.

Для сейсмоактивного района S_Σ , включающего в себя области, координаты которых представлены в таблице 1, были вычислены за временной интервал с 01.01.1962 по 01.05.2010 гг. распределения вероятностей сейсмических событий с энергетическим классом $K_s \geq 9$ по глубине (до 70 км) с временным окном $\Delta T=1$ год и скользящим шагом три месяца. Для каждого периода были рассчитаны математические ожидания и среднеквадратические отклонения (СКО) глубины сейсмических событий. В результате получены распределения соответствующих математических ожиданий и соответствующих СКО во времени. Распределение математического ожидания глубин было сопоставлено с глубинами землетрясений, имеющих энергетический класс $K_s \geq 14$. На рис.2 сплошной линией обозначено математическое ожидание глубины, пунктирной линией - среднее значение математического ожидания глубины, по обе стороны от линии математического ожидания отложено СКО и закрашено цветом, глубины землетрясений с энергетическим классом $K_s \geq 14$ отмечены треугольниками.

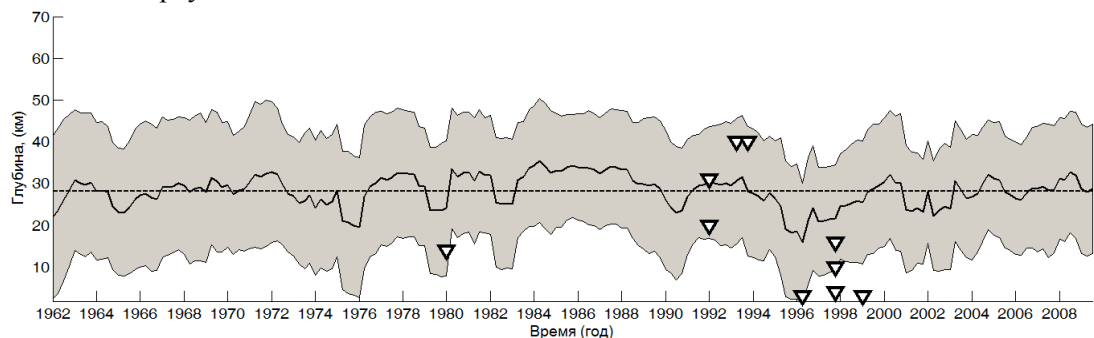


Рис.2 Распределение математического ожидания и СКО глубин землетрясений во времени для сейсмоактивной области № 8.

На рис. 2 видно, что сильные сейсмические события с энергетическим классом $K_s \geq 14$ произошли в рассматриваемом районе в 1980, 1992–1993 и 1996–1999 гг. Среди них сильнейшим было Кроноцкое землетрясение 05.12.1997 г с $K_s=15,5$. Анализируя представленный график, можно отметить, что возникновению рассматриваемых сейсмических событий предшествует резкое изменение математического ожидания глубины землетрясений. Кроме того, глубины большинства этих землетрясений лежат в пределах одного интервала СКО от математического ожидания. Более детально изменения сейсмического режима в преддверии сильных землетрясений представлены на рис.3–14 в виде функций распределения вероятностей сейсмических событий по глубине. На этих рисунках пунктирными линиями отмечены математические ожидания глубины землетрясений, аналогично рисунку №2 по обе стороны от линии математического ожидания отложено СКО и закрашено цветом, глубины землетрясений с энергетическим классом $K_s \geq 14$ отмечены треугольниками. Для периода 1991–1994 гг (рис.3–6) можно отметить то, землетрясения в основном происходили, в том числе и с $K_s \geq 14$, в интервале глубин 10 – 40 км. Начиная с 1995 г (рис.7) начинает происходить

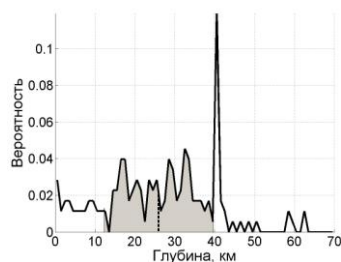


Рис.3. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1991 г.

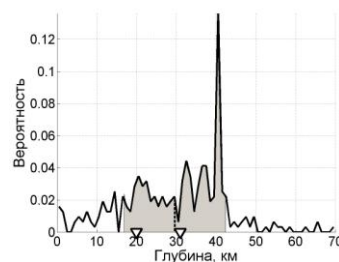


Рис.4. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1992 г.

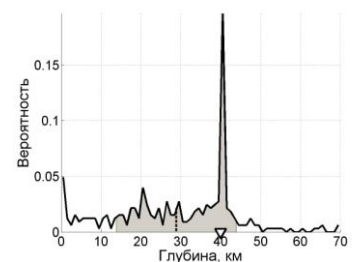


Рис.5. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1993 г.

перераспределение глубин землетрясений и наибольшая их концентрация наблюдается на глубинах до 10 км. В 1996 г (рис.8) практически все землетрясения рассматриваемого района прошли на глубинах до 10 км. В 1997 г происходит также усиление сейсмической активности на глубинах 10-15 км (рис.9), на которых и происходит 05.12.1997 г Кроноцкое землетрясение (рис.10). В последующие годы (рис.11– 14) происходит смещение большинства землетрясений на интервал глубин 10– 40 км.

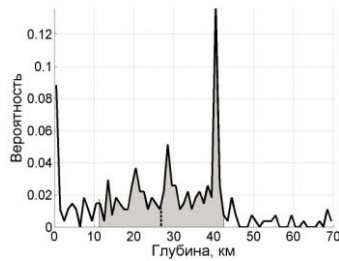


Рис.6. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1994 г.

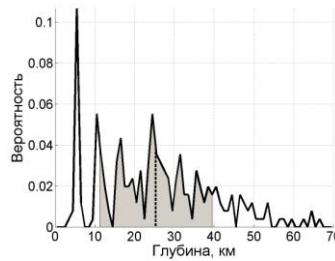


Рис.7. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1995 г.

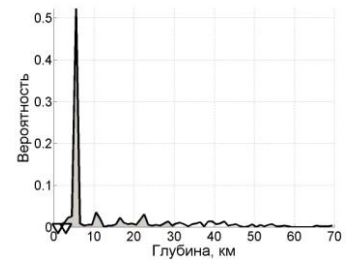


Рис.8. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1996 г.

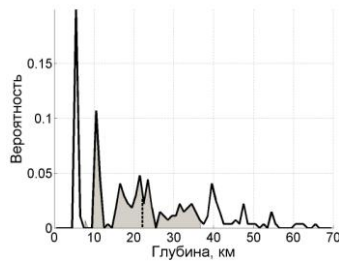


Рис.9. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 01.01.1997-1997.12.04 гг.

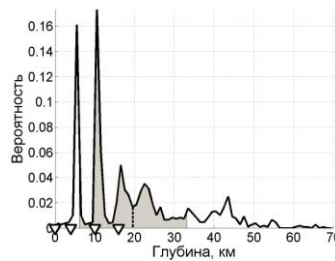


Рис.10. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1997 г.

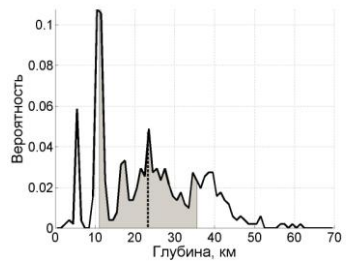


Рис.11. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1998 г.

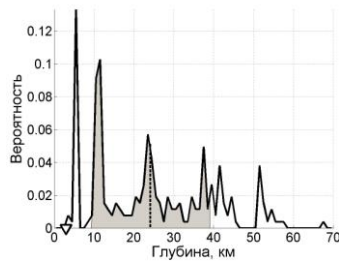


Рис.12. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области за 1999 г.

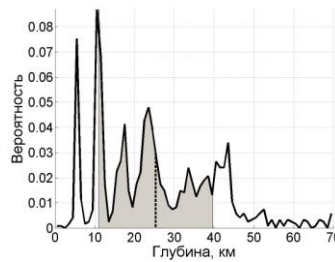


Рис.13. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области 2000–2005 гг.

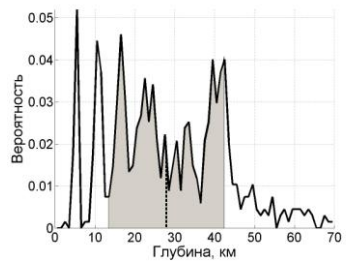


Рис.14. Распределение вероятностей сейсмических событий по глубине для рассматриваемой области 01.01.2000–01.05.2010 гг.

Выводы. Из результатов, полученных в работе, следует, что землетрясениям с энергетическим классом $K_S \geq 14$, произошедших в рассматриваемых сейсмоактивных районах, предшествуют изменения в сейсмическом режиме, которые могут захватывать большие пространственные области, в которых слабые землетрясения ($K_S < 14$) концентрируются в области глубин, близких к глубинам последующих крупных событий. Кроме того, глубины рассмотренных сейсмических событий с $K_S \geq 14$ располагаются в одном интервале среднеквадратического отклонения от математического ожидания глубин землетрясений.

Литература

1. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. – М.: Наука, 1974. 120 с
2. Богданов В.В. Вероятностная интерпретация закона повторяемости землетрясений на примере Камчатского региона // Докл. АН.2006. Т.408. №3.с. 393-397.