

ВАРИАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧНОСТИ, СВЯЗЫВАЕМЫХ С ЗЕМНЫМИ ПРИЛИВАМИ

В.А. Салтыков^{1,2}, В.В. Иванов²

¹ Камчатский государственный педагогический университет, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4;

² Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия ГС РАН, 680006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9; e-mail: salt@emsd.iks.ru

Исследуется воздействие земных приливов на сейсмичность. При этом рассматриваются землетрясения с магнитудой $M > 2.6$. На примере трех сильных Камчатских землетрясений 1993-96 гг. показано, что во время подготовки землетрясения с $M \geq 7.0$ в течение нескольких лет в очаговой зоне будущего землетрясения наблюдается статистическое соответствие времени возникновения слабых землетрясений фиксированным фазам приливных волн. Подобные эффекты наблюдаются и в высокочастотном сейсмическом шуме (ВСШ, амплитуда - 10^{-12} - 10^{-9} м, частота - первые десятки Гц): начальная фаза приливной компоненты огибающей ВСШ постоянна в течение нескольких месяцев перед сильным землетрясением.

Постановка задачи. Вопрос о воздействии земных приливов на сейсмичность имеет достаточно долгую историю, и многие научные статьи посвящены этой проблеме. Тем не менее получаемые результаты неоднозначны. Существует ряд работ с положительными выводами о приливном воздействии (Heaton, 1975; Polombo, 1986; Weems, Perry, 1989), но многие исследователи не разделяют эту точку зрения (Knopoff, 1964; Shlien, 1972; Simpson, 1967). Однако, можно предположить, что приливные эффекты в характеристиках сейсмичности имеют временной характер и зависят от ряда факторов, одним из которых может быть изменение напряженного состояния среды в период подготовки сильного землетрясения. Тогда следует рассмотреть фоновую сейсмичность, предшествующую сильному землетрясению, в пространственной области, соответствующей очагу этого сильного землетрясения, где напряженное состояние среды меняется в наибольшей степени и ожидаемые приливные эффекты могут проявиться наиболее ярко.

Исходные данные и методика анализа. Ниже рассматриваются три сильных землетрясения, произошедшие на юге Камчатки: 8 июня 1993 ($M_w = 7.1$, $\varphi = 51.20^\circ N$, $\lambda = 157.80^\circ E$,

$h = 40$ км), 13 ноября 1993 ($M_w = 7.0$, $\varphi = 51.79^\circ N$, $\lambda = 158.83^\circ E$, $h = 40$ км) и 21 июня 1996 ($M_w = 7.0$, $\varphi = 51.69^\circ N$, $\lambda = 159.52^\circ E$, $h = 3$ км) (рис. 1). Исследуемая пространственная зона определяется положением афтершоков этих землетрясений (рис.1) и представляет собой цилиндры с радиусом 50, 20 и 40 км, соответственно. По вертикали объемы ограничиваются глубиной землетрясений, что составляет для этих зон - 0 - 100 км.

Уровень надежной регистрации землетрясений Камчатской сеймометрической сетью соответствует для данного района магнитуде $M = 2.6$. При анализе рассматриваются землетрясения за период 1962-1996 гг. с магнитудами $M \geq 2.6$. Предварительно каталоги землетрясений очищались от афтершоков всех сильных землетрясений, так как особенности афтершокового процесса могут исказить ожидаемый приливной эффект.

Рассматривается воздействие на сейсмичность четырех приливных волн - O_1 (период $T = 25.82$ ч.), K_1 ($T = 23.93$ ч.), M_2 ($T = 12.42$ ч.) и S_2 ($T = 12.00$ ч.) (Melchior, 1968), которые, в основном, и определяют приливной процесс. Фазы этих волн приливного гравитационного потенциала рассчитывались для времени каждого слабого землетрясения, произошедшего в очаговой зоне одного из

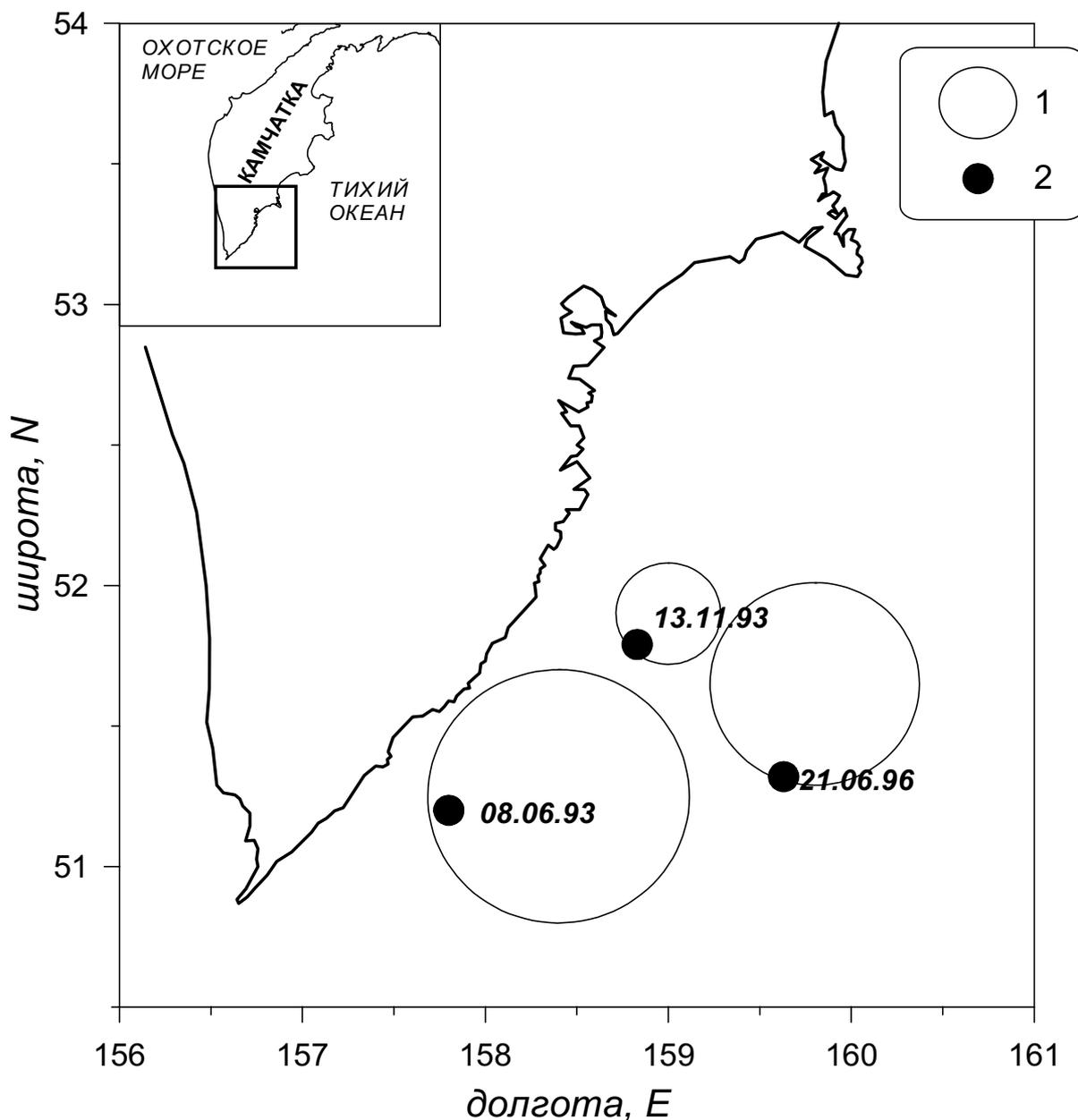


Рис. 1. Карта Южной Камчатки. Отмечены эпицентральные зоны (1) трех сильных землетрясений (2), рассматриваемые в работе.

выбранных сильных землетрясений. Целью дальнейшего анализа является выделение связи этих фаз с подготовкой сильного землетрясения.

Во многих работах отмечено статистическое свойство возможной связи между землетрясениями и приливами, поэтому временные ряды «оригинальных» фаз не дают представления о связи сейсмичности с земными приливами. Тенденции этой связи могут выявляться в вариациях параметров распределения фаз, которые вычисляются в соответствии с распределением фон Мизеса (Von Mises), описываемым функцией распределения (Мардиа, 1978):

$$f(\varphi) = \exp[k \cdot \cos(\varphi - \varphi_0)] / [2\pi \cdot J_0(k)],$$

где k - концентрация, φ - фаза приливной волны, имеющая среднее значение φ_0 , $J_0(k)$ - функция Бесселя. Целям данной работы соответствует анализ вариаций концентрации k , которая является мерой «предпочтительной ориентировки» фаз. Чем выше значение k , тем меньше разброс фаз относительно среднего значения. При $k=0$ распределение фаз соответствует равномерному.

Дальнейший анализ сводится к:

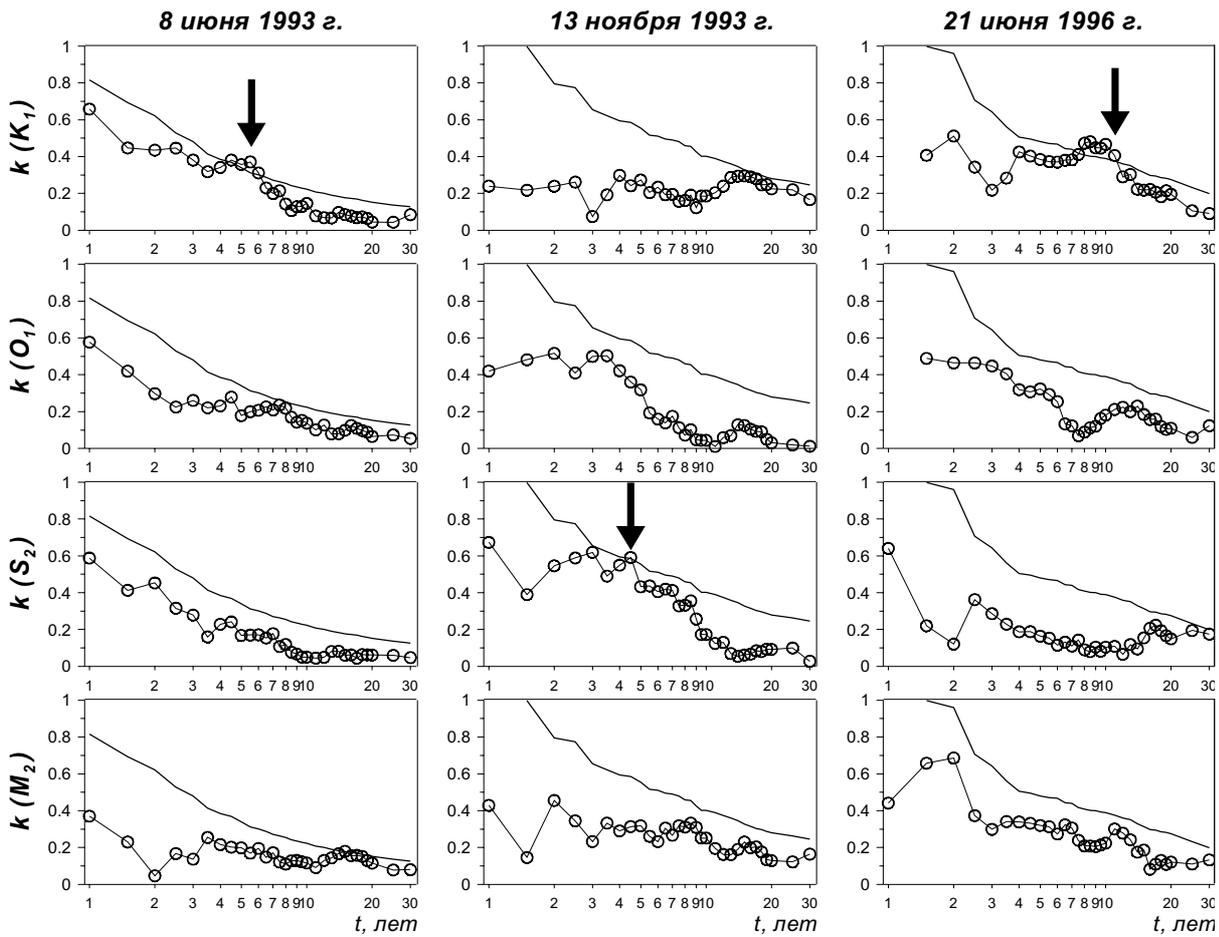


Рис. 2. Зависимость величины концентрации k распределения фаз приливных волн (O_1 , K_1 , M_2 и S_2) от размера временного интервала t перед тремя сильными землетрясениями. Сплошная линия - критическое значение концентрации k_{cr} с уровнем значимости 0.05. Стрелкой указано максимальное t при условии $k > 0.35$

- определению концентрации k для фаз приливных волн, соответствующих землетрясениям, попавшим в определенное временное окно;
- определению критического значения концентрации k (0.05), соответствующего уровню значимости 0.05;
- выявлению временных интервалов, когда: 1) наблюдаемая концентрация k превышает k (0.05), то есть значимо отличается от равномерного, и 2) значение k больше 0.35. (Второе условие достаточно произвольно и является следствием требования, чтобы распределение фаз было достаточно эффективным: при таком k максимальное значение функции распределения превышает минимальное в два раза);
- определению максимального временного интервала, удовлетворяющего вышеперечисленным условиям, для каждой приливной волны и перед каждым сильным землетрясением.

Результаты и их обсуждение. На рис. 2 представлены результаты расчетов концентрации k в различных временных окнах перед тремя вышеупомянутыми сильными землетрясениями. На графиках видно, что перед землетрясениями 8 июня 1993 г., 13 ноября 1993 г. и 21 июня 1996 г. наблюдается значимое отклонение от равномерного распределения фаз лишь одной приливной волны: в двух случаях - это K_1 и в одном - S_2 . Временные интервалы при этом достаточно разнообразны - от 4.5 до 11 лет. При дальнейшем увеличении временного интервала концентрация k уменьшается, то есть распределение становится более равномерным (рис. 2,3).

Подобные вышеописанным приливные эффекты выявлены также в исследованиях высокочастотного сейсмического шума. Высокочастотный сейсмический шум (ВСШ) - это сейсмические колебания с амплитудой 10^{-12} - 10^{-9} м и частотой в диапазоне первых десятков Гц.

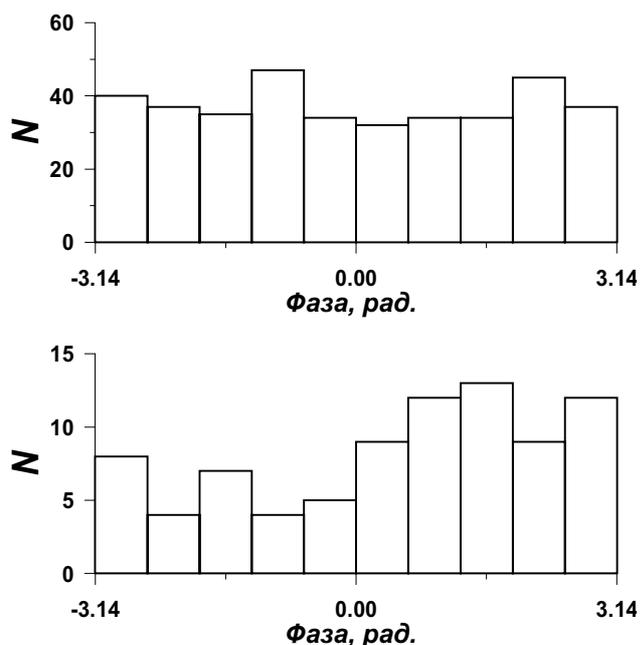


Рис. 3. Пример распределения землетрясений с $M > 2.6$, происшедших в 1962-96 гг. (вверху) и в 1986-96 гг. (внизу) в очаговой зоне землетрясения 21 июня 1996 г., по величине фазы приливной волны K_1 .

Организация и проведение долговременных наблюдений ВСШ на Камчатке позволили получить следующие результаты: компоненты, связанные с воздействием приливных волн K_1 (период $T=23.93$ ч.), P_1 ($T=24.07$ ч.), O_1 ($T=25.82$ ч.), Q_1 ($T=26.87$ ч.), K_2 ($T=11.97$ ч.), S_2 ($T=12.00$ ч.), M_2 ($T=12.42$ ч.) были выделены из огибающей ВСШ (Салтыков и др., 1997а). Кроме того, было обнаружено, что в различных временных интервалах отклик ВСШ на приливное воздействие меняется (Салтыков, 1995). Гипотеза о связи приливной компоненты ВСШ с напряженным состоянием среды (в частности, с подготовкой сильного землетрясения) была подтверждена анализом данных ВСШ за 1992-1998 гг. Перед всеми одиннадцатью землетрясениями с $M > 6$, произошедшими за это время на расстоянии до 250 км от пункта регистрации ВСШ, стабилизация начальной фазы огибающей компоненты ВСШ, вызванной приливной волной O_1 , наблюдалась в течение 1-3 месяцев (Салтыков и др., 1997б, 1998).

Высокочастотный сейсмический шум рассматривается как часть единого сейсмического процесса, но на более низком энергетическом уровне. Самоподобие сейсмического процесса предполагает идентичные тенденции процессов на различных пространственно-временных и

энергетических масштабах. Обнаруженное в фоновой сейсмичности проявление приливных эффектов (а именно - соответствие времени возникновения слабых землетрясений определенным фазам приливных волн в период подготовки сильного землетрясения) представляется аналогом стабилизации начальной фазы приливной компоненты огибающей высокочастотного сейсмического шума (Салтыков и др., 1997б, 1998). Однако временные интервалы их проявления различны (годы - для землетрясений и месяцы - для ВСШ), а энергетические масштабы землетрясений и ВСШ несоизмеримы.

Выводы. Полученные результаты демонстрируют новый аспект влияния земных приливов на сейсмический процесс - соответствие слабых землетрясений, происходящих в очаговой зоне будущего сильного землетрясения, фиксированным значениям фаз приливных волн в течение нескольких лет перед самым сильным землетрясением. При этом отмечается статистическая связь сейсмичности с приливами. В то же время, показано отсутствие этой связи на больших интервалах наблюдений.

Вторым результатом является обнаружение сходных тенденций в сейсмическом процессе на различных энергетических масштабах - землетрясения с магнитудой более 2.6 и высокочастотный сейсмический шум. Это представляет интерес как пример самоподобия сейсмического процесса.

Авторы благодарны В.Б. Смирнову за обсуждение результатов и за предоставление программы выделения афтершоков сильных землетрясений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (грант 01-05-65325).

Список литературы

- Мельхиор П.* Земные приливы. М.: Мир, 1968. 482 с.
- Мардиа К.* Статистический анализ угловых наблюдений. М.: Наука, 1978. 240 с.
- Салтыков В.А.* Особенности связи высокочастотного сейсмического шума и лунно-солнечных приливов // Докл. РАН. 1995. Т. 341. № 3. С. 406-407.
- Салтыков В.А., Синицын В.И., Чебров В.Н.* Изучение высокочастотного сейсмического шума

ВАРИАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧНОСТИ

по данным режимных наблюдений на Камчатке // Изв. РАН. Физика Земли. 1997а. № 3. С. 39-47.

Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Вариации приливной компоненты высокочастотного сейсмического шума в результате изменений напряженного состояния среды // Вулканология и сейсмология. 1997б. № 4. С. 73-83.

Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Использование высокочастотного сейсмического шума для среднесрочного прогноза сильных камчатских землетрясений // «Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия». Петропавловск-Камчатский: из-во КГАРФ, 1998. С. 99-106.

Heaton T.H. Tidal triggering of earthquakes // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1975. V. 43. P. 307-326.

Knopoff L. Earth tides as triggering mechanism for earthquakes // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1964. V. 54. P. 1865-1870.

Polumbo A. Lunar and solar tidal components in the occurrence of earthquakes in Italy // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1986. V. 84. № 1. P. 93-99.

Shlien S. Earthquake-tide correlation // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1972. V. 28. P. 27-34.

Simpson J.F. Earth tides as a triggering mechanism for earthquakes // Earth and Planet. Sci. Lett. 1967. V. 2. P. 473.

Weems R.E., Perry W.H. Strong correlation of major earthquakes with solid-earth tides in part of the eastern United States // Geology. 1989. V.17. P. 661-664.

Variations of Seismicity Parameters Connected with Earth Tides

V. A. Saltykov^{1,2}, V. V. Ivanov¹

¹*Kamchatkan State Pedagogical University Kamchatkan, 383032, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogradnaya street, 4*

²*Kamchatkan Seismological Department, Geophysical Service, 683006 Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9*

The influence of earth tides upon seismicity is investigated. Thus the various power levels of seismicity are considered: earthquakes with magnitude $M > 2.6$. It is shown, that in the time of preparation of three strong Kamchatkan earthquake with $M_i 7.0$ the conformity of weak earthquake moment to fixed values of tidal wave phase is observed during several years. The similar effect is observed in the high-frequency seismic noise (HFSN, amplitude - 10^{-12} - 10^{-9} m, frequency - first tens Hz) too: the phase of tidal component of the HFSN envelope has stabilised value during several months before strong earthquake.