

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУРИЛЬСКОЙ ГРЯДЫ (2006–2009 гг.)

Т.А. Фокина¹, Г.В. Шевченко²

¹ ФГБУН Сахалинский филиал Геофизической службы РАН, ул. Тихоокеанская 2А, г. Южно-Сахалинск, 693022; fokina@seismo.sakhalin.ru

² ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1Б, г. Южно-Сахалинск 693022; e-mail: shevchenko@imgg.ru

Поступила в редакцию 26 марта 2012 г.

Методом спектрально-временного анализа (СВАН) изучены записи сейсмических сигналов на трех широкополосных сейсмических станциях IRIS (Петропавловск-Камчатский, Южно-Сахалинск и Якутск) группы сильных землетрясений, произошедших в центральной части Курильского глубоководного жлоба в 2006–2009 гг. (три из них вызвали цунами различной интенсивности). Выявлено, что низкочастотная граница проявления сейсмических колебаний, связанных с поверхностными волнами Рэлея, зависит от магнитуды землетрясения и в перспективе может использоваться как дополнительный критерий цунамигенности, хотя данный вопрос требует серьезных дополнительных исследований. По проявлениям на СВАН-диаграммах Р и S-волн подобной связи выявить не удалось.

Ключевые слова: землетрясение, магнитуда, сейсмические волны, поверхностные волны, спектрально-временной анализ, дисперсия, цунамигенность, Курильские о-ва.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование вариаций спектральных характеристик сейсмических сигналов во времени предоставляет большие возможности для изучения процессов, происходящих в очаговой области землетрясения. Интерес к решению данной задачи возник в конце 1960-х–начале 1970-х гг., в это время был разработан специальный математический аппарат спектрально-временного анализа [11, 15]. Из-за имевшего место три десятилетия назад дефицита цифровых записей К.К. Запольским была разработана специальная сейсмическая станция, которая решала задачу определения спектральных амплитуд в различных частотных диапазонах в последовательные промежутки времени на аппаратном уровне путем включения в сейсмический канал системы фильтрующих устройств (ЧИСС-станция [6]). Анализ сейсмических сигналов, полученных на этих станциях, показал зависимость спектральных характеристик (в частности, низкочастотной границы спектра) от магнитуды землетрясения [7]. Работы проводились на основе записей ЧИСС “Обнинск”, позволяющей получить непосредственное спектральное разложение сейсми-

ческих записей, на основе которого определялись динамические параметры очагов землетрясений: сейсмический момент, падение напряжения, смещение по разлому и т.п. [8, 9].

Данное обстоятельство побудило группу исследователей использовать материалы измерений, полученных на ЧИСС-станциях, для поиска дополнительных критериев цунамигенности землетрясения. Работы по исследованию спектрально-временных характеристик Р-волн сильных землетрясений проводились в ИМГиГ ДВО РАН в 70–90 гг. прошлого века с целью поиска дополнительного критерия цунамигенности для уменьшения числа ложных тревог в службе предупреждения о цунами [1–5]. Авторами были отмечены неравномерность излучения упругих волн цунамигенным разрывом и различие спектров цунамигенных и нецунамигенных землетрясений в низкочастотной области. В спектрально-временных (СВАН) диаграммах цунамигенных землетрясений было выявлено два максимума (один из них сдвинут в более высокочастотную область), в то время как на спектрах нецунамигенных землетрясений второго максимума не было обнаружено. Два максимума в

спектрах Р-волн могли свидетельствовать о более сложном характере развития разрыва в очаге цунами-генного землетрясения, в частности, о распространении разрыва с остановками. Попытка установить связь величин сейсмического момента, размеров очага, падения напряжения, смещения на разрыве с цунамигенностью землетрясения не дала желаемого результата.

Установка на ряде российских сейсмических станций широкополосных сейсмографов IRIS позволяет исследовать спектральные характеристики сильных землетрясений (как вызвавших, так и не вызвавших цунами) и получить ответ на вопрос о том, возможно ли использовать низкочастотную границу спектра (как по Р, так и особенно по S и поверхностным волнам, в большей мере отвечающим за макросейсмические проявления землетрясений) в качестве дополнительного критерия цунамигенности. Актуальность этой задачи подчеркивается катастрофическими событиями на северо-восточном побережье о. Хонсю при Тохоку цунами 11 марта 2011 г. Магнитуда землетрясения японской Службой предупреждения о цунами была определена с большой погрешностью (первоначальная оценка была $M=7.9$), в таких случаях возможность привлечения дополнительных критериев особенно важна.

В данной работе проанализированы записи широкополосных сейсмографов IRIS серии Симуширских землетрясений 2006–2009 гг., три из которых вызвали цунами различной интенсивности: очень сильное – 15 ноября 2006 г. (на безлюдных островах центральной части Курильской гряды высоты волн достигали 15–20 м [12]), умеренное – 13 января 2007 г. [13], и сравнительно слабое – 15 января 2009 г. (значимая высота волны зафиксирована только в Курильске [17]). Использовались материалы наблюдений на трех станциях, находящихся на различном удалении и по-разному ориентированных по отношению к изучаемой сейсмоактивной зоне, – “Петропавловск-Камчатский”, “Южно-Сахалинск” и “Якутск” (рис. 1). Целью работы было исследование вариаций во времени спектральных характеристик сейсмического сигнала и определение низкочастотной границы спектра сейсмических колебаний при цунамигенных, а также достаточно сильных, но не вызвавших цунами землетрясениях, и оценка возможности использования этой характеристики в Службе предупреждения о цунами. Этот подход может быть некоторой альтернативой получившей широкое распространение в последние годы оценке магнитуды M_{rw} (магнитуды Цубои [19]), вычисляемой из скалярного сейсмического момента. Недостаток этой методики связан с тем, что эта величина су-

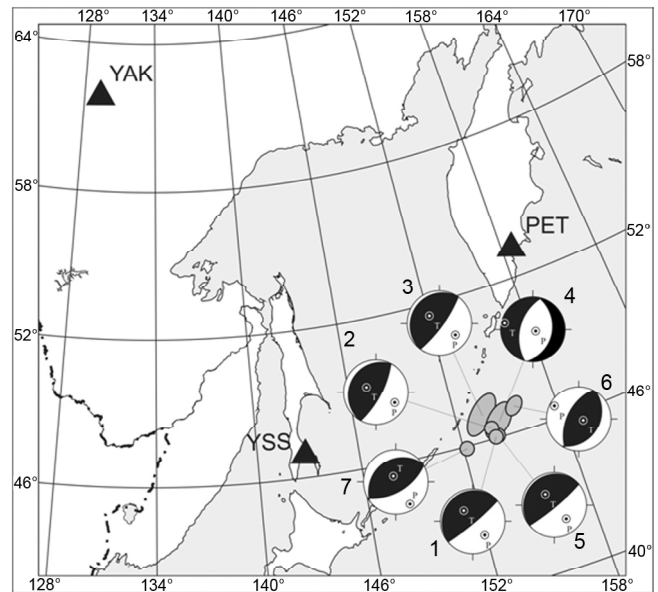


Рис. 1. Положение эпицентров сильнейших землетрясений, имевших место в районе центральной части Курильской гряды в 2006–2009 гг., и их механизмы согласно [10]. Треугольниками отмечены широкополосные сейсмографы IRIS.

щественно зависит от диаграммы направленности Р-волн. Поэтому для правдоподобной оценки M_{rw} , сейсмическая сеть должна обеспечивать хорошее азимутальное распределение приемников относительно источника, чего трудно достичь в условиях Курильской гряды.

Под низкочастотной границей спектра нами понималась наиболее низкая частота, на которой отмечено значимое отличие энергии колебаний при землетрясении по сравнению с естественным шумом.

МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе анализировались записи землетрясений, произошедших в 2006–2009 гг. в центральной части Курильской гряды. Рассматривались только достаточно сильные события, с магнитудой M_L не менее 6.7. Всего за указанный период в данном районе произошло 7 таких землетрясений, 3 из которых, как отмечалось выше, вызвали волны цунами. Параметры этих землетрясений (координаты эпицентров, время, магнитуда, тип механизма) приведены в табл. 1. На рис. 1 представлены эпицентры и механизмы (согласно [10]) рассматриваемых землетрясений, а также положение широкополосных сейсмических станций IRIS, на которых были получены цифровые записи сейсмических сигналов. Станция “Петропав-

Таблица 1. Характеристики сильнейших землетрясений, имевших место в районе центральной части Курильской гряды в 2006–2009 гг.

| | Год | Дата | Время | φ° | λ° | H, км | MLH | Механизм |
|---|------|-------|----------|-----------------|-----------------|-------|-----|----------------|
| 1 | 2006 | 30.09 | 17:50:17 | 45.9 | 153.9 | 31 | 6.9 | пологий надвиг |
| 2 | 2006 | 01.10 | 09:05:57 | 46.3 | 153.8 | 31 | 6.7 | пологий надвиг |
| 3 | 2006 | 15.11 | 11:14:15 | 46.7 | 153.2 | 41 | 8.0 | пологий надвиг |
| 4 | 2007 | 13.01 | 04:23:23 | 46.5 | 154.3 | 10 | 8.1 | сброс |
| 5 | 2008 | 03.03 | 09:30:57 | 45.9 | 154.0 | 35 | 6.7 | пологий надвиг |
| 6 | 2009 | 15.01 | 17:49:37 | 46.9 | 155.4 | 41 | 6.9 | взброс |
| 7 | 2009 | 07.04 | 04:23:33 | 45.8 | 152.1 | 69 | 6.7 | взброс |

ловск” расположена к северу-северо-востоку от очагов этих землетрясений, расстояния до которых колебались от 718 (6) до 932 км (7) (табл. 2). Станция “Южно-Сахалинск”, напротив, находится примерно на той же широте, к западу от эпицентров, расстояния до них примерно такие же, как и в рассмотренном выше случае – от 727 (7) до 958 км (6). Станция “Якутск” более существенно удалена от зоны землетрясений в северо-западном направлении, экстремальные значения расстояний составляют 2254 (3) и 2362 км (5).

Анализировались записи, полученные по каналам ВНН, ВНЕ ВНЗ, дискретность измерений по которым составляет 20 Гц. Поскольку высокочастотная компонента сигнала в данном исследовании существенного интереса не представляла, данные были прорежены и приведены к дискретности 4 Гц. Длительность анализируемых отрезков записи составляла на станциях “Петропавловск” и “Южно-Сахалинск” 14 мин, на станции “Якутск” – 16 мин. Рассматривались все составляющие сейсмического сигнала, но основное внимание в данной работе уделялось вертикальной компоненте. Отметим, что существенных различий между СВАН-диаграммами на интервалах проявления S и поверхностных волн для различных проекций вектора скорости нами не было обнаружено, так что данный выбор не имел принципиального значения, к тому же в этой составляющей не проявляются поверхностные волны Лява, что позволяет исследовать более длинный участок записи S-волны.

Для анализа вариаций спектральных характеристик сейсмических волн во времени применялась упомянутая выше методика спектрально-временного анализа [11, 15], сходная с весьма популярным в настоящее время wave-let анализом. Исследовался диапазон частот от 0.003 до 1 Гц, частотная характеристика канала не позволяла анализировать более низкочастотные колебания. Однако в дальнейшем, исходя из характеристик сигнала, рассматривался более уз-

Таблица 2. Расстояния (в км) от эпицентров землетрясений до сейсмических станций “Петропавловск” (PET), “Южно-Сахалинск” (YSS) и “Якутск” (YAK).

| | PET | YSS | Yak |
|---|-----|-----|------|
| 1 | 861 | 860 | 2358 |
| 2 | 823 | 844 | 2317 |
| 3 | 802 | 793 | 2254 |
| 4 | 788 | 879 | 2319 |
| 5 | 858 | 879 | 2362 |
| 6 | 718 | 958 | 2328 |
| 7 | 932 | 727 | 2286 |

кий диапазон от 0.01 до 0.12 Гц, и основное внимание было сконцентрировано на низкочастотной составляющей S и поверхностных волн.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 представлены графики вертикальной компоненты сейсмического сигнала при Симуширском землетрясении 15.11.2006 г., полученные на трех широкополосных сейсмических станциях IRIS. Наиболее примечательной особенностью этих записей является слабая выраженность P-волн, на которые накладываются более интенсивные PL волны – характеризующиеся как *leaking modes* (просачивающиеся моды), то есть сейсмические колебания, распространяющиеся в низкоскоростном слое земной коры и верхней мантии со скоростями выше, чем у типичных поверхностных волн. Эти волны детально исследовались в работах [16, 18], именно в связи с низкочастотными компонентами сейсмических сигналов (периоды более 15 сек). Интервал времени, на котором проявляется P-волна, настолько мал, что анализировать ее частотные свойства не представляется возможным. Период накладывающихся на нее PL-волн во всех случаях был примерно одинаковым – около 25 сек. С точки зрения поставленной задачи, эти волны, период которых, по-видимому, зависит

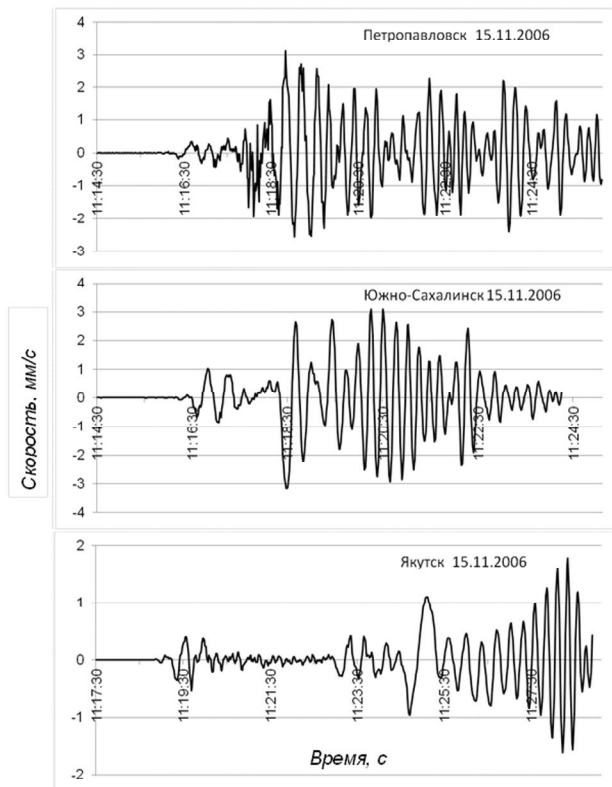


Рис. 2. Отрезки записи вертикальной составляющей сейсмического сигнала (в мм/с) на широкополосных станциях IRIS “Петропавловск”, “Южно-Сахалинск” и “Якутск” при землетрясении 15.11.2006 г.

главным образом от свойств земной коры и, в меньшей степени, более глубоких слоев, а не от интенсивности землетрясения, представляют незначительный интерес.

На станциях “Петропавловск” и “Южно-Сахалинск” S-волна (момент вступления которой хорошо согласуется с расчетом на основе скоростей сейсмических волн согласно [14]) также проявляется достаточно слабо, буквально в виде одного-двух колебаний, после чего в записи доминируют поверхностные волны Рэлея. На начальном отрезке записи они проявляются как сравнительно низкочастотные колебания, а затем их период стабилизируется и составляет, в дальнейшем, около 20 с – хорошо выраженная дисперсия характерна для этого типа волн. Именно начальные участки записи поверхностных волн, на которых отмечены самые низкочастотные составляющие, и представляют наибольший интерес, исходя из целей данной работы.

На станции “Якутск” S-волна выражена более отчетливо, причем далее в записи также присутствует мощное низкочастотное колебание, представляю-

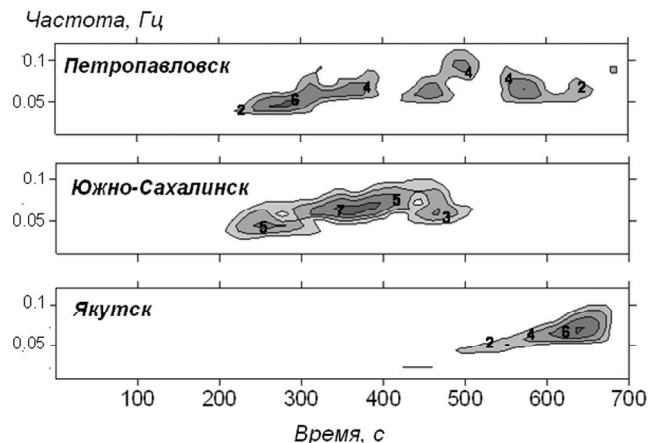


Рис. 3. СВАН-диаграммы вертикальной компоненты сейсмического сигнала при землетрясении 15.11.2006 на станциях “Петропавловск”, “Южно-Сахалинск” и “Якутск”. Спектры нормированы на значение скорости 4 мм/с (“Якутск” – 2 мм/с), отвечающее уровню 10, изолинии проведены через 2 дБ.

щее особый интерес. Затем следует цуг интенсивных поверхностных волн.

Расчет СВАН-диаграмм показал (рис. 3), что низкочастотная граница спектра вертикальной компоненты сейсмического сигнала при Симуширском землетрясении 15.11.2006 г., отвечающая следующему за S-волной начальному отрезку записи поверхностных волн, составляет на станциях “Петропавловск” и “Южно-Сахалинск” 35–40, а на станции “Якутск” – около 50 с. На СВАН-диаграмме четко выделяется плавное повышение частоты основного максимума во времени – именно такой характер дисперсии типичен для волн Рэлея. На всех диаграммах линии максимальных значений спектральных амплитуд поднимаются до частоты около 0.05 Гц и далее имеют горизонтальную вытянутость, что отвечает поверхностным волнам.

Землетрясение 13.01.2007 г. имело самую большую магнитуду, поэтому можно было ожидать наиболее низкочастотных колебаний в S-волне и поверхностных волнах. И действительно, как видно из рис. 4, на котором представлены графики вертикальной компоненты сейсмического сигнала, на всех станциях такие колебания присутствуют, но только в поверхностных волнах. Особенно выделяется мощный низкочастотный импульс на станции “Петропавловск”, отмеченный вскоре после момента вступления S-волны, которая проявляется, как и в рассмотренном выше случае, в виде одного-двух колебаний. Аналогичная картина наблюдалась и на станции “Южно-Сахалинск”, где S-волна также наблюдалась

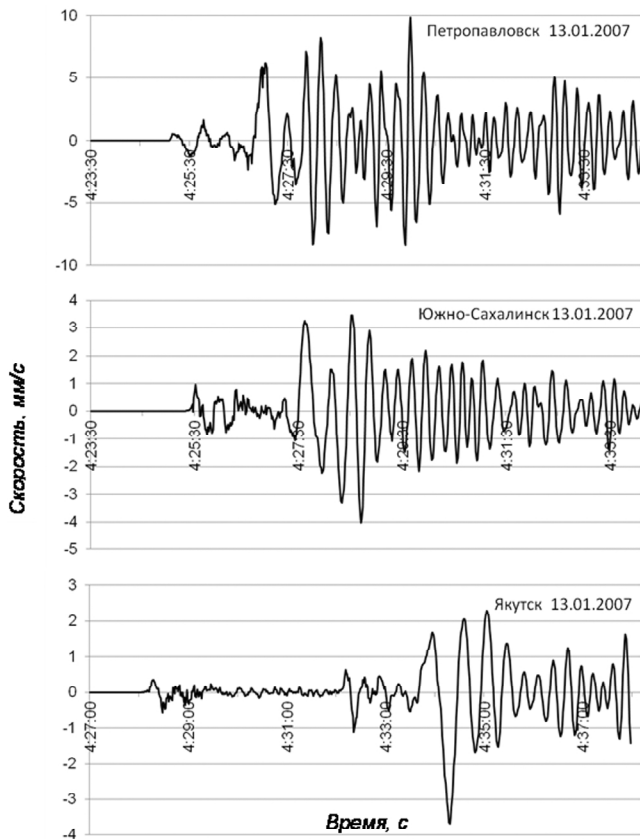


Рис. 4. Отрезки записи вертикальной составляющей сейсмического сигнала (в мм/с) на широкополосных станциях IRIS “Петропавловск”, “Южно-Сахалинск” и “Якутск” при землетрясении 13.01.2007 г.

на коротком промежутке времени, а за ней отмечены сравнительно непродолжительные мощные низкочастотные колебания на начальном отрезке записи волн Рэлея, после чего на обеих станциях доминировали интенсивные поверхностные волны с периодами около 20 с. Отметим, что на первом низкочастотном колебании сдвиг между вертикальной и горизонтальной E-компонентой был меньше, чем на последующем промежутке времени, когда явно доминировали поверхностные волны. Отмеченная особенность, возможно, связана со вкладом на данной станции просачивающихся мод, порожденных S-волной (PL(S) в терминологии [18]). Уже на втором колебании наблюдалась картина, типичная для волн Рэлея.

Несколько иная картина наблюдалась на станции “Якутск” – здесь за достаточно четко выраженной S-волной следуют мощные и достаточно продолжительные низкочастотные колебания, амплитуды которых, в отличие от рассмотренных выше станций, были существенно большими, чем у следовавших за ними волн. То, что низкочастотные поверхностные

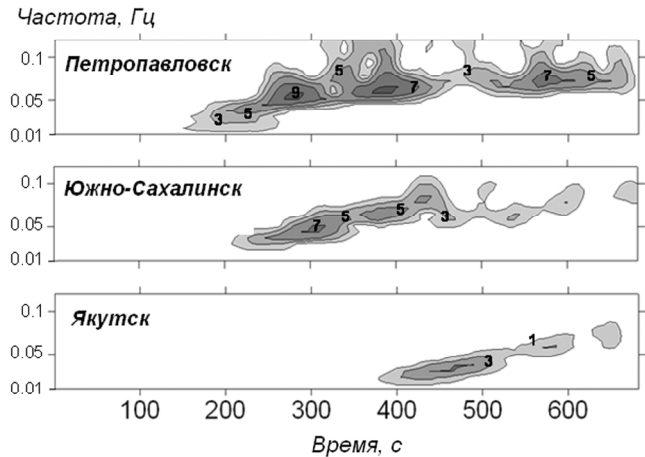


Рис. 5. СВАН-диаграммы вертикальной компоненты сейсмического сигнала при землетрясении 13.01.2007 на станциях “Петропавловск”, “Южно-Сахалинск” и “Якутск”. Спектры нормированы на значение скорости 4 мм/с (“Петропавловск” – 6 мм/с), отвечающее уровню 10, изолинии проведены через 2 дБ.

волны затухают медленнее, чем более высокочастотные, факт вполне очевидный. Более важным представляется именно то, что на расположенных ближе к эпицентру сейсмических станциях максимальные амплитуды поверхностных волн отмечены не в первой низкочастотной группе – соответственно, ориентация на низкочастотный сигнал может обеспечить определенный выигрыш во времени по сравнению с оценкой магнитуды MS.

На СВАН-диаграммах (рис. 5) граница диапазона проявления сейсмических волн при данном землетрясении сильно смещена в низкочастотную область. На станциях “Петропавловск” и “Южно-Сахалинск” она достигает 70–80 с, а на станции “Якутск” – 100 с. Так же, как и при рассмотренном выше землетрясении 15.11.2006 г., для этих волн характерна хорошо выраженная дисперсия, типичная для волн Рэлея.

При землетрясении 15.01.2009 г. на станции “Петропавловск” также просматриваются весьма низкочастотные колебания, хотя на двух других (включая “Якутск”, где при других землетрясениях отмечены наиболее длиннопериодные компоненты) это выражено в меньшей степени (рис. 6). На станции “Южно-Сахалинск”, помимо этого, наблюдался “уход нуля” – эта проблема здесь периодически возникает. В остальном характер сейсмического сигнала идентичен наблюдавшемуся при землетрясении 15.11.2006 г., если не считать отдельного всплеска интенсивных колебаний с периодом около 30 с перед типичным для рассматриваемых событий волновым пакетом с выраженной дисперсией.

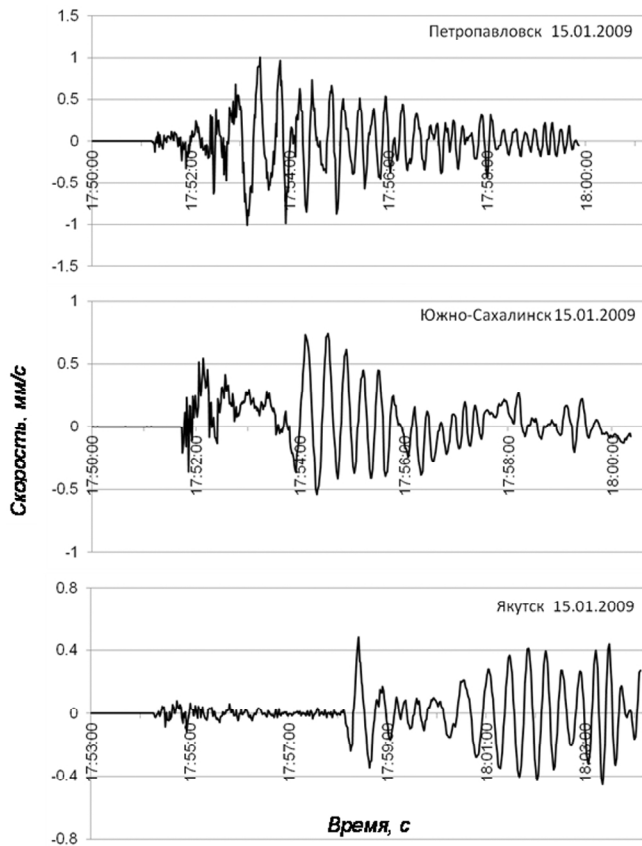


Рис. 6. Отрезки записи вертикальной составляющей сейсмического сигнала (в мм/с) на широкополосных станциях IRIS “Петропавловск”, “Южно-Сахалинск” и “Якутск” при землетрясении 15.01.2009 г.

На СВАН-диаграммах низкочастотная граница проявления сейсмических колебаний на станции “Петропавловск” составляла около 40 с, на других станциях – около 30 с (рис. 7).

При других сильных землетрясениях, не вызвавших цунами, характер сейсмического процесса был примерно одинаковым, пакеты поверхностных волн с выраженной дисперсией наблюдались во всех случаях. Низкочастотные границы диапазона проявления сейсмических колебаний во всех случаях составляли 30–35 с, не смещались ни в сторону более низких, ни в сторону более высоких частот. Это указывает на то, что ответственные за низкочастотные колебания поверхностные волны обусловлены свойствами среды и характер сейсмического сигнала идентичен при различных землетрясениях. По этой причине как сами сейсмограммы, так и рассчитанные СВАН-диаграммы характеризуются поразительным сходством. И только при самых сильных землетрясениях 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г. наблюдалось смещение границы диапазона проявления сейсмического сигнала в сторону более низких частот.

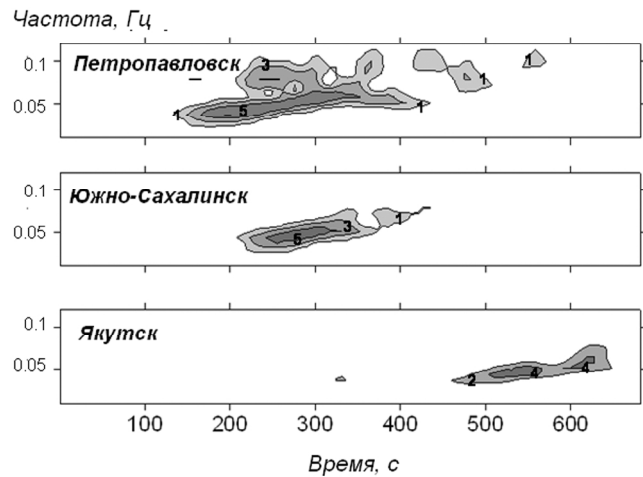


Рис. 7. СВАН-диаграммы вертикальной компоненты сейсмического сигнала при землетрясении 15.01.2009 на станциях “Петропавловск”, “Южно-Сахалинск” и “Якутск”. Спектры нормированы на значение скорости 1 мм/с, отвечающее уровню 10, изолинии проведены через 2 дБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный спектрально-временной анализ записей сильных землетрясений, произошедших в центральной части Курильского глубоководного жёлоба в 2006–2009 гг., выявил относительно слабое проявление P- и S-волн на широкополосных станциях IRIS в Петропавловске-Камчатском, Южно-Сахалинске и Якутске (исключение составляет четкое проявление S-волны на последней станции). В записях сейсмического сигнала доминируют поверхностные волны, в результате чего как сами сейсмограммы, так и рассчитанные СВАН-диаграммы характеризуются удивительным сходством.

Исключение составляет заметное увеличение периода и амплитуды поверхностных сейсмических волн, вступающих после S-волны, наблюдающееся при самых сильных цунамигенных землетрясениях. Наличие выявленного эффекта показывает принципиальную возможность его использования как дополнительного признака цунамигенности (например, повышение амплитуды выше некоторого порога на периодах более 50 с), тем более что эти низкочастотные волны регистрируются на более близких к источнику станциях раньше волн с максимальной амплитудой, по которым оценивается магнитуда землетрясения. Хотя очевидно, что до конкретного обсуждения этого вопроса необходимо выполнить предварительно большой объем работ по детальному изучению низкочастотных проявлений сильных землетрясений на Южных и Северных Курилах, а также у берегов Камчатки, с привлечением большего числа

станций. Предстоит также детально рассмотреть не только вертикальную, но и другие компоненты, в том числе и в разложении по естественным осям.

Тем не менее, даже в данном исследовании, носящем предварительный характер, удалось выделить весьма интересный эффект, на который при стандартной обработке сейсмограмм обычно не обращают особого внимания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буримская Р.Н. Особенности механизмов очагов цунамигенных землетрясений // Изучение цунами в открытом океане. М.: Наука, 1978. С. 56–61.
2. Буримская Р.Н. Спектральные и временные характеристики Р-волны цунамигенных землетрясений по записям ЧИСС “Обнинск”. Новоалександровск: СахКНИИ ДВНЦ, 1979. 18 с.
3. Буримская Р.Н., Жбрыкунова Н.А. Анализ спектральных и временных характеристик сильных землетрясений 1975–1976 гг // Теория и оперативный прогноз цунами. М.: Наука, 1980. С. 64–73.
4. Буримская Р.Н. Кинематические и динамические параметры очагов цунамигенных землетрясений. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 80 с.
5. Жбрыкунов В.Я. Регистрация землетрясений и интерпретация сейсмограмм частотно-избирательной сейсмической станции ЧИСС-ДВО-128 // Комплексные геофизические наблюдения в Обнинске. Обнинск, 1974. С. 34–42.
6. Запольский К.К. Частотно-избирательные сейсмические станции ЧИСС // Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1971. С. 20–36.
7. Запольский К.К. Частотно-временные поля и динамические характеристики очаговых функций сильных землетрясений // Докл. АН СССР. 1973. Т. 210, № 6. С. 1338–1341.
8. Запольский К.К., Жбрыкунова Н.А., Жбрыкунов В.Я., Логинова Г.М. Спектральный состав Р-волн сильных землетрясений // Землетрясения в СССР в 1969 г. М.: Наука, 1973. С. 220–227.
9. Запольский К.К. Частотно-временная трактовка магнитуды на примере Монеронского землетрясения 5.IX.1971 г. // Докл. АН СССР. 1974. Т. 214, № 4. С. 796–799.
10. Каталог механизмов очагов сильных ($M \geq 6.0$) землетрясений Курило-Охотского региона 1964–2000 гг. / Л.Н. Поплавская, М.И. Рудик, Т.В. Нагорных и др. Владивосток: Дальнаука, 2011. 131 с.
11. Ландер А.В., Левшин А.Л., Писаренко В.Ф., Погребинский Г.А. О спектрально-временном анализе колебаний. Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмологических данных. М.: Наука, 1973. С. 3–27. (Вычислительная сейсмология; вып.6).
12. Левин Б.В., Кайстренко В.М., Рыбин А.В. и др. Проявления цунами 15.11.2006 г. на Центральных Курильских островах и результаты моделирования высот заплесков // Докл. РАН. 2008. Т. 419, № 1. С. 118–122.
13. Лобковский Л.И., Рабинович А.Б., Куликов Е.А. и др. Курильские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. (наблюдения, анализ и численное моделирование) // Океанология. 2009. Т. 49, № 2. С. 166–181.
14. Тараканов Р.З. Новые годографы Р и S-Р волн для Дальневосточного региона. Владивосток: ДВО РАН, 2005. 196 с.
15. Dzienovski A., Bloch S., Landisman M. Technique for the analysis of transient seismic signals // Bull. Seism. Soc. Am. 1969. V. 59. P. 427–444.
16. Oliver J., Major M. Leaking modes and the PL phase // BSSA. 1960. V. 50. P. 165–180.
17. Shevchenko G.V., Chernov A.G., Kovalev P.D., et al. The tsunamis of January 3, 2009 in Indonesia and of January 15, 2009 in Simushir as recorded in South Kuril Islands // Science of tsunami hazard. 2011. V. 30, N 1. P. 43–61.
18. Su S.S., Dorman J. The use of leaking modes in seismogram interpretation and in studies of crust-mantle structure // BSSA. 1965. V. 55, N 6. P. 989–1021.
19. Tsuboi S, Abe K, Takano K., Yamanaka Y. Rapid determination of MW from broadband P waveforms // Bull. Seism. Soc. Amer. 1995. V. 85. N 2. P. 606–613.

Рекомендована к печати Б.В. Левиным

T.A. Fokina, G.V. Shevchenko

Spectral-time analysis of strong earthquakes in the central part of the Kuril Ridge (2006–2009)

The method of spectral-time analysis (STAN) was used for analysis of records of seismic signals of three broadband seismic stations IRIS (in the Petropavlovsk-Kamchatsky, Yuzhno-Sakhalinsk and Yakutsk) of strong earthquakes in the central part of the Kuril Trench in 2006–2009 (three of them have caused tsunamis of varying intensity). It was revealed that low-frequency limit of seismic oscillations manifestation associated with the Rayleigh surface waves depends on the magnitude of the earthquake, and in the future it can be used as an additional criterion of tsunamigenic earthquakes, although this problem requires significant additional research. According to the manifestations of P- and S-waves in the STAN diagrams, such a link could not be detected.

Key words: earthquake, magnitude, seismic waves, surface waves, spectral-time analysis, dispersion, tsunamigenicity, Kuril Islands.