

МАКСИМАЛЬНЫЕ УСКОРЕНИЯ ГРУНТА ПО ДАННЫМ ПРИБОРОВ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ

© 1998 г. А. А. Гусев, Е. М. Гусева, А. Г. Петухин, Е. И. Гордеев, В. Н. Чебров

Камчатская опытно-методическая сейсмическая партия ГС РАН, г. Петропавловск

Поступила в редакцию 29.01.96 г.

Для вычисления фактических значений максимальных ускорений грунта при сильных землетрясениях Камчатки использовались 54 аналоговые записи сильных движений 1969–1993 года. Записи ускорений и скоростей от 33 землетрясений с магнитудами $M_{LH} = 4.0–7.8$ на эпицентральных расстояниях Δ от 30 до 250 км были получены на 15 станциях с грунтами от скального до среднего. Максимальные ускорения A_{\max} были определены из “истинных” акселерограмм, рассчитанных путем спектральной деконволюции оцифрованных записей. Приводится наибольшее значение A_{\max} из двух горизонтальных компонент. Для сопоставления относительно уровня максимальных ускорений на Камчатке и в Японии значения A_{\max} были приведены к фиксированному расстоянию 100 км и к скальному грунту с использованием эмпирического соотношения Кавашимы. Результирующее соотношение $A_{\max}(M)$ имеет очень большой разброс, явно связанный с грунтовыми условиями двух аномальных станций. После исключения данных этих станций оказалось, что средний уровень ускорений для Камчатки близок к таковому для Японии (при одинаковых магнитуде и расстоянии).

ВВЕДЕНИЕ

Максимальные ускорения A_{\max} (наряду с балльностью), являются важной характеристикой интенсивности сейсмических колебаний. В частности, расчетные значения A_{\max} используют для получения расчетных значений сейсмических нагрузок в качестве размерного коэффициента к безразмерной спектральной функции $\beta(T)$. Простота оценки A_{\max} по записям ускорений, большой объем накопленных данных и простота анализа привели к тому, что этот параметр используется при построении прогнозных зависимостей. Обзор публикаций по максимальным ускорениям см. напр. [1], [2].

Хотя материалы изучения отдельных записей сильных движений Камчатки публиковались ранее (см. [3–7]), систематический их анализ до сих пор не проводился. В настоящей статье описаны результаты расчета A_{\max} по накопленным за 1969–1993 г. записям, выполненные по единой методике, учитывающей передаточные характеристики приборов. Полученные результаты сравниваются с японскими данными.

Данное исследование не было бы возможно без многолетнего труда организаторов и исполнителей наблюдений за сильными движениями в период 1962–1995; их ввели: Институт физики Земли АН СССР (ИФЗАН) (В.В. Штейнберг); Тихоокеанская сейсмическая экспедиция ИФЗАН (С.А. Федотов); сейсмическая станция Петропавловск (ИФЗАН) (Л.Г. Синельникова); Институт вулканологии ДВО АН (В.Д. Феофилакт) и его

Опытно-методическая сейсмологическая партия (Е.И. Гордеев, В.П. Митякин).

СЕТЬ СТАНЦИЙ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ КАМЧАТКИ

Создание сети станций сильных движений на Камчатке началось в 1962 г. размещением установки УАР на с/ст Петропавловск; затем УАРы установили на с/ст Беринг в 1964 г. и на с/ст Крутоберегово в 1968 г. Параллельно начала создаваться сеть приборов С5С–ИСО–II. В 1974–1975 гг. были проведены работы по расширению и переоснащению сети за счет модернизации существующих установок УАР и размещения дополнительных новых приборов ССРЗ, С5С–ИСО–II и SMAC–Q на пяти региональных сейсмостанциях максимально приближенных к сейсмофокальной зоне вдоль восточного побережья Камчатки и на пяти станциях на территории г. Петропавловска–Камчатского созданных специально для целей микрорайонирования. Большая часть записей этого периода получена велосиграфами С5С–ИСО–II. В 1981–1982 гг. был проведен следующий этап работ по расширению и переоснащению сети станций сильных движений. Дополнительно к пяти действующим станциям, на территории области установлены еще три станции: Паратунка, Жупаново и Маяк Петропавловский. Сеть станций на территории Петропавловска–Камчатского расширена до 11 станций. На трех станциях установлены акселерографы ССРЗ-М, имеющие больший диапазон измеряемых ускорений за счет регистрации на широкую (70-мм) фото пленку и

более низкий порог срабатывания. В это же время значительно улучшается качество обслуживаемых приборов.

В настоящее время сеть станций сильных движений Камчатки насчитывает 25 станций (см. рис. 1). 17 станций расположено вдоль восточного побережья Камчатки и на о. Беринг. Приборы размещены на региональных сейсмостанциях, маяках, метеостанциях и т.п. 8 станций расположено на территории г. Петропавловск-Камчатского. Основные параметры станций и установленных на них приборов приведены в табл. 1 и 2.

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПЕРИОДА НАБЛЮДЕНИЙ

В течение всего периода наблюдений на Камчатке произошло несколько сильных землетрясений, три из которых имели магнитуду 7.5–8. Это Озерновское землетрясение 22.II.69 года, $M_{LH} = 7.7$; Петропавловское – 24.II.71 года $M_W = 7.7$, $M_S = 7.2$, ($H = 100$ км); Усть-Камчатское – 15.II.71 г., $M_{LH} = 7.8$. Несмотря на техническое несовершенство приборов и трудности в обслуживании, были получены одиночные записи каждого из этих трех сильнейших землетрясений [6, 7]. Петропавловское землетрясение 24.II.71 года имело интенсивность 7 баллов в Петропавловске, однако в пункте установки прибора сотрясения оцениваются в 5–6 баллов. Усть-Камчатское землетрясение 15.II.71 года имело интенсивность 7 баллов в Усть-Камчатске, включая пункт установки прибора.

В период 1972–91 годов сильнейшими на Камчатке были три землетрясения с магнитудой около 7: 17.08.1983, записанное двумя станциями Крутоберегово и Кроноки; 28.12.1984, записанное станциями Африка и Кроноки и 29.02.88 года, записанное на станции Беринг. В табл. 3 приведен список землетрясений Камчатки, записи сильных движений которых обработаны.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МАКСИМАЛЬНЫХ УСКОРЕНИЙ

Для каждого землетрясения в табл. 3 приведены координаты эпицентра ϕ и λ , глубина очага h , магнитуда M_{LH} и/или энергетический класс $K^{Ф68}$. Для каждой пары станция–землетрясение приведены (см. табл. 4) также эпицентральный (Δ) и гипоцентральный (R) расстояния. Гипоцентральный расстояние для региональных сейсмостанций рассчитывалось по t_{S-P} с помощью среднего камчатского годографа. Эпицентры землетрясений показаны на рис. 1. Распределение эпицентров в большой мере отражает не реальную картину сейсмичности, а фактическую работу аппаратуры ждущего режима, качество эксплуатации которой в удаленных пунктах от Петропавловска-

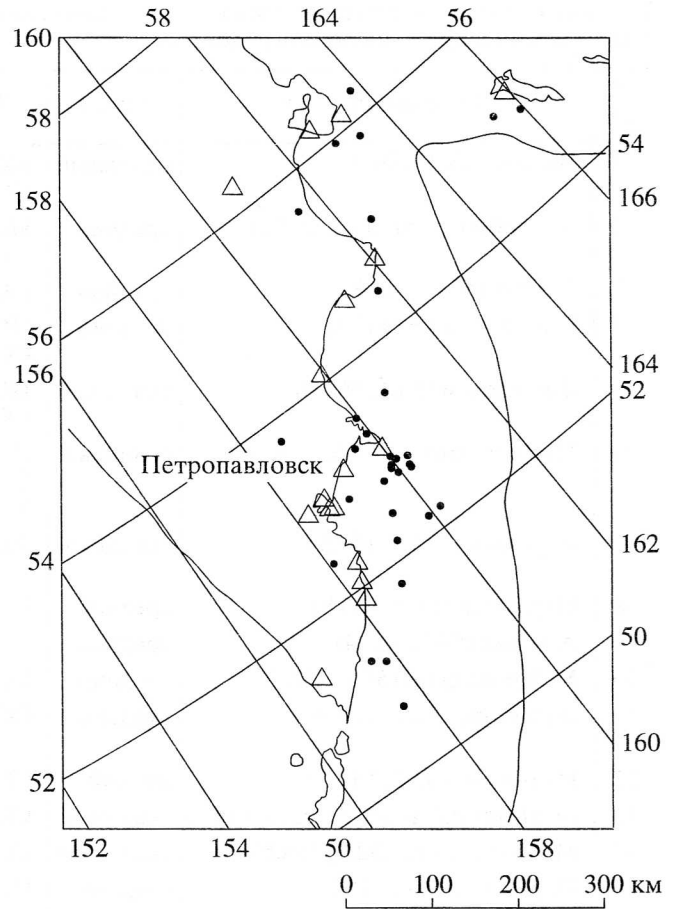


Рис. 1. Сеть станций сильных движений Камчатки. Точками показаны эпицентры землетрясений из табл. 3. Названия и координаты станций приведены в табл. 1.

Камчатского часто далеко от идеального. Распределение записей по магнитудам и расстояниям приведено на рис. 2. Записи приблизительно равномерно покрывают интервал магнитуд от 4.5 до 7.8 и расстояний от 30 до 250 км.

Методика обработки записей подробно описана в [8]. Она включает в себя следующие основные шаги.

1. Цифровка записей. Цифровались контактные фотокопии записей на ручной, оптико-механической цифровой установке УЦС-Ф004. Разрешение по ординате не хуже 0.1 мм, частота отсчетов по времени – от 50 до 100 отсчетов в секунду.

2. Корректировка нулевой линии. Путем подбора аппроксимирующей прямой исключали смещение и наклон нулевой линии. В некоторых случаях методом скользящего интегрирования в широкое временное окно выделялся и исключался длиннопериодный дрейф нулевой линии записи, возникающей из-за коробления фотоосновы.

Таблица 1. Основные параметры станций сильных движений Камчатки. В скобках указаны координаты станций: северная широта и восточная долгота.

| № п/п | Название станции | Грунт | Тип прибора | Условия установки |
|--|----------------------------------|----------|-----------------------------------|---|
| 1 | Беринг (55.2, 166.0) | скальный | ИСО2М-С5С ССРЗ-М, АСЗ-2 | подвал сейсмостанции, постамент |
| 2 | Крутоберегово (56.3, 162.7) | средний | ИСО2М-С5С ССРЗ-М, АСЗ-2 | сейсмостанция, постамент |
| 3 | Ключи (56.3, 160.9) | средний | ИСО2М-С5С | глубокий шурф, постамент |
| 4 | Кроноки (54.6, 161.2) | средний | ИСО2М-С5С ССРЗ-М, АСЗ-2 | подвал сейсмостанции, постамент |
| 5 | Шипунский (53.1, 160.0) | скальный | ИСО2М-С5С ССРЗ-М, АСЗ-2 | подвал 2-х этажного дома, постамент |
| 6 | Петропавловск (53.0, 158.7) | скальный | ИСО2М ССРЗ-М, АСЗ-2 УАР | здание сейсмостанции, постамент |
| 7 | Березовая (52.3, 158.5) | скальный | АСЗ-2 | здание сейсмостанции, подвал, постамент |
| 8 | Паужетка (51.5, 156.8) | средний | ИСО2М-СБС | постамент |
| 9 | Африка (56.2, 163.4) | средний | ССРЗ-М | бетонный пол здания маяка |
| 10 | М. Кроноцкий (54.8, 162.1) | средний | ССРЗ-М | бетонный пол здания маяка |
| 11 | Жупаново (54.1, 160.0) | скальный | ССРЗ-М | метеостанция, свободный грунт, постамент |
| 12 | Налычево (53.2, 159.2) | мягкий | ССРЗ | подвал диспетчерской будки, постамент |
| 13 | М. Петропавловский (52.9, 158.7) | скальный | ССРЗ-М | бетонный пол здания маяка |
| 14 | М. Станицкого (52.9, 158.6) | скальный | ССРЗ-М | бетонный пол подвального помещения |
| 15 | Паратунка (53.0, 158.3) | средний | ИСО2М | ионосферная станция, шурф |
| 16 | Ходутка (51.9, 158.2) | скальный | ССРЗ-М | метеостанция, свободный грунт, постамент |
| 17 | Круглый (52.1, 158.3) | скальный | ССРЗ-М | метеостанция, свободный грунт, постамент |
| Сеть станций на территории г. Петропавловска-Камчатского | | | | |
| 18 | Институт | средний | ИСО2М ССРЗ-М, АСРЗ-2 SMAС-Q | подвал здания Института вулканологии, постамент |
| 19 | Горького, 15 | средний | ИСО2М ССРЗ-М | подвал 4-х этажного здания, постамент |
| 20 | Дачная | средний | АСРЗ-2 | подвал 4-х этажного здания, постамент |
| 21 | Ключевская | средний | ССРЗ-М | цокольный этаж 4-х этажного здания, постамент |
| 22 | Цунами | средний | ССРЗ-М | цокольный этаж 4-х этажного здания, постамент |
| 23 | Никольская | скальный | ССРЗ-М | бетонный пол подвального помещения |
| 24 | Мишенная | скальный | ССРЗ-М | подвал 2-й этажного здания телецентра, бетонный пол |
| 25 | Аэрологич. станция | средний | ССРЗ-М | подвал 2-й этажного здания, постамент |

3. Фильтрация. В частотной области отфильтровывали низкие и высокие частоты. Типичные значения частот среза соответствующих фильтров: $f_H = 0.1$ Гц, $f_B = 25$ Гц.

4. Восстановление “истинного” движения грунта. “Истинное” движение грунта восстанавливалось

путем деления спектра Фурье записи на комплексную передаточную функцию прибора по ускорению с последующим обратным преобразованием Фурье. При обнаружении паразитных дрейфов нулевой линии увеличивали частоту среза НЧ фильтра и повторяли данную операцию.

Таблица 2. Типовые значения основных параметров приборов для регистрации сильных движений грунта при землетрясениях

| Тип прибора | Регистрируемый параметр | Число каналов | Тип регистрации | Диапазон балльности | Диапазон частот (Гц) | Длительность цикла записи (сек) | Коэф. чувств. (мм/г) | T_s (сек) | D_s | T_g (сек) | D_g |
|-------------|-------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|-------------|-------|-------------|-------|
| УАР | ускорение | 3 | прямой, осц. фотобум. | 5-9 | | 30 | 16 мм/г | 0.045 | 0.7 | - | - |
| ИСО2М-С5С | скорость | 5 | гальванометр., 35 мм фотопл. | 2-7 | 0.25-30 | 30 | 2.5/0.1 сек | 5 | 0.55 | 0.0083 | 0.7 |
| ССРЗ | ускорение | 3 | прямой, 35 мм фотопл. | 5-9 | 0-30 | 30 | 15 мм/г | 0.05 | 0.6 | - | - |
| ССРЗ-М | ускорение | 3 | прямой, 70 мм фотопл. | 5-9 | 0-30 | 30 | 20 мм/г | 0.05 | 0.6 | - | - |
| АСЗ-2 | ускорение | 3 | прямой, 70 мм фотопл. | 5-9 | 0-30 | неорган. | 60 мм/г | 0.06 | 0.55 | - | - |
| АСРЗ-2 | ускорение | 3 | прямой, 70 мм фотопл. | 5-9 | 0-30 | неорган. | 60 мм/г | 0.06 | 0.55 | - | - |
| SMAC-Q | ускорение | 3 | прямой, царапание по 35 мм пленке | 4-9 | 0-25 | 90 | 5 мм/г | 0.05 | 0.6 | - | - |

Таблица 3. Список записей землетрясений

| № э-тр | Дата | Время | Эпицентр, Н | | H, км | Магнитуды: | | | |
|--------|----------|----------|---------------|------------------|-------|------------|-------|-------|---------|
| | | | ϕ (с.ш.) | λ (в.д.) | | M_{LH} | M_S | K_S | M_W^* |
| 1 | 69.11.22 | 23.09.35 | 57.76 | 163.75 | 30 | 7.7 | 7.3 | 14.4 | 7.7t |
| 2 | 71.11.24 | 19.35.49 | 52.77 | 159.66 | 100 | 7.2 | – | 16.0 | 7.7z |
| 3 | 71.12.15 | 08.29.55 | 55.85 | 163.35 | 25 | 7.8 | 7.8 | 16.0 | 7.7z |
| 4 | 71.12.19 | 07.50.23 | 55.95 | 162.90 | 0 | 5.8 | 5.3 | 11.9 | 5.9l |
| 5 | 73.03.12 | 19.39.21 | 50.80 | 157.20 | 70 | – | – | 14.4 | 6.7k |
| 6 | 75.07.11 | 05.23.22 | 53.23 | 159.60 | 115 | – | – | 11.7 | 5.1k |
| 7 | 77.11.06 | 02.39.38 | 53.50 | 159.96 | 60 | 4.6 | – | 13.2 | 5.3h |
| 8 | 77.12.21 | 16.39.36 | 52.19 | 159.90 | 39 | 5.3 | 5.0 | 12.8 | 5.6h |
| 9 | 79.06.25 | 18.45.52 | 52.74 | 160.20 | 31 | 4.0 | – | 13.1 | 4.7l |
| 10 | 80.02.11 | 15.29.47 | 53.30 | 159.90 | 57 | – | – | 12.7 | 5.1k |
| 11 | 80.11.23 | 15.45.03 | 52.44 | 159.42 | 20 | – | – | 11.8 | 4.6k |
| 12 | 80.12.04 | 10.46.27 | 52.21 | 160.17 | 26 | 5.6 | 5.2 | 12.8 | 5.4h |
| 13 | 81.02.09 | 19.31.30 | 54.94 | 165.94 | 20 | 5.1 | 4.9 | 12.2 | 5.3h |
| 14 | 81.06.25 | 01.47.56 | 52.85 | 159.90 | 42 | 4.2 | 4.3 | 12.5 | 4.9l |
| 15 | 81.10.13 | 15.54.02 | 51.30 | 157.60 | 101 | – | – | 13.0 | 5.4h |
| 16 | 82.03.08 | 15.16.31 | 52.89 | 160.08 | 38 | 4.2 | – | 12.1 | 5.1h |
| 17 | 82.04.17 | 10.27.12 | 54.44 | 161.72 | 42 | – | – | 10.9 | 4.6k |
| 18 | 82.05.14 | 03.37.58 | 52.20 | 159.20 | 121 | – | – | 11.9 | 5.1k |
| 19 | 82.05.31 | 10.21.21 | 55.07 | 165.48 | 56 | 6.5 | 6.4 | 14.7 | 6.5h |
| 20 | 82.11.14 | 08.29.20 | 52.84 | 158.98 | 91 | – | – | 13.2 | 5.6h |
| 21 | 83.04.04 | 19.04.23 | 52.95 | 160.02 | 40 | 5.7 | 5.5 | 13.3 | 5.9h |
| 22 | 83.07.24 | 23.07.30 | 53.77 | 158.62 | 180 | 5.4 | – | 14.3 | 5.6h |
| 23 | 83.08.05 | 00.33.47 | 52.87 | 159.93 | 41 | 4.7 | 4.7 | 12.6 | 5.5h |
| 24 | 83.08.17 | 10.55.55 | 55.64 | 161.52 | 98 | 6.8 | 6.7 | 15.0 | 7.0h |
| 25 | 84.12.28 | 10.37.47 | 56.28 | 163.77 | 5 | 7.5 | 7.0 | 14.5 | 6.7h |
| 26 | 85.03.06 | 22.31.52 | 55.09 | 162.48 | 46 | 6.0 | 5.4 | 14.3 | 5.9h |
| 27 | 85.05.19 | 08.07.48 | 53.54 | 160.65 | 40 | 5.6 | – | 13.7 | 5.8h |
| 28 | 87.02.24 | 07.40.09 | 52.38 | 158.08 | 126 | 4.0 | – | 12.8 | 4.7l |
| 29 | 87.10.06 | 20.11.36 | 52.85 | 160.25 | 34 | 6.6 | 6.3 | 13.9 | 6.5h |
| 30 | 92.03.02 | 12.29.38 | 52.76 | 160.20 | 20 | 7.1 | 6.8 | 14.6 | 6.9h |
| 31 | 92.03.05 | 14.39.11 | 52.77 | 159.95 | 31 | 6.2 | 6.1 | 14.0 | 6.3h |
| 32 | 93.06.08 | 13.03.37 | 51.20 | 157.80 | 40 | 7.4 | 7.3 | 14.9 | 7.5h |
| 33 | 93.11.13 | 01.18.07 | 51.79 | 158.83 | 40 | 7.1 | 7.0 | 14.6 | 7.0h |

* M_W приводится по различным источникам; последние помечены следующими буквами: t – цунами-магнитуда из [13]; z – основана на оценках M_0 , приведенных в статье [3]; l – пересчитана из M_{LH} по соотношениям, приведенным в [11]; k – пересчитана из K^{F68} по соотношениям, приведенным в [11]; h – соответствует M_0 в Гарвардском каталоге.

5. Максимальное ускорение рассчитывалось как максимальный модуль сигнала между отсчетом и нулевой линией.

При расчете передаточной функции прибора для каждой записи использованы фактические значения параметров этого прибора (в табл. 2 приведены номинальные величины для ориентировки). Параметры приборов определялись пу-

тем калибровки один раз в несколько лет, либо брались паспортные величины.

Полученные максимальные ускорения приведены в последней колонке табл. 4. Для ориентировки в табл. 4 приведены также значения сейсмической интенсивности I в пунктах установки приборов (приводятся по данным машинного каталога интенсивностей Камчатской ОМСП). Для

Таблица 4. Максимальные горизонтальные ускорения

| № | Дата | Название станции | Тип прибора | Δ , км | R , км | M_W | I, балл | A_{\max} , см/с/с |
|----|----------|------------------|-------------|---------------|----------|-------|---------|---------------------|
| 1 | 69.11.22 | Беринг | ИСО | 260 | 261 | 7.7 | 4-5 | 6.84 |
| 2 | 71.11.24 | Петропавловск | ИСО | 120 | 125 | 7.7 | 7 | 90.2 |
| 3 | 71.12.15 | Крутоберегово | УАР | 80 | 84 | 7.7 | 7 | 51.3 |
| 4 | 71.12.19 | Крутоберегово | УАР | 32 | 32 | 5.9 | — | 6.66 |
| 5 | 73.03.12 | Петропавловск | ИСО | 242 | 252 | 6.7 | 4 | 5.30 |
| 6 | 75.07.11 | Петропавловск | ИСО | 30 | 119 | 5.1 | — | 0.80 |
| 7 | 77.11.06 | Петропавловск | ИСО | 107 | 123 | 5.3 | 3-4 | 3.35 |
| 8 | 77.12.21 | Петропавловск | ИСО | 70 | 113 | 5.6 | 4 | 3.10 |
| 9 | 79.06.25 | Петропавловск | ИСО | 80 | 128 | 4.7 | 3-4 | 2.80 |
| 10 | 80.02.11 | Петропавловск | ИСО | 87 | 109 | 5.1 | 3-4 | 4.75 |
| 11 | 80.11.23 | Паратунка | ИСО | 101 | 104 | 4.6 | — | 2.61 |
| 12 | 80.12.04 | Петропавловск | ИСО | 140 | 167 | 5.4 | 3 | 1.86 |
| 13 | 81.02.09 | Беринг | ССРЗ | 30 | 36 | 5.3 | 5 | 68.8 |
| 14 | 81.06.25 | Петропавловск | ИСО | 85 | 114 | 4.7 | 3-4 | 2.02 |
| 15 | 81.10.13 | Петропавловск | ИСО | 180 | 206 | 5.4 | 3-4 | 1.13 |
| 16 | 82.03.08 | Петропавловск | ИСО | 110 | 112 | 5.1 | 3-4 | 2.50 |
| 17 | 82.04.17 | Кроноки | ИСО | 43 | 60 | 4.6 | 4 | 93.4 |
| 18 | 82.05.14 | Петропавловск | ИСО | 66 | 138 | 5.1 | — | 1.02 |
| 19 | 82.05.31 | Беринг | ССРЗ | 38 | 68 | 6.5 | 5-6 | 33.3 |
| 20 | 82.11.14 | Петропавловск | ИСО | 27 | 95 | 5.6 | 4-5 | 8.65 |
| 21 | 83.04.04 | Петропавловск | ИСО | 90 | 104 | 5.9 | 4-5 | 5.90 |
| 22 | 83.04.04 | Кроноки | ИСО | 200 | 204 | 5.9 | 4-5 | 32.1 |
| 23 | 83.07.24 | Кроноки | ИСО | 110 | 211 | 5.6 | 4-5 | 37.3 |
| 24 | 83.08.05 | Шипунский | ИСО | 29 | 50 | 5.5 | 4 | 23.3 |
| 25 | 83.08.17 | Крутоберегово | ССРЗ | 101 | 153 | 7.0 | 6 | 192.0 |
| 26 | 83.08.17 | Кроноки | ССРЗ-М | 120 | 155 | 7.0 | 6 | 231.0 |
| 27 | 84.12.28 | Африка | ССРЗ-М | 30 | 30 | 6.7 | 7-8 | 185.8 |
| 28 | 84.12.28 | Крутоберегово | ССРЗ | 66 | 66 | 6.7 | 6 | 174.4 |
| 29 | 85.03.06 | Кроноки | ИСО | 104 | 114 | 5.9 | 4 | 55.0 |
| 30 | 85.05.19 | Шипунский | ИСО | 55 | 68 | 5.8 | 5 | 46.0 |
| 31 | 85.05.19 | Институт | ССРЗ | 158 | 163 | 5.8 | — | 14.0 |
| 32 | 85.05.19 | Кроноки | ИСО | 117 | 124 | 5.8 | — | 58.6 |
| 33 | 87.10.06 | Шипунский | ССРЗ-М | 34 | 48 | 6.5 | 6-7 | 86.2 |
| 34 | 92.03.02 | Кроноки | АСЗ-2 | 212 | 213 | 6.9 | 5 | 42.5 |
| 35 | — | Жупаново | ССРЗ-М | 150 | 151 | — | 4-5 | 47.1 |
| 36 | — | М. Петропавлов. | ССРЗ-М | 101 | 103 | — | — | 79.4 |
| 37 | — | Петропавловск | ССРЗ-М | 105 | 107 | — | 5-6 | 25.1 |
| 38 | — | Мишенная | ССРЗ-М | 108 | 110 | — | — | 90.0 |
| 39 | — | Березовая | АСЗ-2 | 129 | 131 | — | 5-6 | 55.6 |
| 40 | — | Ходутка | ССРЗ-М | 166 | 167 | — | — | 14.6 |
| 41 | 92.03.05 | Кроноки | АСЗ-2 | 217 | 219 | 6.3 | 4 | 21.4 |
| 42 | — | Шипунский | ССРЗ-М | 36 | 48 | — | 5-6 | 42.1 |
| 43 | — | М. Петропавлов. | ССРЗ-М | 85 | 90 | — | — | 68.7 |
| 44 | — | Аэрологическая | АСЗ-2 | 97 | 102 | — | — | 48.7 |
| 45 | — | Мишенная | ССРЗ-М | 92 | 97 | — | — | 117.0 |
| 46 | — | Березовая | АСЗ-2 | 114 | 118 | — | — | 21.7 |
| 47 | — | Ходутка | ССРЗ-М | 153 | 156 | — | — | 11.5 |
| 48 | 93.06.08 | Аэрологическая | ССРЗ-М | 214 | 218 | 7.5 | — | 32.8 |
| 49 | — | Петропавловск | ССРЗ-М | 208 | 211 | — | 5 | 29.9 |
| 50 | — | Никольская | ССРЗ-М | 208 | 211 | — | — | 40.5 |
| 51 | — | Мишенная | ССРЗ-М | 211 | 214 | — | — | 101.6 |
| 52 | — | Ходутка | ССРЗ-М | 83 | 92 | — | — | 220.8 |
| 53 | 93.11.13 | Никольская | ССРЗ-М | 137 | 142 | 7.0 | — | 108.2 |
| 54 | — | Петропавловск | ССРЗ-М | 137 | 142 | — | 5-6 | 30.1 |

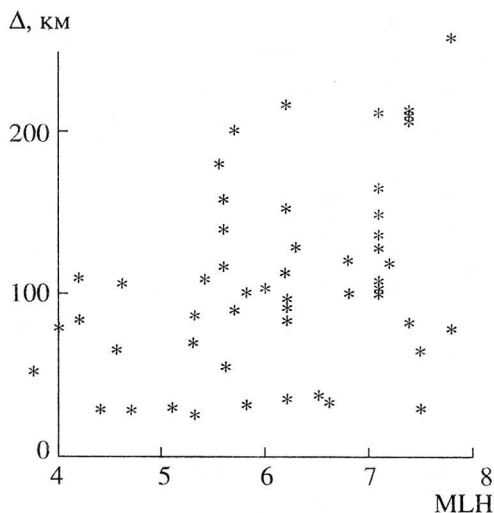


Рис. 2. Распределение обработанных записей (см. табл. 4) по магнитудам и расстояниям.

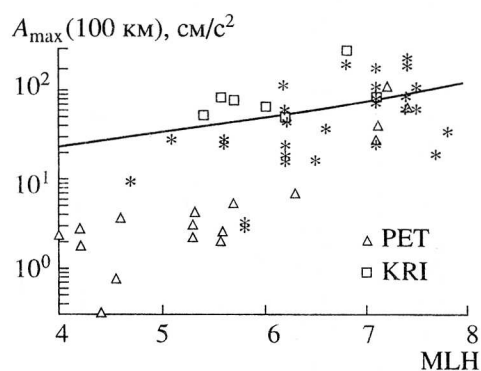


Рис. 3. Максимальные ускорения, приведенные к расстоянию 100 км. A_{\max} полученные на станциях Петропавловск (PET) и Кроноки (KRI) показаны отдельными символами. Линия: зависимость (2) при $\Delta = 100$ км и $g = 1$.

Петропавловска-Камчатского приведена интенсивность средняя по территории города. На с/ст “Петропавловск” из-за грунтовых условий интенсивность примерно на 1 балл ниже, чем в среднем по городу [9].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для анализа результатов и для сравнения их с результатами, полученными для Японии – ближайшей хорошо изученной зоны со сходными тектоническими условиями – мы воспользовались методом приведения полученных при различных расстояниях и категориях грунта значений A_{\max} к стандартным расстоянию и грунту. В качестве стандартных выбрали $\Delta = 100$ км и грунт категории 1 (скальный). Величина $\Delta = 100$ км

выбрана по двум причинам: (1) эта величина близка к среднему значению используемой выборки данных; (2) примерно на таком расстоянии возникают очаги землетрясений, опасных для населенных пунктов Камчатки. Приведение выполняется по формуле:

$$A_{\max}(M_{LH}, 100, 1) = \frac{A_{\max}(M_{LH}, \Delta, g)}{F(M_{LH}, \Delta, g)}, F(M_{LH}, 100, 1), \quad (1)$$

где M_{LH} – магнитуда, Δ – эпицентральный расстояние, g – категория грунта, $F(M_{LH}, \Delta, g)$ – модельная зависимость, связывающая максимальные ускорения с магнитудой, расстоянием и грунтовыми условиями. В качестве $F(M_{LH}, \Delta, g)$ использована эмпирическая зависимость, полученная для Японии [10]:

$$F(M_{jma}, \Delta, g) = \begin{cases} 974.4(10^{0.216M_{jma}})(\Delta + 30)^{-1.218} & \text{для } g = 1; \\ 232.5(10^{0.313M_{jma}})(\Delta + 30)^{-1.218} & g = 2. \end{cases}$$

Зависимость $M_{jma} = M_{jma}(M_{LH})$ взята из [10]. Если значение M_{LH} было неизвестно, его оценивали по $K^{\Phi 68}$ по зависимости из того же источника.

Результаты приведения к $\Delta = 100$ км, а также зависимость (2) при $g = 1$ (линия) показаны на рис. 3. Бросается в глаза необычно большой разброс данных ($\sigma = 0.6$ лог. ед.) относительно аппроксимирующей зависимости (2). При анализе причин этого разброса данные сейсмостанций Петропавловск и Кроноки были выделены в две группы (показаны на графике отдельными символами). Явно заметно влияние станционных условий на этих сейсмостанциях на средний уровень регистрируемых максимальных ускорений. Данные с/ст Петропавловск примерно в 7 раз ниже, а на с/ст Кроноки в 2 раза выше, чем в среднем по всем остальным станциям. Относительное увеличение A_{\max} на с/ст Кроноки, по-видимому, связано с резонансным эффектом в грунте под этой станцией. Этот эффект заметен визуально: записи с/ст Кроноки имеют аномальный высокочастотный характер с видимым периодом примерно 0.1–0.2 сек. Рассмотрение форм спектров Фурье записей этой станции подтверждает этот вывод. Записи с/ст Петропавловск по визуальным оценкам не имеют выражения спектральных особенностей. Однако для этой станции давно известно относительное занижение амплитуд [12], которое связывают с ее расположением на прочном скальном массиве. По-видимому, это – основная причина ослабления амплитуд, но, возможно, не единственная. Данные по остальным станциям имеют разброс $\sigma = 0.4$ лог. ед., что превышает оценки других исследователей на 0.1–0.15 лог. ед. Медианное приведенное значение A_{\max} при $M_{LH} = 8$ составляет

около 90 гал, что не отличается существенно от ожидаемого по Кавашиме значения для Японии (120 гал при $M_{\text{jam}} = 7.65$, что соответствует $M_{\text{ЛН}} = 8$).

Ограниченное количество данных, большой разброс и сильные станционные различия пока не позволяют построить эмпирическую прогнозную зависимость $A_{\text{max}}(M, R)$ для Камчатки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

30 лет наблюдений за сильными движениями на Камчатке позволили собрать материал, который, несмотря на его ограниченный объем, создает возможность проводить количественную оценку сейсмической угрозы для зданий и сооружений Камчатки на основе собственных материалов данного региона. Важность подобного рода местных данных ярко иллюстрируется существенными различиями (около 2 раз) в средних пиковых ускорениях между хорошо изученными регионами Калифорнии и Японии.

Из предварительного анализа максимальных ускорений, проведенного в настоящей статье, можно сделать два основных вывода.

1. Средний уровень максимальных ускорений в условиях Камчатки (для заданных магнитуды и расстояния) в первом приближении соответствует величинам, характерным для Японии. Это дает основания переносить на условия Камчатки некоторые выводы и оценки, полученные по гораздо более обширным японским данным.

2. Влияние грунтовых условий на максимальное ускорение выражено очень ярко. Это явление, характерное также и для условий Японии (и гораздо менее выраженное для Запада США), указывает на опасность использования упрощенных оценок эффектов грунта, и подчеркивает необходимость проведения прямых инструментальных оценок таких эффектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов Ю.К. Сильные движения грунта и количественная оценка сейсмической опасности территорий. Ташкент: Фан, 1989. 296 с.
2. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Антикаев Ф.Ф., Алказ В.Г., Гусев А.А., Ерохин Л.Ю., Заградник И., Кендзера А.В., Коган Л.А., Лутников А.И., Попова Е.В., Раутиан Т.Г., Чернов Ю.К. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие) // Задание сейсмических воздействий (Вопр. инж. сейсм., вып. 34). М.: Наука, 1993. С. 5–94.
3. Зобин В.М., Федотов С.А., Гордеев Е.И., Гусева Е.М., Митякин В.П. Сильные землетрясения Камчатки и Командорских о-вов в 1961–1986 гг. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 1. С. 3–23.
4. Митякин В.П., Молотков С.Г., Серова О.А., Алексин П.А. Камчатское землетрясение 17 августа 1983 г. // Вулканология и сейсмология. 1986. № 5. С. 75–89.
5. Молотков С.Г. Спектральный состав и поляризация сильных движений грунта землетрясений п-ова Камчатка за 1983–1985 гг. // Сильные землетрясения и сейсмические воздействия (Вопр. инж. сейсм., вып. 28). М.: Наука, 1987. С. 209–221.
6. Федотов С.А., Гусев А.А., Зобин В.М., Кондратенко А.М., Чепкунас К.Е. Озерновское землетрясение и цунами 22(23) ноября 1969 г. // Землетрясения в СССР в 1969 г. М.: Наука, 1972. С. 195–208.
7. Штейнберг В.В., Фремд В.Д., Феофилактов В.Д. Колебания грунта при сильных землетрясениях на Камчатке в 1971 г. // Сильные камчатские землетрясения 1971 г. Владивосток. 1975. С. 7–14.
8. Гусева Е.М., Гусев А.А., Оскорбин Л.С. Пакет программ для цифровой обработки сейсмических записей и его опробование на примере некоторых записей сильных движений // Вулканология и сейсмология. 1989. № 5. С. 35–49.
9. Баранников Л.Б., Борисова Н.С., Ершов И.А., Константинова Т.Г., Медведев С.В., Федотов С.А., Федякова С.Н., Штейнберг В.В., Шумилина Л.С. Макросейсмическое обследование последствий землетрясений 24(25) ноября 1971 г. в г. Петропавловске-Камчатском // Сильные камчатские землетрясения 1971 г. Владивосток. 1975. С. 15–62.
10. Kavashima K., Aizawa K., Takahashi K. Attenuation of peak ground acceleration, velocity and displacement based on multiple regression analysis of Japanese strong motion records // Earthquake Eng. Struct. Dyn. 1986. № 14. P. 199–215.
11. Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1990. № 6. С. 55–63.
12. Гусев А.А., Зобин В.М., Феофилактов В.Д. Определение расчетной балльности и оценка параметров максимальных колебаний грунта площадки строительства на Камчатке // Количественная оценка сейсмических воздействий // Вопр. инж. сейсмологии. Вып. 20. М.: Наука, 1980. С. 44–59.
13. Abe K. Size of great earthquakes of 1837–1974 inferred from tsunami data // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. № B4. P. 1561–1568.