

*А. А. Гусев, В. М. Зобин, В. Д. Феофилактов*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ БАЛЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МАКСИМАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА. ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА КАМЧАТКЕ

В 1975–1976 гг. Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР проводил работы по микросейсморайонированию предлагаемой площадки строительства. На первом этапе работ проводили сейсморазведку и изучение геологического строения площадки, на втором этапе проводили сейсмологические исследования.

Площадка строительства находится северо-восточнее Петропавловска-Камчатского в нескольких километрах от озера Халактырского. Грунты площадки представляют собой пирокластические отложения мощностью 130–150 м. Уровень грунтовых вод (максимальный) варьирует от 0,5 до 10–20 м с преобладанием уровня 0,5–2,0 м, размах сезонных колебаний до 5 м.

Наблюдения на площадке проводили в трех точках, условно названных ТЭС-1, ТЭС-2 и ТЭС-3 (рис. 1), а также на эталонных точках, находившихся на удалении до 5–8 км от площадки. В качестве датчика использовали горизонтальный сейсмограф СМ-2 с периодом свободных колебаний  $T = 1,2$  с и затуханием  $D = 0,7$ , ориентированный для записи компоненты В-З. Сейсмический сигнал с катушки сейсмоприемника поступает на вход трехканального усилителя инфразвуковой частоты УПН-III-М и после усиления регистрируется самописцем РВЗ-2 или НЗО20-3 с согласующей ячейкой. Регистрируя РВЗ-2 снабжен собственными усилителями инфразвуковой частоты, поэтому при регистрации сигнал только одного из трех каналов подвергался предварительному усилению на УПН-III-М.

Скорость развертки РВЗ-2 120 мм/мин. Запись при помощи НЗО20-3 проводили в ждущем режиме. Для этого использовали пусковое устройство, включающее при появлении сигнала скорость развертки протяжки 12,5 мм/с. При отсутствии сигнала скорость развертки 0,5 или 0,1 мм/с в зависимости от точки регистрации.

Для контроля скорости развертки и привязки к абсолютному времени на ленту подавали минутные марки с хронометра МХ-6. Калибровку сейсмического канала осуществляли поверочным генератором ГЗ-39.

Для контроля стабильности работы каналов использовали МГПА, контрольный сигнал с которого подавали перед пуском новой ленты по всем каналам.

Кроме записи перописцев, для оценки приращения балльности были использованы записи на точке ПТР стандартным каналом региональной сети (сейсмограф ВЭГИК, гальванометр ГБ-IV, регистрир РС-2).

Методика определения расчетной балльности. Характеристика исходных материалов. Определение расчетной балльности для точек площадки состоит из трех этапов:

1. Определение расчетной балльности опорных точек.
2. Определение приращения балльности по отношению к опорным точкам  $\Delta I_2$ .
3. Суммирование этих величин.

Расчетную балльность  $I_p$  опорных точек определяли, исходя из расчетной балльности для средних грунтов  $I_0$ , составляющей 9 баллов согласно действующим СНиП, и приращения балльности  $\Delta I_1$  относительно среднего грунта в этих точках

$$I_p = I_0 + \Delta I_1 + \Delta I_2.$$

Рис. 1. Схема расположения точек наблюдений на площадке

В качестве опорных точек выбраны станция ПТР, стоящая на скальных грунтах, и станция ДАЧ, стоящая на грунтах, принятых за средние для территории Петропавловска-Камчатского.

Вопрос о том, что принять за средние грунты, был специально рассмотрен при подготовке карты сейсмического микрорайонирования Петропавловска-Камчатского, утвержденной Госстроем, СССР в 1976 г. [1, 2].

Согласованным решением специалистов заинтересованных организаций при подготовке этой карты точка IX, находящаяся на расстоянии 300 м от станции ДАЧ в аналогичных условиях, была принята как опорная со средним грунтом и расчетной балльностью 9. Таким образом этап 1 для точки ДАЧ выпадает и  $\Delta I_1 = 0$ .

Для точки ПТР значение приращения балльности  $\Delta I_1$  может быть определено на основе следующих данных:

1. В работе [1] по отношению смещений и скоростей для пары точек IX и ПТР получено  $\Delta I_1 = -1,3$  балла.

2. При макросейсмическом обследовании последствий сильного землетрясения 25. XI 1971 г. [2] определена интенсивность 5,5 для точки ПТР и 7,0 для участка 8, включающего точки IX и ДАЧ, откуда  $\Delta I_1 = -1,5$  балла.

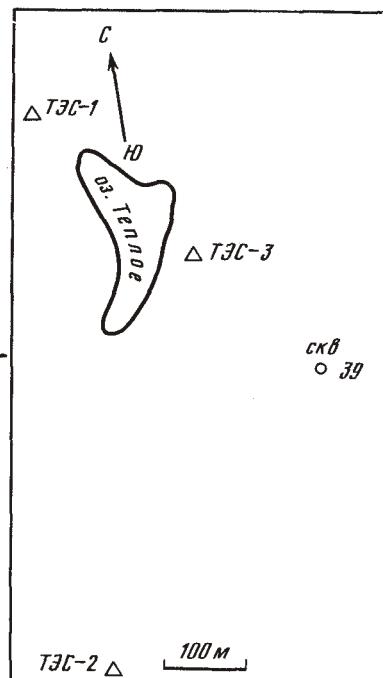
3. В настоящем отчете по отношениям максимальных скоростей для точки ДАЧ получено  $\Delta I_1 = -1,5$  балла. Для дальнейших расчетов выбираем среднее  $\Delta I_{1\text{ptr}} = -1,4$  балла.

Расчетную балльность по точке ПТР принимаем равной 7,6 балла. Сейсмологические наблюдения, использованные при определении приращений балльности на площадке, проводили в два этапа.

В апреле-мае 1975 г. наблюдения велись одновременно на станциях ТЭС-1, ТЭС-2 и ПТР, а в ноябре 1975 г. - июле 1976 г. - одновременно на станциях ТЭС-3, ПТР и ДАЧ. При этом регистрировали местные землетрясения с эпицентрическими расстояниями 100-200, иногда до 400 км. Диапазон энергетических классов землетрясений, согласно классификации С.А. Федотова [7],  $K_{\Phi 68}^{S1,2} = 9 \div 13$ , что примерно соответствует диапазону магнитуд  $M = 3 \div 5,5$ . Амплитуды смещений составляли от единиц до сотен микрон.

Схемы расположения эпицентров зарегистрированных землетрясений приведены на рис. 2.

Оценки приращения балльности проводили на основе сопоставления замеров на сейсмограммах максимальных амплитуд и видимых периодов колебаний, проведенных в соответствии с инструкцией [3]. Для надежности выделения максимальных скоростей при неплоской частотной характеристике обмер был проведен для нескольких экстремумов записи. После пересчета в скорости выбирали максимальное значение. Измерение было проведено двукратно, двумя группами (А и Б) интерпретаторов с различными деталями методики. При промере А использовали только те экстремумы записи, у которых видимый период был не ниже 0,5 с. Величину удвоенной амплитуды брали как  $2A = Y_0 - (Y_1 + Y_{-1})/2$ , где  $Y$  - ордината максимума;  $Y_1$  и  $Y_{-1}$  - ординаты соседних минимумов записи. При промере Б использовали любые экст-



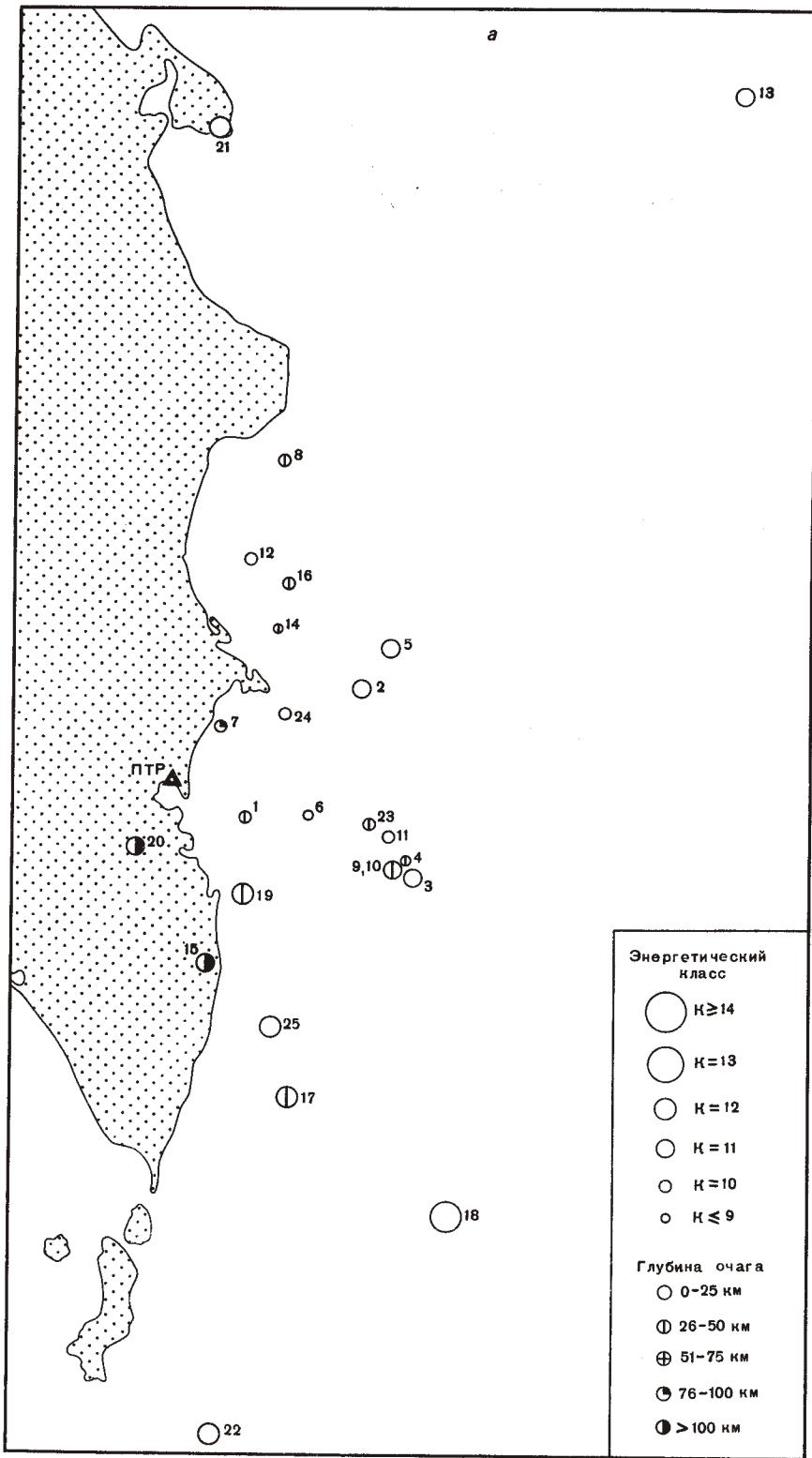
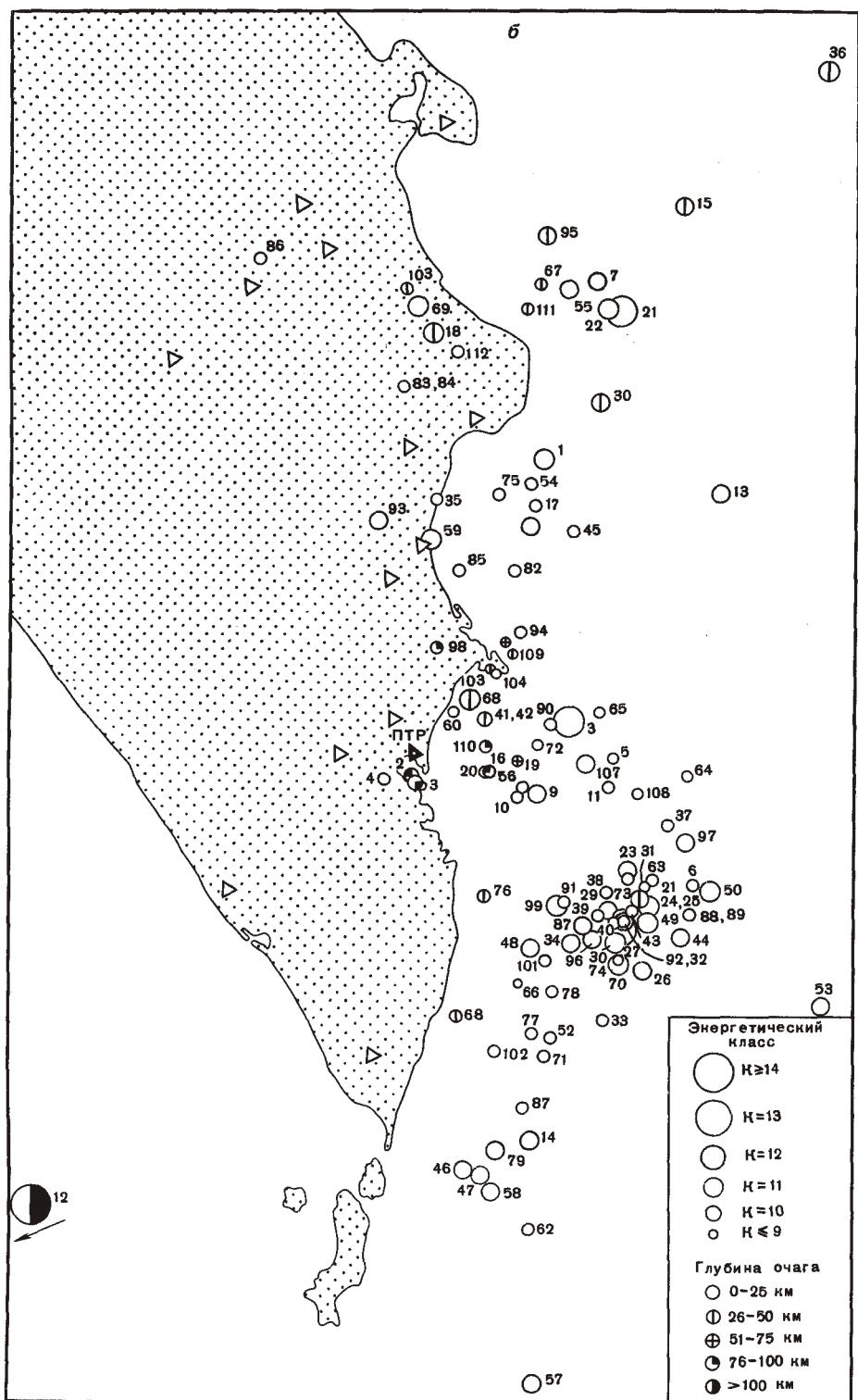


Рис. 2. Схема расположения эпицентров землетрясений в период регистрации апрель–май 1975 г. (а) и ноябрь 1975–июль 1976 (б)



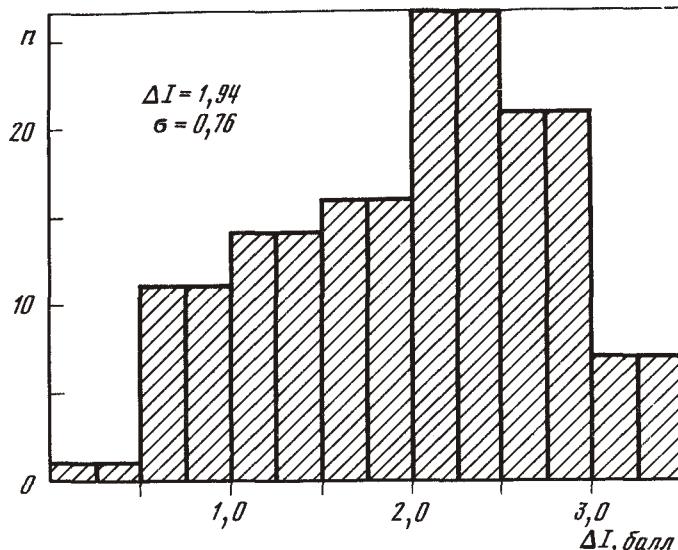


Рис. 3. Гистограмма распределения приращений балльности по данным точек ТЭС-3/ПТР

ремумы записи, а значения удвоенной амплитуды брались как  $2A = Y_0 - \min(Y_1, Y_{-1})$ .

Согласно РСМ-73 [4] приращения балльности для пар точек рассчитывали как средние значения двоичных логарифмов отношений максимальных скоростей.

Расчет приращений балльности. Всего использованы записи 22 землетрясений на первом этапе и 112 – на втором этапе. Для точки ТЭС-3 в качестве иллюстрации приведена гистограмма распределения значений приращения балльности относительно ПТР (рис. 3). Распределение несколько отличается от нормального. Тем не менее сочли возможным использовать средние и стандартные отклонения обычным образом. В данном случае среднее значение 1,94 и стандарт 0,76.

В табл. 1 приведены осредненные значения приращений балльности  $\Delta I_2$  по данным слабых местных землетрясений для точек площадки относительно опорных станций ПТР и ДАЧ.

Таблица 1

Осредненные значения приращений балльности

Сопоставляемые пункты	Пример А			Пример Б			Среднее	
	$\Delta I_2$	$\sigma$	$N$	$\Delta I_2$	$\sigma$	$N$	$\Delta I_2$	$\sigma$
ТЭС-1/ПТР	1,84	0,86	18	1,60	0,14	19	1,72	0,15
ТЭС-2/ПТР	2,02	0,13	19	1,71	0,18	18	1,86	0,15
ТЭС-3/ПТР	1,94	0,08	96	1,81	0,21	26	1,88	0,15
ДАЧ/ПТР	1,62	0,16	33	1,31	0,18	22	1,46	0,17
ТЭС-3/ДАЧ	0,50	0,10	34	0,42	0,13	27	0,46	0,11

Примечание.  $N$  – число использованных пар записей,  $\Delta I_2$  – среднее значение двоичного логарифма,  $\sigma = \Delta I_2 / \sqrt{N}$  – стандартное отклонение от среднего.

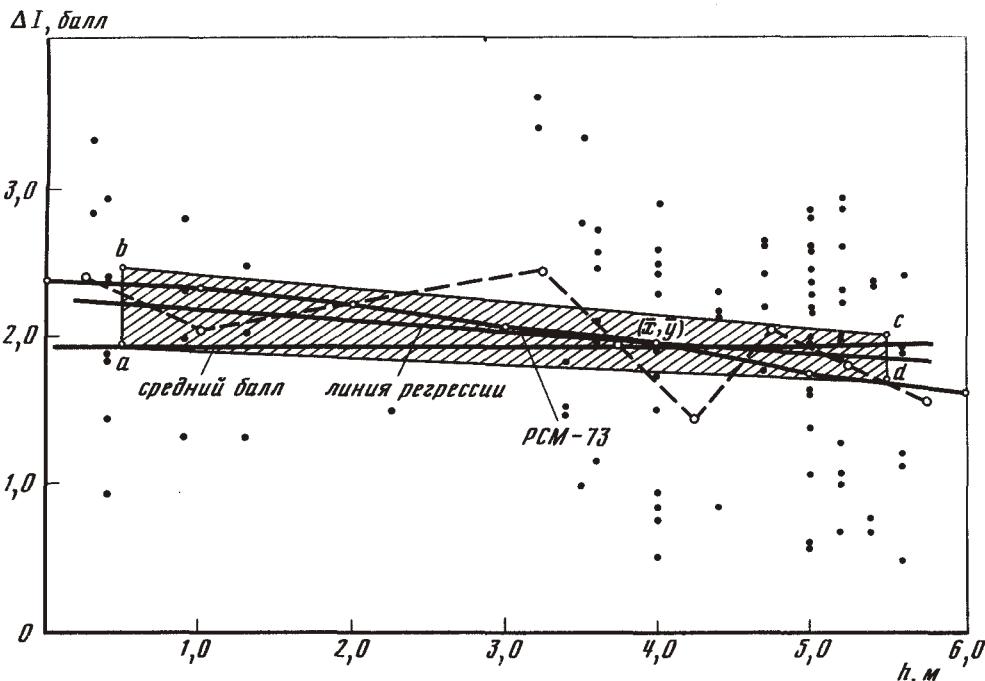


Рис. 4. Корреляционная зависимость изменений приращений балльности на точке ТЭС-3 в зависимости от уровня грунтовых вод

Сложив с опорным баллом и осреднив две оценки для ТЭС-3, получаем для точек площадки следующие расчетные балльности: ТЭС-1 - 9,3; ТЭС-2 - 9,5; ТЭС-3 - 9,5. Точность приведенных цифр (90%-ный доверительный интервал) составляет 0,25 - 0,3 балла. Разброс по различным точкам площадки достигает 0,2 балла. Таким образом, можно сделать вывод, что в среднем по точкам площадки или по площадке в целом расчетная балльность составляет 9,5 балла с вариациями для конкретных точек площадки, достигающими 0,5 балла.

Изменения приращения балльности в зависимости от уровня грунтовых вод. В ходе наблюдений в точке ТЭС-3 в период ноябрь 1975 г. - июль 1976 г. на скважине 39, расположенной на расстоянии около 200 м на юго-восток от точки (см. рис. 1), регулярно один раз в десять дней проводили замеры уровня грунтовых вод (УГВ) с точностью замеров  $\pm 1$  см.

Каждое определение величины приращения балльности в точке ТЭС-3  $\Delta I_2$  сопоставляли с соответствующим по времени замером УГВ  $h$ . Поле точек зависимости  $\Delta I = \Delta I(h)$  приведено на рис. 4.

Регрессионный анализ в предположении нормальности распределения значений  $\Delta I$  проводили согласно рекомендациям работы [5] и получили следующие результаты:

Число пар значений ( $\Delta I, h$ ) . . . . .	97
Средние $\Delta I$ . . . . .	$\bar{Y} = 1,97$ (баллы)
$h$ . . . . .	$\bar{X} = 3,93$ (м)
Выборочный коэффициент корреляции $r$ . . . . .	-0,155
Коэффициент регрессии $a$ . . . . .	-0,073
Стандартное отклонение коэффициента регрессии $\sigma(a)$	0,063
Верхний 90%-ный доверительный уровень для коэффициента регрессии $\hat{a}$ . . . . .	0,030

Снижение амплитуд при снижении уровня грунтовых вод не является статистически значимым на 90%-ном уровне доверия и значимо только на

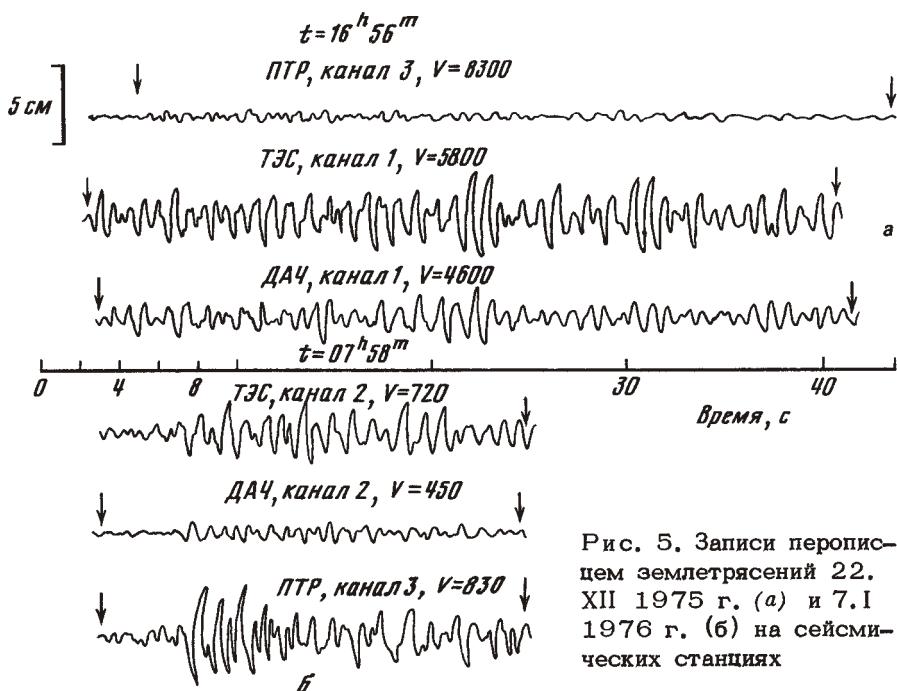


Рис. 5. Записи перописцем землетрясений 22. XII 1975 г. (а) и 7. I 1976 г. (б) на сейсмических станциях

70%-ном уровне, чего не достаточно для сколько-нибудь уверенных выводов. Тем не менее мы нанесли на рис. 4 полученную линию регрессии  $y = 1,972 - 0,0735(x - 3,935)$ . Четырехугольник  $abcd$  – формальная 90%-ная зона для линии регрессии, построенная согласно [5]. Нуевые и даже положительные значения коэффициента не противоречат данным при 90%-ном уровне доверия. Здесь же нанесена кривая  $\exp(-0,04 h^2)$ , описывающая зависимость приращения балльности от уровня грунтовых вод согласно РСМ-73, которая не противоречит линии регрессии.

Таким образом, нет доказательств ни наличия зависимости амплитуд сейсмических колебаний от уровня грунтовых вод, ни отсутствия такой зависимости.

#### ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ ГРУНТА ПЛОЩАДКИ ПРИ СИЛЬНЕЙШЕМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

Расчет спектров Фурье слабых землетрясений и оценка отношений спектров "площадка/скла". Сейсмологические наблюдения проводили в два этапа на 5 точках установки приборов. В первый период – это сейсмическая станция ПТР и две точки площадки, обозначаемые далее ТЭС-1 и ТЭС-2. Во второй период – это ПТР, точка ТЭС-3 площадки 6 и точка ДАЧ.

В результате получены материалы, позволяющие оценить увеличение спектральных плотностей на точках ТЭС-1, ТЭС-2, ТЭС-3 и ДАЧ относительно таковых на ПТР для слабых землетрясений. Записи всех станций, кроме ПТР, получены перописцами, записи ПТР получены на региональной станции в первый период и перописцами во второй.

На рис. 5 приведены примеры записи землетрясений перописцем на станциях ПТР, ДАЧ и ТЭС-3.

Обработка записей включала следующие этапы:

1. Выделение соответствующих участков на записи двух или трех станций. Согласно РСМ-73 брали одинаковые участки длительностью 10 с, иногда от 5 до 30 с в области вступления фазы S.

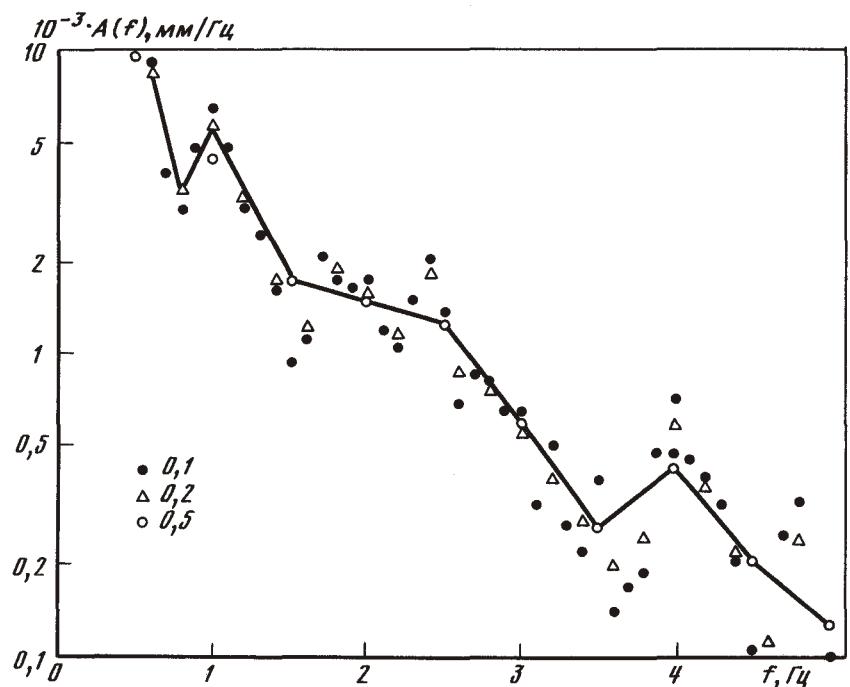


Рис. 6. Спектры записи землетрясения 7. I 1976 г. с тремя вариантами окна сглаживания

Ломаной линией указан спектр, использованный для дальнейших расчетов (станция ПТР,  $t = 0,7^h$ ,  $0,58^m$ )

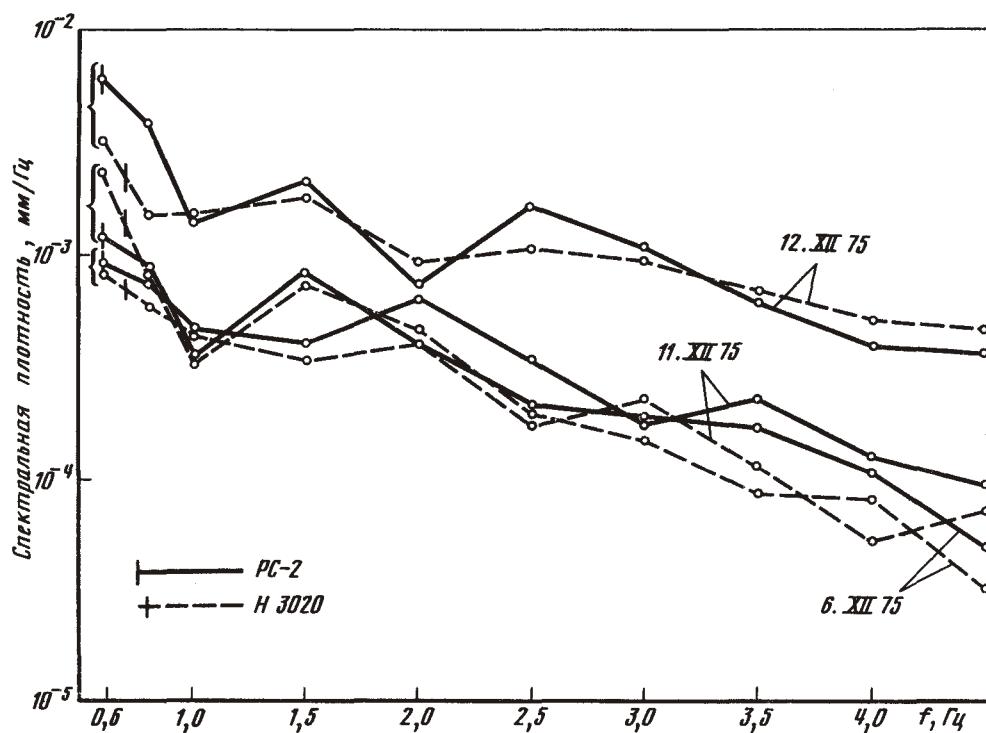


Рис. 7. Спектры трех землетрясений, записанных на станции ПТР регистрирами РС-2 и НЗ020 (контроль калибровки)

Таблица 2

Каталог землетрясений № 1 (апрель–май 1975 г.)

Дата	Время, ч.–мин	Координаты		$h$ , км	Энер- гия, $K_{S1,2}^{Φ68}$	$Δ$ , км	Ази- мут
		широта	долгота				
25.IV 1975	14-22	52°34'	159°65'	0	8,4	102	136
26.IV 1975	01-33	53°08'	159°40'	80	9,6	51	79
29.IV 1975	20-27	51°79'	160°06'	30	10,9	167	142
29.IV 1975	20-45	51°79'	160°06'	20	10,4	167	142
07.V 1975	04-38	51°92'	158°03'	110–120	10,7	128	199
14.V 1975	18-37	50°98'	159°01'	40	12,1	231	189
19.V 1975	22-42	49°85'	158°75'	-	13,0	351	176
20.V 1975	01-05	52°14'	158°72'	40	11,8	96	177
21.V 1975	18-16	52°75'	158°05'	130	10,9	50	221
21.V 1975	18-21	56°11'	162°84'	20	11,8	435	35
22.V 1975	18-05	49°45'	155°80'	-	12,0	441	207
28.V 1975	22-38	51°38'	158°25'	10	11,5	183	188

2. Оцифровка сейсмограмм на приборе УЦС<sup>1</sup> с фиксацией на перфокартах, с шагом оцифровки 0,4 мм = 0,032 с для записей перописцем и 0,1 мм = 0,05 с для фотозаписи.

3. Выполнение спектрального анализа – преобразование Фурье и затем сглаживание амплитудного спектра с несколькими вариантами ширины полосы (окна) сглаживания.

4. Расчет отношений осредненных амплитудных спектральных плотностей по набору точек спектра.

Чтобы убедиться в допустимости использования фотозаписей, полученных для ПТР на первом этапе, несколько записей ПТР на втором этапе были оцифрованы параллельно как по фотозаписям, так и перописцем. Спектры Фурье трех таких пар записей после коррекции для весьма различных частотных характеристик приведены на рис. 7. Несмотря на отдельные отклонения, мы не видим систематических ошибок. Разброс оценок отношений спектров для разных землетрясений больше, чем различие между параметрами записей, поэтому точность оценок спектров можно считать допустимой.

Расчет спектров по использованной программе требует выбора ширины полосы (окна) сглаживания; существует два варианта:

1. Сглаживание скользящим средним, например, по пяти точкам. После такого сглаживания спектр получают по сетке частот, зависящий от длины записи, что сильно затрудняет сравнение спектров двух записей даже близкой длины.

2. Использование заранее фиксированной логарифмической сетки частот и логарифмически переменной ширины полосы. Этот подход применяется в ЧИСС-спектрах и в спектрах реакции.

Компромиссный вариант был принят в следующем виде: в пределах полосы пропускания аппаратуры (0,5–4,5 Гц) рассчитывали сглаженный амплитудный

<sup>1</sup> Прибор УЦС был модифицирован В.А. Казанцевым для оцифровки криволинейной записи перописца Н3020.

Таблица 3

Каталог землетрясений № 2 (ноябрь 1975 г. - июль 1976 г.)

Дата	Время, ч.-мин	Координаты		$h$ , км	$K_{S1,2}^{\Phi 68}$	$\Delta$ , км	Ази- мут
		широта	долгота				
27.XI 1975	10-53	53°95'	158°32'	0	8,5	24	244
08.XII 1975	18-55	52°66'	160°28'	30	13,0	121	111
12.XII 1975	06-05	52°37'	159°60'	0	11,0	100	140
15.XII 1975	19-47	52°42'	159°40'	30	10,0	87	144
16.XII 1975	19-08	52°15'	160°32'	0	10,0	147	130
21.XII 1975	10-54	51°7'	150°5'	450	16,0	Далекое	-
22.XII 1975	16-56	53°33'	162°95'	30	11,0	290	83
25.XII 1975	08-31	54°94'	164°35'	40	10-11	430	57
03.I 1976	11-19	52°60'	159°60'	40	9-10	82	177
06.I 1976	19-28	54°65'	163°14'	20	12,5	346	58
06.I 1976	19-51	54°70'	163°05'	0	12,0	344	56
06.I 1976	20-57	51°63'	160°00'	0	11,4	180	150
07.I 1976	07-58	51°37'	160°00'	0	12,0	206	154
07.I 1976	07-59	51°37'	160°00'	-	12,0	206	154
10.I 1976	03-37	51°35'	159°70'	10	13,0	199	160
10.I 1976	22-43	51°50'	159°60'	10	11,0	182	159
12.I 1976	04-36	51°60'	159°80'	10	12,0	196	157
13.I 1976	14-38	55°08'	166°55'	40	12,0	564	63

спектр с полушириной полосы 0,2 Гц для точек 0,6; 0,8; 1,0 Гц и с полушириной полосы 0,5 Гц точек 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5 Гц. Такая схема расчета сохраняет в определенной мере преимущества обоих подходов. На рис. 6 приведены спектры одной из записей рис. 5 с тремя вариантами окна сглаживания - 0,1; 0,2; 0,5 Гц. Ломаной линией выделен спектр, использованный для расчетов согласно описанной выше схеме.

В табл. 2, 3 приведены землетрясения, записи которых были использованы для расчета спектров. После расчета спектров для всех записей каждого землетрясения рассчитывали отношения спектров для каждой станции относительно станции ПТР. На рис. 8 приведены спектры двух землетрясений на трех станциях и их отношения.

Логарифмы отношений спектров осреднили и получили средние значения логарифмов по выбранной сетке частот. Эти логарифмы и отношения спектров приведены в табл. 4 и на рис. 9. Оценки точности средних отношений на основе дисперсий их распределения находим по формуле  $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2/N}$ , где  $\sigma_1$  - единичное отклонение.

Значения отношений и их логарифмы рассчитывали по всем частотам и параметрам станций, но в табл. 4 приведены наихудшие значения для данной пары вместе с числом пар.

Оценка величины максимального сейсмического воздействия на скальном грунте (станция ПТР). Максимальное сейсмическое воздействие, соответст-

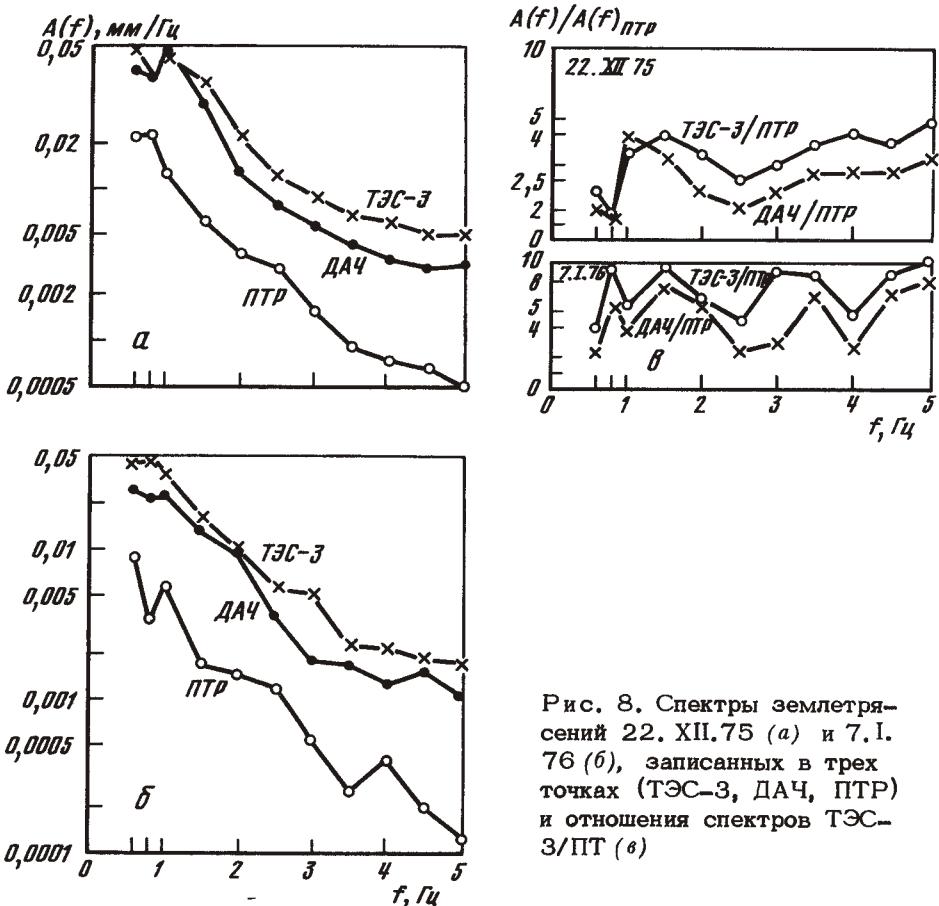


Рис. 8. Спектры землетрясений 22. XII. 75 (а) и 7. I. 76 (б), записанных в трех точках (ТЭС-З, ДАЧ, ПТР) и отношения спектров ТЭС-З/ПТР (в)

вующее девятибалльной интенсивности на средних грунтах в районе Петропавловска-Камчатского, связано с катастрофическими землетрясениями с магнитудой до 8,3 – 8,4, очаги которых могут находиться на расстояниях 80–90 км от города. Оценка такого воздействия была сделана предварительно в виде набора величин максимальных ускорений (скоростей) для различных частот. Эти максимальные значения заданы кривыми  $a(f)$  и  $v(f)$ , форму которых определяли из экстраполированных спектров Фурье для скоростей слабых землетрясений, а уровень – значением максимальной скорости, полученным также экстраполяцией [6].

Изучение накопленных за последнее время данных заставило несколько изменить эти оценки, главным образом в области высоких частот (5–10 Гц). Рассмотрим сначала вопрос о форме спектра ускорений (горизонтальных). На рис. 10 приведены спектры, сглаженные от руки и нормализованные к единице на 1 Гц, камчатских землетрясений, поверхностных Усть-Камчатского, Озерновского и промежуточного Петропавловского [7, 8], аномального Перуанского землетрясения 1970 г. [9], "средний калифорнийский спектр" по работе [10] для  $M = 6,5 \div 7,5$ . Для Озерновского землетрясения спектр скоростей уже был сглажен. Однако данные для двух каналов сильно различались. Среднее значение после пересчета в ускорении дано штриховкой (см. рис. 10). Все эти спектры относятся к землетрясениям с магнитудой менее 8, однако нет оснований ожидать серьезных изменений формы спектра в этой области частот при переходе от магнитуды 7,5 к 8,3.

Приведенный на рис. 10 расчетный спектр из работы [6] занимает амплитуды колебаний высоких частот и заменен поэтому в дальнейшем на другой, также приведенный на этом рисунке. В основном при проведении этой кривой мы руководствовались формой спектра Усть-Камчатского землетрясения.

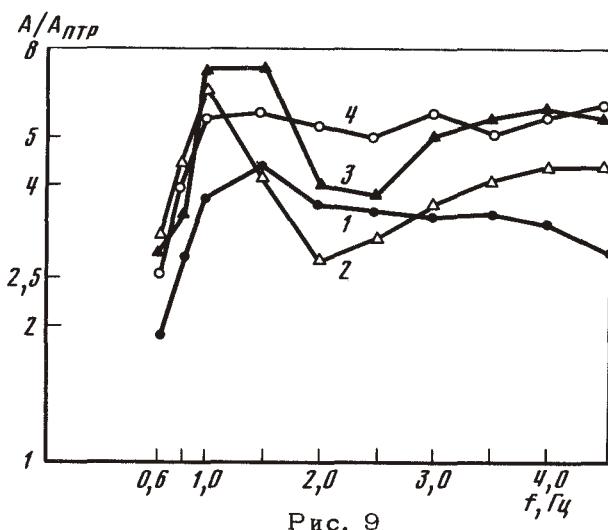


Рис. 9

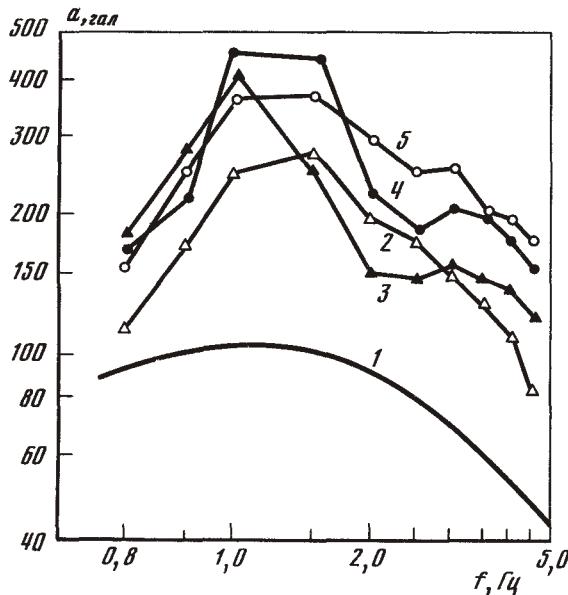


Рис. 11

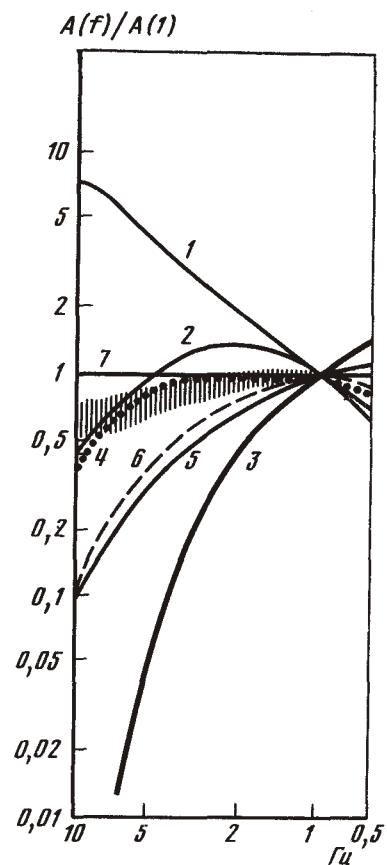


Рис. 10

Рис. 9. Средние отношения спектров Фурье для четырех станций относительно станции ПТР  
 1 - ДАЧ; 2 - ТЭС-1; 3 - ТЭС-2; 4 - ТЭС-3

Рис. 11. Зависимости максимальных ускорений от частоты колебаний для площадки, а также точек ПТР (опорная) и ДАЧ

1 - Перу, 1970 г.,  $M = 7,7$ ,  $\Delta = 300$  км; 2 - Петропавловск, 1971 г.,  $M = 7,2$ ,  $R = 110$  км; 3 - отчет 1979 г.; 4 - Trifunac - экстраполяция,  $M \approx 7$ ,  $\Delta \approx 40$  км; 5 - Усть-Камчатское, 1971 г.,  $M = 7,9$ ,  $\Delta = 70$  км; 6 - по данной работе; 7 - Озерновское, 1969 г.,  $M = 7,7$ ,  $\Delta = 70$  км

Рис. 11. Зависимости максимальных ускорений от частоты колебаний для площадки, а также точек ПТР (опорная) и ДАЧ

1 - ПТР; 2 - ДАЧ; 3 - ТЭС-1; 4 - ТЭС-2; 5 - ТЭС-3

Таблица 4

Средние отношения спектров Фурье  $K$  и их логарифмы для точек площадок ТЭС и ДАЧ относительно ПТР

Пункты сопоставления	Частота $f$ , Гц					
	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
$\frac{\lg K_{\text{ТЭС-1}}}{K_{\text{ТЭС-1}}}$	0,49 3,1	0,65 4,5	0,82 6,6	0,62 4,2	0,44 2,8	0,48 3,0
$\frac{\lg K_{\text{ТЭС-2}}}{K_{\text{ТЭС-2}}}$	0,46 2,9	0,55 3,6	0,85 7,1	0,85 7,1	0,60 4,0	0,58 3,8
$\frac{\lg K_{\text{ТЭС-3}}}{K_{\text{ТЭС-3}}}$	0,42 2,6	0,62 4,1	0,75 5,5	0,78 6,5	0,73 5,4	0,72 5,2
$\frac{\lg K_{\text{ДАЧ}}}{K_{\text{ДАЧ}}}$	0,29 1,9	0,45 2,75	0,50 3,8	0,65 4,4	0,56 3,6	0,57 3,7

Таблица 4 (окончание)

Пункты сопоставления	Частота $f$ , Гц				$N$	$\sigma$
	3,0	3,5	4,0	4,5		
$\frac{\lg K_{\text{ТЭС-1}}}{K_{\text{ТЭС-1}}}$	0,56 3,6	0,61 4,1	0,64 4,4	0,64 4,4	12	0,098
$\frac{\lg K_{\text{ТЭС-2}}}{K_{\text{ТЭС-2}}}$	0,70 5,0	0,74 5,5	0,76 5,8	0,74 5,5	11	0,078
$\frac{\lg K_{\text{ТЭС-3}}}{K_{\text{ТЭС-3}}}$	0,74 7,8	0,74 5,5	0,79 6,2	0,80 6,2	15	0,6083
$\frac{\lg K_{\text{ДАЧ}}}{K_{\text{ДАЧ}}}$	0,56 3,6	0,56 3,6	0,54 3,5	0,48 3,0	11	0,098

По принятой форме спектра ускорений спектр скоростей открыт в области низких частот. Поэтому оценки максимальной скорости колебаний без указания на частотный диапазон могут ввести в заблуждение.

В работе [6] максимальная скорость колебаний 30 см/с относилась к частоте 0,8 Гц. Эта цифра получена экстраполяцией вдоль шкалы магнитуд  $M_{LH}$ . Если считать, что эта оценка относится к пику спектра скорости, который нельзя фактически наблюдать на 0,8 Гц при землетрясении с  $M = 8$ , так как он расположен на более низких частотах, то оценка для области 0,8–1 Гц должна быть снижена. Если экстраполировать вдоль шкалы короткопериодных магнитуд  $m_b$ , то оценка также должна быть снижена в 2–3 раза. Оценка по корреляции баллов со средними скоростями из статьи [2] дает при балльности 7,5 около 13 см/с.

Таблица 5

Значения максимальных скоростей  $v$  и ускорений  $a$  для различных периодов на скальном грунте

Исследуемый параметр	Частота $f$ , Гц							
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$a_{\text{гал}}$	88	94	100	100	100	92	80	69
$v$ , см/с	28	25	20	16,6	10,8	7,2	5,2	3,8

Таблица 5 (окончание)

Исследуемый параметр	Частота $f$ , Гц						
	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0
$a_{\text{гал}}$	60	5	46	40	30	18	11
$v$ , см/с	2,8	2,1	1,57	1,27	0,77	0,35	0,17

Таблица 6

Сопоставление отношений амплитуд и спектральных плотностей для трех точек площадки

Сопоставляемые величины	ТЭС-1	ТЭС-2	ТЭС-3
Отношение амплитуд	3,57	4,05	4,16
Отношение спектральных плотностей	4,20	7,11	6,5
Частное, равное отношению амплитуд, деленному на отношение спектральных плотностей	0,85	0,57	0,64

Пересчет максимальной скорости на скале с/ст Петропавловск, записанной при семибалльном Петропавловском землетрясении 1971 г., дает 26 см/с.

Учет всех этих соображений позволяет снизить значение максимальной скорости на частоте 0,8 Гц до 20 см/с (т.е. в 1,5 раза).

Используя формулу спектра Фурье для построения кривых  $a(f)$  и  $v(f)$ , получаем в результате эти кривые в абсолютных цифрах (табл. 5).

Оценка величины максимальных скоростей и ускорений для различных частот. Для получения кривых  $a(f)$  и  $v(f)$  точек площадки на основании подобных кривых для ПТР необходимы измерения отношений спектров реакции при тех значениях  $a$  и  $v$ , о которых идет речь. Измерения при слабых землетрясениях и тем самым при малых  $a$  и  $v$ , не учитывают сильного неупругого поглощения в грунтовом слое при больших амплитудах. Для землетрясения Сан-Фернандо (Лос-Анжелес, Калифорния, 1971), в частности, нелинейные эффекты приводили к относительному снижению амплитуд на рыхлом аллювиальном грунте до двух раз [11].

Грунты под исследуемой площадкой главным образом песчаные, дресвянные и щебенистые, с малой долей глинистого материала, зерна остроугольные. Такой грунт по своим пластическим свойствам может заметно отличаться от "аллювия" в районе Лос-Анжелеса и вести себя упруго при больших деформациях. Таким образом, хотя можно ожидать определенное снижение амплитуды сильных колебаний, величину этого снижения (которая должна зависеть от

Таблица 7

Оценка максимальных сейсмических ускорений  $a$  и скоростей  $v$  для различных частот на площадке

Пункт наблюдения	Частота, Гц									
	0,6	5,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$a_{\text{гал}}$										
ТЭС-1	180	270	425	255	155	148	155	148	140	120
ТЭС-2	167	217	450	435	220	190	207	200	183	152
ТЭС-3	153	250	365	370	290	250	260	210	200	180
ДАЧ	112	170	240	270	200	180	150	130	110	83
$v, \text{ см/с}$										
ТЭС-1	48	53	74	27	12,4	9,4	8,2	6,7	5,5	4,4
ТЭС-2	44	44	78	46	17,5	12,1	11,0	9,1	7,2	5,5
ТЭС-3	40	50	62	39	23	16,0	13,8	9,6	7,9	6,6
ДАЧ	30	34	42	29	16	11,5	8,0	5,9	4,3	3,0

типа грунта, амплитуды деформации, частоты колебаний и мощности рыхлой толщи) мы не в состоянии оценить сколь-нибудь надежно.

Поэтому для оценки влияния неупругих эффектов может быть введен поправочный коэффициент, равный 0,9.

Однако и для слабых землетрясений отношений спектров реакции также не было в нашем распоряжении. Отношения же спектров Фурье могут быть использованы непосредственно только для пересчета спектральных плотностей, но не максимальных амплитуд.

Причины этого заключаются во влиянии резонанса слоя на максимальные амплитуды. Из рис. 6, б видно, как долго "раскачивается" разрез под точкой ТЭС-3 от действия относительно короткого импульса, видимого на записи ПТР. В таких случаях отношение спектральных амплитуд превышает отношение максимальных скоростей иногда в несколько раз. Мы попытались преодолеть это затруднение, сравнив отношение максимальных амплитуд для частот 1-2 Гц (использованное для расчета приращения балльности, пример А, см. табл. 1) и отношение спектральных плотностей для частоты 1,5 Гц (табл. 6).

Среднее значение частного этих отношений составляет 0,68. Хотя точность этой цифры невелика, ее использование в качестве поправочного коэффициента дает возможность получить правдоподобные значения  $a(f)$  и  $v(f)$  для площадки.

Таким образом, для пересчета кривых  $a(f)$  и  $v(f)$  для ПТР в кривые для площадки мы используем отношения спектров Фурье слабых землетрясений с поправочным коэффициентом  $0,9 \times 0,68 = 0,61$ . В результате получаем кривые, приведенные на рис. 11 и в табл. 7. Эти результаты следует рассматривать как прогнозные для площадки строительства, поскольку прямые измерения скоростей и ускорений для сопоставляемых землетрясений отсутствуют.

#### Литература

- Константинова Т.Г., Шарапов В.Г. О принципах построения карты сейсмического микрорайонирования территории г. Петропавловска-Камчатского. – В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1977, с. 232-236.
- Баранников Л.Б., Борисова Н.С., Ершов И.А. и др. Макросейсмическое обследование последствий землетрясения 24. IX 1971 г. в Петропавловске-Камчатском. – В кн.: Сильные Камчатские землетрясения 1971 г. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975, с. 15-62.
- Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Ризниченко Ю.В. Инструкция по динамическим измерениям на сейсмограммах. – Труды/ИФЗ АН СССР, 1961, № 17 (184), с. 146-167.

4. Медведев С.В., Бунэ В.И., Ершов И.А. и др. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию РСМ-73. – В кн.: Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука, 1973, вып. 15, с. 6–34.
5. Большев Л.Н., Н.В. Смирнов. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 464 с.
6. Штейнберг В.В., С.А. Федотов. Оценка параметров колебаний почвы в Петропавловске-Камчатском при возможном сильном землетрясении. – В кн.: Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом. Новосибирск: Наука, 1974, с. 90–100.
7. Федотов С.А., А.А. Гусев, В.М. Зобин и др. Озерновское землетрясение и цунами. – В кн.: Землетрясения в СССР в 1969 г. М.: Наука, 1972, с. 195–208.
8. Штейнберг В.В., Фремд В.М., Феофилактов В.Д. Колебания грунта при сильных землетрясениях на Камчатке в 1971 г. – В кн.: Сильные Камчатские землетрясения 1971 г. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975, с. 7–14.
9. Cloud W.K., Perez V. Unusual seismic records from Lima, Peru, earthquakes. – Bull. Seismol. Soc. Amer., 1971, 61, N 3, p. 633–640.
10. Trifunac M.D. Preliminary empirical model for scaling Fourier amplitude spectra. – Bull. Seismol. Soc. Amer., 1976, 66, p. 1343–1374.
11. San-Fernando, California, earthquake of Feb. 9, 1971. – NOAA, 1972, 3, p. 432.