

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВ НА УЧАСТКЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ МАЯК»

Коновалова О.А., Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Научный руководитель: к.г.-м.н. Аносов Г.И.

Работа посвящена оценке сейсмических параметров грунтов на участке расположения сейсмической станции «Маяк Петропавловский». Приведены результаты расчетов амплитудно-частотной характеристики грунтов методом Накамуры, а также оценки интенсивности колебаний методом тонкослоистых сред. В результате проведенного исследования построены сейсмические разрезы по профилям, определены АЧХ грунтов, дана оценка интенсивности колебаний грунтов.

При сейсмическом микрорайонировании важное значение имеют работы по интерпретации данных сильных движений, записи которых зависят от грунтовых условий в месте расположения сейсмических станций. Однако до самого последнего времени инженерно-геологические условия и инженерно-сейсмологические характеристики грунтов в местах расположения таких станций практически не исследованы. Поэтому одной из важнейших задач по обеспечению сейсмобезопасности Петропавловска-Камчатского является изучение инженерно-сейсмологических характеристик и инженерно-геологических условий в местах расположения сейсмических станций.

На основании анализа спектров сейсмического сигнала на основе быстрого преобразования Фурье по амплитудам, центральным частотам и площадям спектров, было показано, что грунты II категории на участках расположения сейсмических станций Петропавловской сети Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН [10] существенно различаются по их физико-механическим свойствам.

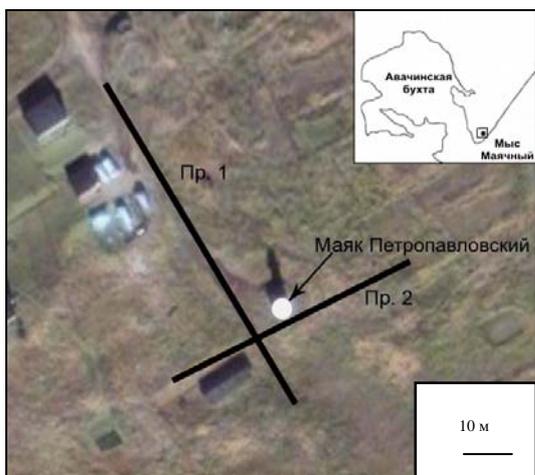


Рис. 1. Площадка расположения сейсмической станции сильных движений «Маяк Петропавловский». На врезке в правом верхнем углу черным квадратом показаны границы площадки работ, точкой обозначено местоположение сейсмической станции.

Это потребовало уточнения физико-механических параметров для каждого из участков, в том числе для площадки расположения сейсмической станции сильных движений «Маяк Петропавловский» (МРТ), находящейся на Восточном побережье Камчатки (рис.1).

В пределах площадки было обработано 2 сейсмических профиля методом преломленных волн (рис.1) с расстановкой сейсмоприемников через 2,5 метра и длиной расстановки 60 метров. Полученные сейсмические разрезы приведены на рис. 2.

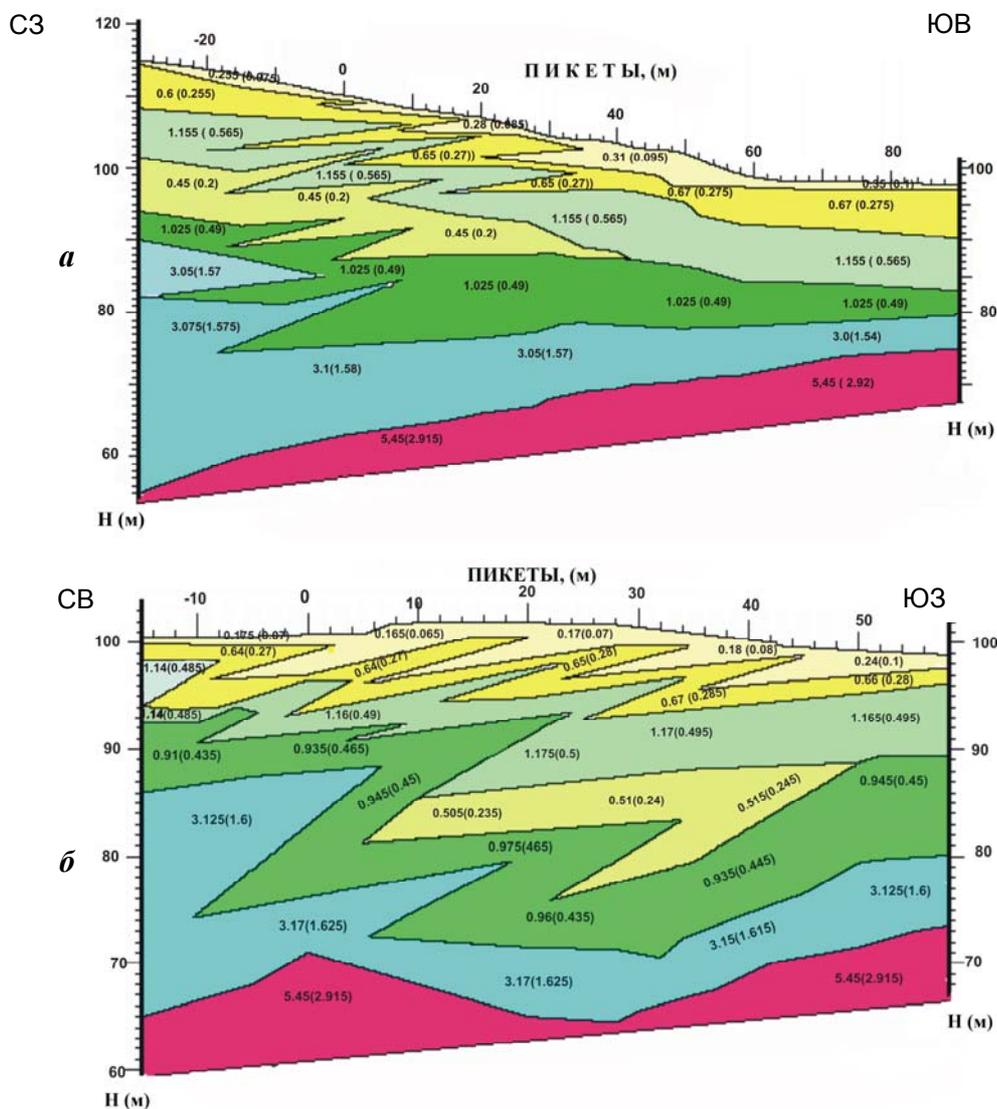


Рис. 2. Скоростной разрез по профилю 1 (а) и профилю 2 (б) на площадке «Маяк Петропавловский». Цифры в слоях – скорости продольных (поперечных) волн в км/с.

По сейсмическим разрезам проведены расчеты интенсивности колебаний грунтов от сценарных землетрясений методом тонкослоистых сред (МТС) и приращения балльности методом сейсмических жесткостей.

Для расчетов были выбраны сценарные землетрясения согласно работе [1], которые с наибольшей вероятностью могут создать максимальные сотрясения на территории города. Это землетрясения Fz 9 из зон ВОЗ 1, РЕТ и VUL из зоны ВОЗ 3 в соответствии с работой [1].

По полученным сейсмическим разрезам, исходя из методики, предложенной в работе [3], для каждого пикета профиля 1 и 2 были рассчитаны физико-механические свойства грунтов: плотность (ρ), коэффициенты затухания (Q_p и Q_s), модуль динамической упругости (E_d) и коэффициент Пуассона (μ). Результаты сведены в результирующие таблицы. В качестве примера в табл. 1 приведены расчеты для пикета 20 по профилю 1, так как рядом с этим пикетом расположена сейсмическая станция «МРТ».

Таблица 1. Пример представления физико-механических свойств грунтов для пикета 20 по профилю 1

Пикеты	V_p , м/с	V_s , м/с	ρ , кг/м ³	Δh , м	Н, м	Q_p , б/р	Q_s , б/р	E_d , ГПа	μ , б/р
20	280	85	1851	2,5	-	0,57	1,87	0,0388	0,4492
	650	270	1984	6,5	2,5	0,24	0,59	0,4036	0,3957
	1155	565	2112	3,5	9	0,14	0,28	1,8107	0,3427
	650	270	1984	1	12,5	0,24	0,59	0,4036	0,3957
	1155	565	2112	4	13,5	0,14	0,28	1,8107	0,3427
	450	200	1919	6	17,5	0,35	0,80	0,2113	0,3769
	1025	490	2082	13,5	23,5	0,16	0,32	1,3518	0,3519
	3050	1570	2434	12,5	37	0,05	0,10	15,8375	0,3198
	5450	2915	2716	*	49,5	0,00	0,00	59,9914	0,2996

Примечания: V_p и V_s – скорости продольных и поперечных волн в м/с; ρ – плотность в кг/м³; Δh – мощность слоя в метрах (*- подстилающее полупространство); Н – глубина залегания кровли нижележащего слоя в метрах; Q_p и Q_s – коэффициенты затухания для продольных и поперечных волн; E_d – модуль динамической упругости в ГПа; μ – Коэффициент Пуассона.

Для теоретических расчетов наиболее вероятной сотрясаемости площадок использовался модифицированный вариант метода тонкослоистых сред [4], который рекомендован в качестве обязательного при проведении сейсмического микрорайонирования [7]. Методом тонкослоистых сред решается двухмерная задача распространения плоских объемных волн в неупругой пачке слоев со свободной верхней границей, подстилаемой упругим полупространством. Из полупространства на нижнюю границу под произвольным углом падает Р-волн или SV- волна произвольной формы.

Исходными данными для расчетов являются физико-механические параметры грунтов (скорости продольных и поперечных волн, значения объемной плотности, коэффициенты затухания для продольных и поперечных волн).

Результаты расчетов максимальных ускорений (A_{max}) были представлены в виде таблиц. В качестве примера ниже приведены результаты расчетных максимальных сотрясений для сценарных землетрясений PET, VUL и Fz 9 [1] по профилю 1 (табл. 2).

На основе полученных данных были построены графики максимальных ускорений для профилей 1 и 2 (рис.3).

Одновременно с методом тонкослоистых сред применялся метод сейсмических жесткостей, который является основой «метода интенсивностей», предложенного Медведевым С.В. в 1962 году [5].

Таблица 2. Расчетные максимальные сотрясения для сценарных землетрясений PET, VUL и Fz 9 профиля 1 площадки «МРТ».

РАЗРЕЗ	УГОЛ	РЕАЛИЗАЦИЯ	DT	Amax	Tmax	T (Amax)	БАЛЛЬНОСТЬ
-20	5	PET	0,025	701,57	0,5	0,525	9
-10	5	PET	0,025	705,89	0,45	0,475	9
0	5	PET	0,025	635,59	0,5	0,475	9
10	5	PET	0,025	655,98	0,45	0,475	9
20	5	PET	0,025	727,6	0,15	0,925	9
30	5	PET	0,025	683,4	0,3	0,725	9
40	5	PET	0,025	816,6	0,2	0,7	9
50	5	PET	0,025	963,13	0,2	0,75	9
60	5	PET	0,025	1408,88	0,2	0,8	9
70	5	PET	0,025	1409,4	0,2	0,8	9
80	5	PET	0,025	1280,75	0,2	0,8	9
-20	5	VUL	0,025	566,83	0,5	0,75	9
-10	5	VUL	0,025	547,83	0,5	0,75	9
0	5	VUL	0,025	582,39	0,55	0,65	9
10	5	VUL	0,025	561,1	0,5	0,65	9
20	5	VUL	0,025	583,79	0,45	0,8	9
30	5	VUL	0,025	726,24	0,45	0,7	9
40	5	VUL	0,025	814,87	0,25	0,55	9
50	5	VUL	0,025	865,87	0,2	0,575	9
60	5	VUL	0,025	1154,18	0,2	0,825	9
70	5	VUL	0,025	1144,85	0,2	0,825	9
80	5	VUL	0,025	1061,47	0,2	0,825	9
-20	5	Fz9	0,025	167,82	0,65	0,4	7
-10	5	Fz9	0,025	180,6	0,7	0,4	7
0	5	Fz9	0,025	196,52	0,65	0,4	7
10	5	Fz9	0,025	188,2	0,65	0,4	7
20	5	Fz9	0,025	169,62	0,6	0,4	7
30	5	Fz9	0,025	165,77	0,6	0,4	7
40	5	Fz9	0,025	122,99	0,7	0,5	7
50	5	Fz9	0,025	116,73	0,75	0,5	7
60	5	Fz9	0,025	93,29	0,75	0,35	6
70	5	Fz9	0,025	93,1	0,75	0,35	6
80	5	Fz9	0,025	89,28	0,75	0,45	6

Примечания: DT – шаг счета; Amax – значения максимальных ускорений; Tmax - максимальный период; T(Amax) – длительность максимального периода.

Приращения сейсмической интенсивности рассчитываются по формуле из работы [6]:

$$\Delta J = \Delta J_c + \Delta J_{yгв} + \Delta J_{рез},$$

где ΔJ_c - приращение сейсмической интенсивности за грунтовые условия; $\Delta J_{yгв}$ - приращение сейсмической интенсивности за счет ухудшения сейсмических свойств при водонасыщении; $\Delta J_{рез}$ - приращение сейсмической интенсивности за счет явления резонанса не-скальных грунтов.

Приращение сейсмической интенсивности за грунтовые условия рассчитываются относительно средних грунтовых условий, принятых для г. Петропавловска – Камчатского в эталонной точке по формуле:

$$\Delta J_c = 1,67 \cdot \lg \frac{V_0 \rho_0}{V_i \rho_i}, \quad (1)$$

где $V_0 \rho_0$ - сейсмическая жесткость средних грунтов в эталонной точке; $V_i \rho_i$ - сейсмическая жесткость исследуемых грунтов на пикетах сейсмического профиля; V_i, ρ_i - средневзвешенные значения скоростей сейсмических волн и плотностей для исследуемых грунтовых условий. Для эталонной точки приняты следующие значения: скорость продольных сейсмических волн $V_p=720$ м/с, поперечных - $V_s=350$ м/с, $\rho_0 = 2,00$ г/см³.

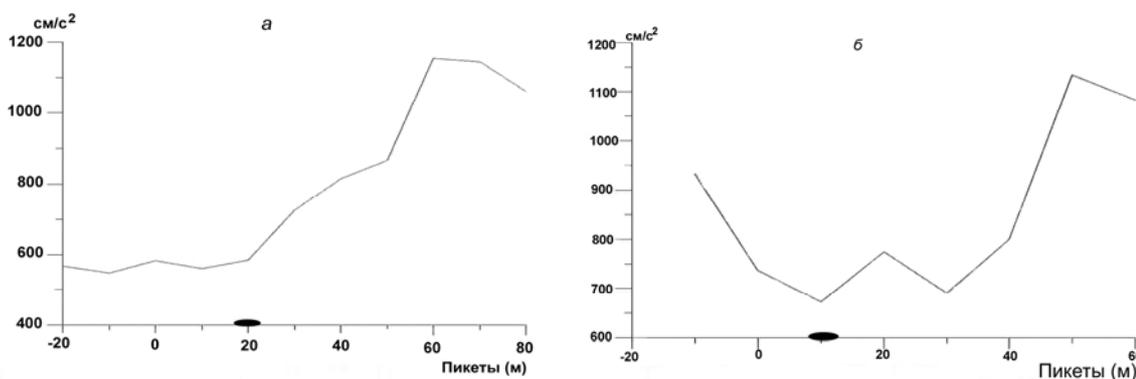


Рис. 3. График максимальных ускорений (A_{max}) по профилю 1 (а) и по профилю 2 (б). Эллипсом обозначено местоположение сейсмической станции «Маяк Петропавловский».

Изученные разрезы не содержат обводненных горизонтов, на что указывает присутствие в волновом поле хорошо выраженных поперечных волн. Поэтому, согласно [6] разрезы исследованы для необходимого состояния. В расчетах также не учитывалось приращение сейсмической интенсивности за счет явления резонанса нескальных грунтов. Приращение балльности рассчитывалось для верхней 10 метровой толщи для продольных (ΔJ_p) и поперечных волн (ΔJ_s) по формуле (1). Общее приращение балльности рассчитывалось по формуле $\Delta J = \Delta J_p + \Delta J_s$. Полученные данные заносились в таблицы приращений сейсмической балльности. Пример представления данных приведен в табл. 3.

Амплитудно-частотная характеристика грунтов определялась на основе анализа микросейсмических колебаний по методу Накамуры, суть которого заключается в расчете отношений спектров горизонтальных и вертикальных составляющих микросейсм (рис. 4). Анализ проведен с использованием программы DIMAS, разработанной Д.В. Дрозниным в КФ ГС ДВО РАН.

Таблица 3. Расчет приращений сейсмической балльности по методу сейсмических жесткостей от дневной поверхности для пикетов 10, 20 30 по профилю 1 площадки «Маяк Петропавловский»

ПК	H, м	V _p , м/с	V _s , м/с	ρ, г/см ³	ρ, ср., г/см ³	V _p ср., м/с	V _s ср., м/с	Δ J _p , балл	Δ J _s , балл	Δ J _{общ.} , балл
10	1	255	75	1839	1954	500	179	0,281	0,502	0,783
	2	600	255	1968						
	1,5	280	85	1851						
	2	600	255	1968						
	2	1155	565	2112						
	1,5	650	270	1984						
20	2,5	280	85	1851	1982	505	181	0,263	0,485	0,748
	6,5	650	270	1984						
	1	1155	565	2112						
30	1	280	85	1851	1963	497	176	0,282	0,767	1,050
	2	650	270	1984						
	2	310	95	1864						
	1,5	650	270	1984						
	1	1155	565	2112						
	2,5	650	270	1984						

Примечания: V_p и V_s – скорости продольных и поперечных волн в м/с; ρ – плотность; Δ J_p и Δ J_s – приращение балльности по значениям продольных и поперечных волн; Δ J_{общ.} – общее приращение балльности.

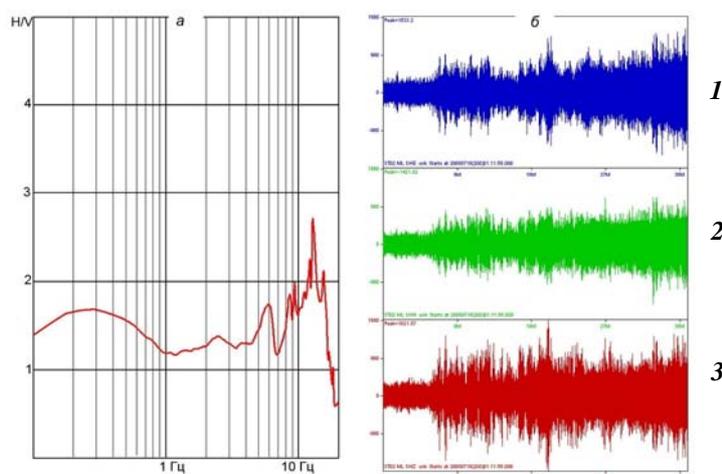


Рис. 4. График отношений спектров горизонтальной (H) и вертикальной составляющих (V) микросейсм (а); 1 - X компонента; 2 - Y компонента; 3 - Z компонента (б).

При анализе графика отношений спектров горизонтальной и вертикальной составляющих (рис. 4), можно сказать, что значительного усиления сотрясаемости (>3) за счет резонансных свойств грунтов в рассматриваемом диапазоне частот (0,1-20 Гц) не наблюдается. Усиление в длиннопериодном диапазоне (до 1 Гц), возможно, связано с расположением площадки в непосредственной близости от океана, являющихся источником микросейсм в данном диапазоне частот. В среднепериодном диапазоне частот (1-5 Гц) отмечается слабое усиление. Наибольшее усиление колебаний наблюдается для короткопериодного диапазона (>5 Гц).

В данной работе проводилось сопоставление спектров амплитудно-частотных характеристик грунта полученных по методу тонкослоистых сред и отношений спектров горизонтальных и вертикальных составляющих микросейсм (рис. 5). Необходимо отметить, что с повышением частот наблюдается рост детальности исследования и влияния более мелких неоднородностей на резонансные свойства грунтов. Таким образом, метод тонкослоистых сред интегральный, а метод Накамуры дает наиболее детальную характеристику резонансных свойств разреза.

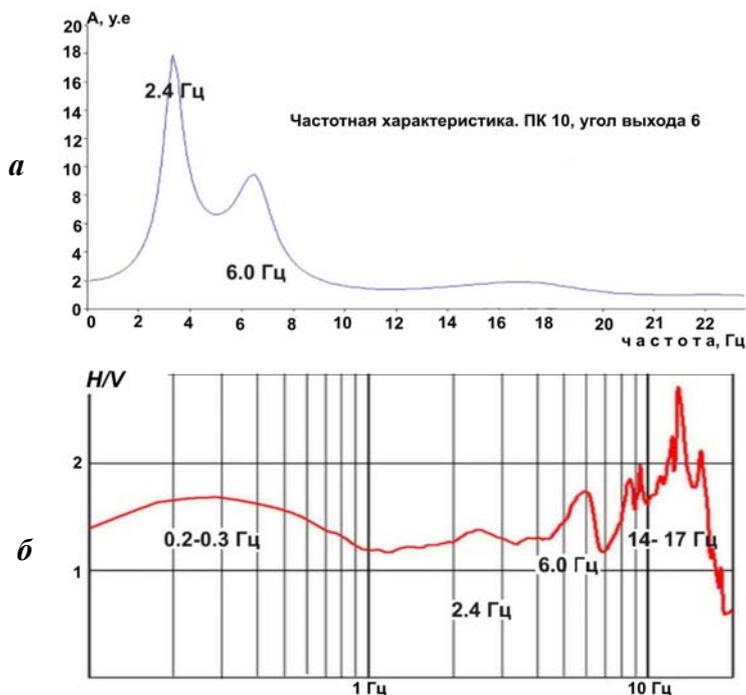


Рис. 5. Сопоставление спектров по методу МТС (а) и H/V методом Накамуры (б): профиль 1, площадка «Маяк Петропавловский». Резонансные пики: 0.2-0.3 Гц- влияние океана; 2.4 Гц, 6.0 Гц, 9.5 Гц и 14-17 Гц – влияние тонкослоистых грунтов и наличие резонирующих неоднородностей.

Вдоль линии профиля буровые скважины или шурфы не проходились, а коренные обнажения отсутствуют. Поэтому геологическая интерпретация скоростного разреза, с учётом его сложности на данном этапе исследования затруднительна. По нашему мнению, разрез представляет собой либо зону трещиноватости, либо зону выветривания, или же перекрытую туфами толщу рыхлых отложений. Ниже располагаются скальные породы, представленные, вероятно, плиоценовыми базальтами, андезито-базальтами и их туфами. Рельеф кровли и подошвы всех горизонтов неровен (рис. 2). Наблюдается погружение кровли скальных пород в северо-западном (вдоль профиля 1) и в северо-восточном (вдоль профиля 2) направлении. Перечисленные особенности свидетельствуют о фациальной изменчивости грунтовых условий на площадке, что необходимо учитывать при интерпретации записей станции сильных движений.

Полученные данные свидетельствуют о том, что непосредственно под площадкой «Маяк Петропавловский» наблюдается толща пород мощностью около 60 м, характеризующаяся низкими скоростями до глубин порядка 10 м. Выделяется слой с инверсией скоростей, что свидетельствует о залегании в разрезе слоя разуплотненных пород, перекрытых слоем более плотных пород. Рассчитаны максимальные ускорения в точках профилей, значения которых меняются в пределах от 600 до 1200 см/с², причём на участке расположения сейсмической станции отмечены минимальные значения.

В процессе работы полезные консультации были получены от Н.И. Селиверстова, И.Ф. Делемена, В.А. Рашидова.

Литература

1. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Акатова К.Н. Об оценке сейсмической опасности для города Петропавловска-Камчатского на основе набора сценарных землетрясений // Вестник отделения наук о Земле РАН. 2005. №.1(23) С. 1-22. (http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2005/screp-2.pdf)
2. Джурик В.И., Дреннов А.Ф., Басов А.Д. Прогноз сейсмических воздействий в условиях криолистой зоны. Новосибирск: СО РАН, 2000. 272 с.
3. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. М.: МГУ, 1981. 176 с.
4. Ратникова Л.И., Кронрод Т.Л. Расчет смещений на свободной поверхности и во внутренних точках тонкослоистого полупространства. (Прикладная программа по сейсмологии) М.: МГК АН СССР, 1985. 35 с.
5. Рекомендации по сейсмическому районированию. Под ред. С.В. Медведев: М.: Литература по строительству, 1971. 66 с.
6. РСМ-73. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию. ИФЗ АН СССР, 1974.
7. РСН 65-87. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое районирование. Технические требования к производству работ. Госстрой РСФСР, М.: МосЦТИСИС Госстроя РСФСР, 1987. 26 с.
8. Селезнев В.С., Кузьменко А.П., Еляков А.Ф. и др. Плотины гидроэлектростанций. Новосибирск: СО РАН, 2002. 230 с.
9. СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах. Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2000. 44 с., прил. 2 (10 карт).
10. Чебров В.Н. Готовность системы мониторинга сейсмической опасности на территории Камчатки к сильному землетрясению // КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2005. №2. Вып. 6. С. 14-20.

THE ASSESSMENT OF THE SEISMIC ATTRIBUTES OF GROUNDS WITHIN THE «PETROPAVLOVSKIY MAYAK» SEISMIC STATION

Konovalova O.A., Abkadyrov I.F., Bukatov Yu.Yu.

The paper gives the assessment for the seismic attributes of grounds within the «Petropavlovskiy mayak» seismic station. The paper contains the accounting results of amplitude-frequency response made by Nakamura method and the oscillation strength assessment made by the thin-layer structure method. The research resulted in creation of lateral seismic cross sections, determination of amplitude-frequency response of grounds and assessment of the ground oscillation strength.