



СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДЕТАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ И СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ



О.В. Павленко

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта,
olga@ifz.ru

**ДСР и СМР: корректная оценка
интенсивности сотрясений (балльности)
пиковых ускорений
скорости и смещений
длительности воздействий
волновых форм
спектрального состава колебаний**

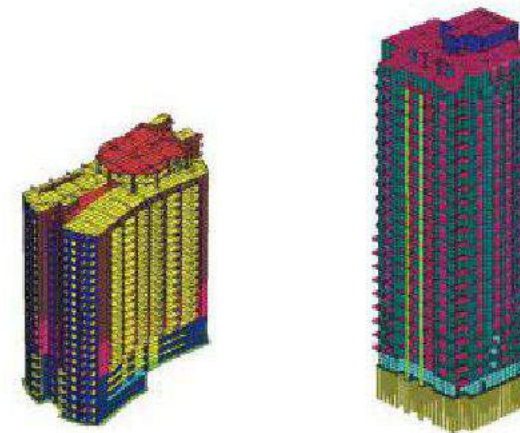
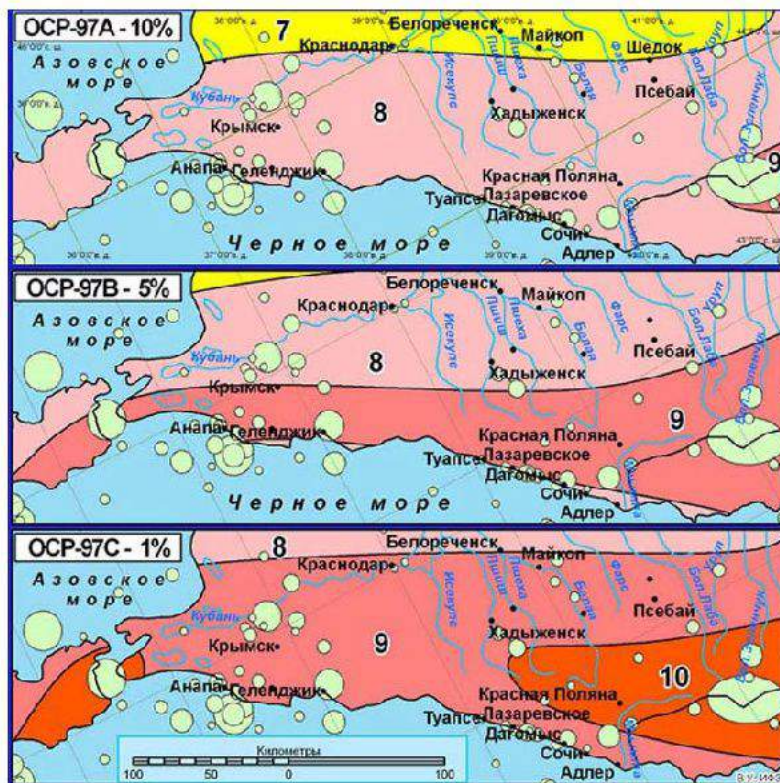


«Сообщество пользователей карт сейсмического районирования разнообразно, и требуемые параметры сильных движений также разнообразны. Непрактично готовить многоцелевые карты районирования для удовлетворения всех их нужд.

Нам представляется следующая процедура в будущем.

Поскольку любой параметр может быть получен из акселерограмм, мы должны рассчитывать акселерограммы для заданных пар источник–приемник с использованием современных методов **на основе современных знаний об очагах землетрясений, параметрах пути распространения и локальных условиях в точке приема».**

Aki, K., K. Irikura Characterization and mapping of earthquake shaking for seismic zonation, *Proc 4th Int. Conf. on Seismic Zonation, August 25-29, 1991, Stanford, California, 1, 61-110.*

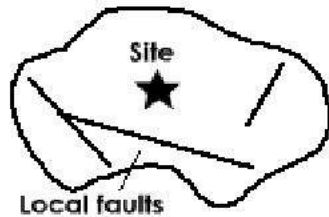


В спектр колебаний в данной точке Y дают вклад очаг E , путь P и локальные эффекты G :

$$Y(M_o, R, f) = E(M_o, f) P(R, f) G(f)$$

где M_o - сейсмический момент, R – расстояние от источника, и f - частота (Boore, 2003)

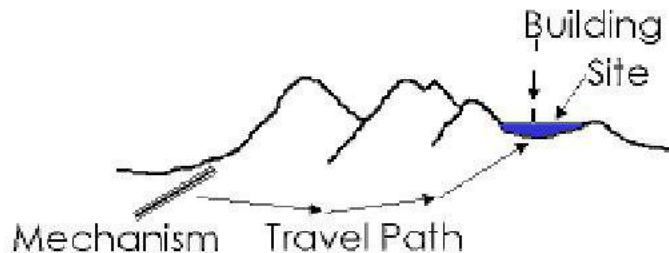
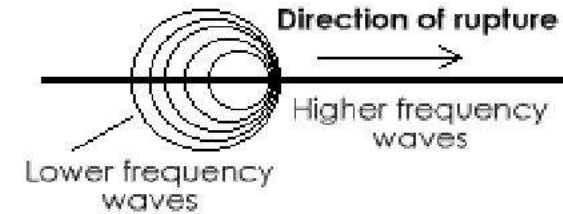
Механизм очага



Азимут, наклон, глубина и размеры разломной плоскости

Моментная магнитуда

Механизм разрыва: сброшенное напряжение, точка начала разрыва, скорость вспарывания, подвижки



Эффекты пути распространения

Геометрическое расхождение, частотно-зависимое неупругое поглощение и рассеяние, увеличение длительности сигналов вследствие эффектов распространения и рассеяния

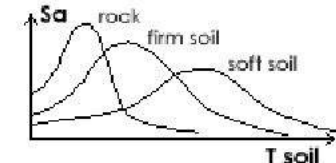
Локальные условия в точке приема



Грунт ведет себя как **динамический осциллятор**, существенно влияющий на колебания построенных на нем зданий

Влияние грунта (усиление, резонансы, нелинейность отклика грунта), эффекты **топографии** поверхности и внутренних границ

Более мягкие, рыхлые и мощные слои грунта дадут больший диапазон преобладающих частот



Характеристики очага и пути распространения имеют региональные особенности

1. В 1960-70-х исследования динамического поведения грунтов стали приоритетным направлением научных исследований в США, где в то время приступили к строительству сети атомных станций



Анкоридж:
27 марта 1964,
M = 9.1

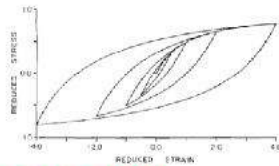


Ниигата:
16 июня 1964,
M = 7.5

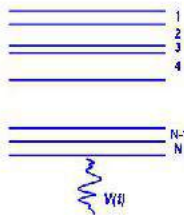
Методы расчета отклика грунта (1970-80-е):

эквивалентный линейный анализ: SHAKE, QUAD-4, FEADAM, LUSH, FLUSH, FDEL,...

нелинейный анализ: DESRA, TARA, CHARSOIL, TESS1, MASH, NONLIZ,...



Hardin, Drnevich, 1972



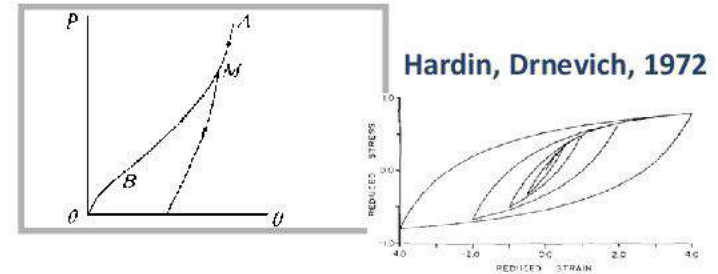
Успехи сейсмологии последних десятилетий нашли отражение в строительных нормах США, Японии, стран Евросоюза

2. После катастрофического землетрясения в Кобе 17 января 1995 в Японии развернуты сети сильных движений **K-NET** – более 1000 наземных акселерометров и **KiK-net** – более 700 вертикальных групп

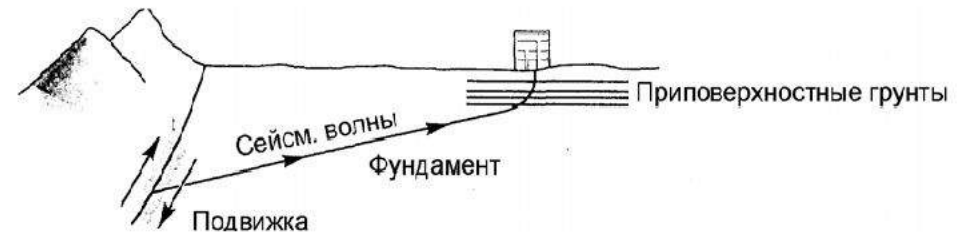


РАСЧЕТ ОТКЛИКА ГРУНТА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

- ❑ Полевые и лабораторные методы дают лишь ограниченную информацию о динамических свойствах грунтов. Наиболее перспективный подход – интерпретация наблюдений поведения грунтов *in situ*
- ❑ Грунты – многофазные среды, но в сейсмологии они рассматриваются как сплошные и описываются диаграммами сжатия и сдвига, учитывающими содержание и свойства их компонентов.
- ❑ **Зависимости напряжение–деформация – это модели поведения грунтов в условиях динамического нагружения**
- ❑ При расчете отклика грунта нужно стараться по возможности наиболее полно учесть все факторы, влияющие на его напряженно–деформированное состояние, применяя теоретические положения и эмпирические соотношения и параметры



Грунтовые слои существенно изменяют как уровень, так и спектральный состав колебаний на поверхности



Механизмы преобразований сейсмических волн в грунтовых слоях:

- ❑ **Переход сейсмических волн в верхние слои** с меньшими значениями V_s и ρ ведет к их усилению, в соответствии с законом сохранения плотности потока сейсмической энергии
- ❑ **Резонансные колебания** в грунтовых слоях также приводят к усилению сейсмических волн
- ❑ **Нелинейность** зависимости напряжение-деформация в грунтах приводит к снижению амплитуд сейсмических колебаний

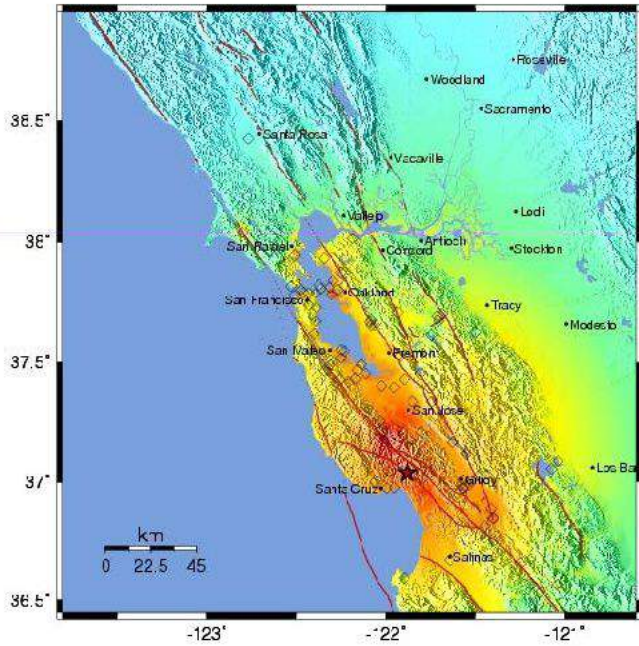
Эквивалентный линейный анализ: **SHAKE, QUAD-4, FEADAM, LUSH, FLUSH, FDEL,...**

Нелинейный анализ: **DESRA, TARA, CHARSOIL, TESS1, MASH, NONLI3,...**

1. Усиление сейсмических волн в грунтовых слоях

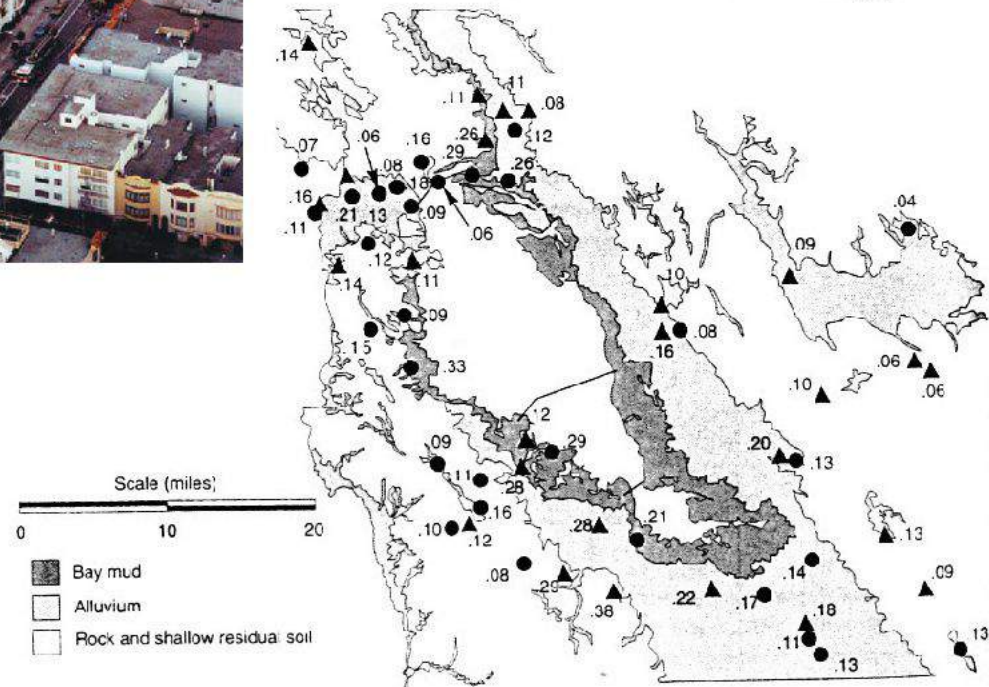
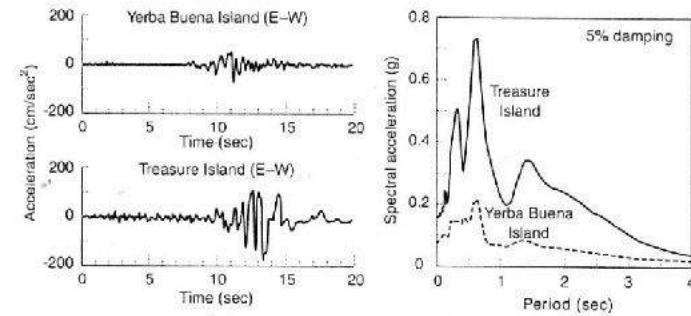
Землетрясение 17 октября 1989 г. в Лома Приета (США) ($M \sim 7.1, r \sim 100$ км)

MMI ShakeMap for the 1989 earthquake determined from seismic recordings



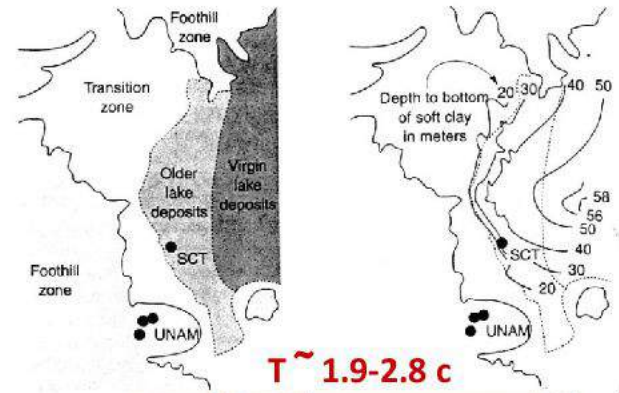
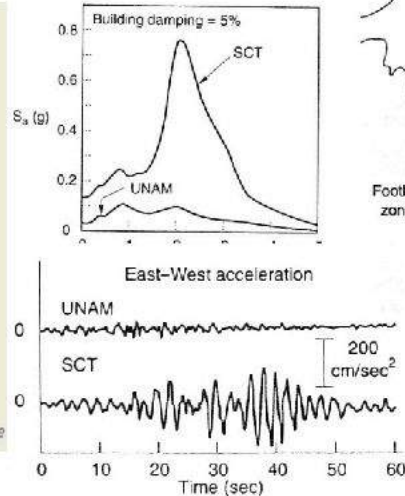
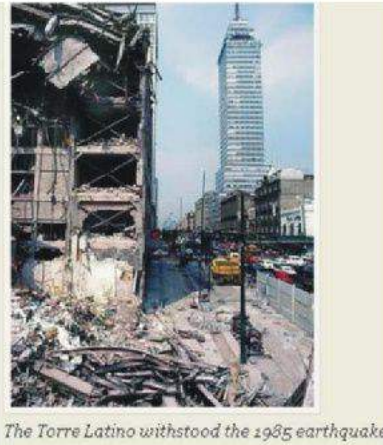
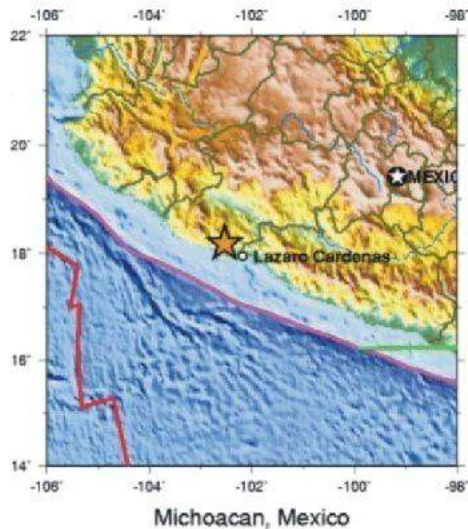
PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC. (%g)	<.17	.17-1.4	1.4-3.6	3.6-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL. (cm/s)	<.01	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-66	66-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Сильные разрушения в одних районах и отсутствие разрушений в других

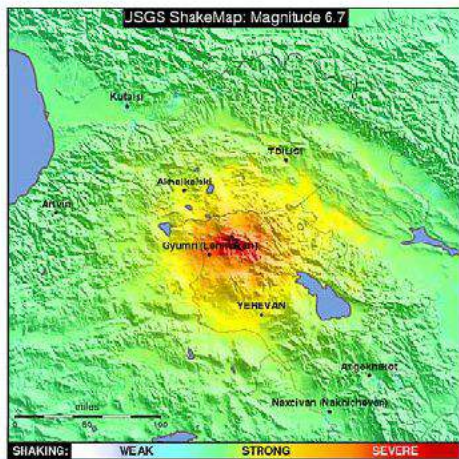


2. Резонансные явления в грунтовых слоях: двойной резонанс, в грунтах и в зданиях

Землетрясение 19.09 1985 г. в Мехико ($M \sim 8.1$, $r \sim 350$ км)



Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. ($M \sim 7.0$)



Разрушены или сильно повреждены здания в 5-20 этажей на озерных отложениях (в центре города) $T \sim N/10$ с

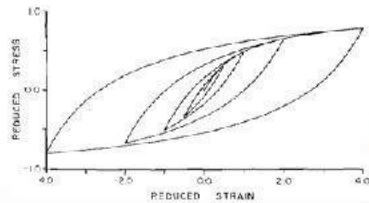
Разрушены более 300 населенных пунктов: Спитак, Ленинанкан, Степанаван, Кировакан и др.;
Погибло более 25 000 человек

В Ленинанкане разрушены здания, периоды собственных колебаний которых $\sim 0,3 - 0,9$ с совпали с периодами собственных колебаний подстилающих грунтов - суглинков с туфами и супесями $h \sim 20-70$ м

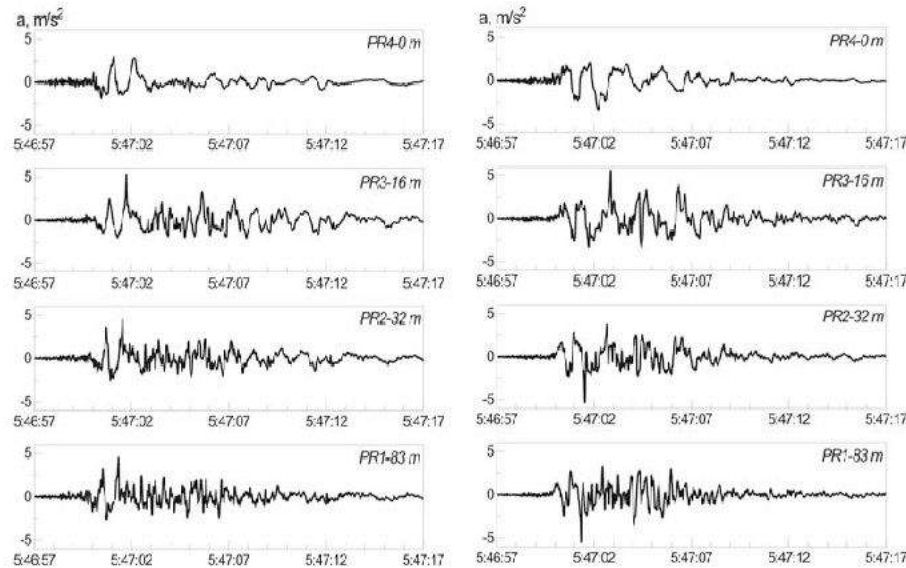


«Тройной эффект» (Б.К. Карапетян, предс. Пробл. совета по сейсмологии и сейсм. строительству АН АрмССР): ослабленный грунт (из-за активного строительства) + резонанс в грунтах и в зданиях + плохое качество строительства

3. Нелинейность поведения грунта, разжижение грунта



Hardin, Drnevich, 1972



Записи вертикальной группы Port Island ($r \sim 2$ км)
землетрясения в Кобе 1995 г. ($M_w \sim 6.8$)

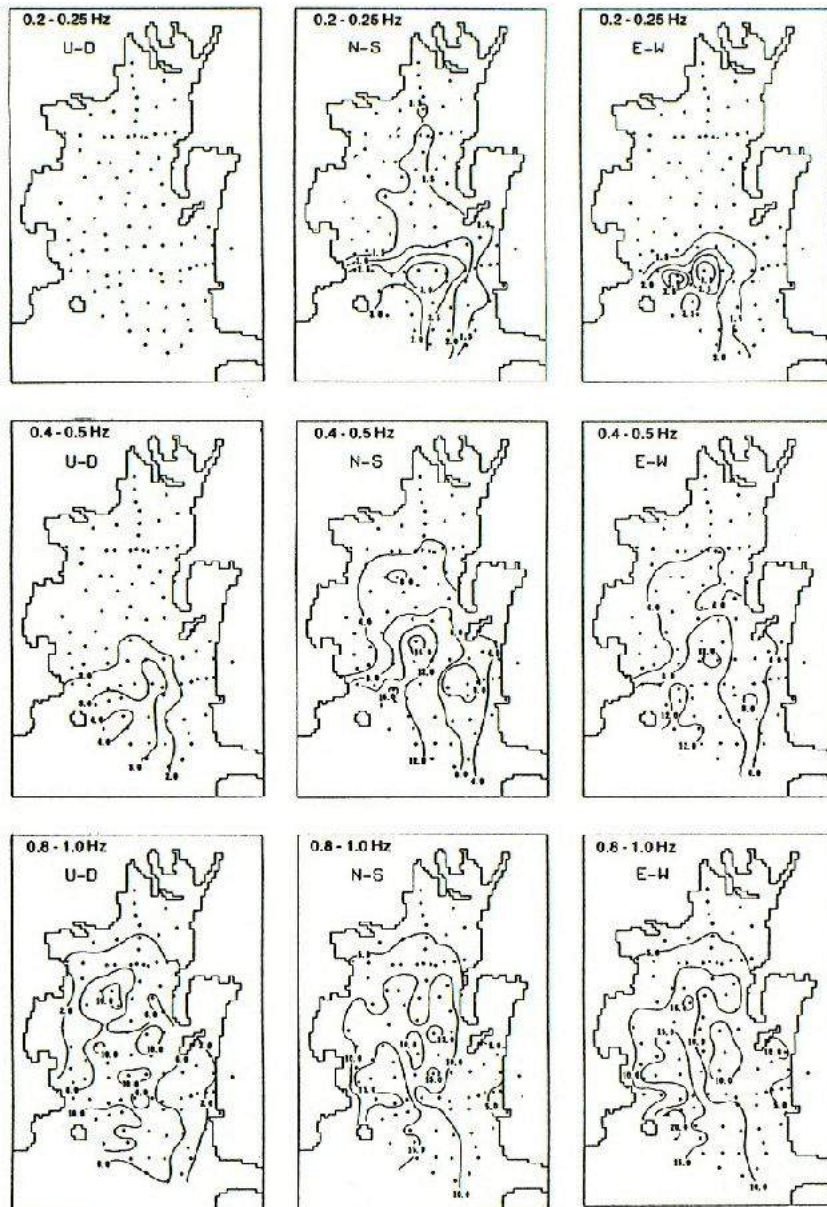


Камчатка: разжижение грунта при Олюторском земл.
21 апр 2006, $M_w \sim 7.8$ (фото Т. Константиновой)

Крайсчерч, Новая Зеландия: разжижение грунта
при земл. Февр 2011, $M_w \sim 6.3$



Изучение параметров грунтовых толщ в осадочных бассейнах

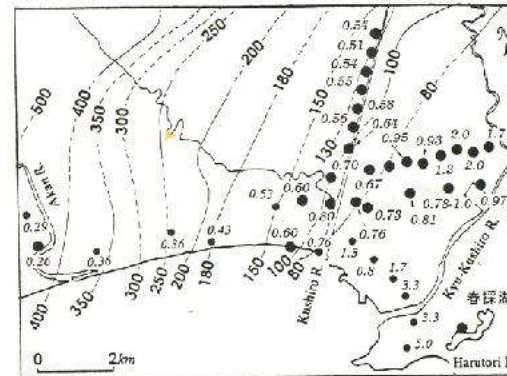
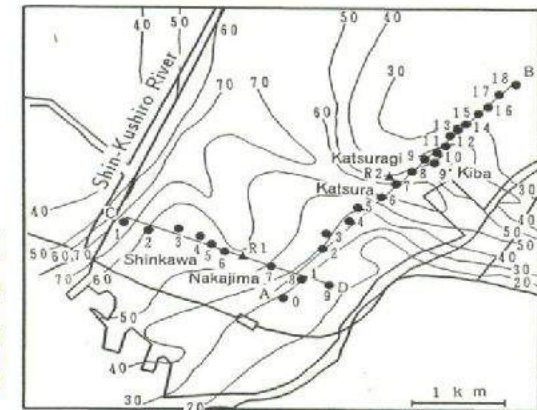


Microzonation of a sedimentary region based on comparative analysis of microseismis and gravity anomaly (J. Akamatsu, K. Nishimura, M. Komazawa), Proc. 5th Int. Conf. Seismic Zonation, Nice, France, 1995

Землетрясение Куширо-оки (Хоккайдо) 14 дек 1993 г. (Mw = 7.6)

Коэффициенты усиления в осадочном бассейне Киото

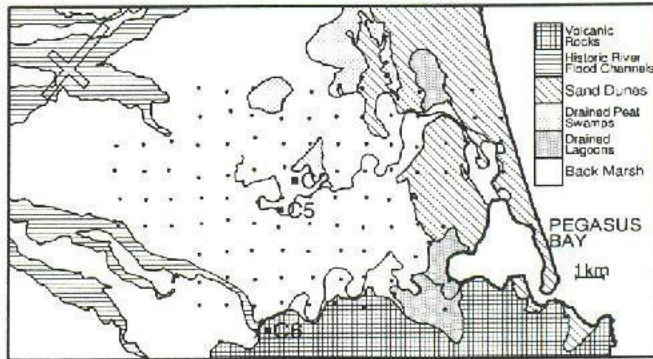
Пункты регистрации сейсмических шумов в Куширо и мощности аллювия (м)



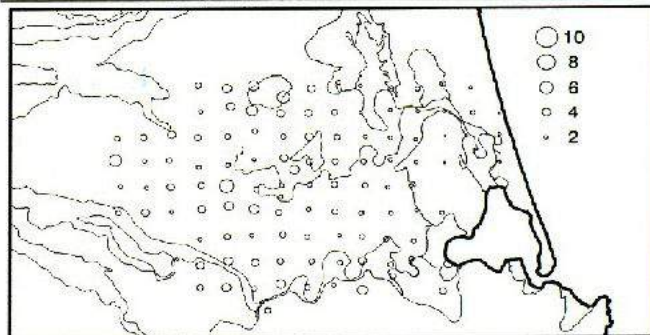
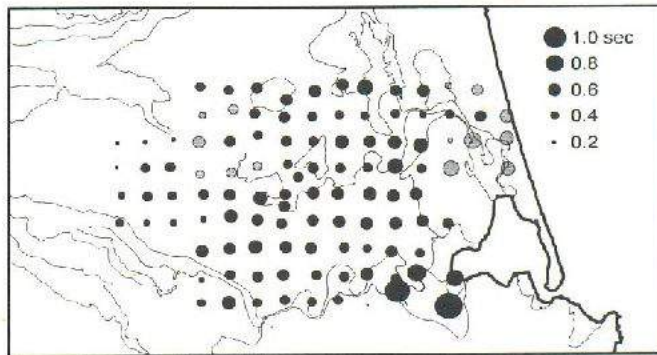
Частоты максимумов N/V и мощности Плейстоценовых толщ (м)

Оценивание мощностей грунтовых толщ и преобладающих частот колебаний по гравитационным аномалиям

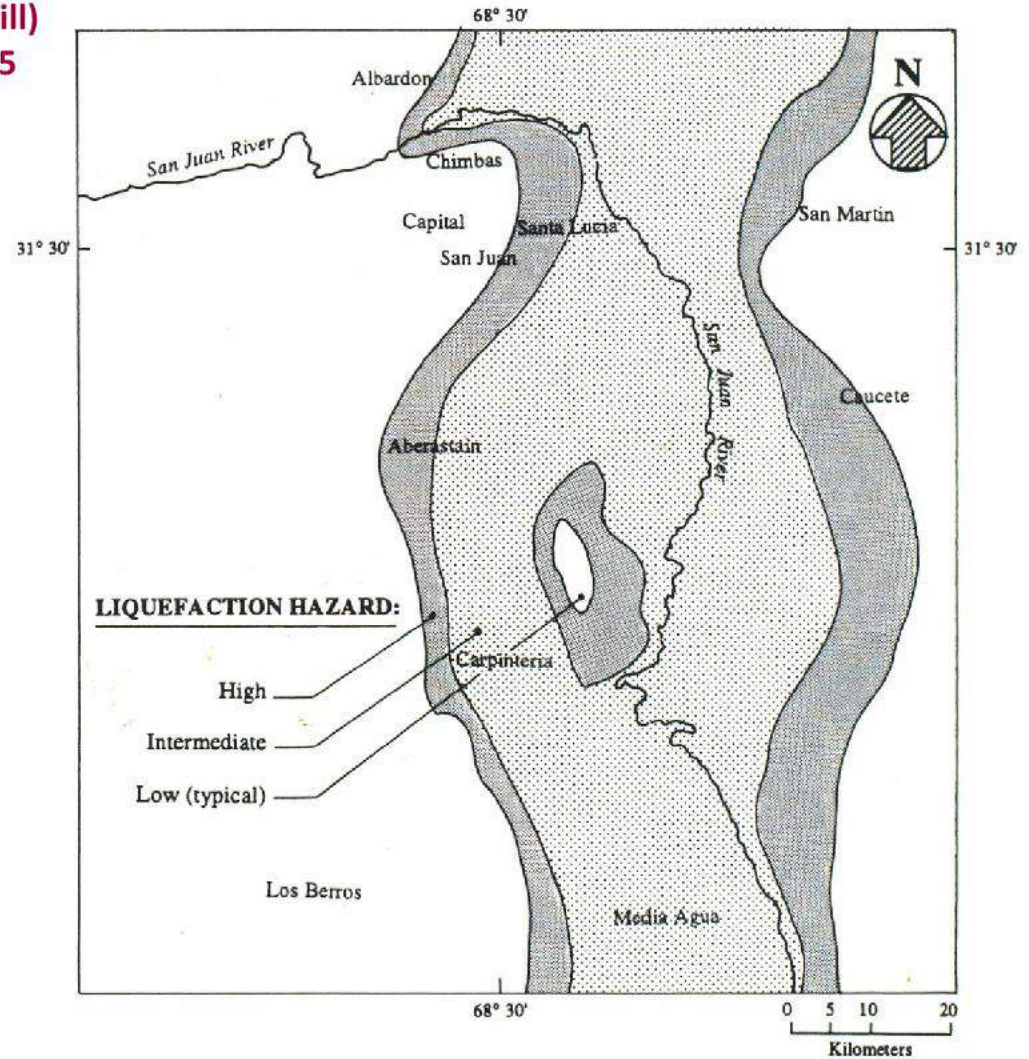
Ground motion characteristics in alluvia obtained by micro-tremor measurements (T. Toshinawa, M.Sugito,J.B.Berrill)
 Proc. 5th Int. Conf. Seismic Zonation, Nice, France, 1995



Пункты регистрации сейсмических шумов в Крайсчерч; изолинии - мощность грунта в м

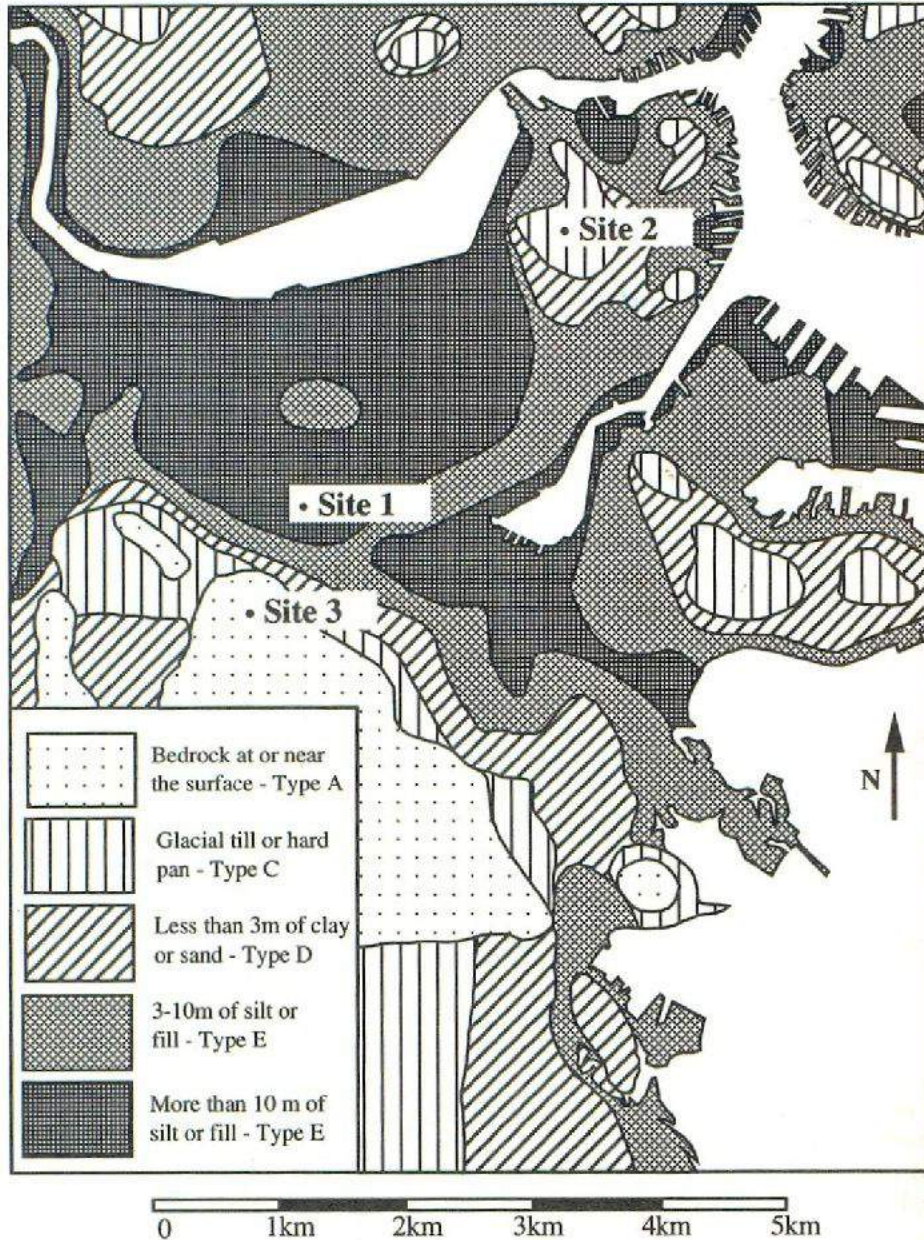


Распределение Тр и Ар в Крайсчерч



Районирование города Сан-Хуан, Аргентина (район АЭС) по опасности разжижения грунтов

Quantification of liquefaction hazard and its application to risk assessment and urban zoning (I. Arango, F. Ostadan) Proc. 5th Int. Conf. Seismic Zonation, Nice, France, 1995



Типы грунта по NEHRP определенные по физическим описаниям грунтовых профилей в Бостоне и окрестностях

De Facto microzonation through the use of soils factors in design triggers (D. Todd, J.R. Harris), Proc. 5th Int. Conf. Seismic Zonation, Nice, France, 1995

Землетрясения 1985 г. в Мехико и 1989 г. в Лома Приета ярко продемонстрировали что грунтовые слои существенно влияют на колебания зданий на поверхности Земли.

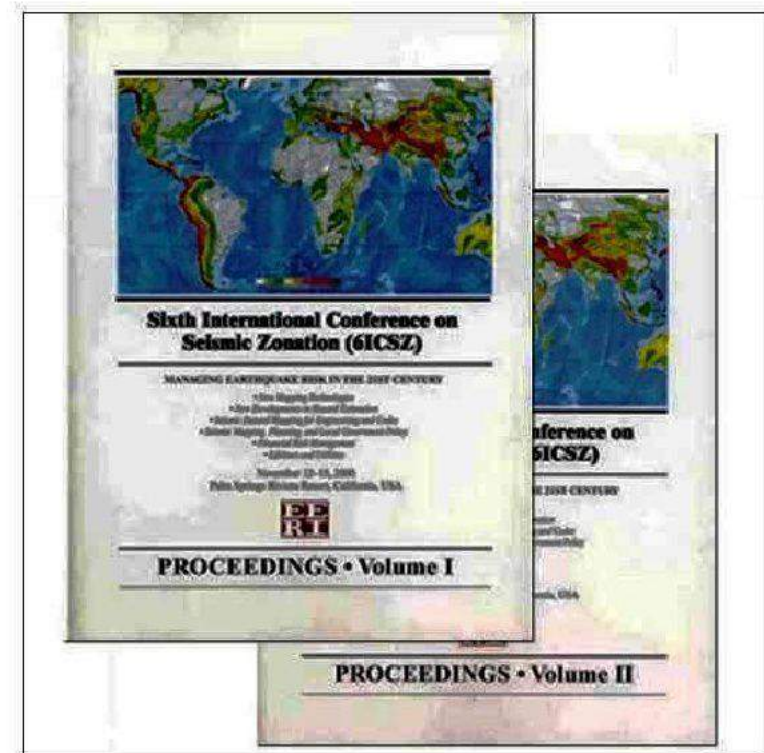
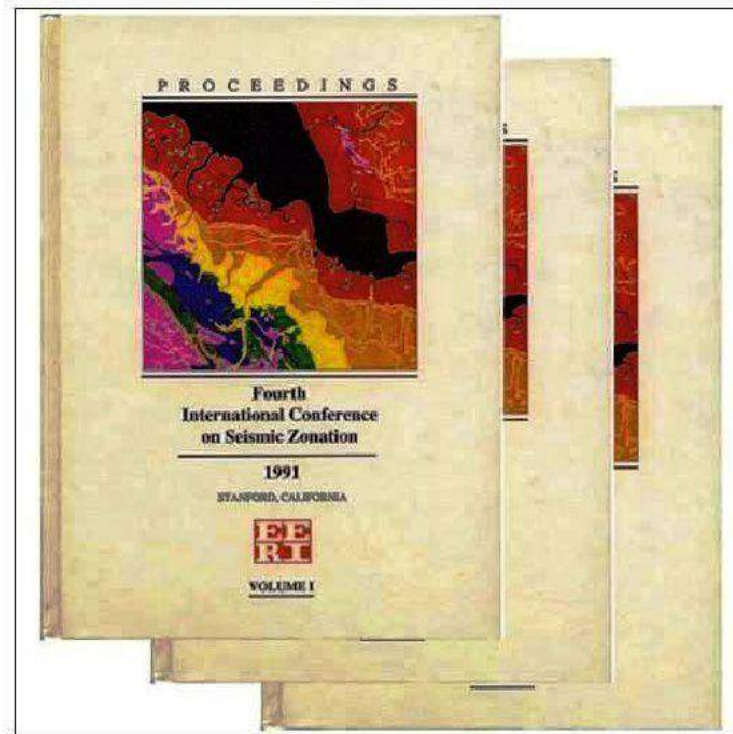
В прошлых редакциях строительных норм США NEHRP эффект грунта учитывался через увеличение горизонтальной нагрузки в длиннопериодной области на слабых грунтах.

В редакции NEHRP 1994 г. проектные нагрузки возрастают на слабых грунтах также и в короткопериодной области.

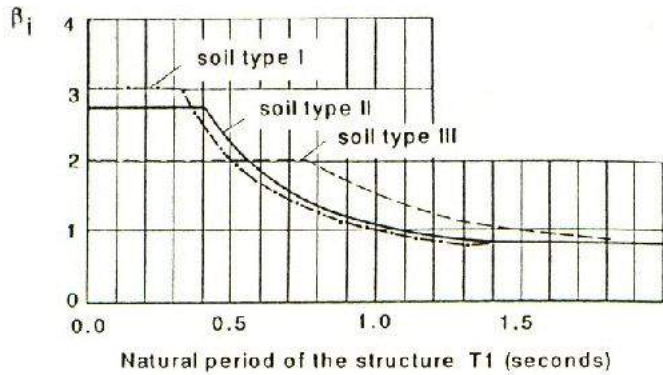
4-th International Conference on Seismic Zonation, Stanford, California, USA, 1991

5-th International Conference on Seismic Zonation, Nice, France, 1995

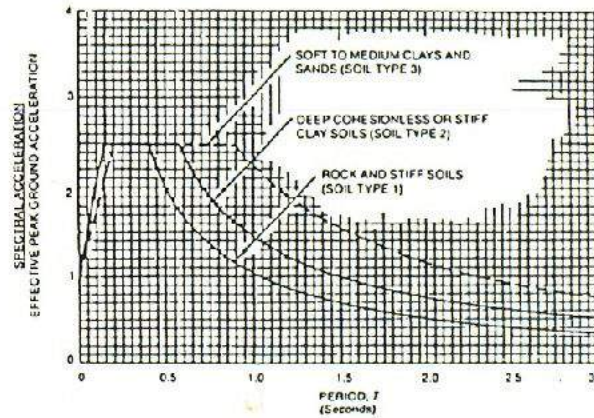
6-th International Conference on Seismic Zonation, Palm Springs, California, USA, 2000



Earthquake Disaster Reduction Handbook
 International Symposium on Earthquake Disaster Reduction Technology,
 Tsukuba, Japan, **1992**

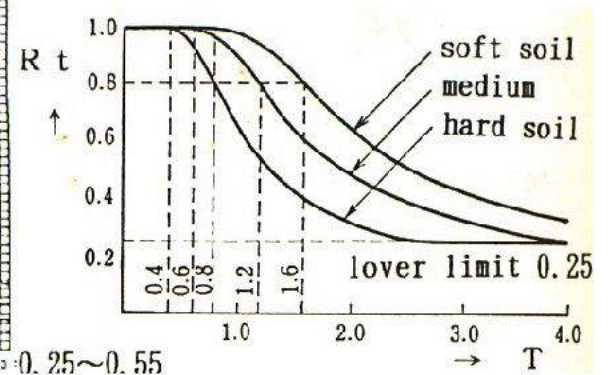


СССР

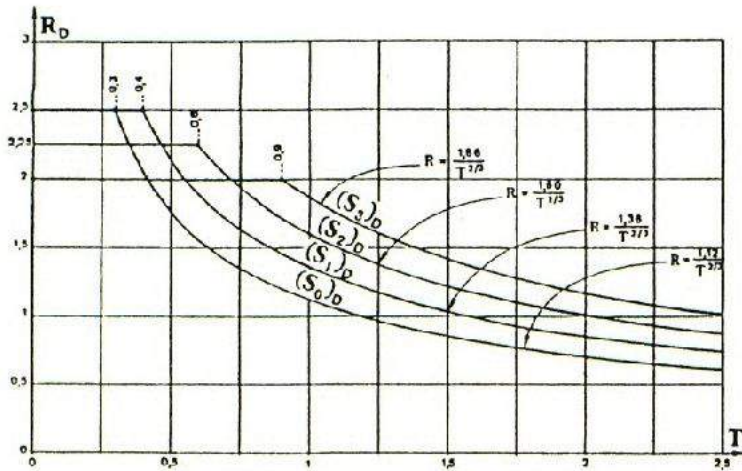


Normalized Response Spectra Shapes*

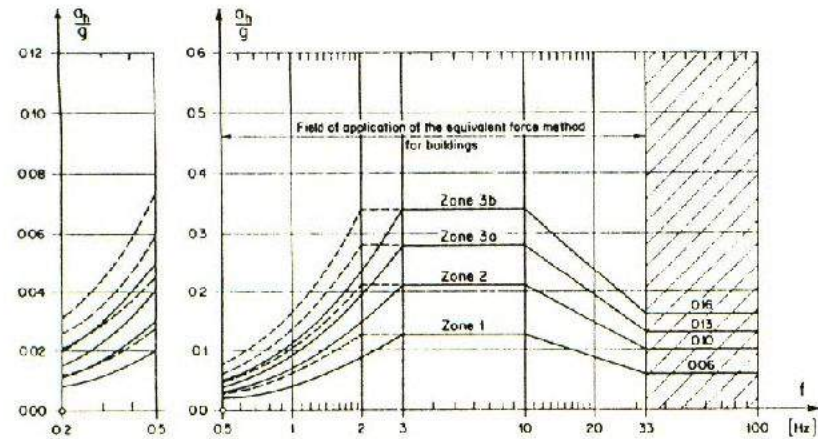
США



Япония



Франция



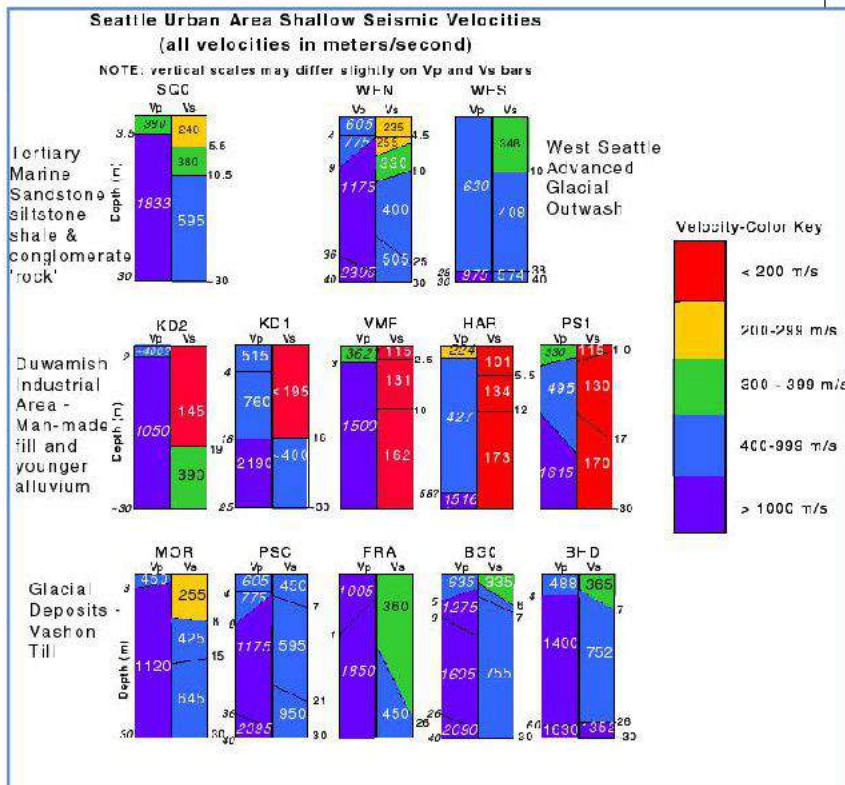
Швейцария

Классификация грунтов в нормах IBS-2006 США

учитывает специфику грунтов на
территории США

Составлены на основе полевых
измерений сейсмического шума,
слабых и сильных землетрясений и
численного моделирования

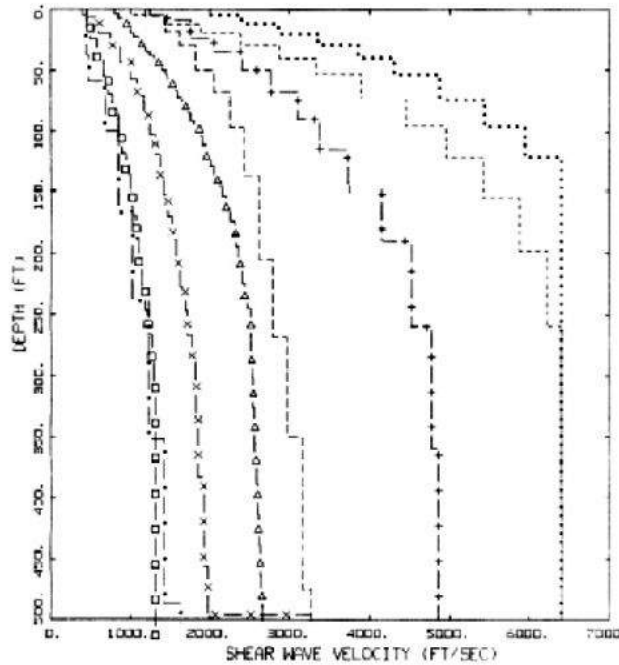
Класс грунта	Название грунтового профиля	Скорость поперечных волн V_s , м/с	Сопротивление стандартной пенетрации, N	Прочность недренир. грунта на сдвиг s_u , кПа
A	Твердая скала	$V_s > 1524$	N/A	N/A
B	Скала	$762 < V_s \leq 1524$	N/A	N/A
C	Очень плотный грунт, мягкая скала	$366 < V_s \leq 762$	$N > 50$	$s_u \geq 95.6$
D	Плотный грунт	$183 \leq V_s \leq 366$	$15 \leq N \leq 50$	$47.8 \leq s_u \leq 95.6$
E	Мягкий грунт	$V_s < 183$	$N < 15$	$s_u < 47.8$
E	-	Любой грунтовой профиль с более чем 3 м грунта со следующими характеристиками: 1. Индекс пластичности $PI > 20$, 2. Содержание воды $> 40\%$ 3. Прочность недренир. грунта на сдвиг $s_u < 23.9$ кПа		
F	-	Любой грунтовой профиль содержащий грунт с одной или несколькими следующими характеристиками: 1. Грунт подверженный потенциальному разрушению или коллапсу при сейсмической нагрузке: разжижаемый грунт, слабосвязные глины, разрушаемый слабосцементированный грунт. 2. Грунт содержащий торф или органические глины в слое мощностью > 3 м 3. Высокопластичные глины (мощн. $> 7,6$ м, $PI > 75$) 4. Очень мощный слой мягких-до-средних плотных глин (более 36 м)		



Карты OCP описывают нагрузки в виде уровней спектра
реакции на периодах - 1 с ($S_1 = RA(1)$) и ≈ 0.2 с ($S_5 = RA(0.2)$)
на грунте класса B

Локальные коэффициенты усиления в нормах

IBS-2006 США



LEGEND

- NEHRP CATEGORY B, $V_s(30) = 1143$ ft/sec
- NEHRP CATEGORY B, $V_s(30) = 900$ ft/sec
- + — NEHRP CATEGORY BC, $V_s(30) = 750$ ft/sec
- NEHRP CATEGORY C, $V_s(30) = 564$ ft/sec
- Δ — NEHRP CATEGORY C, $V_s(30) = 400$ ft/sec
- X — NEHRP CATEGORY D, $V_s(30) = 270$ ft/sec
- □ — NEHRP CATEGORY D, $V_s(30) = 190$ ft/sec
- • — NEHRP CATEGORY E, $V_s(30) = 165$ ft/sec

«generic rock site» и «generic soil site» - в США грунты сходны по своим свойствам на большой территории - трещиноватые выветрелые породы без выраженных резонансных свойств

Класс грунта США и др.	Спектр реакции на периодах 0.2 с на грунте класса B, по карте CP				
	$S_{SB} = 0.25$ g	$S_{SB} = 0.50$ g	$S_{SB} = 0.75$ g	$S_{SB} = 1.00$ g	$S_{SB} = 1.25$ g
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

Класс грунта США и др.	Спектр реакции на периодах 1.0 с на грунте класса B, по карте CP				
	$S_1 < 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 > 0.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

При малых S , на $T \sim 0.2$ с C/B ($\Delta K=0.5$) ~ 1.6 (1.2), D/B ($\Delta K=1$) ~ 2.1 (1.6)

на $T \sim 1.0$ с C/B ($\Delta K=0.5$) ~ 2.0 (1.7), D/B ($\Delta K=1$) ~ 2.6 (2.4)

При больших S , на $T \sim 0.2$ с C/B ($\Delta K=0.5$) ~ 1.3 (1.0), D/B ($\Delta K=1$) ~ 1.4 (1.0)

на $T \sim 1.0$ с C/B ($\Delta K=0.5$) ~ 1.6 (1.3), D/B ($\Delta K=1$) ~ 1.8 (1.5)

(Borcherdt 2002)

Япония: $T \sim 0.2$ с ($\Delta K \sim 1$) ~ 2.6 (1.0-1.6)

$T \sim 1.0$ с ($\Delta K \sim 1$) ~ 3.6 (1.5-2.4)

(Kanno et al 2006)

Таблица 3.1: Типы грунта

Тип грунта	Описание стратиграфического профиля	Параметры		
		$v_{s,30}$ (м/с)	N_{SPT} (удары/30 см)	c_u (кПа)
A	Скальная или другая скалоподобная геологическая формация, содержащая не более 5 м более слабого материала у поверхности.	> 800	–	–
B	Отложения очень плотного песка, гравия либо очень твердой глины, мощностью не менее нескольких десятков метров, характеризующиеся постепенным увеличением механических свойств по глубине.	360 – 800	> 50	> 250
C	Глубокие отложения плотного или среднетяжелого песка, гравия либо твердой глины, мощностью от нескольких десятков до многих сотен метров.	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Отложения грунта от несвязного до среднесвязного (с некоторыми мягкими связными слоями или без них) либо преимущественно связного грунта от мягкого до твердого.	< 180	< 15	< 70
E	Профиль грунта, состоящий из поверхностного аллювиального слоя со значениями v_s типа C или D и мощностью от около 5 м до 20 м, под которым залегает более жесткий материал с $v_s > 800$ м/с.			
S_1	Отложения, состоящие или содержащие слой мощностью не менее 10 м либо мягкие глины/илы с высоким показателем пластичности ($PI > 40$) и высоким содержанием воды	< 100 (ориентировочно)	–	10 – 20
S_2	Отложения разжижаемых грунтов, слабых глин либо любые другие профили грунта, не относящиеся к типам A – E или S_1			

Eurocode-8

N_{SPT} - СП 11-105-97 (СВОД ПРАВИЛ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА») и ГОСТ 19912-2001 (ГРУНТЫ Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием).

N_{SPT} (данные динамического зондирования) оценивается по углу внутреннего трения и модулю деформации грунта.

Сопротивление грунта срезу C_u (кПа) соответствует удельному сцеплению.

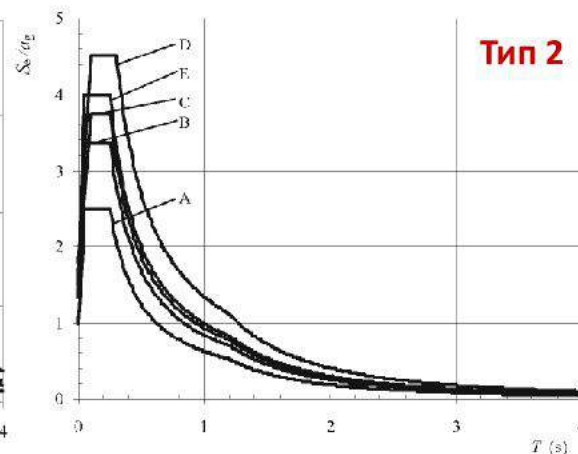
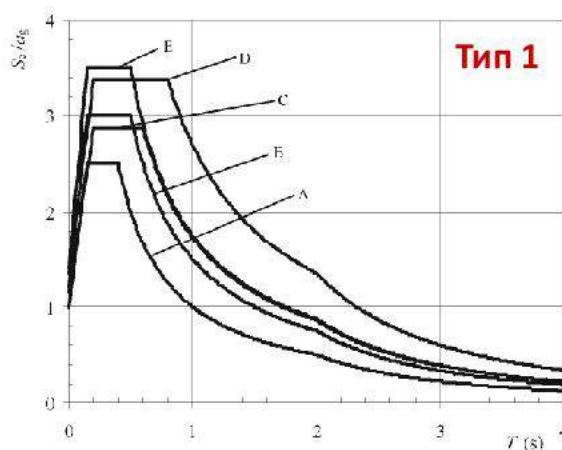
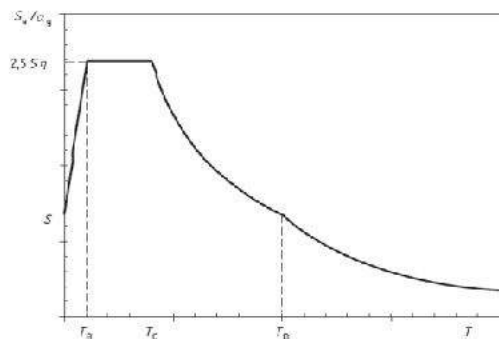
- (4) Для площадок с грунтовыми условиями, совпадающими с типами грунта S_1 или S_2 , требуются специальные изыскания для определения интенсивности сейсмического воздействия и учета возможности разрушения.

ПРИМЕЧАНИЕ – Грунты типа S_1 обычно имеют низкие значения v_s , низкое внутреннее демпфирование и широкий диапазон линейного поведения и поэтому могут вызывать аномальные эффекты сейсмического усиления площадки и взаимодействие "грунт-сооружение". Следует провести специальные изыскания по определению интенсивности сейсмического воздействия, установить зависимость спектра реакции от толщины слоя и значения v_s и от разницы в жесткостях между этим слоем и подстилающим.

Eurocode-8

Карты сейсмического районирования: пиковые ускорения на скальном грунте

Форма спектра реакции (T_B , T_C и T_D и S) зависит от типа грунта. Если не учитывать глубинное строение среды, рекомендуются 2 типа спектра



Если наиболее значимое для данного места землетрясение имеет магнитуду $M_S > 5.5$, рекомендуется Тип 1; если магнитуда $M_S < 5.5$, рекомендуется Тип 2

Тип 1

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Тип 2

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

Рекомендуемые значения параметров, описывающих вертикальные упругие спектры реакции

Спектр	a_{vg}/a_g	T_B (с)	T_C (с)	T_D (с)
Тип 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Тип 2	0,45	0,05	0,15	1,0

Крупнейшие и наиболее разрушительные землетрясения 2000-2014 гг.

Год	Дата	Магнитуда	Число жертв	Регион
2000	4 июня	7.9	103	Суматра, Индонезия
2000	16 ноября	8.0	2	Папуа, Новая Гвинея
2001	26 января	7.7	20 023	Индия
2001	23 июня	8.4	138	Побережье Перу
2002	25 марта	6.1	1 000	Гиндукуш, Афганистан
2002	3 ноября	7.9	0	Центральная Аляска
2003	25 сентября	8.3	0	Хоккайдо, Япония
2003	26 декабря	6.6	31 000	Иран
2004	26 декабря	9.1	227 898	Суматра, Индонезия
2005	28 марта	8.6	1 313	Суматра, Индонезия
2005	8 октября	7.6	80 361	Пакистан
2006	26 мая	6.3	5 749	Ява, Индонезия
2006	15 ноября	8.3	0	Курильские острова
2007	15 августа	8.0	514	Побережье Перу
2007	12 сентября	8.5	25	Суматра, Индонезия
2008	12 мая	7.9	87 587	Сычуань, Китай
2009	29 сентября	8.1	192	Самоа, Полинезия
2010	1 января	7.0	316 000	Гаити
2010	27 февраля	8.8	507	Чили
2011	22 февраля	6.3	75	Новая Зеландия
2011	11 марта	9.0	20 896	Япония
2012	6 февраля	6.7	113	Филиппины
2012	11 апреля	8.6	0	Побережье Суматры
2013	24 мая	8.3	0	Охотское море
2013	24 сентября	7.7	825	Пакистан
2014	1 апреля	8.2	6	Чили
2014	3 августа	6.2	729	Венпинг, Китай
2015	25 апреля	7.8	9 018	Непал

Таблица 1 – Расчетная сейсмичность площадки строительства

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Описание грунта	Характеристика сейсмических свойств грунтов		Расчетная сейсмичность площадки при сейсмичности района, баллы			
		Сейсмическая жесткость $\rho \cdot V_s$, г/см ³ ·м/с	Скорость поперечных волн V_s , м/с Отношение скоростей продольных и поперечных волн V_p/V_s	6	7	8	9
I	Скальные грунты (в том числе вечномерзлые и вечномерзлые оттаявшие) неветрелые и слабоветрелые; крупнообломочные грунты плотные, маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя; ветрелые и сильноветрелые скальные и дисперсные твердомерзлые (многолетнемерзлые) грунты при температуре минус 2 °С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии)	>1500	>700 1,7–2,2	–	6	7	8
II	Скальные грунты ветрелые и сильноветрелые, в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к категории I; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к категории I; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ для глин и суглинков и $e < 0,7$ – для супесей; вечномерзлые нескальные грунты пластичномерзлые или сыпучемерзлые, а также твердо-мерзлые при температуре выше минус 2 °С при строительстве и эксплуатации по принципу I	350–1500	250–700 1,7–2,2 (не водонасыщенные) 2,2–3,5 (водонасыщенные)	–	7	8	9
III	Пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L > 0,5$; глинистые грунты с показателем консистенции с $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ для глин и суглинков и $e \geq 0,7$ – для супесей; вечномерзлые дисперсные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания)	200–350	150–250 3,5–7	7	8	9	>9
IV	Наиболее динамически неустойчивые разновидности песчано-глинистых грунтов, указанные в категории III, склонные к разжижению при сейсмических воздействиях	<200	60–150 7–15	7*	8*	9*	>9*

Окончание таблицы 1

* Грунты с большей вероятностью склонны к разжижению и потере несущей способности при землетрясениях интенсивностью более 6 баллов.

Примечания

1 Скорости V_p и V_s , а также значение сейсмической жесткости грунта являются средневзвешенными значениями для **30-метровой толщи**, считая от планировочной отметки.

2 В случае многослойного строения грунтовой толщи, грунтовые условия участка относят к более неблагоприятной категории, если в пределах верхней 30-метровой толщи (считая от планировочной отметки) слои, относящиеся к этой категории, имеют суммарную мощность более 10 м.

3 При отсутствии данных о консистенции, влажности, сейсмической жесткости, скоростях V_p и V_s глинистые и песчаные грунты при положении уровня грунтовых вод выше 5 м относятся к категории III или IV по сейсмическим свойствам.

4 При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов (в том числе просадочных) категорию грунтов следует определять в зависимости от свойств грунта в замоченном состоянии.

5 При строительстве на вечномёрзлых грунтах по принципу II грунты основания следует рассматривать по их фактическому состоянию после оттаивания.

6 При определении сейсмичности площадок строительства транспортных и гидротехнических сооружений следует учитывать дополнительные требования, изложенные в разделах 7 и 8.

5.6 Значения коэффициента динамичности β_i в зависимости от расчетного периода собственных колебаний T_i здания или сооружения по i -й форме при определении сейсмических нагрузок следует принимать по формулам (3) и (4) или согласно рисунку.



Для грунтов категорий I и II при:

$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с } \beta_i &= 1+15 T_i; \\ 0,1 \text{ с } < T_i < 0,4 \text{ с } \beta_i &= 2,5; \\ T_i \geq 0,4 \text{ с } \beta_i &= 2,5(0,4 / T_i)^{0,5}; \end{aligned} \quad (3)$$

Для грунтов категории III при:

$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с } \beta_i &= 1+15 T_i; \\ 0,1 \text{ с } < T_i < 0,8 \text{ с } \beta_i &= 2,5; \\ T_i \geq 0,8 \text{ с } \beta_i &= 2,5(0,8 / T_i)^{0,5}. \end{aligned} \quad (4)$$

Во всех случаях значения β_i должны приниматься не менее 0,8.

Пространственное распределение грунтовых толщ на территории России

Инженерная геология России т. 1 Грунты России. ред. В.Т. Трофимов, Е.А. Вознесенский, В.А. Королев. М., 2011

Скальные грунты занимают огромные пространства Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока. В европейской части имеют ограниченное распространение на Большом Кавказе, в осевой части Урала, на востоке Кольского полуострова

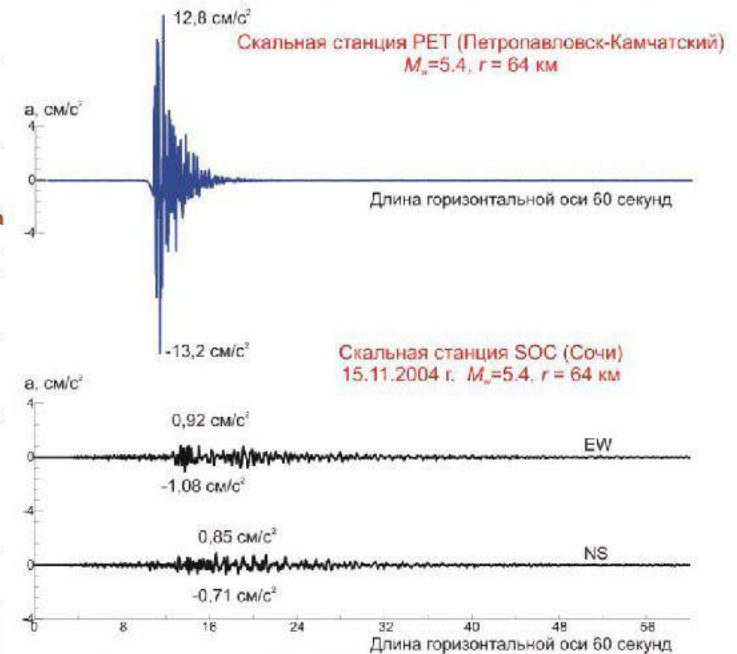
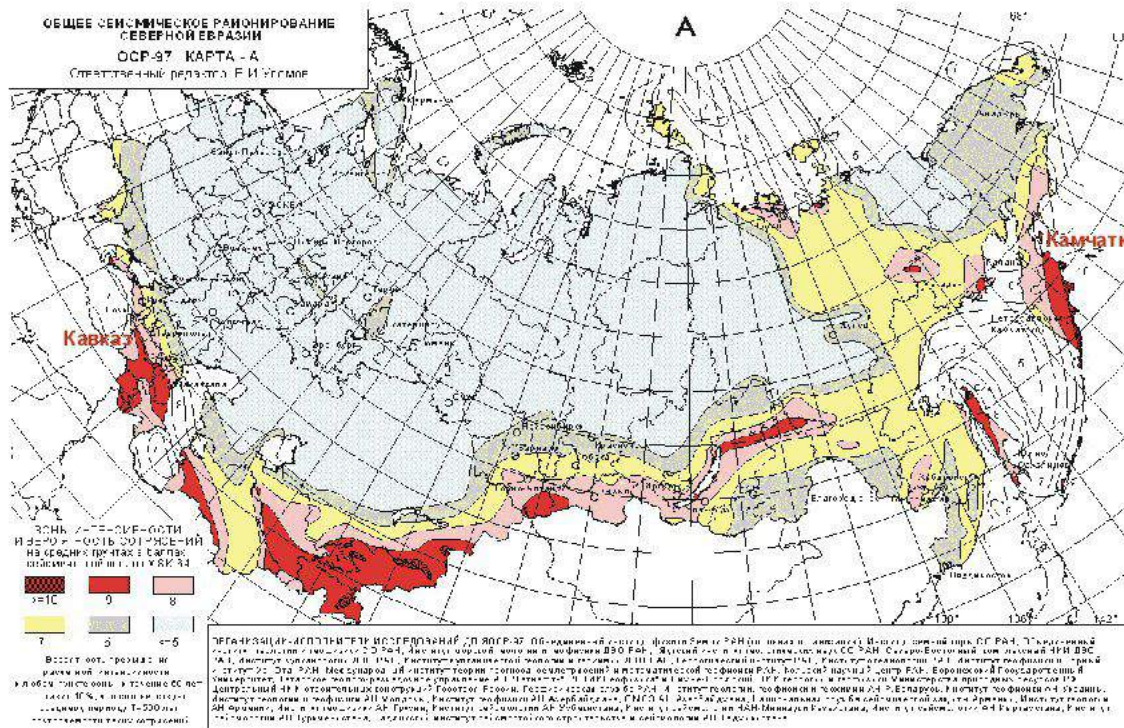


11 типов наиболее представительных по площади развития грунтов:

1 – преим. скальные, 2 – глинистые, 3 – лессовые, 4 – песчаные, 5 – глинистые с обломочным материалом, 6 – глинистые с лессовым слоем в ВЧР, 7 – песчано-глинистые с преобладанием глинистых в ВЧР, 8 – песчано-глинистые с преобладанием песчаных в ВЧР, 9 – торфяные подстилаемые грунтами разного состава, 10 – глинистые подстилаемые скальными, 11 – песчаные, подстилаемые скальными

I – слабоувлажненные, II - увлажненные, III - сильноувлажненные, IV – льдистые, V – сильнольдистые, VI – льдистые и увлажненные, VII – сильноувлажненные, льдистые и сильнольдистые, VIII, IX, X – границы распространения

Различия региональных характеристик излучения и распространения сейсмических волн на территории России: нет единой формулы связи балла с пиковым ускорением



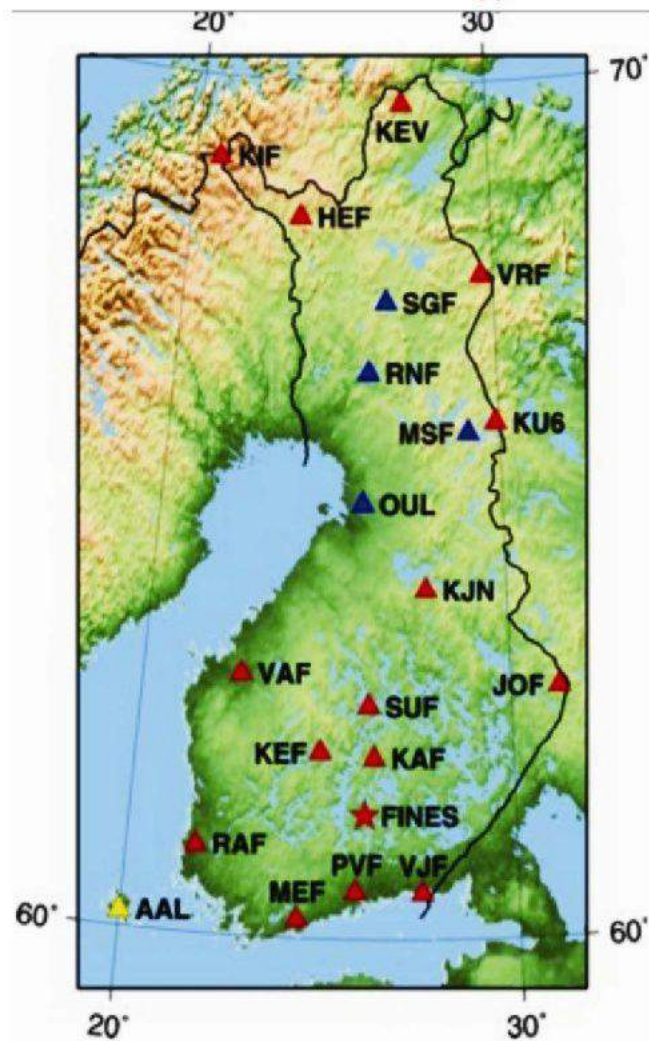
Доклады АН, 2011, 438, 5, 687-693

Пиковые ускорения (PGA) при фиксированных магнитуде и расстоянии M и R сильно различаются от региона к региону (субдукционные и коровые землетрясения):

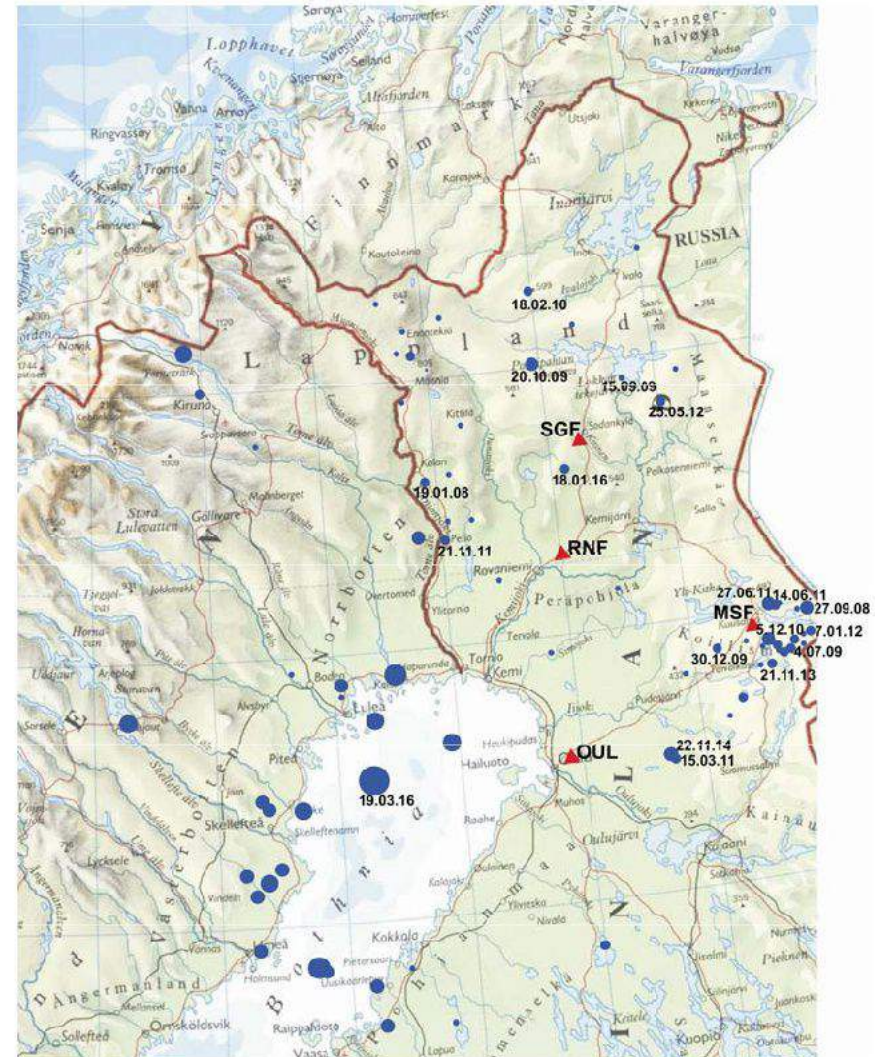
Камчатка – Кавказ – в 10-15 раз

Характеристики излучения и распространения сейсмических волн оцениваются по записям местных землетрясений

Сейсмическая сеть Финляндии



С 2007 г. станциями Северной Финляндии зарегистрировано ~80 землетрясений с $M_w \sim 1.5 - 4.1$ и с глубинами очагов $h \sim 0-25$ км)



МОДЕЛИ ОЧАГА:

детерминистские

стохастические

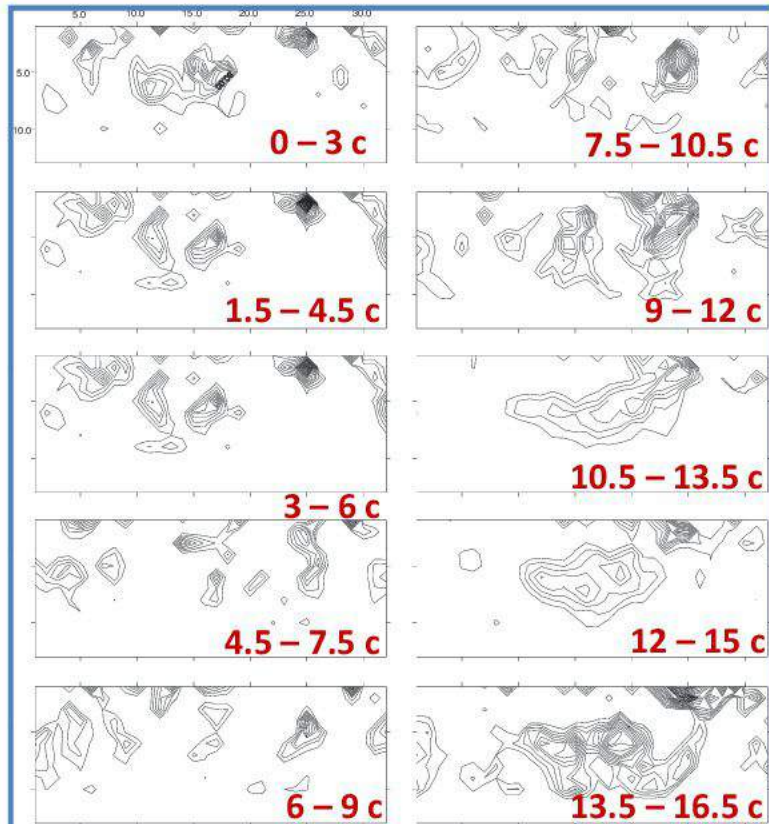
Колебания поверхности при землетрясении - результат пространственно-временной конволюции функции подвижки в очаге с функцией Грина, представляющей отклик земной среды (Аки, Ричардс, 1980)

Колебания поверхности при землетрясении - случайный шум, ограниченный по частоте в полосе от корнер-частоты f_0 до верхней частоты f_{max} ; форма спектра определяется по **закону масштабирования** (Brune, 1970,1971) сейсмическим моментом M_0 и параметром напряжения $\Delta\sigma$

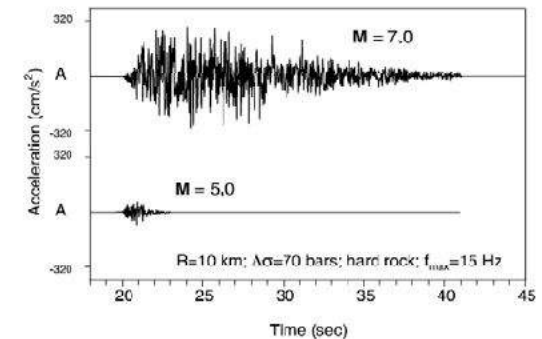
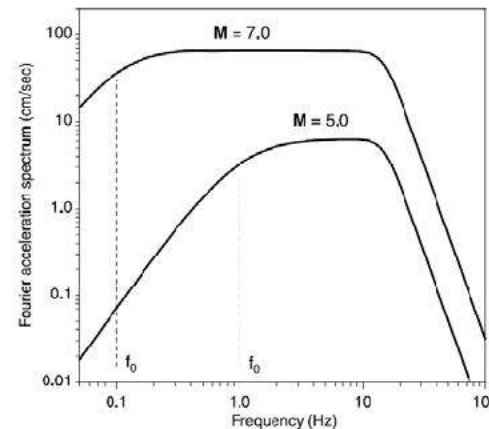
Обратная задача: (Kikuchi, Kanamori, 1982; Ruff, Kanamori, 1983; Archuleta, 1984; Hartzell, Heaton, 1985, 1986; etc.)

$$f_0 = 4.9 \cdot 10^6 V_s (\Delta\sigma / M_0)^{1/3}$$

V_s – в км/с, $\Delta\sigma$ – в барах, M_0 – в дин см



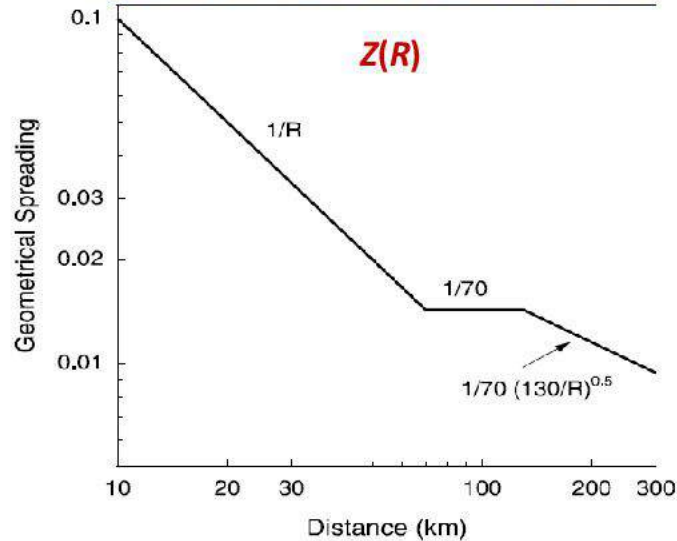
Землетрясение в Чи-Чи (Тайвань) 1999



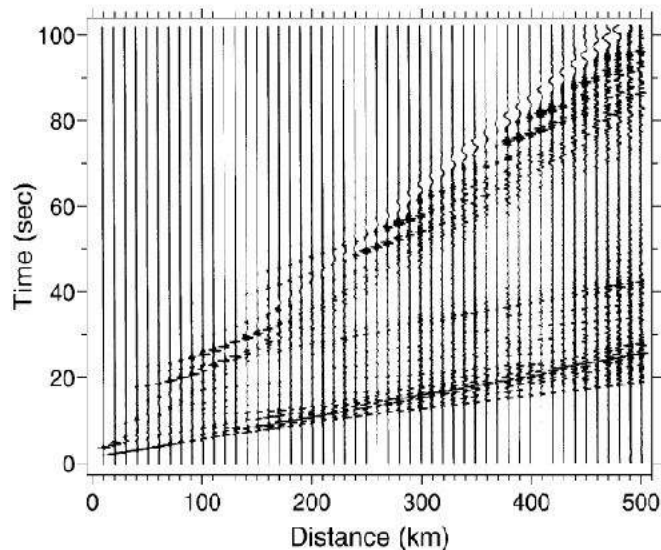
$\Delta\sigma$ зависит от региона, M , типа подвижки, глубины очага,..

Модель ω^2 (Аки, 1967; Hanks, McGuire, 1981) широко используется как основа для предсказания амплитудных спектров и пиковых скоростей сильных движений в инженерных приложениях

Геометрическое расхождение



Зависимости $Z(R)$, использованные Atkinson, Boore, 1995 для сев-вост США; R – ближайшее расстояние до разломной плоскости



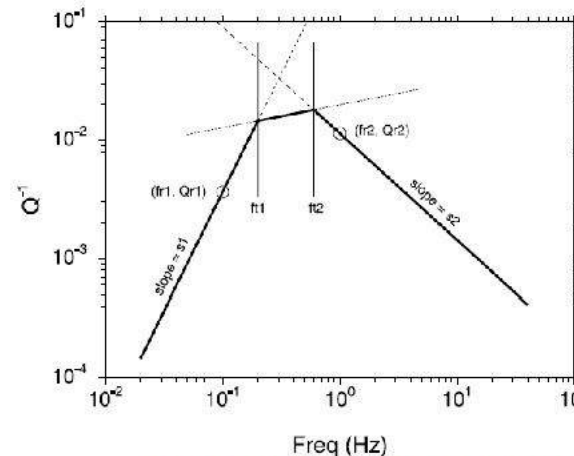
ЭФФЕКТЫ ПУТИ $P(R, f)$

Могут быть описаны простыми функциями для учета:

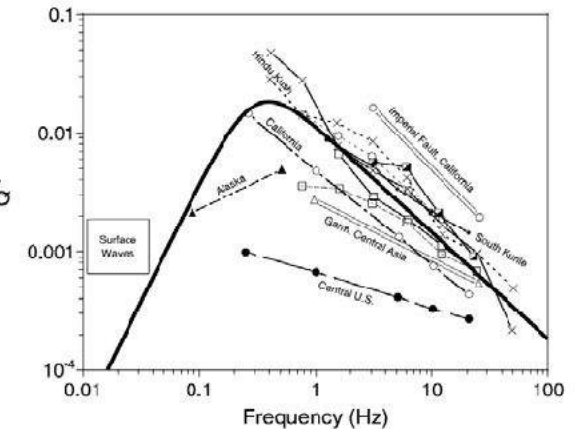
- геометрического расхождения волн,
- затухания (неупругого поглощения и рассеяния)
- увеличения длительности сигнала с расстоянием из-за эффектов распространения и рассеяния

$$P(R, f) = Z(R) \exp\{-\pi f R / Q(f) \beta\}$$

Неупругое поглощение и рассеяние $Q(f)$ может быть оценено по записям слабых землетрясений



аппроксимация простыми функциями



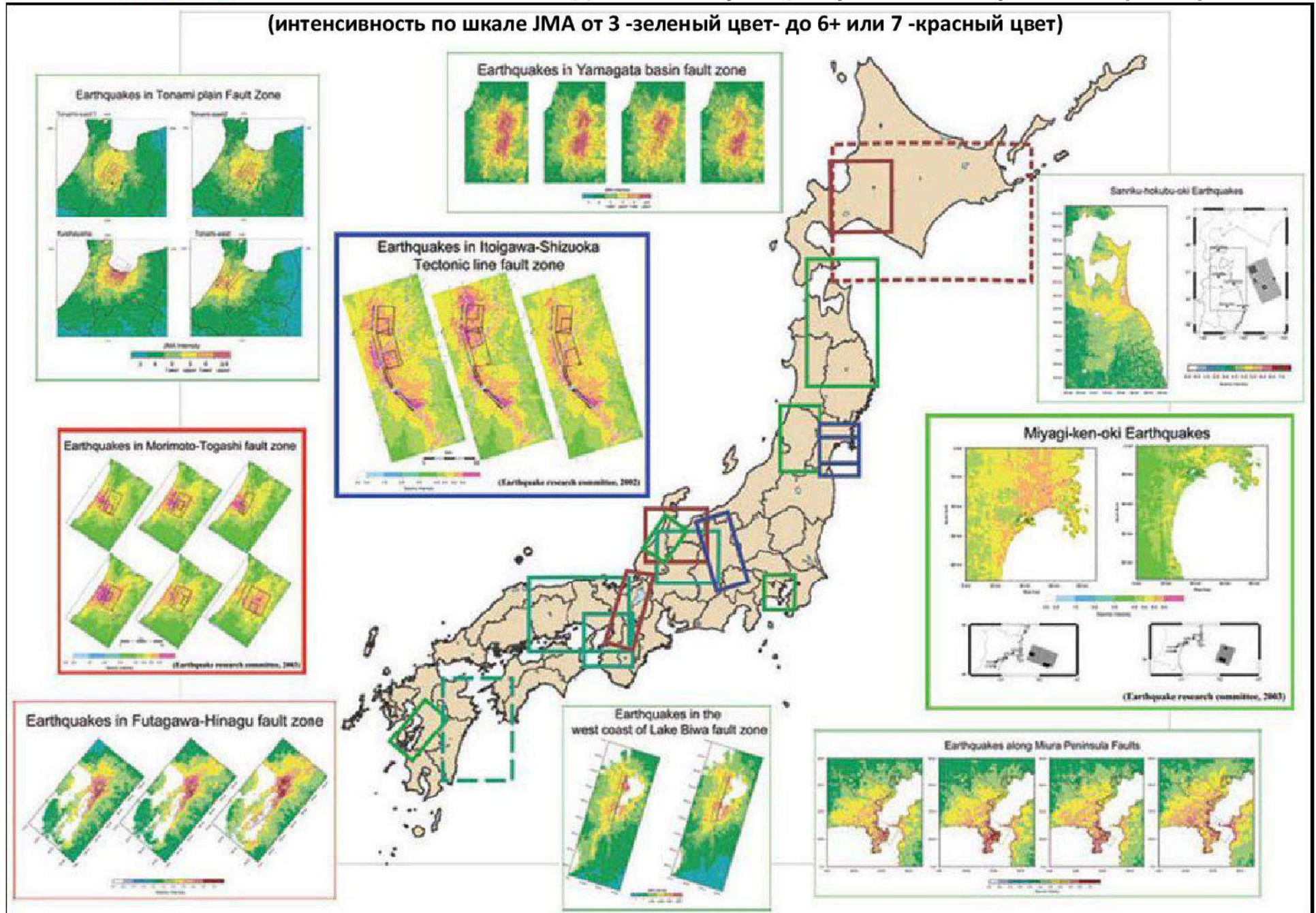
по результатам исследований

Синтетические сейсмограммы для 4-слойной модели коры в центральных США: реверберация в земной коре (Herrmann, 2000)

Волновые формы усложняются в реальности из-за горизонтальной неоднородности коры и рассеяния на случайных неоднородностях

Япония: Рассчитываются сильные движения при сценарных землетрясениях (SESM)

(интенсивность по шкале JMA от 3 -зеленый цвет- до 6+ или 7 -красный цвет)



ВЫВОДЫ: **оценивание сейсмических воздействий для предотвращения катастроф и чрезвычайных ситуаций**

1. При актуализации строительных норм и правил использовать достижения современной сейсмологии и опыт других стран.



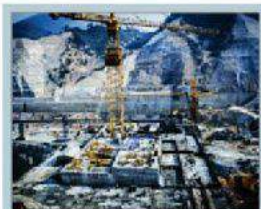
Богучанская ГЭС на реке
Ангара, Россия, 2012 год



Гидроузел Тери в Индии



ГЭС Лай Чау во Вьетнаме.
Котлован здания ГЭС



ГЭС Лай Чау во Вьетнаме.
Котлован здания ГЭС



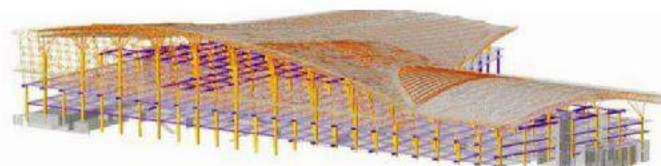
ГЭС Тери в Индии

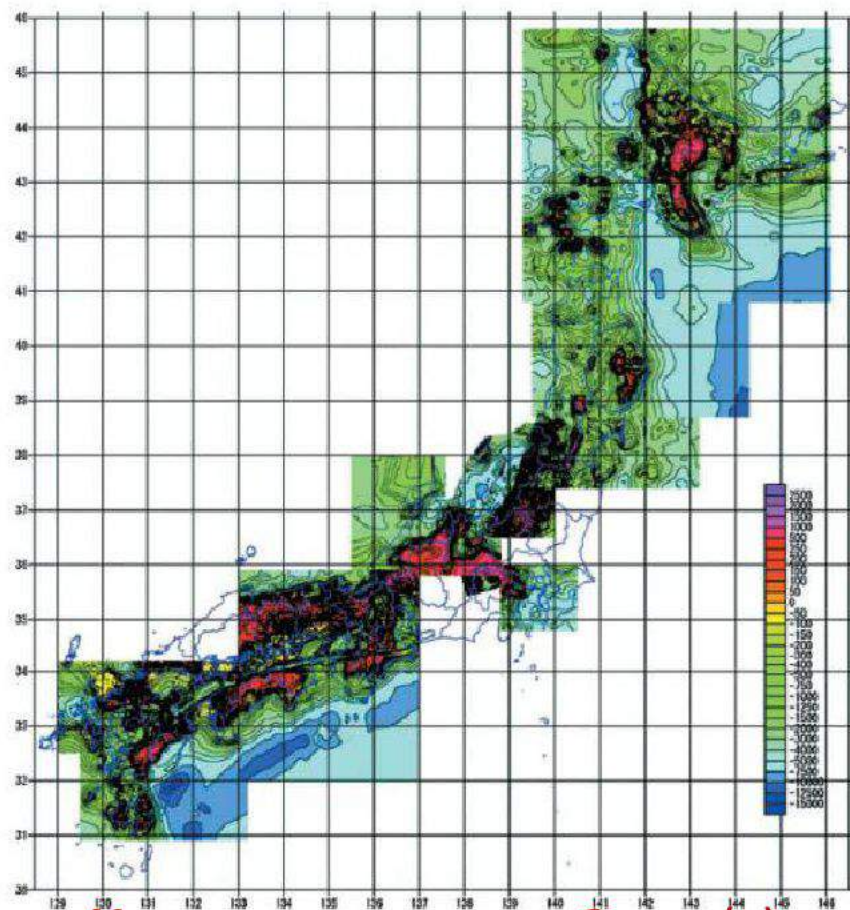


Строительство ГЭС Лай Чау
во Вьетнаме, общий вид,
2013 год.

- 2. Усовершенствовать классификацию грунтов и описания спектров реакции в СП до современного уровня; вводить грунтовые поправки в спектральной форме.**
- 3. Повысить требования к исследованиям для определения грунтовых условий. В зависимости от степени ответственности сооружения, проводить инструментальные исследования грунта и/или геологические изыскания. Для особо ответственных объектов исследовать связь грунт-сооружение.**
- 4. Вернуть в СП использование вероятностного подхода и карт ОСР с разными периодами повторяемости для определения ПЗ и МРЗ.**

ТС
ТЕХСОФТ
САПР
в строительстве

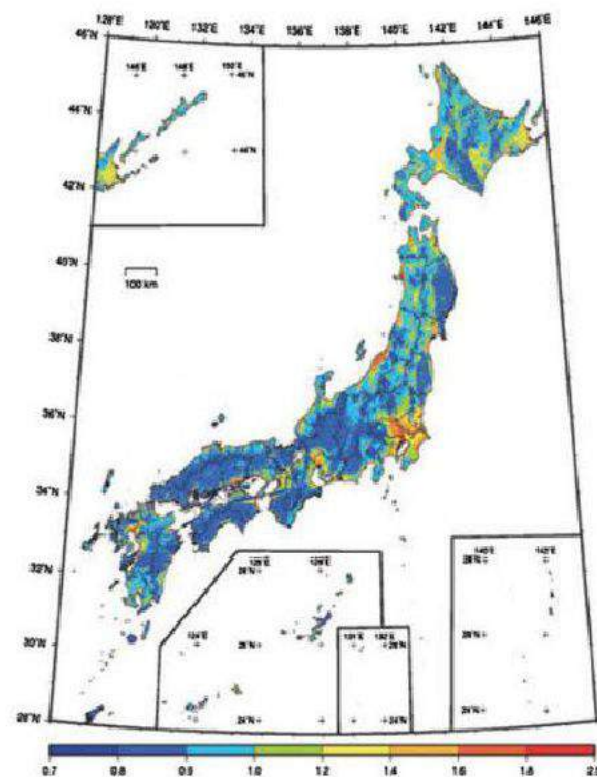




Мощность осадочного слоя Японии (м)

Для расчета сильных движений нужны:

- модель затухания
- глубинная скоростная структура от нижней границы земной коры или литосферной плиты до сейсмического фундамента ($V_S=3$ км/с) – **получена томографией для всей Японии**
- структура осадочного слоя от сейсмического фундамента до инженерного фундамента ($V_S=400-700$ м/с) – **построена 3-мерная структурная модель для всей Японии**
- строение приповерхностного грунта от инженерного фундамента до поверхности – по сетке с шагом 1 км оценивается коэффициент усиления грунта – по данным о средней V_S в верхних 30 м)



Коэффициенты усиления сейсмических волн в грунтах по данным поверхностной геологии и геоморфологии

Входные данные программы стохастического моделирования D. Voore

```

rho, beta, pritrn, radpat, fs:
  2.4 3.2 0.707 0.55 2.0
spectral shape: source number (1=Single Corner;2=Joyner;3=A93;4=custom),
  pf, pd (1-corner spectrum = 1/(1+(f/fc)**pf)**pd; 0.0 otherwise)
  (usual: pf=2.,pd=1.; Butterw.: pf=4.,pd=0.5: power of h-f decay --> pf*pd)
  1 2.0 1.0
spectralscaling: stressc, dlsdm, fbdfa, amagc
  (stress=stressc*10.0**(dlsdm*(amag-amagc))
  (fbdfa, amagc for Joyner model, usually 4.0, 7.0)
50. 0.0 4.0 7.0
gsprd: r_ref, nsegs, (rlow(i), a_s, b_s, m_s(i)) (Usually set r_ref = 1.0 km)
  1.0
  3
  1.0 -1.0 0.0 6.5
  50.0 0.0 0.0 6.5
  150.0 -0.5 0.0 6.5
q: fr1, Qr1, s1, ft1, ft2, fr2, qr2, s2, c_q
  1.0 117.0 0.77 0.1 0.1 1.0 117.0 0.77 3.3
source duration: weights of 1/fa, 1/fb
  1.0 0.0
path duration: nknots, (rdur(i), dur(i)), slope of last segment
  1
  0.0 0.0
  0.05
site amplification: namps, (famp(i), amp(i))
  4
  0.01 1.00
  0.16 1.18
  2.26 2.06
  6.05 2.58
site diminution parameters: fm, akappa, dkappadmag, amagkref
  100.0 0.07 0.0 0.0
low-cut filter parameters: fcut, norder
  0.0 2
rv params: zup, eps_int (int acc), amp_cutoff (for fup), osc_crrctn(1=b&j;2=l&p)
  10.0 0.00001 0.001 1
window params: idxwnd(0=box,1=exp), tapr(<1), eps_w, eta_w, f_tb2te, f_te_xtnd
  1 0.05 0.08 0.002 2.0 1.0
timing stuff: dur_fctr, dt, tshift, seed, nsims, iran_type (0=normal;1=uniform)
  1.3 0.005 1.0 328.0 25 0
  
```

D, км

$$Q(f) = 117 \cdot f^{0.77} \text{ (Chen, Shin, Wang, 1989)}$$

**Локальное усиление
в земной коре**

$\Delta\sigma = 50$ бар

Геометрическое расхождение:

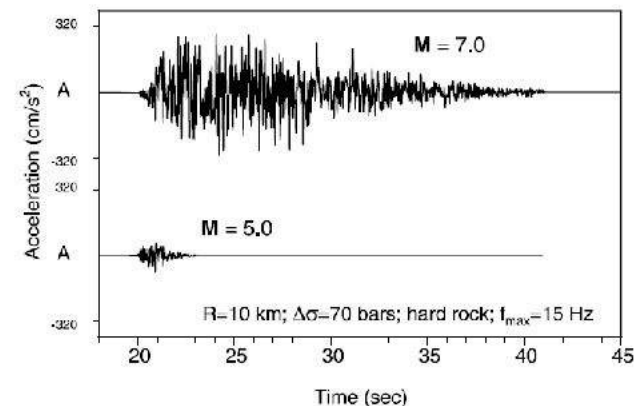
**$1/R$ for $R < D$ км,
 1 for $D \leq R < 150$ км**

Карра: $\kappa = 0.07$ с

Средняя скорость в коре: $V_s = 3.2$ км/с

Плотность коры: 2.6 г/см³

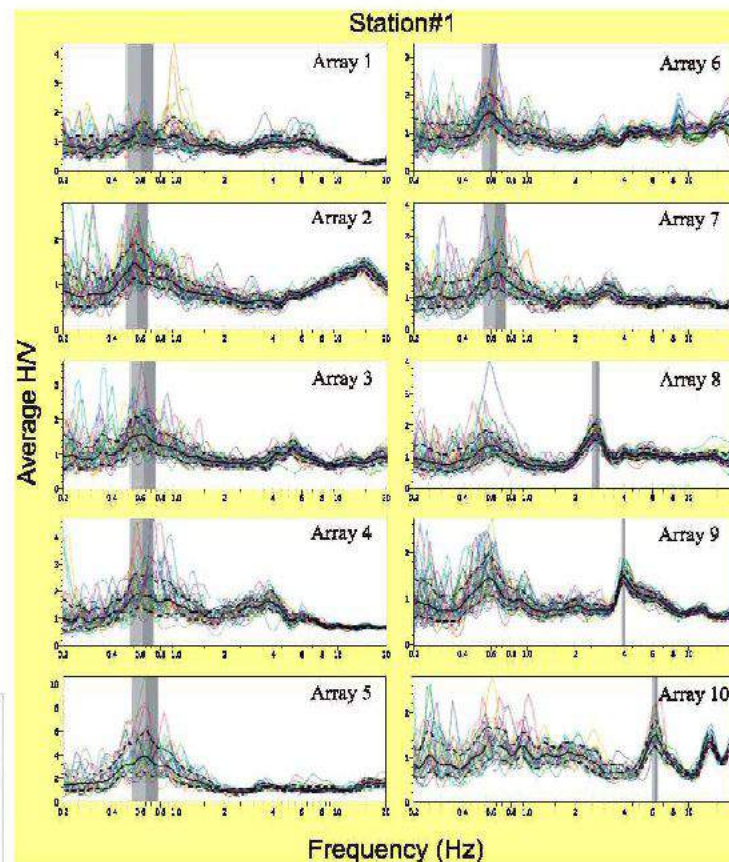
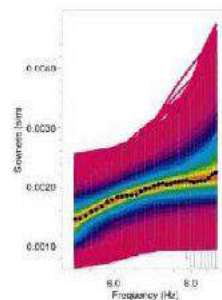
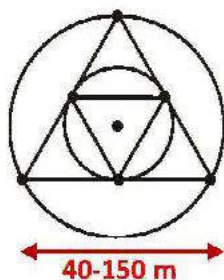
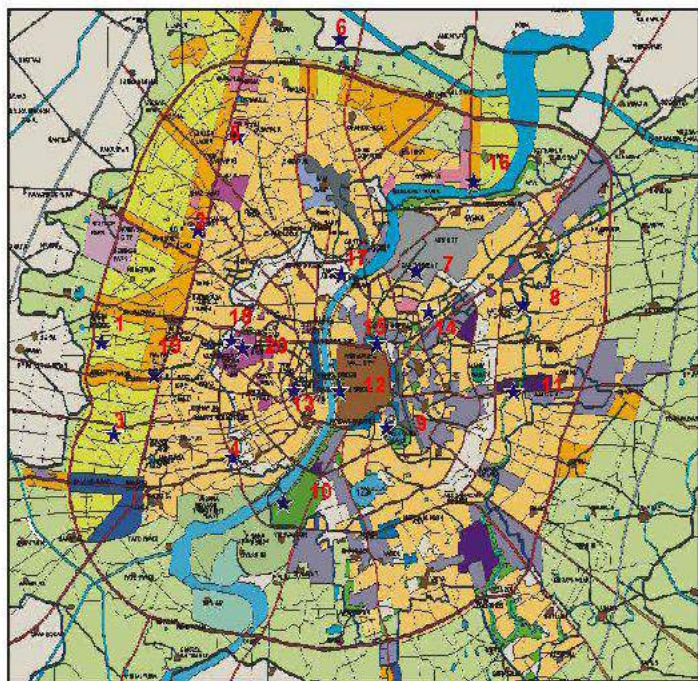
**Акселерограммы на скале,
без учета отклика грунта**



Определение скоростей S- волн по записям сейсмического шума

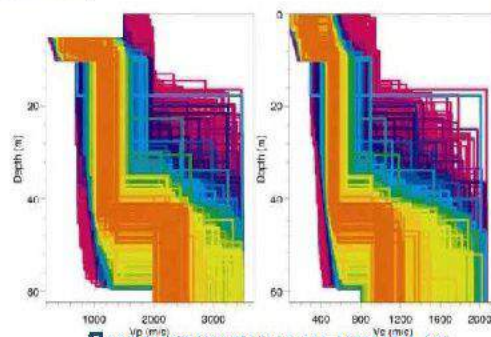
Shear velocity using microtremor array observations: Aki,1957,1965; Okada,1990; Kudo et al, 2002

Сейсмический шум состоит преимущественно из поверхностных волн обладающих свойствами дисперсии (фазовая скорость зависит от частоты); профиль $V_s(z)$ под регистрирующей группой может быть получен инверсией фазовой скорости



Измерения в г. Ахмедабад (Индия) –
100 -150 точек

Записи сейсмического шума, сделанные сейсмической группой, в точках отстоящих друг от друга на равные расстояния, дают оценки $V_s(z)$ под этой группой. Это позволяет построить 2D разрез и 3-D картину строения грунта и поверхности сейсмического фундамента



Дисперсионные кривые фазовой скорости V_p и V_s

Отношение H/V от 1 до 10
Большинство групп показывают пики на частотах ~ 0.6 Гц