



Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение РАН
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Москва, Б. Грузинская, 10

О.В. Павленко

д.ф.-м.н., г.н.с., зав. лаб. 306 инженерной сейсмологии ИФЗ РАН

Актуализация СНиП II-7-81* - СП14.13330.2014

«Строительство в сейсмических районах»

Успехи сейсмологии последних десятилетий и их отражение в строительных нормах США, Японии и стран Европы

В конце 1960-х начале 1970-х (после катастрофических землетрясений в Ниигате и Анкоридже) исследования динамического поведения грунтов стали приоритетным хорошо финансируемым направлением исследований в США, где в то время приступили к строительству сети атомных станций



**Анкоридж: Разжижение грунта при
Землетрясении 27 марта 1964 г. $M = 9.1$**

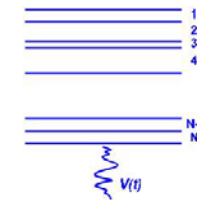
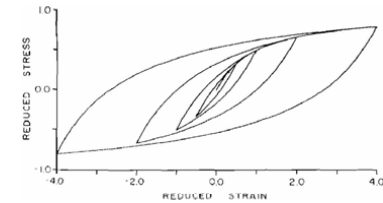
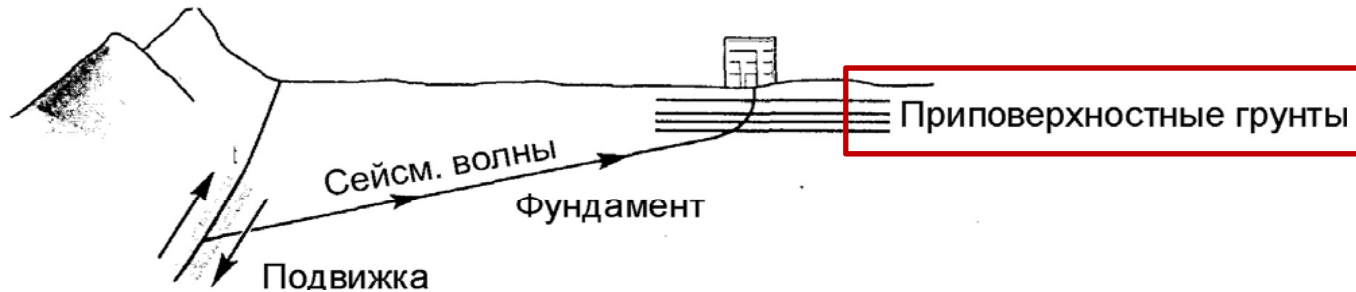


**Ниигата: Разжижение грунта при
Землетрясении 16 июня 1964 г. $M = 7.5$**

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

$$Y(M_0, R, f) = E(M_0, f) P(R, f) G(f),$$

M_0 - сейсмический момент, R - расстояние от источника, f - частота



Методы расчета отклика грунта (с 1970-х годов):

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

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

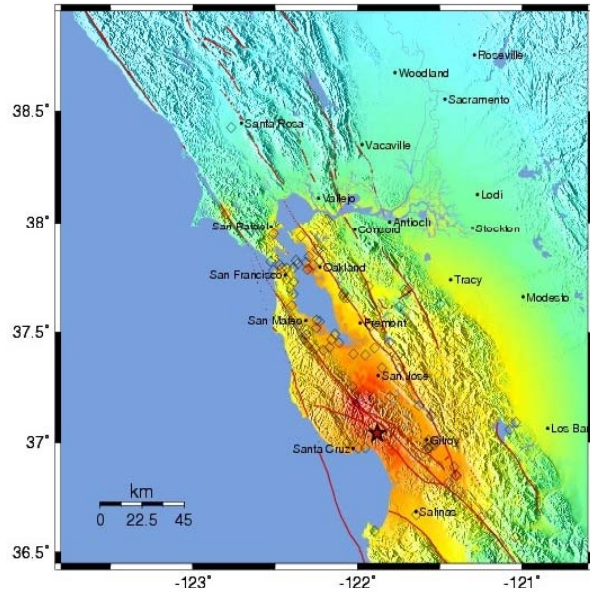
3 основных механизма преобразования сейсмических волн в грунтовых слоях:

- 1. Усиление.** Переход сейсмических волн в слои с меньшими значениями скоростей и плотностей приводит к возрастанию амплитуд волн в соответствии с законом сохранения плотности потока сейсмической энергии
- 2. Резонансные явления в грунтовых слоях** также приводят к возрастанию амплитуд колебаний на поверхности
- 3. Нелинейность связи напряжений и деформаций** в грунтах как правило приводит к уменьшению амплитуд колебаний

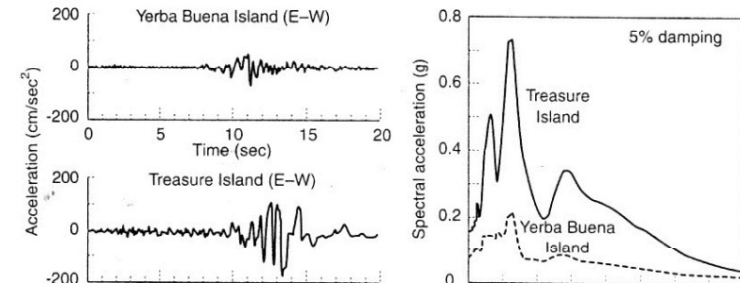
1. Усиление сейсмических волн в грунтовых слоях

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

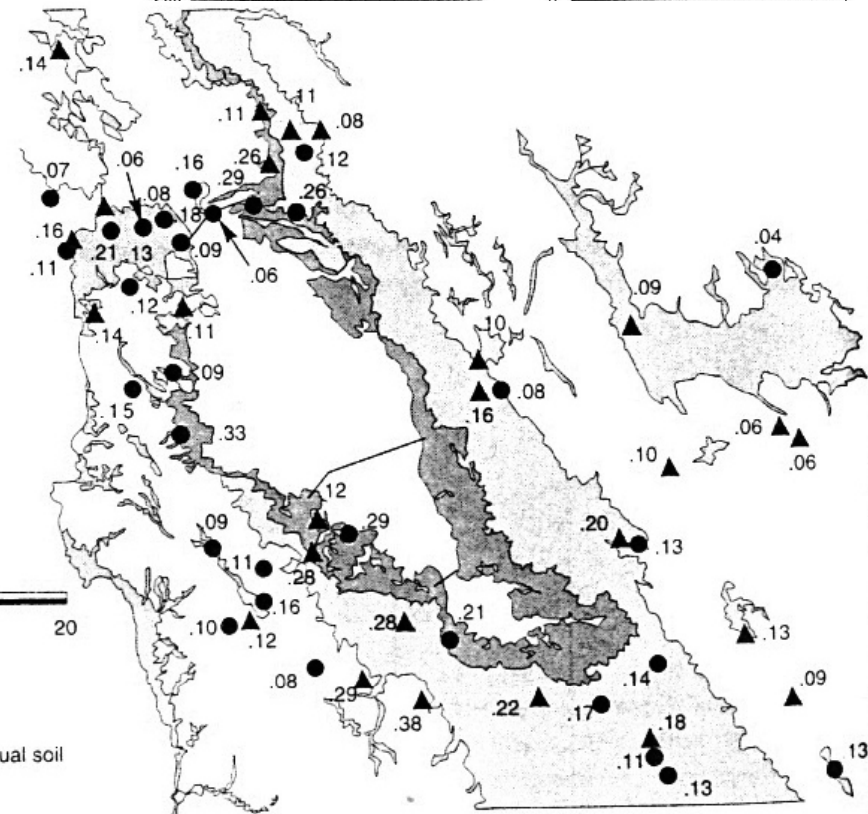
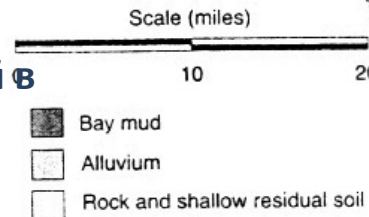
MMI ShakeMap for the 1989 earthquake determined from seismic recordings



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 (cm/s ²)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL (cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

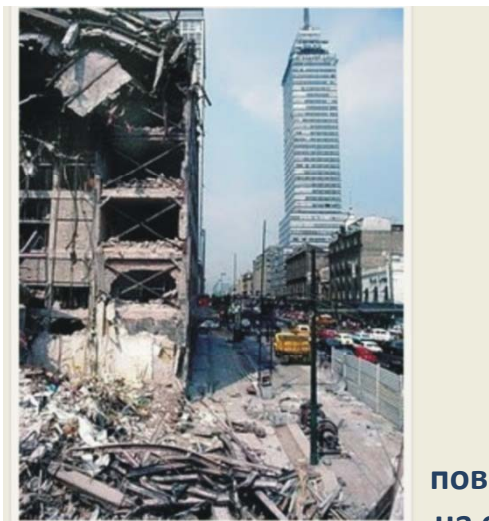
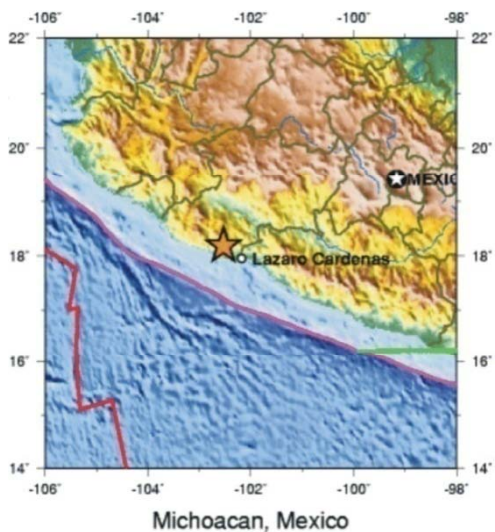


Сильные разрушения в одних районах и отсутствие разрушений в других

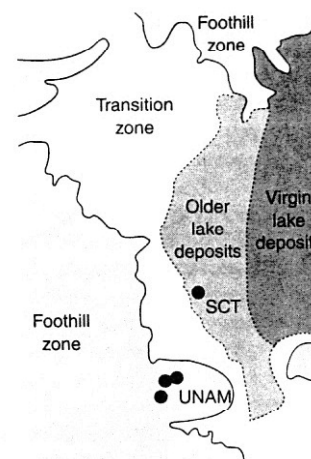


2. Резонансные явления в грунтовых слоях

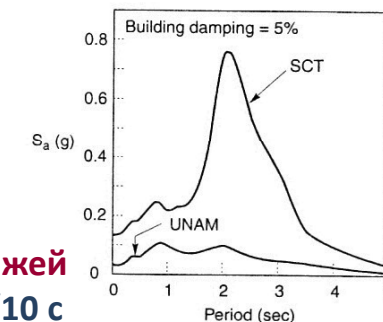
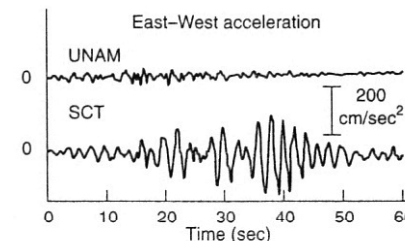
Землетрясение 19.09 1985 г. в Мехико (M ~ 8.1, r ~ 350 км)



The Torre Latino withstood the 1985 earthquake

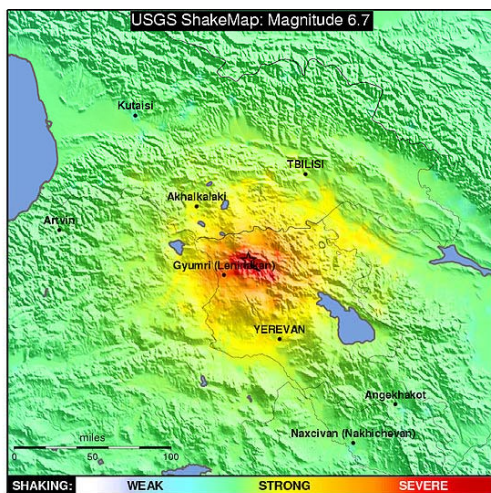


Разрушены или сильно повреждены здания в 5-20 этажей на озерных отложениях T ~ N/10 с



Двойной резонанс: в грунтах и в зданиях

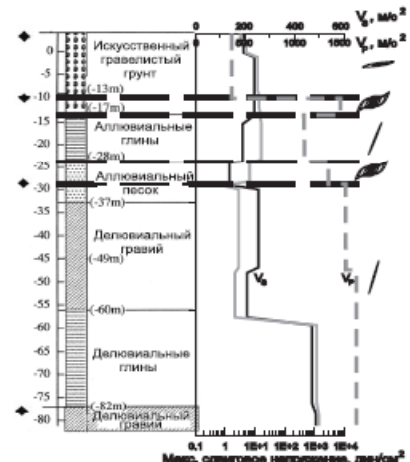
Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. (M ~ 7.0)



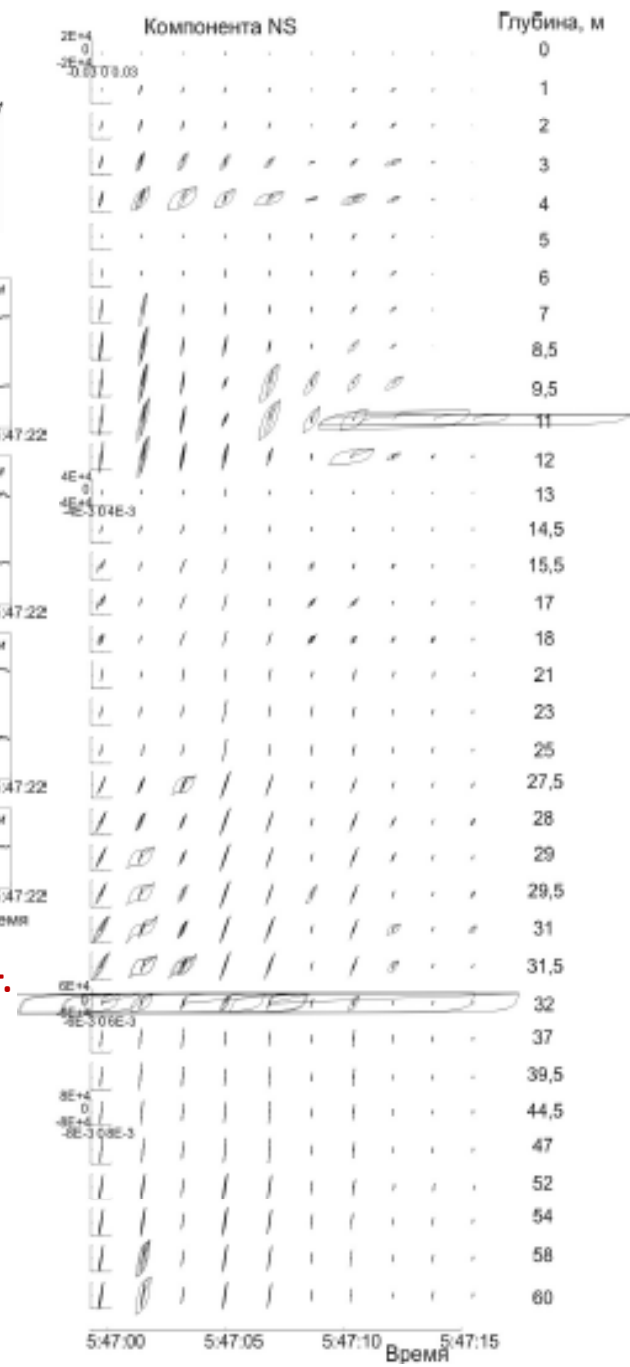
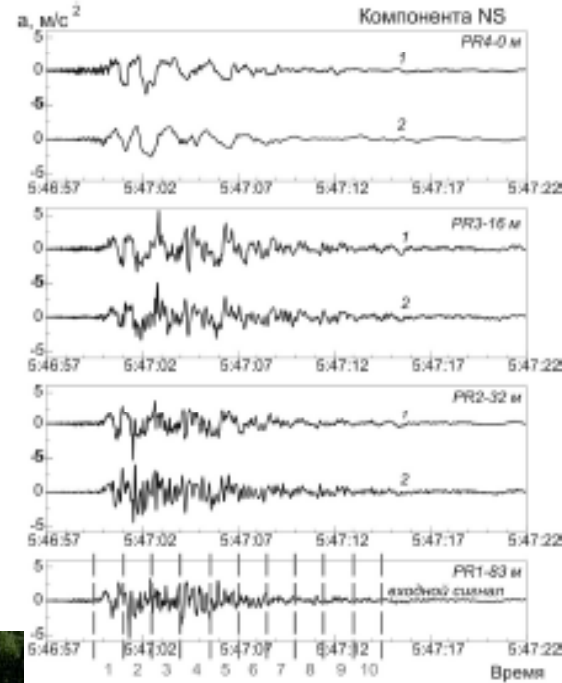
Разрушены здания, периоды собственных колебаний которых ~ 0,3 – 0,9 с совпали с периодами собственных колебаний подстилающих грунтов



3. Нелинейность поведения грунта. Разжижение



Порт Айленд



Землетрясение в Кобе 1995 г.
M ~ 6.8, Порт Айленд

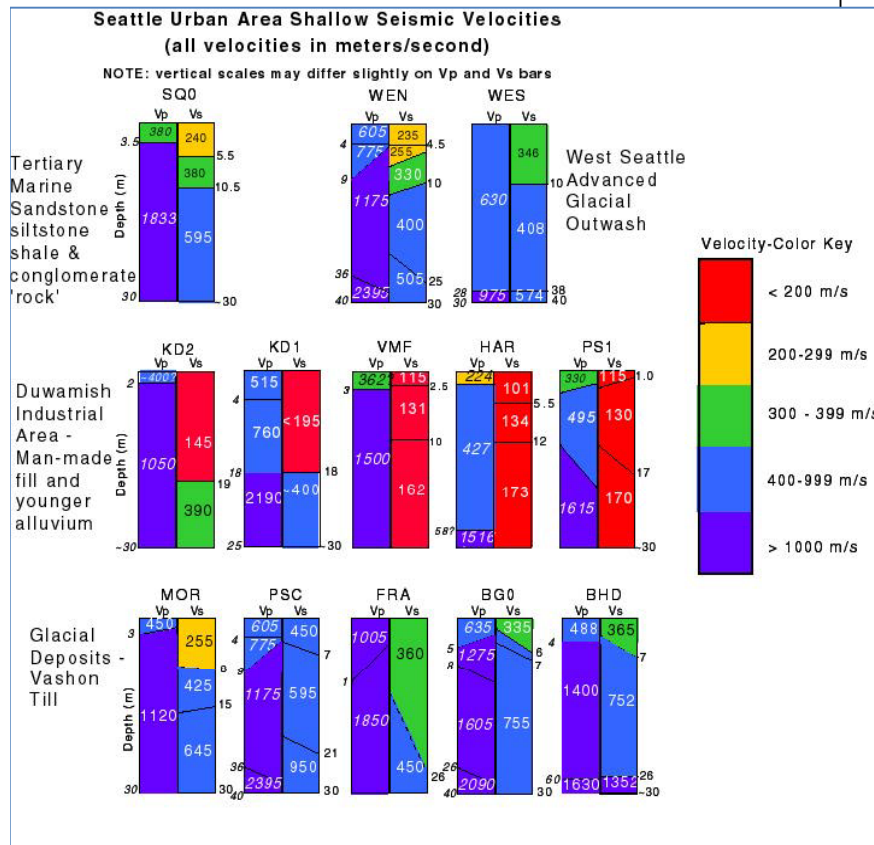
Новая Зеландия, Крайсчерч
22 февраля 2011 г. M = 6.3

Классификация грунтов в нормах IBS-2006 США

учитывает специфику грунтов на
территории США

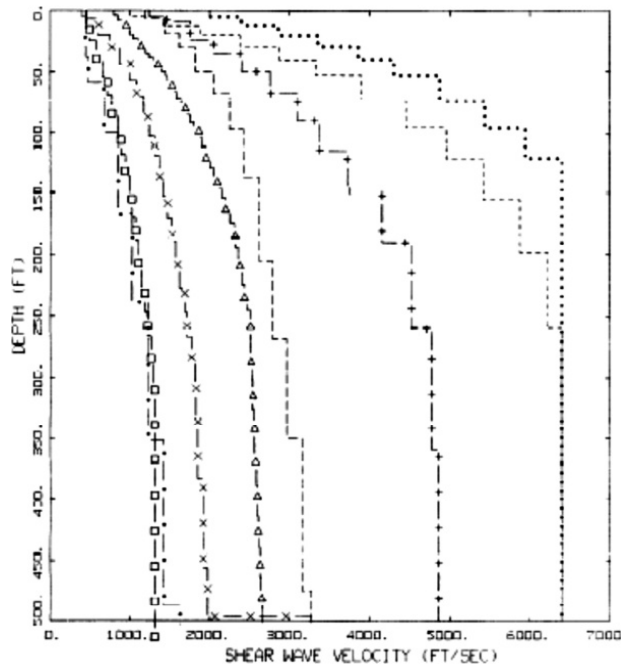
Составлены на основе полевых
измерений сейсмического шума,
слабых и сильных землетрясений и
численного моделирования

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

Eurocode-8

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			

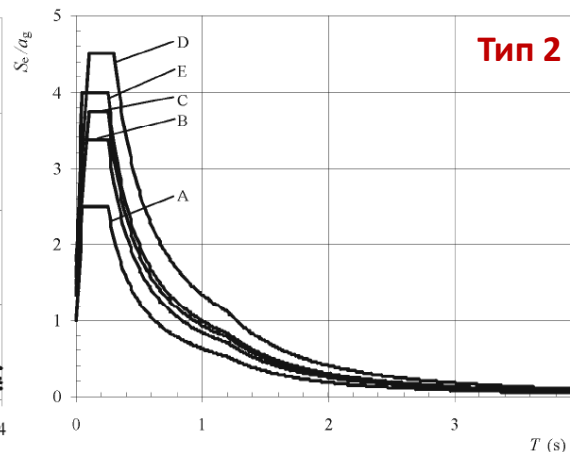
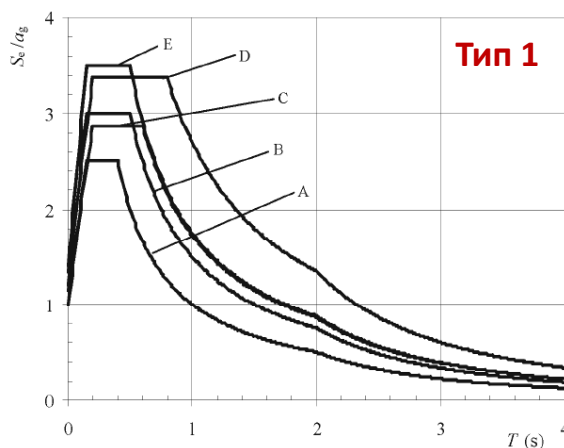
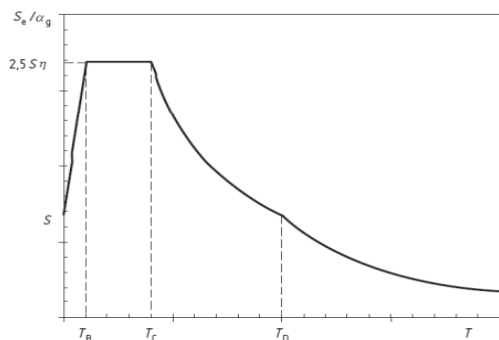
- (4) Для площадок с грунтовыми условиями с типами грунта S_1 или S_2 , требуются специальные изыскания для определения интенсивности сейсмического воздействия и учета возможности разрушения.

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

Тип 2

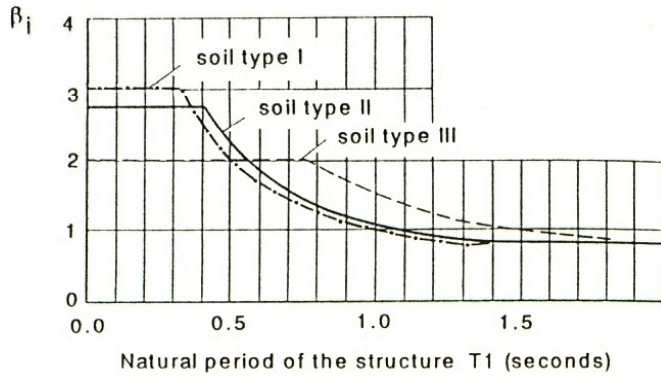
Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

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

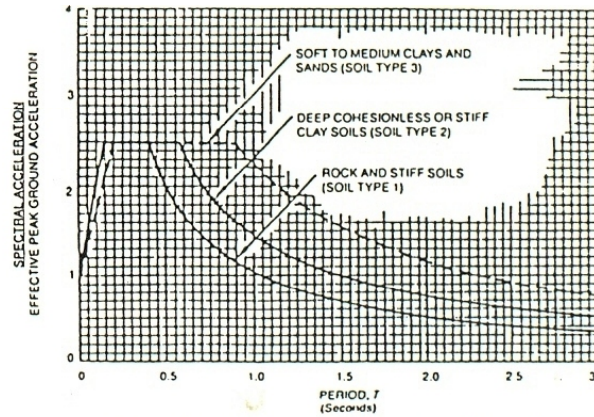
Рекомендуемые значения параметров, описывающих вертикальные упругие спектры реакции

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

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

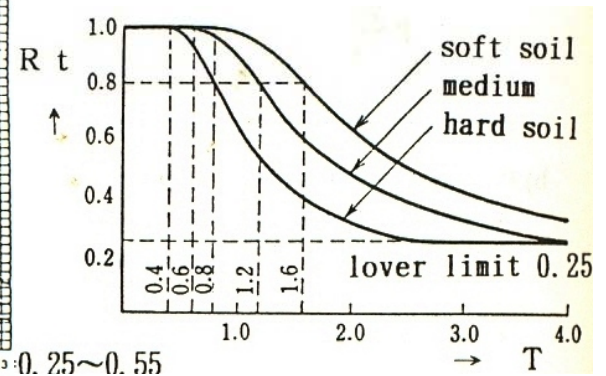


СССР

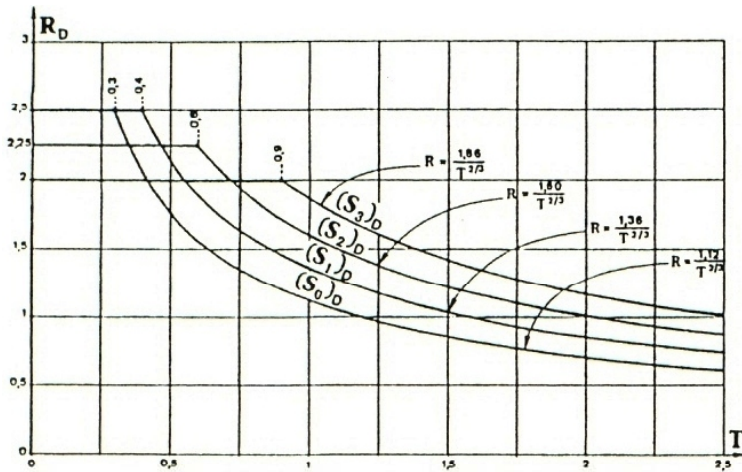


Normalized Response Spectra Shapes*

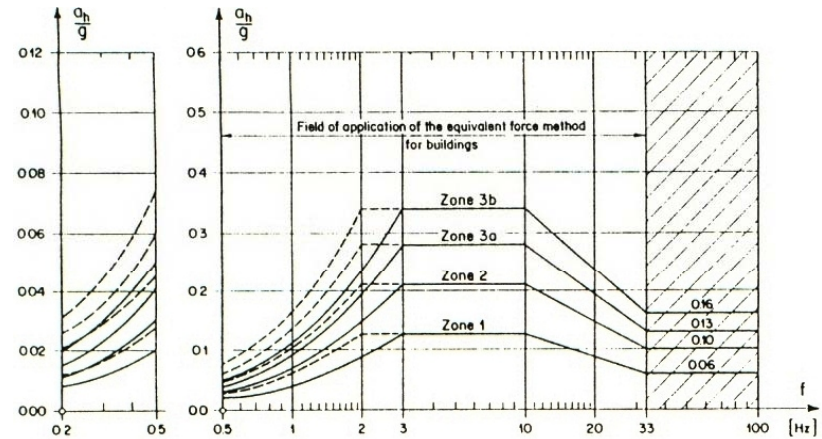
США



Япония



Франция



Швейцария

Т а б л и ц а 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 вечномерзлых 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:

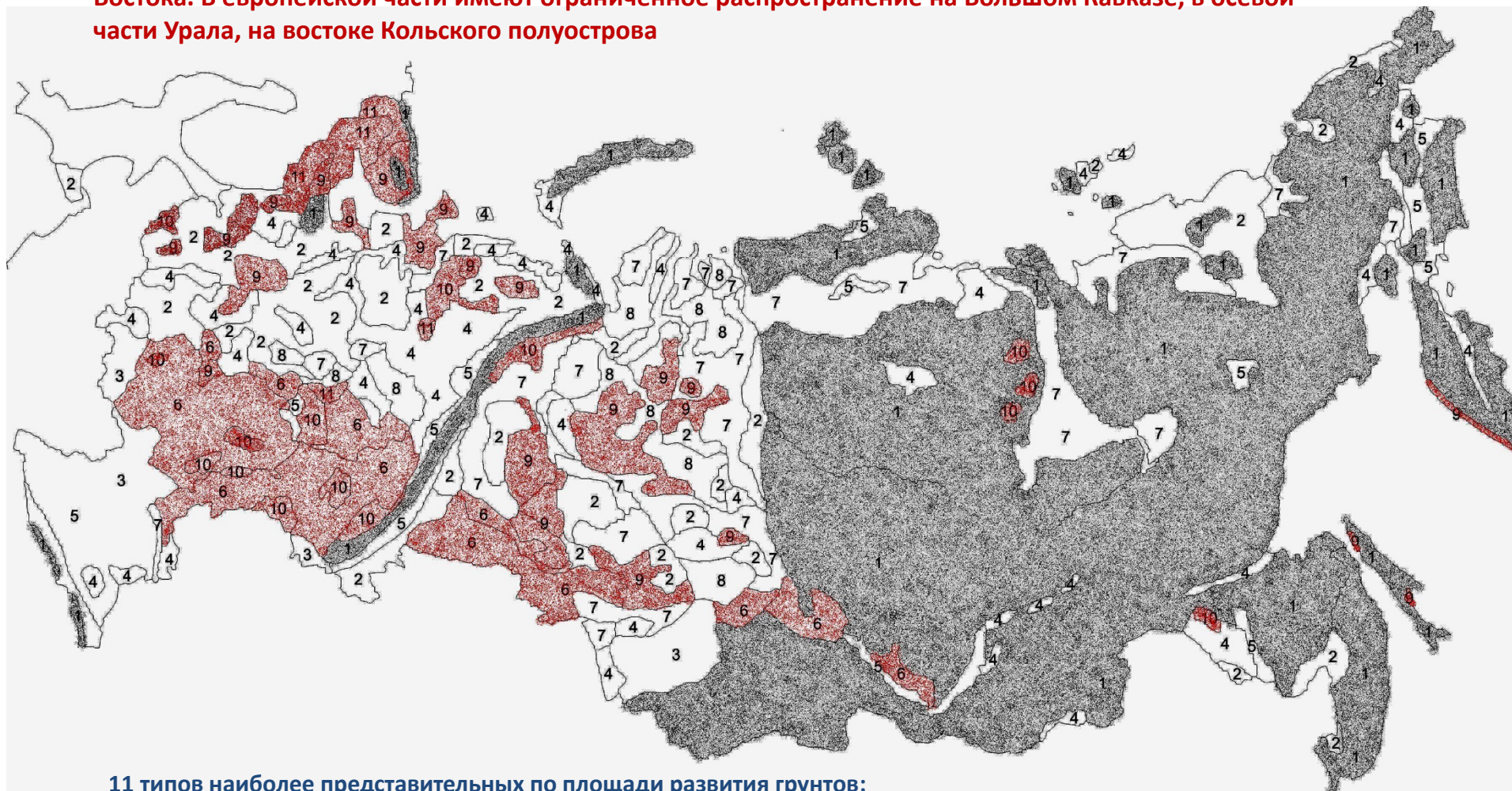
$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с } \beta_i &= 1 + 15 T_i; \\ 0,1 \text{ с } < T_i < 0,8 \text{ с } \beta_i &= 2,5; \\ T_i \geq 0,8 \text{ с } \beta_i &= 2,5(0,8 / T_i)^{0,5}. \end{aligned} \quad (4)$$

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

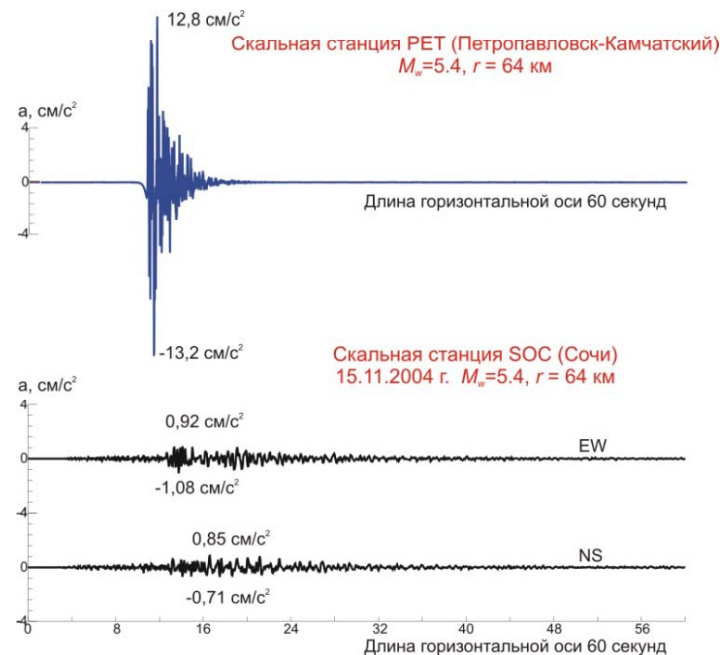
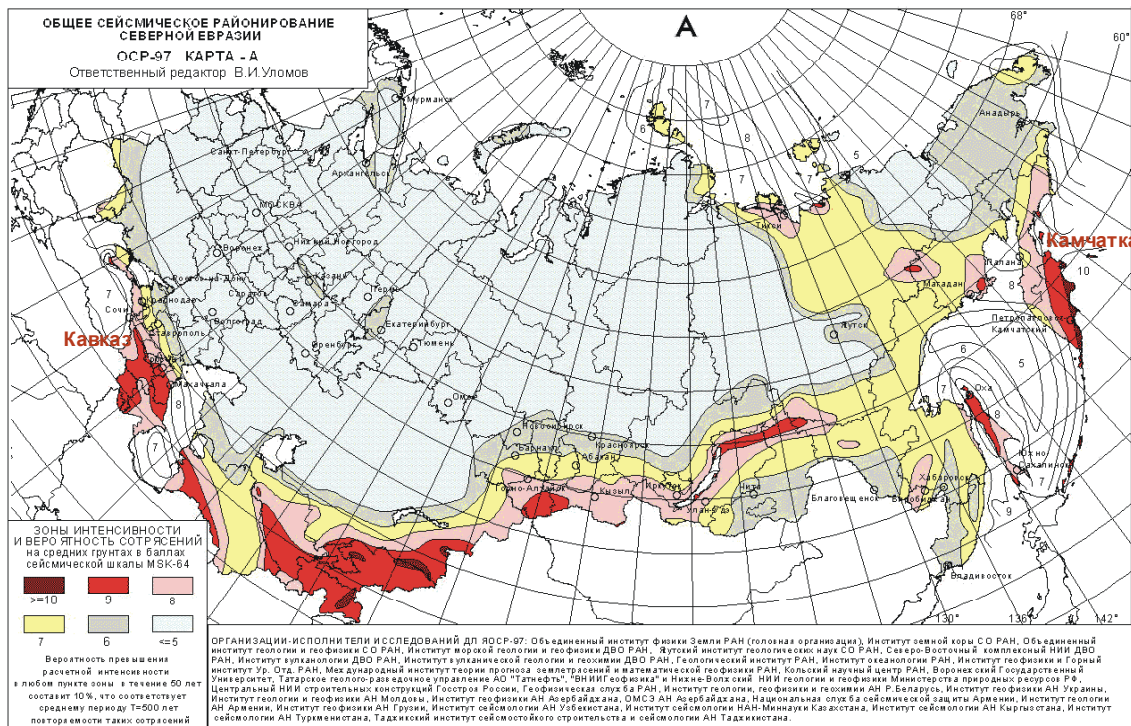
Скальные грунты занимают огромные пространства Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока. В европейской части имеют ограниченное распространение на Большом Кавказе, в осевой части Урала, на востоке Кольского полуострова



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 верхней части разреза (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

Различия региональных характеристик излучения и распространения сейсмических волн на территории России



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

Таблица 4.1 — Типы грунта

Тип грунта	Описание стратиграфического профиля	Параметры		
		$v_{s,30}$ (м/с)	N_{SPT} (удары /30см)	c_u (кПа)
A	Скальные грунты или другая подобная геологическая формация (в том числе, вечномёрзлые грунты при температуре -2°C и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I - сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии), включающая не более 5 м более слабого (рыхлого) материала у поверхности	> 800	–	–
B	Отложения очень плотного песка, гравия либо очень твердой глины, мощностью не менее нескольких десятков метров, характеризующиеся градиентным увеличением механических свойств по глубине	360 – 800	> 50	> 250
C	Глубокие отложения плотного или среднеплотного песка, гравия либо твердой глины, мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен метров.	180 – 360	15 - 50	70 – 250
D	Отложения несвязных грунтов от рыхлых до средней рыхлости (с мягкими связными слоями или без них), либо преимущественно связных грунтов от мягких до твердых.	< 180	< 15	< 70
E	Грунтовый профиль, состоящий из поверхностного аллювиального слоя со значениями v_s типа C или D и мощностью от ~5 м до 20 м, под которым залегает более жесткий материал с $v_s > 800$ м/с.			
S_1	Отложения, состоящие из или содержащие слой мощностью не менее 10 м либо мягкие глины/илы с высоким показателем пластичности ($PI > 40$) и высоким содержанием воды	< 100 (ориенти ровочно)	–	10 – 20
S_2	Отложения разжижаемых грунтов, слабых глин либо любые другие профили грунта, не относящиеся к типам A – E или S_1			

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. Соппротивление грунта срезу C_u (кПа) соответствует удельному сцеплению.

Для горизонтальных составляющих сейсмического воздействия упругие спектры отклика $S_e(T)$ определяются с использованием следующих выражений (см. Рисунок 2):

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (3)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (4)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (5)$$

$$T_D \leq T \leq 4 \text{ с}: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (6)$$

где $S_e(T)$ – упругий спектр реакции;

T – период колебаний линейной системы с одной степенью свободы;

a_g – расчетное ускорение ($a_g = \mu \cdot a_{gR}$) для грунта типа А;

T_B – нижний предел периода ветви постоянного спектрального ускорения;

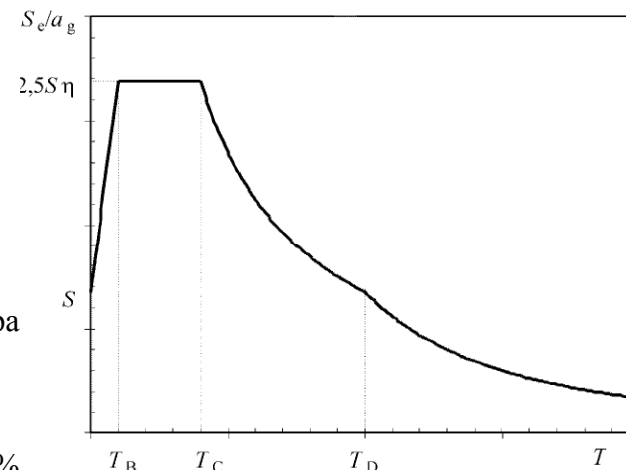
T_C – верхний предел периода ветви постоянного спектрального ускорения;

T_D – значение, определяющее начало диапазона постоянной реакции спектра перемещений;

S – коэффициент типа грунта;

η – поправочный коэффициент затухания с номинальным значением $\eta = 1$ для 5% вязкого затухания, $\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$, где ξ – коэффициент вязкого затухания сооружения в процентах.

Значения периодов T_B , T_C и T_D и коэффициента грунта S , описывающие форму упругого спектра отклика, зависят от типа грунта.

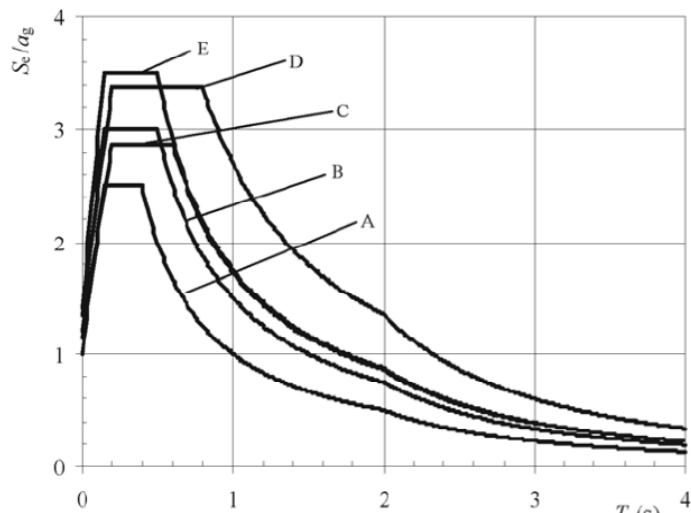


Параметры, описывающие рекомендуемый спектр отклика Типа 1

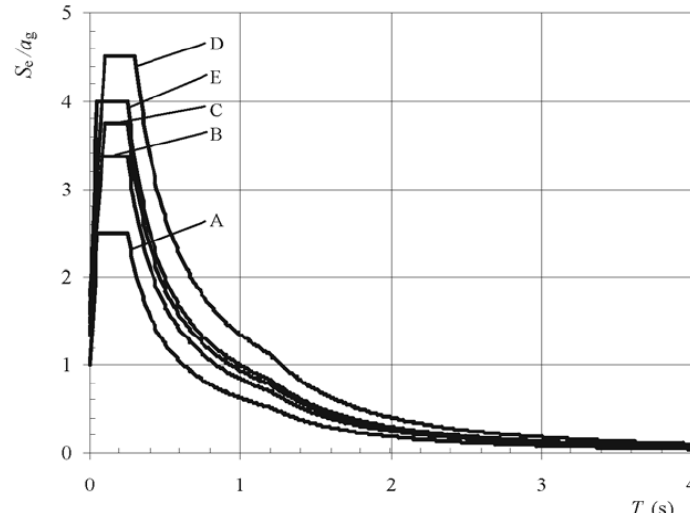
Тип грунта	S	T_B (с)	T_C (с)	T_D (с)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Параметры, описывающие рекомендуемый спектр отклика Типа 2

Тип грунта	S	T_B (с)	T_C (с)	T_D (с)
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
D	1,6	0,05	0,25	1,2



Рекомендуемый упругий спектр отклика Типа 1



Рекомендуемый упругий спектр отклика Типа 2

Вертикальная составляющая сейсмического воздействия представляется упругим спектром отклика $S_{ve}(T)$, определяемым с использованием выражений (8)-(11):

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right] \quad (8)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \quad (9)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (10)$$

$$T_D \leq T \leq 4c : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (11)$$

Рекомендуемые значения параметров, описывающих вертикальные упругие спектры отклика

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

3 ГРУНТОВЫЕ УСЛОВИЯ И СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

3.1 Грунтовые условия

3.1.1 Общие положения

- (1) Необходимо выполнить соответствующие исследования, чтобы определить грунтовые условия в соответствии с типами, приведенными в **3.1.2**.
- (2) Дополнительные указания по исследованиям и классификации грунтов приведены в **4.2** стандарта EN 1998-5:2004.
- (3) Строительная площадка и состав грунтового основания должны, как правило, исключать опасность наличия сейсмического разлома грунта, неустойчивости склона и постоянной осадки грунта, вызванной разжижением или уплотнением при землетрясении. Возможность возникновения таких явлений должна быть исследована в соответствии с Разделом **4** стандарта EN 1998-5:2004.
- (4) В зависимости от степени ответственности сооружения и конкретных условий проекта следует провести исследования грунта и/или геологические изыскания для определения параметров возможного сейсмического воздействия.

ПРИМЕЧАНИЕ – Условия, при которых можно не проводить исследования грунта в дополнение к исследованиям, необходимым для проектирования в несейсмических районах, и можно применять стандартную классификацию грунта, могут быть указаны в национальном приложении.

3.1.2 Идентификация типов грунта

- (1) **Типы грунта А, В, С, D и E**, определяемые стратиграфическими профилями и параметрами, приведенными в Таблице 3.1 и описываемыми далее, могут использоваться для учета влияния местных грунтовых условий на сейсмическое воздействие. Это также можно осуществить путем учета влияния геологии грунта по глубине на сейсмическое воздействие.

ПРИМЕЧАНИЕ – Схема классификации грунта, учитывающая геологию грунта по глубине, для применения в конкретной стране может быть приведена в соответствующем национальном приложении, включая значения параметров S , T_B , T_C и T_D , определяющих горизонтальные и вертикальные упругие спектры реакции в соответствии с **3.2.2.2** и **3.2.2.3**.

- (2) Площадка должна быть классифицирована в соответствии с величиной средней скорости поперечной волны $v_{s,30}$, если она известна. В ином случае, следует использовать значение $N_{SP\tau}$.
- (3) Среднюю скорость поперечной волны $v_{s,30}$ следует вычислять в соответствии со следующим выражением:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{v_i}}$$

где h_i и v_i обозначают мощность (в метрах) и скорость поперечной волны (при уровне деформаций сдвига 10^{-5} или менее) в i -й консистенции или слое при общем количестве слоев N , имеющихся в верхних 30 м.

3.2 Сейсмическое воздействие

3.2.1 Сейсмическое районирование

(1) Территории стран подразделяются Национальными органами на сейсмические районы в зависимости от местной сейсмической опасности. Сейсмическая опасность в пределах каждого района считается постоянной.

(2) **Для большинства случаев применения стандарта EN 1998 сейсмическая опасность выражается единственным параметром, величиной нормированного пикового ускорения a_{gR} для грунта типа А.** Дополнительные параметры, требуемые для особых типов сооружений, приводятся в соответствующих частях стандарта EN 1998.

ПРИМЕЧАНИЕ – Нормированное пиковое ускорение a_{gR} для грунта типа А при использовании в конкретной стране или районах страны можно найти на картах районирования, приведенных в национальном приложении.

(3) Нормированное пиковое ускорение грунта, принятое для каждого сейсмического района, соответствует нормируемому периоду повторяемости T_{NCR} сейсмического воздействия для требования отсутствия обрушения (или вероятности превышения за 50 лет P_{NCR}). Коэффициент ответственности γ_I , равный 1,0, относится к этому нормируемому периоду повторяемости. Для периодов повторяемости, отличных от нормируемого, расчетное ускорение a_g для грунта типа А равно значению a_{gR} , умноженному на коэффициент ответственности γ_I ($a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$). (Примечание к 2.1(4)).

(4) В случаях низкой сейсмичности района можно использовать сокращенные или упрощенные процедуры сейсмического проектирования для определенных типов или категорий сооружений.

ПРИМЕЧАНИЕ – Выбор категории сооружения, типа грунта и сейсмичности района в конкретной стране, к которым применяются положения низкой сейсмичности, можно найти в соответствующем национальном приложении. В качестве случаев низкой сейсмичности рекомендуется рассматривать случаи, при которых расчетное ускорение a_g для грунта типа А не более 0,08g (0,78 м/с²), либо случаи, когда произведение $a_g \cdot S$ не более 0,1g (0,98 м/с²).

(5) В случаях очень низкой сейсмичности нет необходимости соблюдать положения стандарта EN 1998.

ПРИМЕЧАНИЕ – Выбор категории сооружения, типа грунта и сейсмичности района в конкретной стране, для которых нет необходимости соблюдать положения стандарта EN 1998 (случаи очень низкой сейсмичности), можно найти в соответствующем национальном приложении. В качестве случаев очень низкой сейсмичности рекомендуется рассматривать случаи, при которых расчетное ускорение a_g для грунта типа А не более 0,04g (0,39 м/с²), либо случаи, когда произведение $a_g \cdot S$ не более 0,05g (0,49 м/с²).

(6) Для ответственных сооружений ($\gamma_I > 1,0$) следует учитывать эффекты усиления рельефа местности.

Надо сказать, что указанные нормы отражают в основном эпоху «до ЭВМ», когда широкополосный характер колебаний грунта еще не был ясно осознан.

1. Поскольку эффект грунтов в существенной мере частотно-зависим, пользоваться понятием приращения балльности ΔI не следует. Для учета эффекта грунтов в рамках инженерного спектрального метода целесообразно использовать как основу частотно-зависимое приращение логарифма спектра реакции

В частности, такой способ учета влияния грунта приводит к ~2-кратному занижению нагрузок на скальных грунтах

Гусев А.А. Некоторые вопросы сейсмологического обоснования норм сейсмостойкого проектирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2003. № 1, с. 32-36

(4) Сохранение характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности», либо переход к спектральной характеристике грунтов

Подход действующих норм к эффекту грунтов противоречит самой сути спектрального метода расчета сооружений. Поскольку этот метод расчета привязан к конкретному собственному периоду сооружения, кажется логичным учитывать и форму спектра сейсмических волн для определенного грунта, грунтовые поправки в спектральном варианте. Вместо этого частотная зависимость грунтовых поправок практически игнорируется.

Используемое описание влияния грунтовой толщи через параметр «приращение балльности», не зависящий от частоты, является переупрощенным и ведет к существенным искажениям. Известна также тяжелая искусственная проблема исполнителей СМР, которые должны выводить одиночное число ΔI на основании набора спектральных отношений, сильно меняющихся с частотой.

Спектральное описание свойств грунтовой толщи разрешено и рекомендовано действующими нормативами СМР (причем в вариантах экспериментального и/или расчетного способа оценки). Однако подобные результаты СМР не могут пройти к инженерам через «бутылочное горлышко» подхода, использующего приращение балльности

Гусев А.А. Об актуализации нормативных документов по сейсмическим нагрузкам в массовом строительстве. Выступление на «Круглом столе» в ИФЗ 18 янв 2012.

Предложения:

1. Принять в классификации грунтов 5-й основной тип – грунты с резонансными свойствами (+ 2 дополнительных, требующие специальных исследований)
2. Сохранить 3 карты ОСР в баллах сейсмической интенсивности, для периодов повторяемости землетрясений 500, 1000 и 5000 лет
3. Карты ОСР «перевести» в карты на скале