

Низкочастотные сейсмические воздействия на высотные здания г. Москвы от далёких очагов сильных землетрясений

проф. В.И.Уломов

Институт физики Земли (ИФЗ) им. О.Ю. Шмидта РАН,
ulomov@ifz.ru

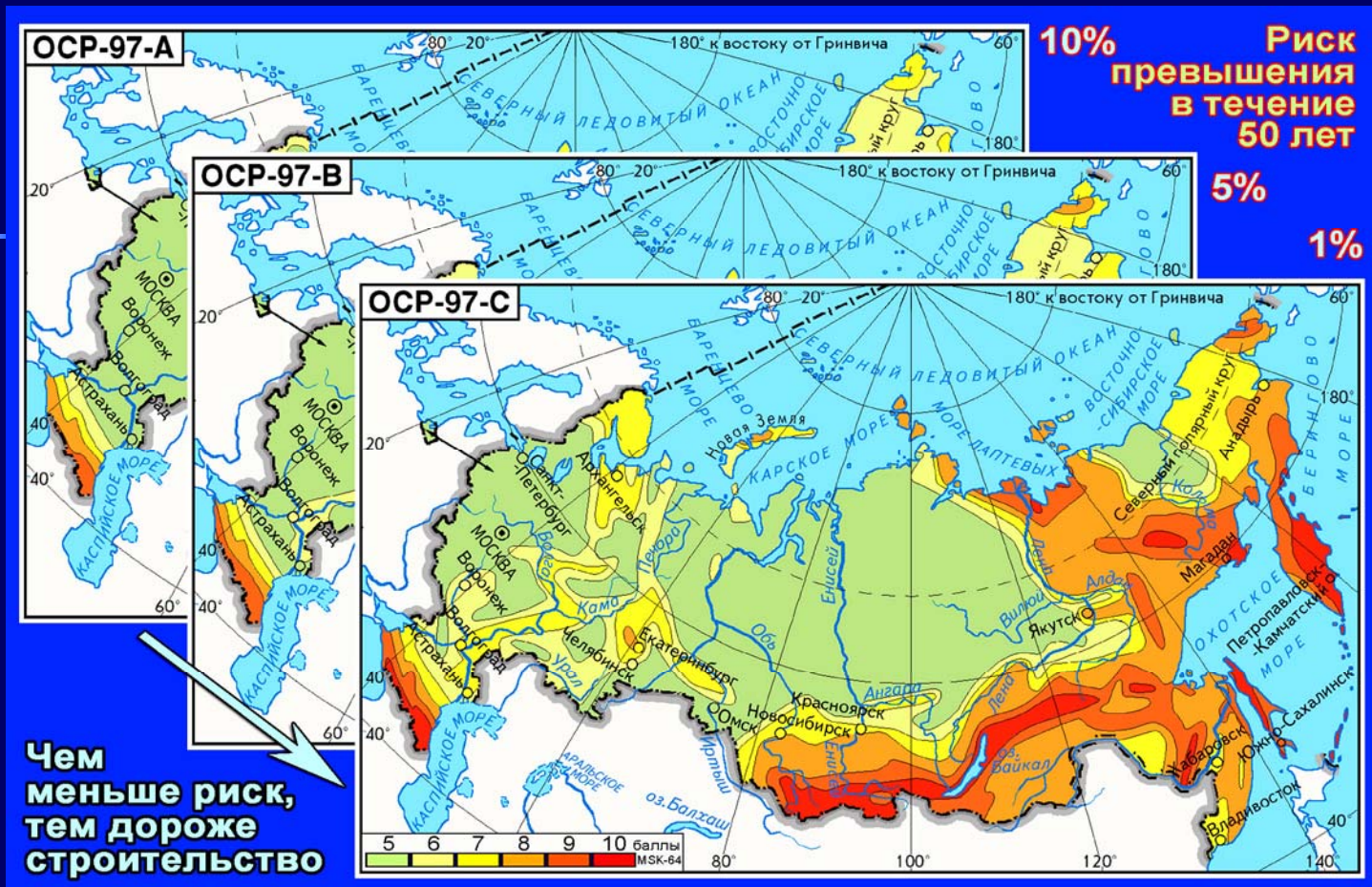
В МОСКВЕ

**ЗА ПОСЛЕДНИЕ НЕПОЛНЫЕ 70 ЛЕТ
ТРИЖДЫ ОЩУЩАЛИСЬ
ДОСТАТОЧНО СИЛЬНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ,
ВЫЗВАННЫЕ КРУПНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ
В ВОСТОЧНЫХ КАРПАТАХ
= (зона Вранча, Румыния) =**

1940, 1977, 1986

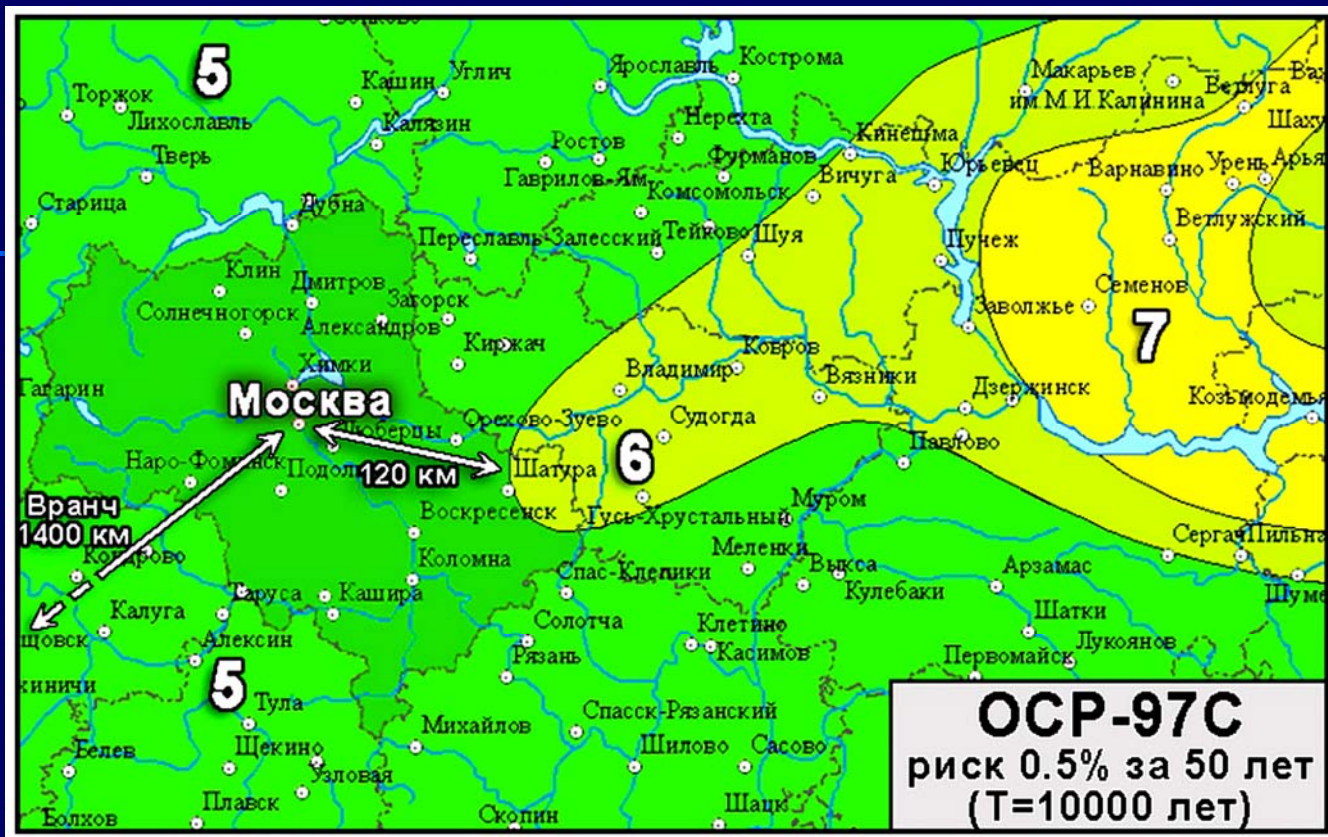
**Заметные сотрясения отмечены
и в 1990 году.**

ОБЩЕЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ – ОСР-97

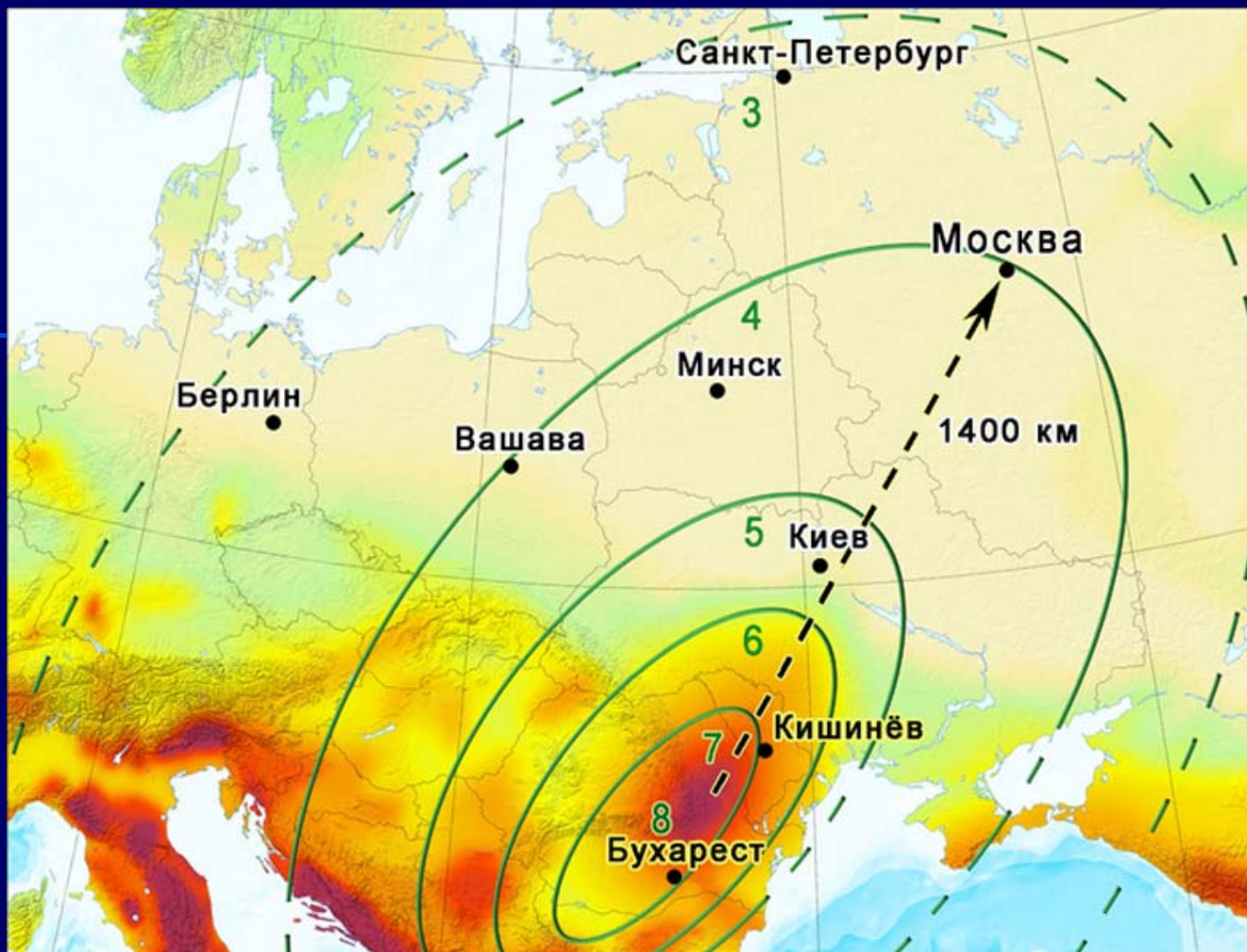


- Согласно нормативным картам ОСР-97, каждая из которых характеризует различную степень сейсмического риска возможного превышения указанного на ней ожидаемого сейсмического эффекта, **Москва расположена в зоне 5-балльной сейсмичности**
- Вероятность превышения этой величины оценивается менее, чем в 1%, в течение каждых 50 лет

Фрагмент карты ОСР-97С для центра Европейской части России

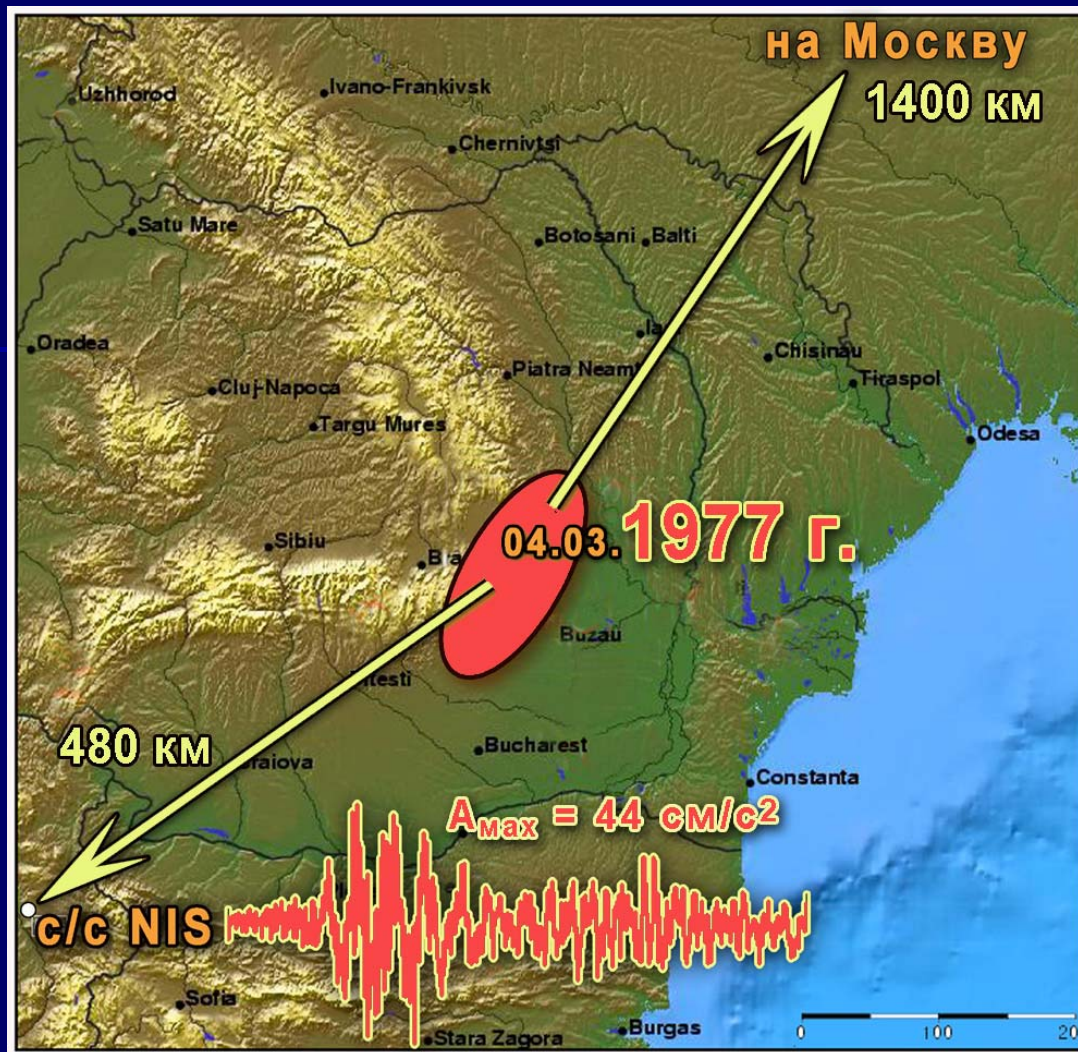


- Согласно нормативным картам ОСР-97, г. Москва расположена в зоне 5 -балльной сейсмичности; 6-балльная зона удалена от города на расстояние около 120 км.
- Сейсмостанция «Москва», действующая в центре города с середины 30-х годов прошлого столетия, не выявила ни одного землетрясения, очаг которого располагался бы в пределах Москвы и ее окрестностей.
- Вместе с тем, определенную угрозу высотным зданиям и сооружениям Москвы представляют низкочастотные колебания, вызываемые сейсмическими волнами от крупных землетрясений, возникающих на расстоянии около 1400 км от города, на глубинах 60–180 км в Восточных Карпатах, на территории Румынии (район Вранча).



Вранчская очаговая зона расположена в Румынии, севернее Бухареста. Вследствие слабого затухания сейсмических волн в северо-восточном направлении и такой же ориентации очаговой области Вранчских землетрясений, возникающих на глубинах 60-180 км, сейсмический эффект на средних грунтах г. Москвы от этих землетрясений может превышать 4 балла (по 12-балльной шкале MSK-64).

Самое первое из известных сильных землетрясений на территории Москвы произошло в 1446 году (в зоне Вранча). Из летописи: Потрясёся град Москва. Кремль и посад и храмы поколебашися».



Одна из первых цифровых записей ускорений колебаний грунта при сильном землетрясении 4 марта 1977 г., ощущавшемся в Москве, была получена на сейсмической станции NIS в Сербии, на удалении 480 км от эпицентра. (Акселерограмма приведена в нижней части карты, рядом с городом Ниш).

Позже эта акселерограмма была в нашей стране искажена и представлена как якобы записанная на расстоянии 1400 км.



Федеральное государственное унитарное предприятие
"Научно-исследовательский центр "Строительство"

ФГУП "НИЦ "Строительство"

ВРЕМЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по назначению нагрузок
и воздействий, действующих
на многофункциональные
высотные здания
и комплексы в Москве

МДС 20-1.2006

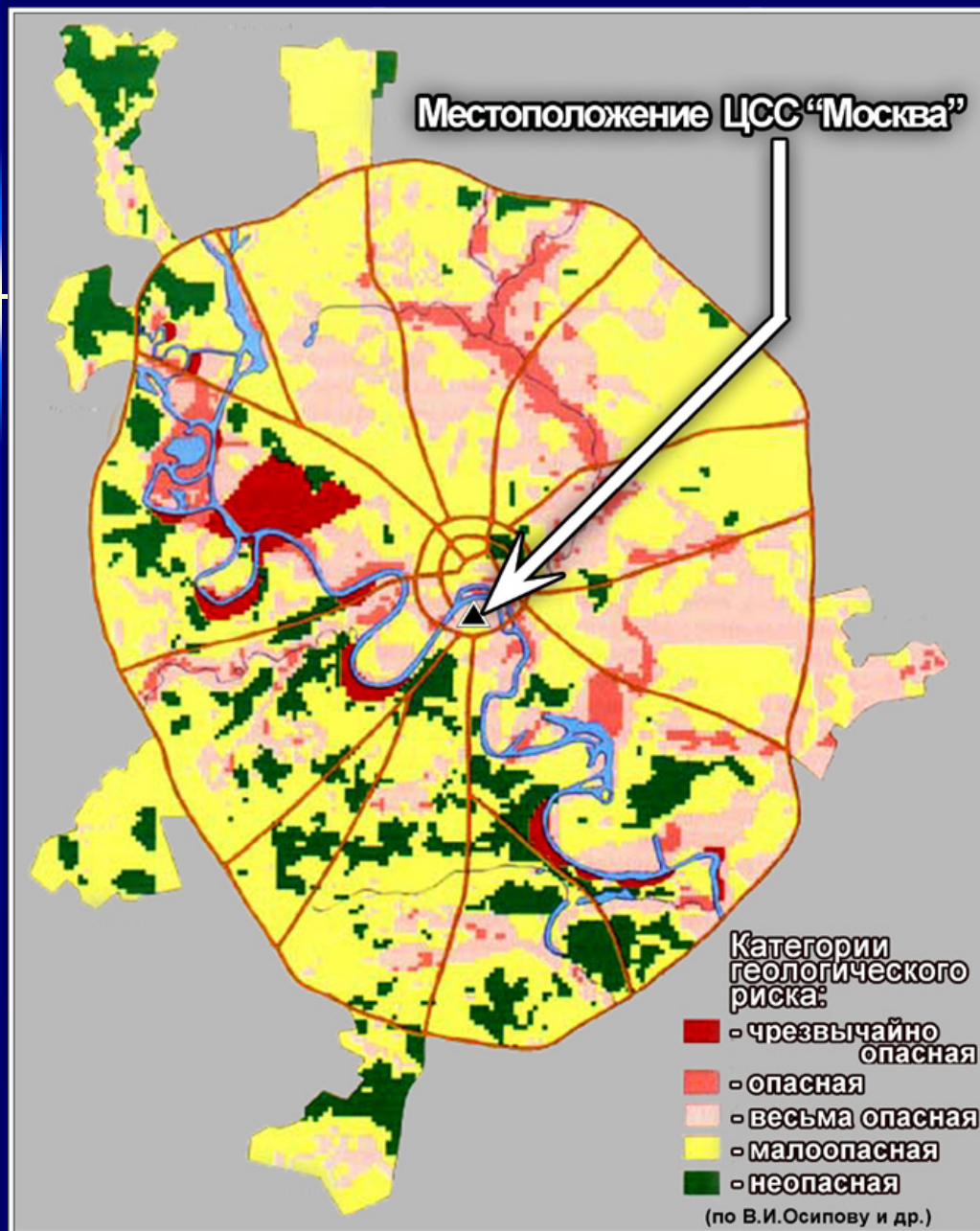
Москва
2006



Рис. 5.2.1. Акселерограммы землетрясения 4 марта 1977 г. в г. Москве

а - компонента *x*; *б* – компонента *z*

В некорректной форме эта акселерограмма была помещена во Временные рекомендации по расчёту сейсмических воздействий на высотные здания г. Москвы. Некорректность состояла в искусственном увеличении масштаба времени по оси абсцисс в 2 раза, а по оси ординат в замене размерности в метрах/сек² на см/сек² (т.е. в 100 раз).



В основу наших исследований положены трёхкомпонентные записи Вранчских землетрясений, зарегистрированные Центральной сейсмической станцией «Москва», расположенной в центре города (Пыжевский пер., 3).

Одновременно анализировались аналогичные цифровые записи центральной сейсмостанции Геофизической службы РАН в г.Обнинске, а также зарубежных станций, в том числе расположенных вблизи Вранчской очаговой области.

В таблице приведены сведения о некоторых сильных и умеренных землетрясениях в зоне Вранча.

Сила в Москве	Дата землетрясения	Глубина гипоцентра, Км	Моментная магнитуда, <i>M_w</i>	Запись
ощу- ти- мые	1802 / 23 октября	>160	>7.7	а н а л о г о в а я
	1940 / 10 ноября	160	7.7	
	1977 / 4 марта	100	7.4	
	1986 / 30 августа	130	7.1	
	1990 / 30 мая	90	6.9	
	1990 / 31 мая	90	6.1	
не ощу- ти- мые	1999 / 28 апреля	150	5.4	ц и ф р о в а я
	2001 / 24 мая	140	5.2	
	2001 / 20 июня	130	5.2	
	2002 / 30 ноября	160	5.1	
	2004 / 27 сентября	145	5.2	
	2004 / 27 октября	96	5.9	
	2005 / 14 мая	149	5.2	
	2005 / 13 декабря	144	5.2	



Записи 1977 и 1986 гг. оцифрованы вручную, остальные - цифровые. Наиболее сильному землетрясению, зарегистрированному в цифровой форме сейсмостанцией «Москва», уделено особое внимание.

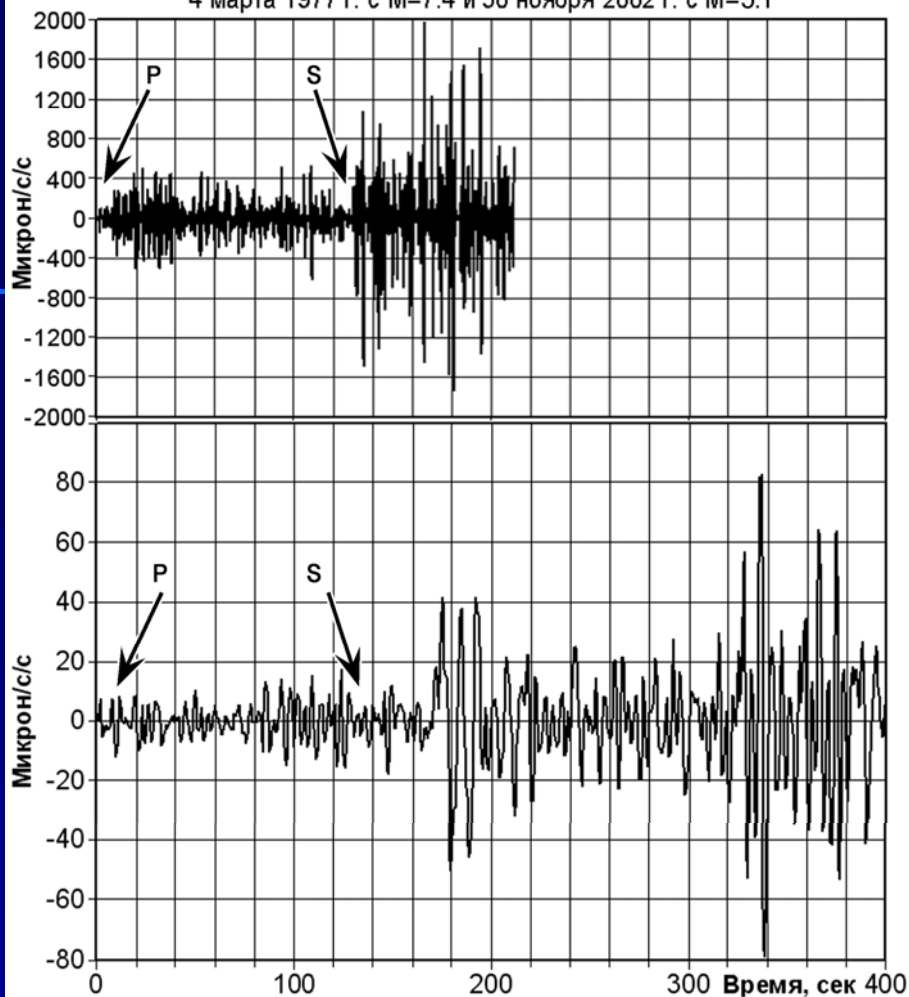
Цель исследований:

Экстраполяция акселерограмм слабых и умеренных записей Вранчских землетрясений на территории Москвы к их экстремальным значениям при магнитуде $M_w = 8.0$ (аналог события 1802 г.)

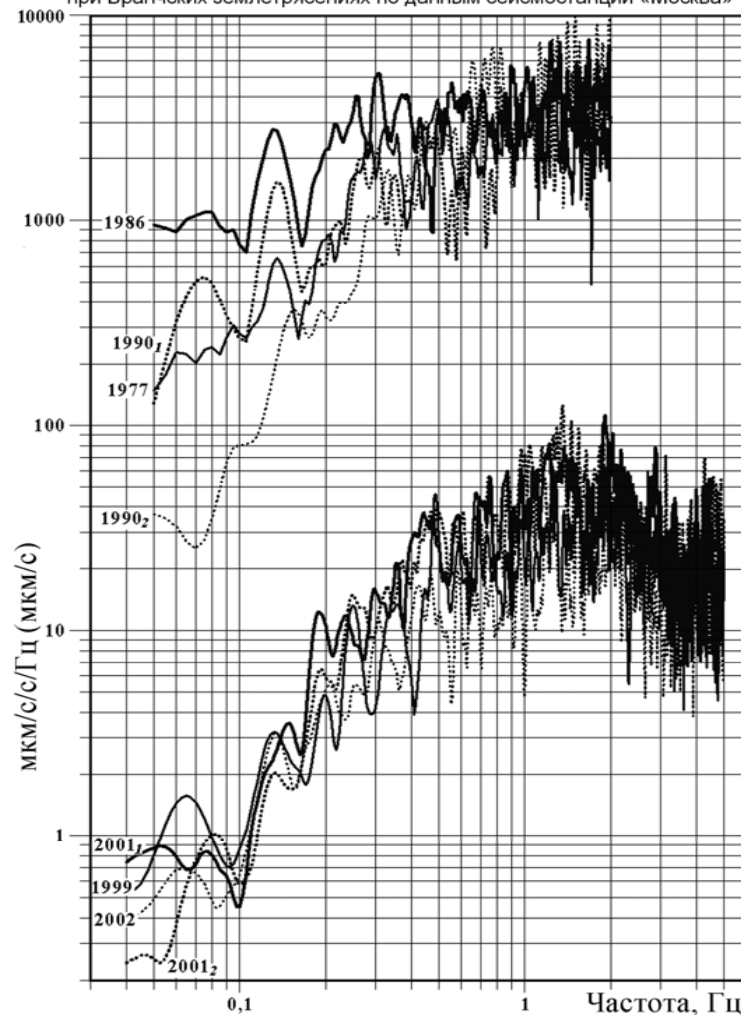
Содержание работ:

- Обработка трёхкомпонентных цифровых записей 9-ти событий с $M_w > 5.0$, зарегистрированных станцией «Москва» с 1999 по 2005 г., и записей 12-ти событий, зарегистрированных станцией «Обнинск» с 1992 по 2005 г.
- Построение для каждой компоненты записей спектров Фурье и спектров реакции. Оценка магнитудной зависимости спектров и их экстраполяция к уровням магнитуды $M_w = 7.7$ и $M_w = 8.0$ (сценарные землетрясения).
- Постановка задач для дальнейших исследований по оценке сейсмической опасности и сейсмических воздействий на высотные здания и сооружения г. Москвы.

Акселерограммы вертикальных составляющих
записей сейсмостанцией «Москва» Вранчских землетрясений
4 марта 1977 г. с $M=7.4$ и 30 ноября 2002 г. с $M=5.1$

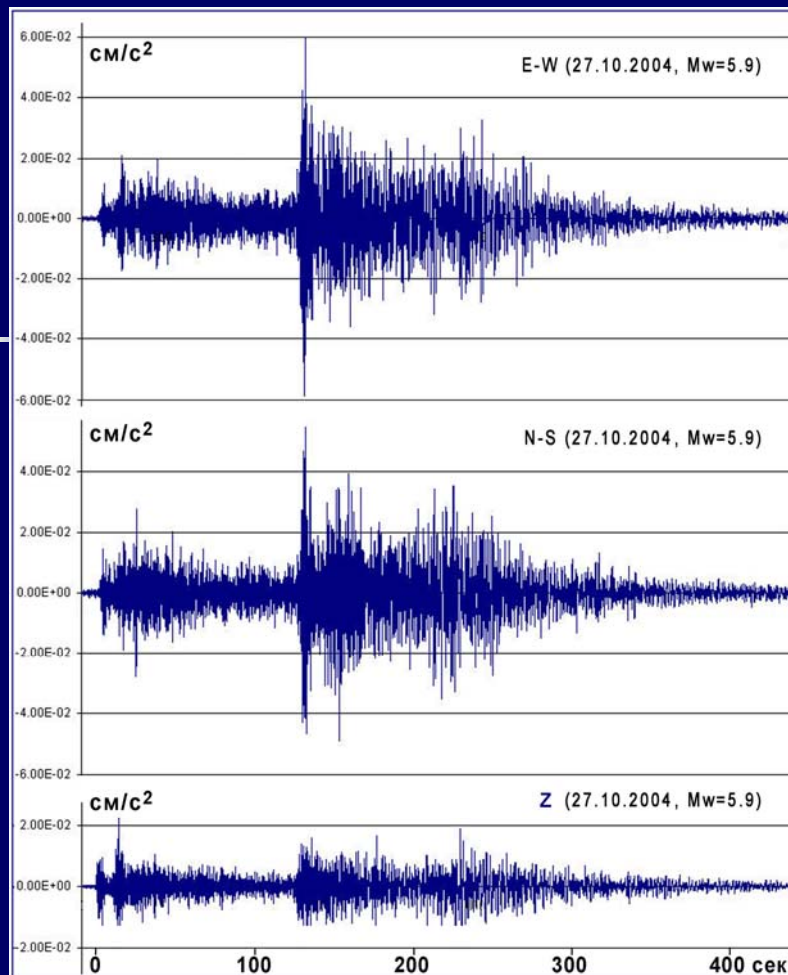


Спектральная плотность ускорений движений грунта
на территории г. Москвы (вертикальная компонента S-волн)
при Вранчских землетрясениях по данным сейсмостанции «Москва»

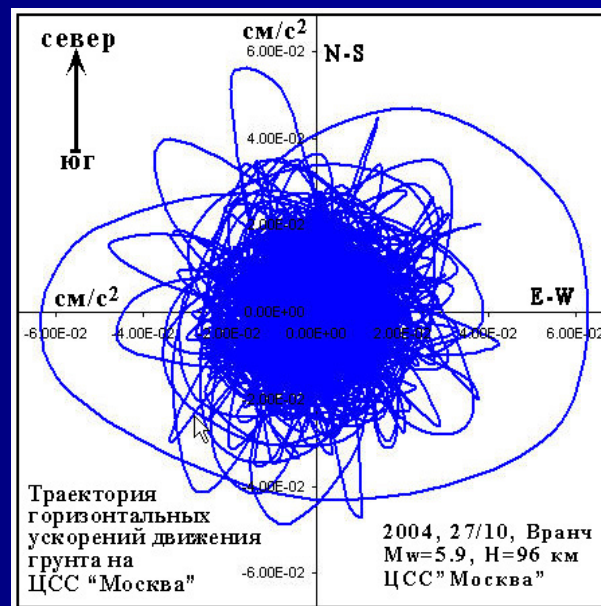
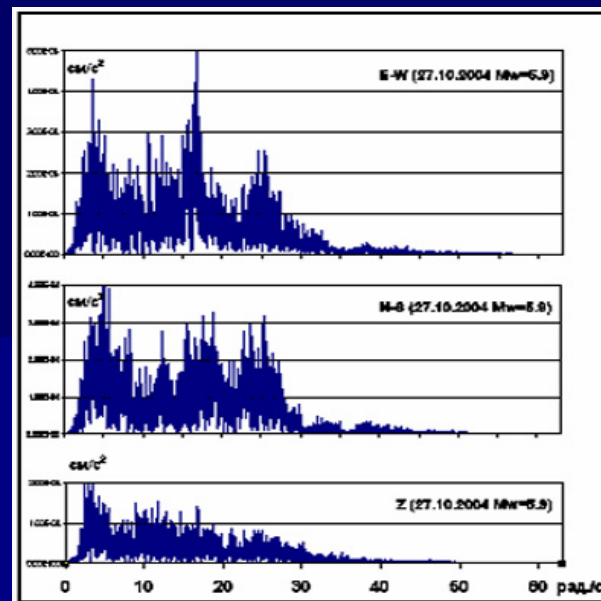


СЛЕВА: Оцифрованная начальная часть вертикальной компоненты аналоговой записи на ЦСС «Москва» Вранчского землетрясения 4 марта 1977 г. Остальная часть - зашкалена. Внизу для сравнения – фрагмент записи менее сильного землетрясения 2002 г. с $M=5.1$. Видны утерянные максимальные ускорения.

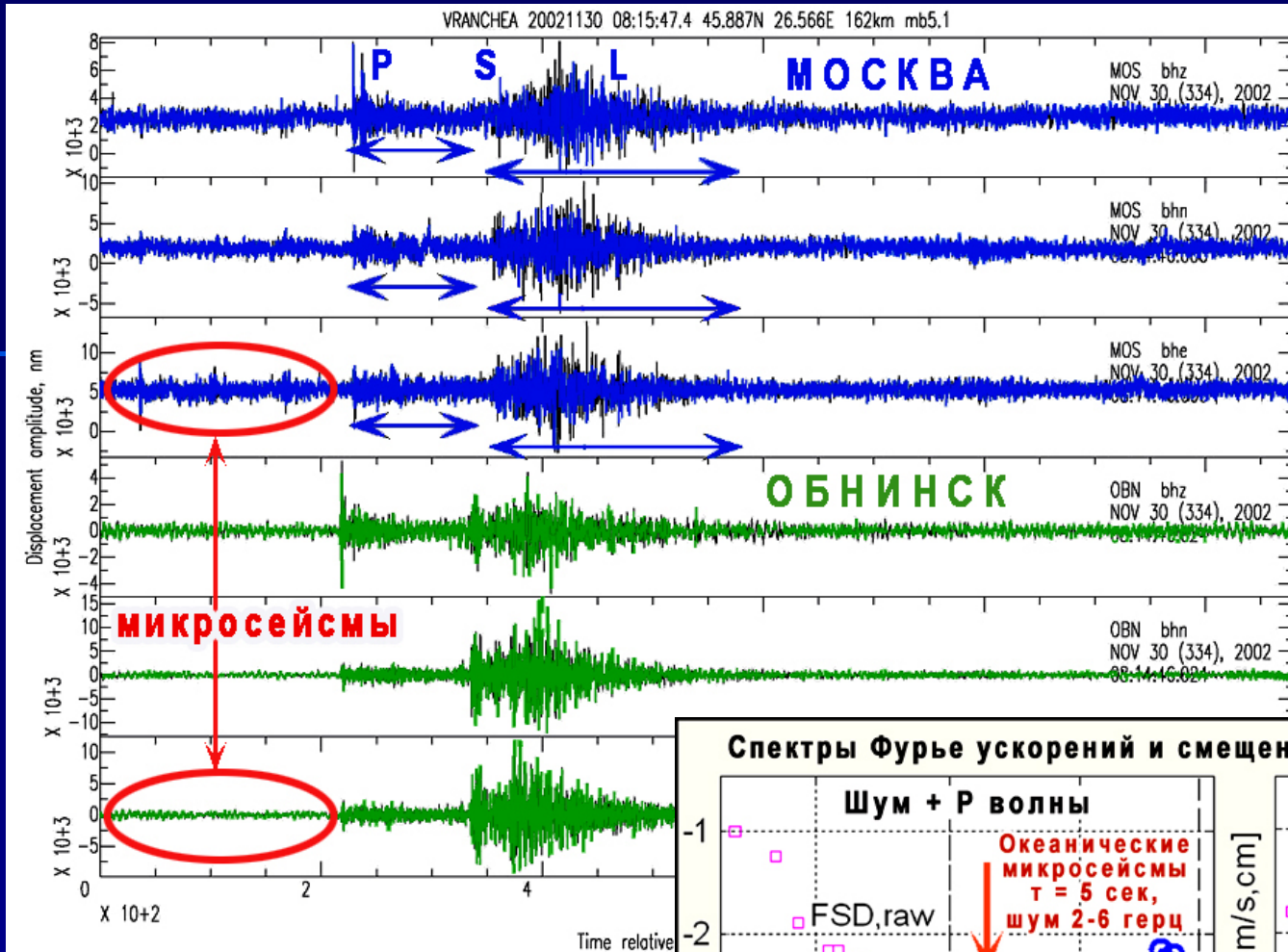
СПРАВА: Сравнение спектральной плотности ускорений сильных и слабых Вранчских землетрясений, зарегистрированных ЦСС «Москва», послужившее основанием для набора статистики по слабым событиям.



Трехкомпонентная акселерограмма движения грунта в Москве при Вранчском землетрясении 27 октября 2004 г. ($M_w=5.9$) и соответствующие ей спектры Фурье.



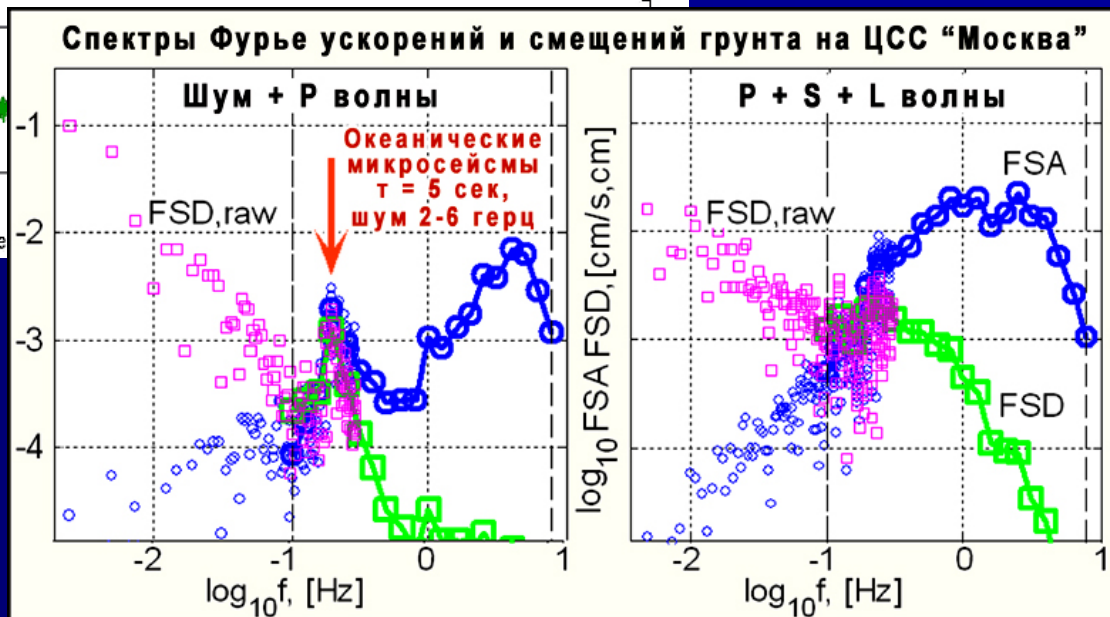
Траектория горизонтальных движений грунта.



Вверху: Примеры трёхкомпонентной записи в Москве (синий цвет) и в Обнинске Вранчского землетрясения 30 ноября 2002 г. с $M=5.1$. Виден высокий фон техногенных сейсмических помех на территории г. Москвы и низкий шум - в Обнинске (зелёные).

Внизу:
Спектральный анализ записей в г. Москве одного из Вранчских землетрясений.

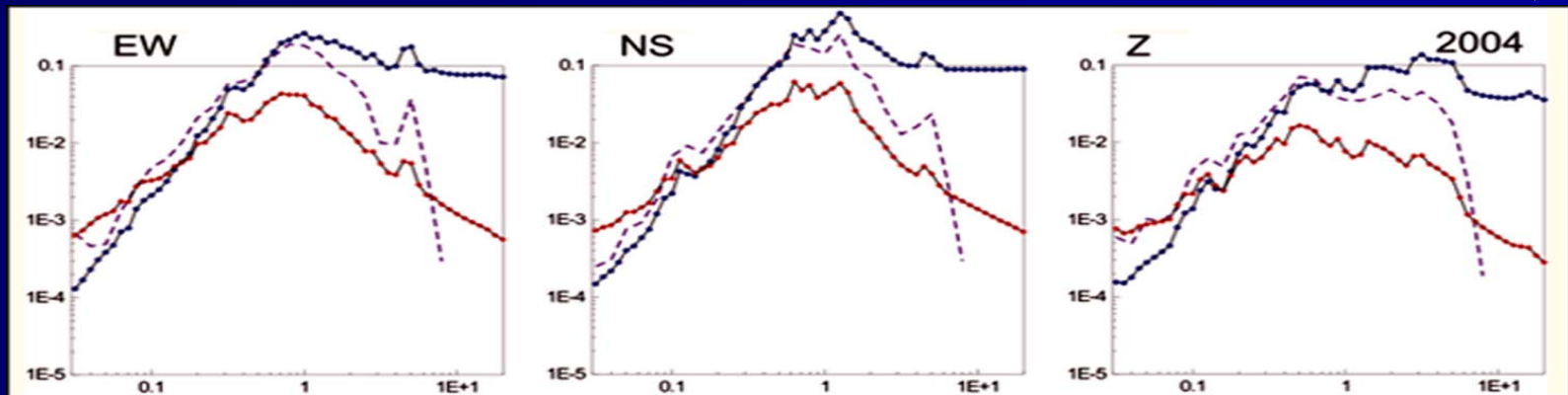
На фоне техногенного шума (слева) отчетливо видны океанические микросейсмы с периодом колебаний около 5 секунд, которые также могут использоваться для сейсмического микрорайонирования территории г. Москвы.

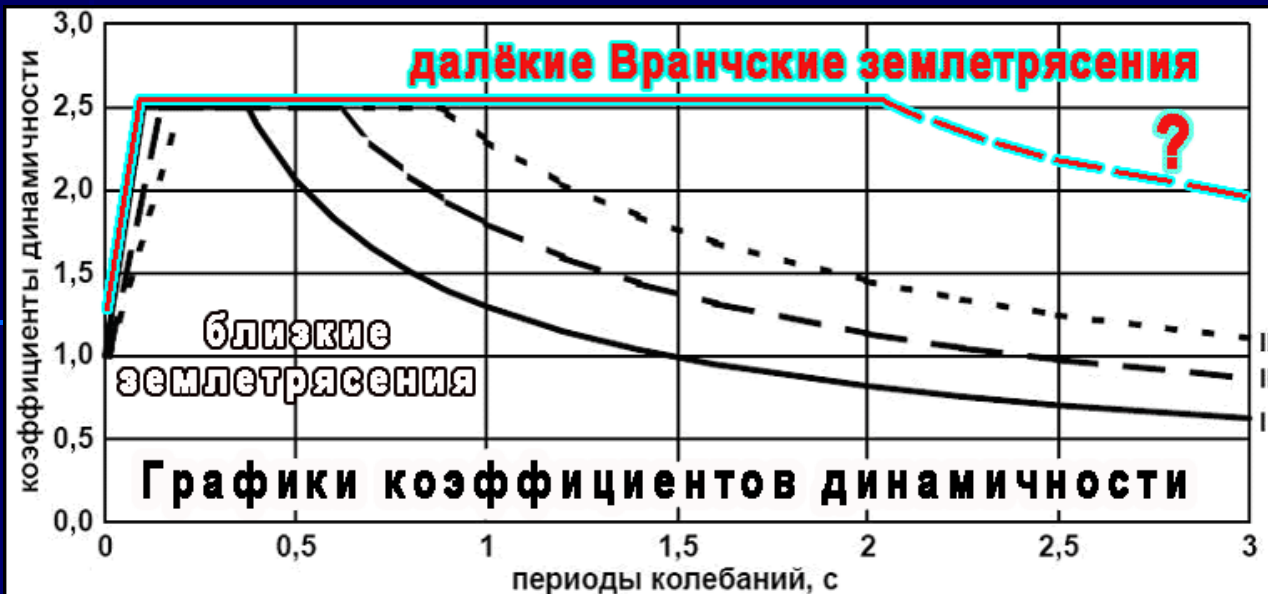


Характеристика сейсмического эффекта на территории Москвы от Вранчских землетрясений с магнитудой $M = 5.0 - 8.0$.

Моментная магнитуда M_w	Ускорения на эталонном грунте в Москве (см/с/с)	Сейсмический эффект в Москве на грунте (баллы)	Сейсмическое воздействие в Москве на этажах (баллы)	Средняя повторяемость один раз за период (годы)	Примеры Вранчских земле- трясений (годы)
5	-	неощутимо	неощутимо	1 и менее	много
5.5	-	-	-	3 – 5	много
6	-	-	2 – 3	5 – 10	2004
6.5	0.05 – 0.10	1 – 2	4 – 5	15 – 20	1990
7	0.1 – 0.15	2 – 3	4 – 6	30 – 50	1986
7.5	0.15 – 0.20	3 – 4	6 – 7	50 – 100	1977
8	0.20 и >	4 – 5	7 – 8	200 – 300	1802

Спектры Фурье и спектры реакции от Вранчского землетрясения 2004 г.

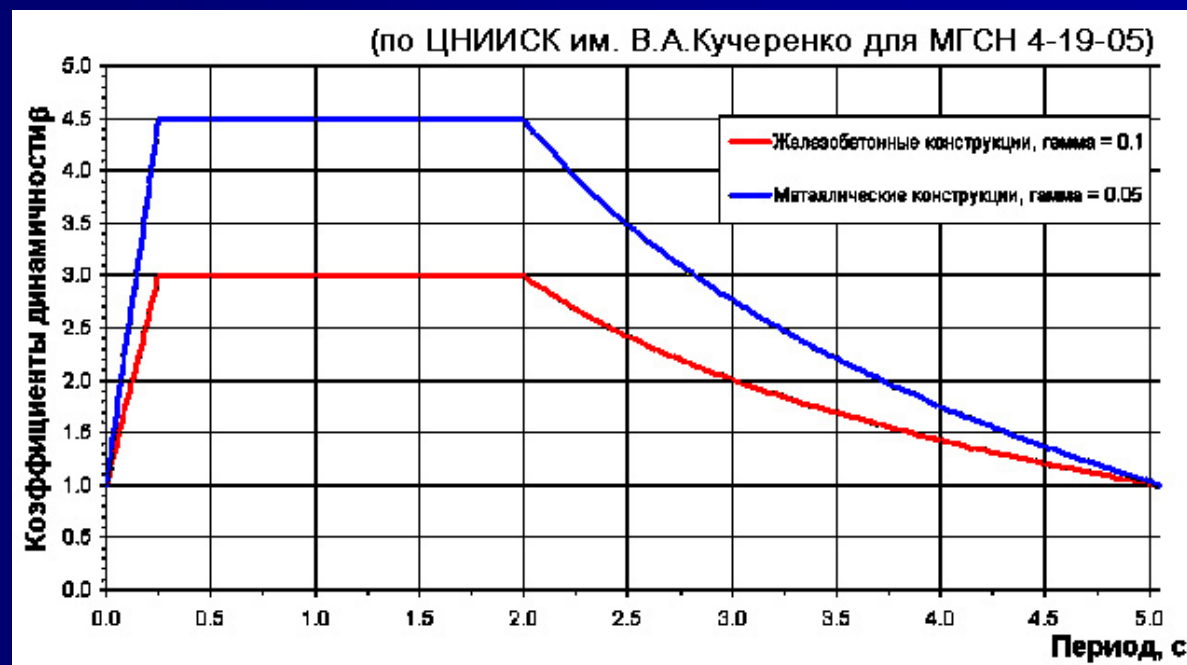




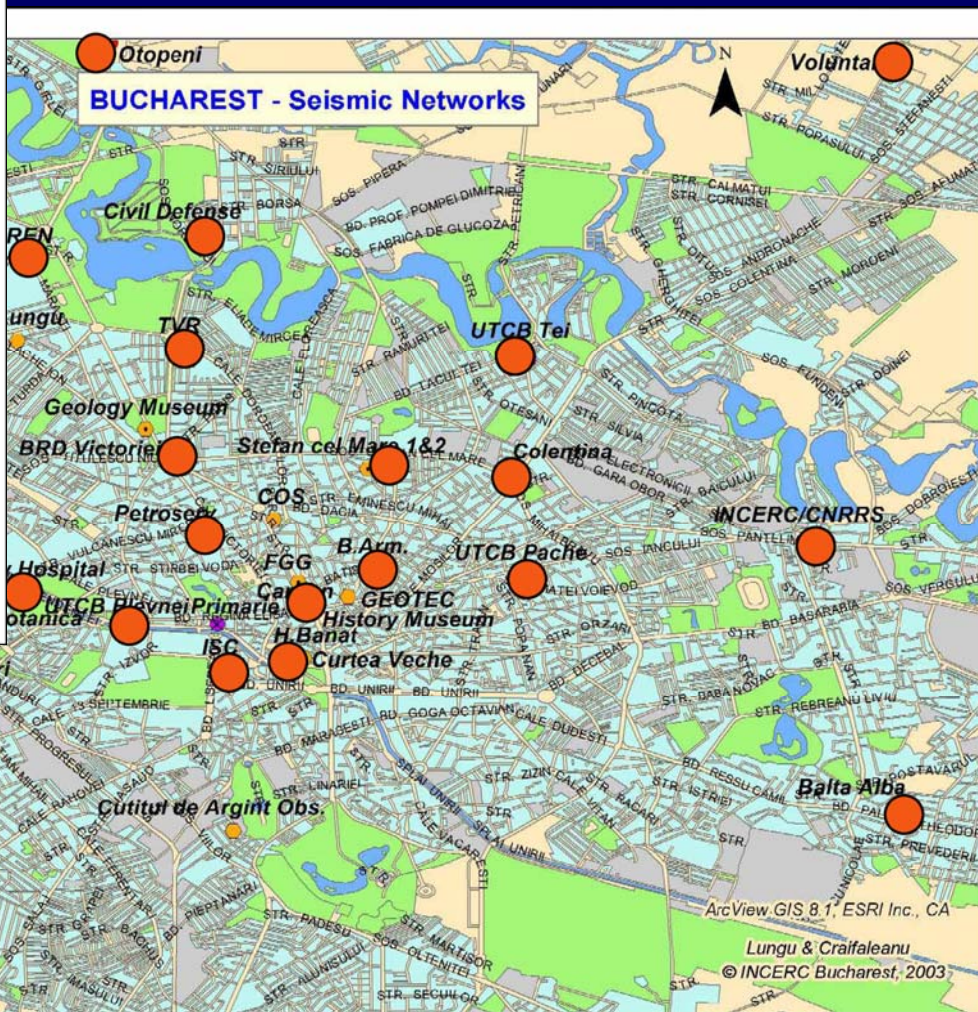
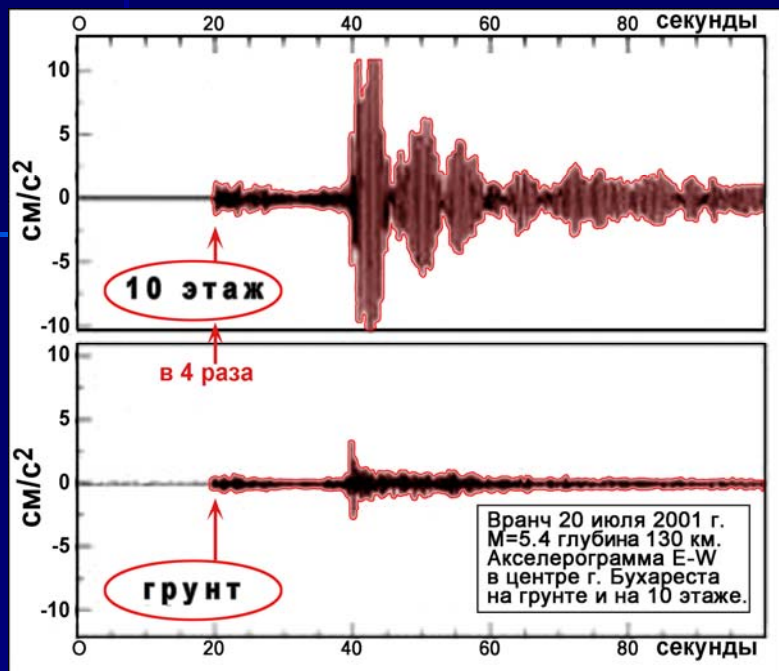
Слева: Стандартные графики коэффициентов динамичности для г. Москвы при близких землетрясениях и одна из версий графика при далёких землетрясениях.

Справа: Одна из версий графиков коэффициентов динамичности на эталонном грунте г. Москвы при Вранчских землетрясениях.

(Железобетонные конструкции. По данным ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко.)



Сейсмический мониторинг в Бухаресте



Акселерограммы Вранчского землетрясения 20 июля 2001 г. с M=5.2 и гипоцентром на глубине 130 км, зарегистрированные на грунте (внизу) и на 10-м этаже (вверху) в центре г. Бухареста.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Согласно картам ОСР-97, территория г. Москвы относится к 5-балльной зоне. Однако на нетвердых грунтах и на верхних этажах высотных зданий сейсмический эффект может возрасти на 1 – 2 балла.
- Наибольшую опасность для высотных зданий в г. Москве представляют низкочастотные колебания (периоды от 1 до 10 секунд и выше) от заглубленных очагов сильных землетрясений в Восточных Карпатах (зона Вранча), удаленных от г. Москвы на расстояние около 1400 км.
- Первостепенным является сейсмическое микрорайонирование (СМР) площадей предполагаемого строительства в г. Москве высотных зданий и территории города в целом. При выполнении СМР в качестве эталонных грунтов следует принимать грунтовые условия места расположения сейсмостанции «Москва» (Пыжевский пер., 3), для которых выполнен расчёт сейсмических воздействий от Вранчских землетрясений.
- Для адекватной оценки сейсмических воздействий на высотные здания и сооружения необходим систематический инструментальный мониторинг на разных грунтах и на различных высотных уровнях. Наряду с регистрацией землетрясений и определения их основных характеристик, для оценки сейсмических воздействий необходима реализация и других методов СМР, включая регистрацию низкочастотных микросейсм Земли, измерение медленных наклонов земной поверхности и сооружений.
- Результаты выполненных сейсмологических исследований свидетельствует о необходимости уточнения строительных норм - СНиП П-7-81*, в части оценки низкочастотных сейсмических воздействий интенсивностью 6 баллов и менее, а также корректировки норм и правил проектирования высотных зданий в г.Москве – МГСН.