

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ВОСТОЧНО-КАРПАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ

Уловов В.И., д-р физ.-мат. наук, проф. геофизики,
(Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН)

Введение

В 1991-1997 гг. при создании карт общего сейсмического районирования Российской Федерации (ОСР-97) нами для каждой площадки размером 25 x 25 км рассчитывался прогнозируемый сейсмический эффект не только от близких, но и от удаленных очагов землетрясений [1]. Такие расчеты, естественно, были выполнены и для Восточно-Европейской платформы (ВЕП), в центре которой расположен город Москва. Особое внимание уделялось крупным землетрясениям с заглубленными очагами в Восточных Карпатах (зона Вранча, Румыния), неоднократно ощущавшихся на территории ВЕП и в г. Москве (рис.1).

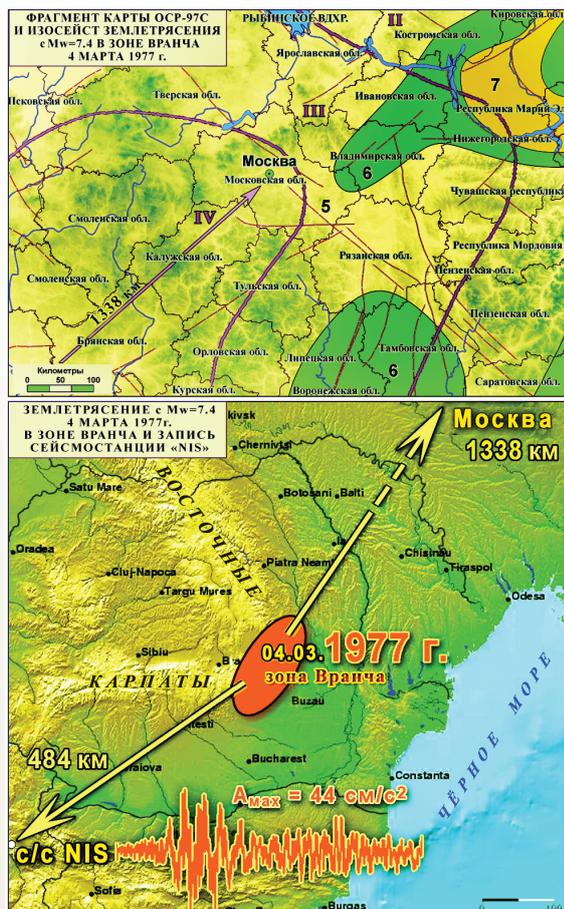


Рис.1. Сейсмический эффект (римские цифры) на территории Русской равнины землетрясения 4 марта 1977 года с $M_w=7.4$ в зоне Вранча. Приведен фрагмент карты ОСР-97С (вверху). Внизу показаны местоположение очага этого землетрясения в зоне Вранча и акселерограмма, полученная на сейсмостанции NIS в Сербии.

В 2002-2003 гг. в связи с начавшимся в г. Москве высотным строительством наши исследования были возобновлены, а в 2007-2008 гг. продолжены с целью подготовки нормативных документов. Ожидалось, что продолжительные низкочастотные колебания, даже едва различимые на земной поверхности, а также резонансные явления в грунте и зданиях, могут существенно повлиять на реакцию высоких строительных объектов [2-4].

Следует заметить, что до наших работ 2007-2008 гг. все оценки сейсмических воздействий на строительные объекты на территории европейской части страны базировались на некорректном использовании акселерограммы Вранчского землетрясения 4 марта 1977 года, полученной сейсмической станцией «NIS» (Сербия), расположенной в 484 км к юго-западу от эпицентра. Эта оригинальная цифровая акселерограмма, неправомерно экстраполированная российскими гидротехниками до расстояний около 1400 км, впоследствии стала использоваться при расчете на сейсмические воздействия даже таких чрезвычайно ответственных сооружений, какими являются атомные станции. По недоразумению, в таком же искаженном виде акселерограмма вошла и в первый нормативный документ для высотного строительства в г. Москве [5].

На рис.2 отчетливо видна одна и та же конфигурация записи оригинала акселерограммы сейсмостанции «NIS» и её копии, якобы полученной на территории г. Москвы.

При «перенормировке» реальной акселерограммы номиналы по оси ординат были сохранены авторами этой «модификации» в прежнем виде, хотя эпицентральное

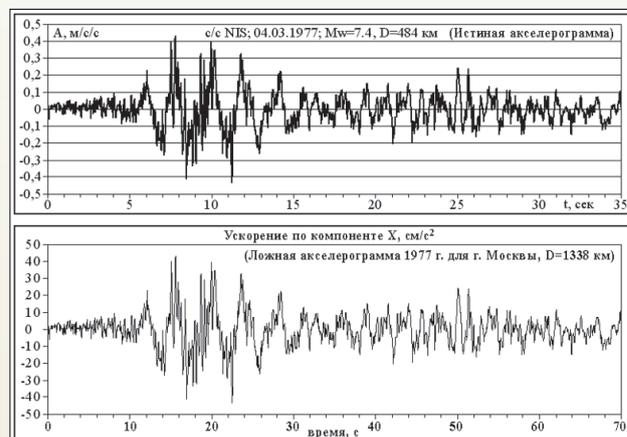


Рис.2. Горизонтальная составляющая оригинальной (вверху) и «модифицированной» акселерограммы землетрясения 4 марта 1977 года с $M_w=7.4$ в зоне Вранча. Пояснения в тексте.

расстояние до г. Москвы превышало почти в три раза расстояние от эпицентра сейсмостанции «NIS». Масштаб же по оси абсцисс произвольно был увеличен в два раза. В результате при Вранчском землетрясении с $M_w=7.4$ для территории г. Москвы были приписаны пиковые ускорения перемещений грунта (PGA) с амплитудой около 40 см/с^2 , что по шкале MSK-64 соответствует почти 6 баллам. Как будет показано ниже, величина ускорений, полученная нами, оказалась в 20 раз меньше даже при максимальном возможном землетрясении в зоне Вранча с магнитудой $M_w=8.0$.

Об отсутствии элементарных сейсмологических знаний у авторов «перенормировки» свидетельствует и то, что ими не были учтены существенные изменения формы записи, возникающие с удалением от эпицентра и отражённые в соответствующих годографах разных типов волн.

Макросейсмические проявления на территории г. Москвы

Восточно-Европейская платформа (ВЕП), в центре которой расположена Москва, характеризуется относительно слабой сейсмичностью и очень редко возникающими здесь местными землетрясениями с интенсивностью в эпицентре до 6-7 баллов. Такие явления известны, например, в районе городов Альметьевск (землетрясения в 1914 и 1986 гг.), Елабуга (1851 и 1989 гг.), Вятка (1897 г.), Сыктывкар (1939 г.), Верхний Устюг (1829 г.), Калининград (2004 г.) и др. Аналогичные по силе землетрясения возникают на Среднем Урале, в Предуралье, Приазовье, Поволжье, в районе Воронежского массива, на Кольском полуострове (Кандалакша, 1626 г.).

Наряду с этими сейсмическими явлениями на территории европейской части страны наблюдаются колебания

от сильных землетрясений, происходящих в сопредельных сейсмоактивных регионах. На северо-западе ощущаются землетрясения Скандинавии (Норвегия, 1817 г.), на юге — сильные землетрясения Прикаспийского бассейна (Туркменистан, 1895 и 2000 гг.), Кавказа (Спитак, Армения, 1988 г.), Крыма (Ялта, 1927 г.).

Наиболее заметные сейсмические проявления на территории г. Москвы и её окрестностей связаны с крупными землетрясениями в очаговой зоне Вранча в Восточных Карпатах (рис.1). Только за последние неполные 70 лет в столице трижды наблюдались достаточно ощутимые сейсмические колебания при землетрясениях в этой зоне в 1940, 1977 и 1986 гг. с моментными магнитудами M_w , равными 7.7; 7.4 и 7.1. Заметные колебания на верхних этажах зданий наблюдались также в 1990 г. при Вранчском землетрясении с $M_w=6.9$. Не осталось бы незамеченным москвичами и землетрясение 2004 г. с магнитудой $M_w=5.9$, будь оно чуть помощнее. Вместе с тем, именно его сейсмограммы, записанные в 2004 г. в цифровом виде Центральной сейсмической станцией (ЦСС) «Москва», оказались наиболее информативными и были использованы нами при расчетах максимального возможного сейсмического эффекта на территории г. Москвы.

Район Вранча, расположенный в Румынии на юго-восточном изгибе горных сооружений Карпат, является одной из наиболее активных сейсмических областей Европы. Очаговая область представляет собой почти вертикальный блок литосферы, погружающийся на глубину до 180 км и более. Очаги расположены очень компактно, занимая в плане площадь размером $30 \times 60 \text{ км}^2$. Самые крупные из них расположены на глубине в интервале 80-160 км.

Механизмы очагов землетрясений 1977, 1986 и 1990 гг., определенные разными методами, хорошо согласуются между собой [6]. Обе возможные плоскости разрыва имеют северо-восточное простирание. В хорошем соответствии с этим находится и вытянутость изосейст в сторону г. Москвы (рис.3). Большие размеры площадей сейсмических сотрясений объясняются заглубленным залеганием очагов этих землетрясений.

Оценка сейсмической опасности на основе карт ОСП-97

Согласно нормативным картам ОСП-97, интенсивность максимальных возможных сейсмических сотрясений на средних грунтах (грунты 2-й категории по СНиП II-7-81*, [7]) территории г. Москвы соответствует 5-баллам макросейсмической шкалы MSK-64 с вероятностью 99% не превышения такого сейсмического эффекта в течение 50-летних интервалов времени [1, 8]. Как видно на фрагменте карты ОСП-97С (рис.1), характеризующей среднюю повторяемость сейсмического эффекта в любом географическом пункте один раз за 5000 лет, ближайшая к Москве 6-балльная зона удалена от центра города на расстояние около 120 км и частично захватывает лишь восточную часть Московской области.

В табл.1 приведены расчеты для различных интервалов времени повторяемости сейсмического эффекта на территории г. Москвы в соответствии с двумя принятыми параметрами добротности Q_1 и Q_2 геологической среды. При этом величина Q_1 , соответствующая преимущественно внутрикоревой сейсмичности, в ОСП-97 использовалась

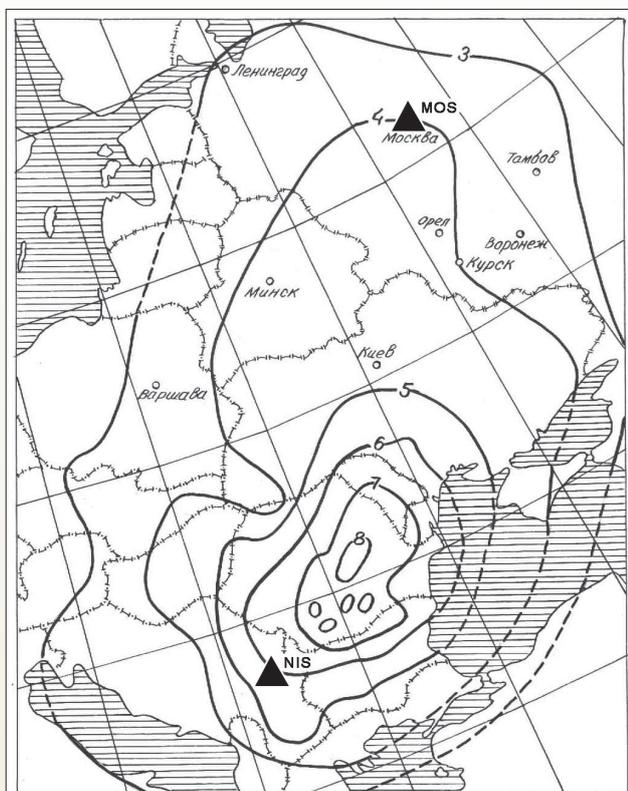


Рис.3. Изосейсты землетрясения 4 марта 1977 года по данным [6]. Цифрами помечена сейсмическая интенсивность (баллы MSK-64). Треугольниками показано местоположение сейсмических станций «Ниш» и «Москва».

Таблица 1.

Оценка сейсмического эффекта на территории г. Москвы для различных интервалов времени повторяемости сотрясений и добротности среды

Период повторяемости T, годы	Тип карты	Интенсивность I (баллы) при разной добротности Q геологической среды	
		Q ₁	Q ₂
100	-	< 3	3.2
250	-	< 3	3.6
500	ОСР-97А	< 3	3.8
1000	ОСР-97В	< 3	4.2
2500	-	3.4	4.4
5000	ОСР-97С	4.1	4.6
10000	ОСР-97D	4.6	5.0

практически для всей территории Северной Евразии, а величина Q₂ была специально введена для расчета затухания сейсмического эффекта вдоль трассы от очагов зоны Вранча до ВЕП, в том числе и до г. Москвы. Основанием для введения повышенной добротности Q₂ послужила вытянутость наблюдаемых изосейст в северо-восточном направлении и сейсмический эффект на территории г. Москвы.

Как видно из таблицы, даже для самого длительного интервала времени T=10000 лет (карта ОСР-97D) сейсмический эффект не должен превысить 5 баллов на грунтах 2-й категории г. Москвы.

Наряду с вероятностными оценками сейсмической опасности, нами выполнены также детерминистские расчеты уровня сейсмических воздействий на территории г. Москвы на основе сценарных очагов землетрясений в зоне Вранча с магнитудами 7.0, 7.5 и 8.0, представленных в виде площадок соответствующих размеров и единой ориентации. Расчет осуществлялся по той же методике, что и в ОСР-97. Однако при этом сейсмический эффект рассматривался независимо от каждого конкретного очага и поэтому оценки являлись детерминистскими, т.е. не учитывающими особенностей сейсмического режима зоны Вранча. Полученные величины интенсивности сотрясений относились к средним грунтовым условиям и также не превышали 5 баллов, в том числе и в случае максимального возможного сейсмического события с магнитудой Mw=8.0.

Оценка сейсмических воздействий по инструментальным данным

В 2002-2003 гг. нами были исследованы сейсмограммы ЦСС «Москва» с целью получить представления об интенсивности и спектральном составе сотрясений на территории г. Москвы при наиболее сильных Вранчских землетрясениях 1977, 1986 и 1990 гг. Тогда же впервые был выполнен спектральный анализ и для менее сильных и не ощутимых в Москве сейсмических событий, записи которых в последнее десятилетие были получены в цифровом виде на сейсмических станциях «Москва» и «Обнинск». Идея состояла в выяснении возможностей экстраполяции параметров сейсмических записей слабых землетрясений в сторону наиболее крупных. Такой подход был некоторой модификацией методики, предложенной в работе [9]. Однако в нашем случае акселерограммы не подбирались по некоторой аналогии из различных очаговых зон, а использовались записи из одной и той же четко локализованной очаговой области зоны Вранча. Это подчеркивает качество полученных акселерограмм и достоверность их количественного анализа.

Поскольку на ЦСС «Москва» до 1999 г. регистрация землетрясений осуществлялась лишь в аналоговой форме на фотобумаге, сейсмограммы трёх указанных выше землетрясений были оцифрованы нами вручную. Причем из-за того, что при больших амплитудах даже специально загрубленная аппаратура станции зашкаливала, оказалось возможным оцифровать лишь вертикальную (т. е. не самую интенсивную) составляющую трёхкомпонентной записи. В случае же наиболее сильного Вранчского землетрясения 4 марта 1977 года была оцифрована лишь начальная часть вертикальной составляющей (рис.4). Как будет показано ниже, эта запись оказалась практически непригодной для анализа.

Исследования выполнялись в два хронологических этапа. Первый, как уже сказано, относился к 2002-2003 гг. В нём принимали участие сотрудники Геофизической службы РАН В.Д. Феофилактов и В.Ф. Бабкина, а от ИФЗ — В.И. Уломов (руководитель исследований), И.В. Горбунова, Л.С. Шумилина и Н.С. Медведева.

Второй этап (2007-2008 гг.) в значительной степени был стимулирован самым крупным за последние 17 лет землетрясением в зоне Вранча, случившимся 27 октября 2004 года и имевшим магнитуду Mw=5.9. На ЦСС «Москва» впервые для такого события была получена цифровая запись. На этом этапе в исследованиях приняли участие А.А. Гусев (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН) и О.В. Павленко (ИФЗ РАН). Полученные ими результаты подготовлены в виде отдельной статьи.

В табл.2 приведен перечень исследованных нами землетрясений. События 1977, 1986 и в 1990 гг., как уже сообщалось, ощущавшиеся на территории Москвы, зарегистрированы аналоговой, а менее сильные, произошедшие в 1999-2005 гг., — цифровой аппаратурой.

Поскольку по записанным на фотобумаге сейсмограммам землетрясений 1977, 1986 и 1990 гг. удалось оцифровать лишь одну вертикальную составляющую, в основу

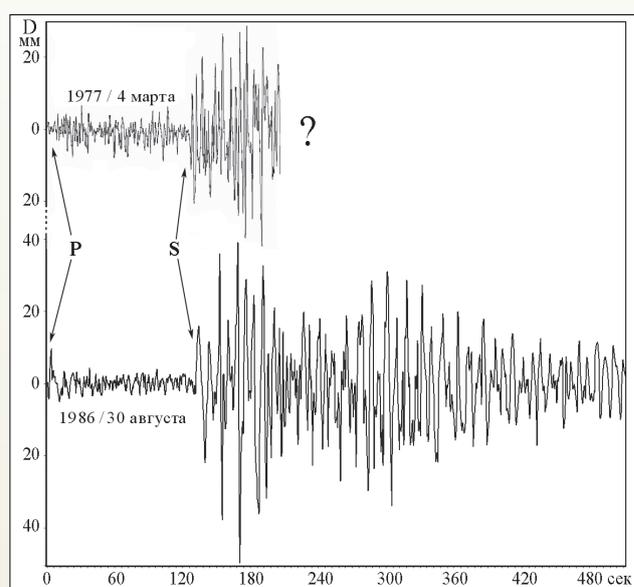


Рис.4. Оцифрованные «вручную» участки вертикальных составляющих аналоговых записей сейсмической станции «Москва» сильных землетрясений из зоны Вранча 4 марта 1977 года с Mw=7.4 и 30 августа 1986 года с Mw=7.1, ощущавшихся на территории г. Москвы.

Таблица 2.

Каталог Вранчских землетрясений, сейсмограммы которых использовались при анализе сейсмической опасности на территории г. Москвы

Дата землетрясения	Моментная магнитуда, M_w
Аналоговые сейсмограммы	
1977/4 марта	7.4
1986/30 августа	7.1
1990/30 мая	6.9
1990/31 мая	6.1
Цифровые сейсмограммы	
1999/28 апреля	5.4
2001/24 мая	5.3
2001/20 июня	5.2
2002/30 ноября	5.1
2004/27 сентября	5.2
2004/27 октября	5.9
2005/14 мая	5.2
2005/18 июня	5.0
2005/13 декабря	5.2

сопоставления сильных и слабых землетрясений была положена эта компонента.

Рис.5 иллюстрирует пример оригинальных трёхкомпонентных записей сейсмостанциями «Москва» и «Обнинск» Вранчского землетрясения 28 апреля 1999 года с $M_w=5.4$. При обработке цифровых сейсмограмм слабых сотрясений нами рассматривались две группы волн — продольных P и объединенных поперечных (S) и поверхностных (L) волн.

Деконволюция наблюдаемых сейсмограмм осуществлялась с учетом параметров и амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) регистрирующей аппаратуры.

На рис.6 приведены графики спектральной плотности ускорений движения грунта, рассчитанные для модуля Фурье-спектра, построенные по вертикальным составляющим трёхкомпонентных записей. Для спектрального анализа в группах P и S+L-волн делались выборки максимально возможной длительности. Для P-волн — от первого вступления до вступления S-волны, а для S+L-волн — от вступления S до конца поверхностных волн, т.е. почти до уровня шума. Длительность таких выборок составила около 120 с для P-волн и около 240 с для S+L-волн. С целью стандартизации представления спектров, выборки дополнялись нулевыми значениями в начале и конце (приблизительно симметрично) до общей длительности 400 с.

Переход от спектров Фурье к спектрам реакции может быть осуществлен при помощи корреляционных зависимостей. В данных исследованиях графики коэффициентов динамичности нами не строились, за исключением одного примера, приведенного ниже (рис.9).

На рис.6 отчетливо видно сходство по конфигурации графиков спектральной плотности для всех рассмотренных сейсмических событий, сильных и слабых, в широком диапазоне магнитуд M_w — от 5.1 до 7.4. Это ещё раз подчеркивает актуальность изучения современных цифровых записей на территории г. Москвы даже при очень слабых, но многочисленных, сейсмических проявлениях Вранчских землетрясений на территории города, и открывают новые возможности для актуализации инженерных решений.

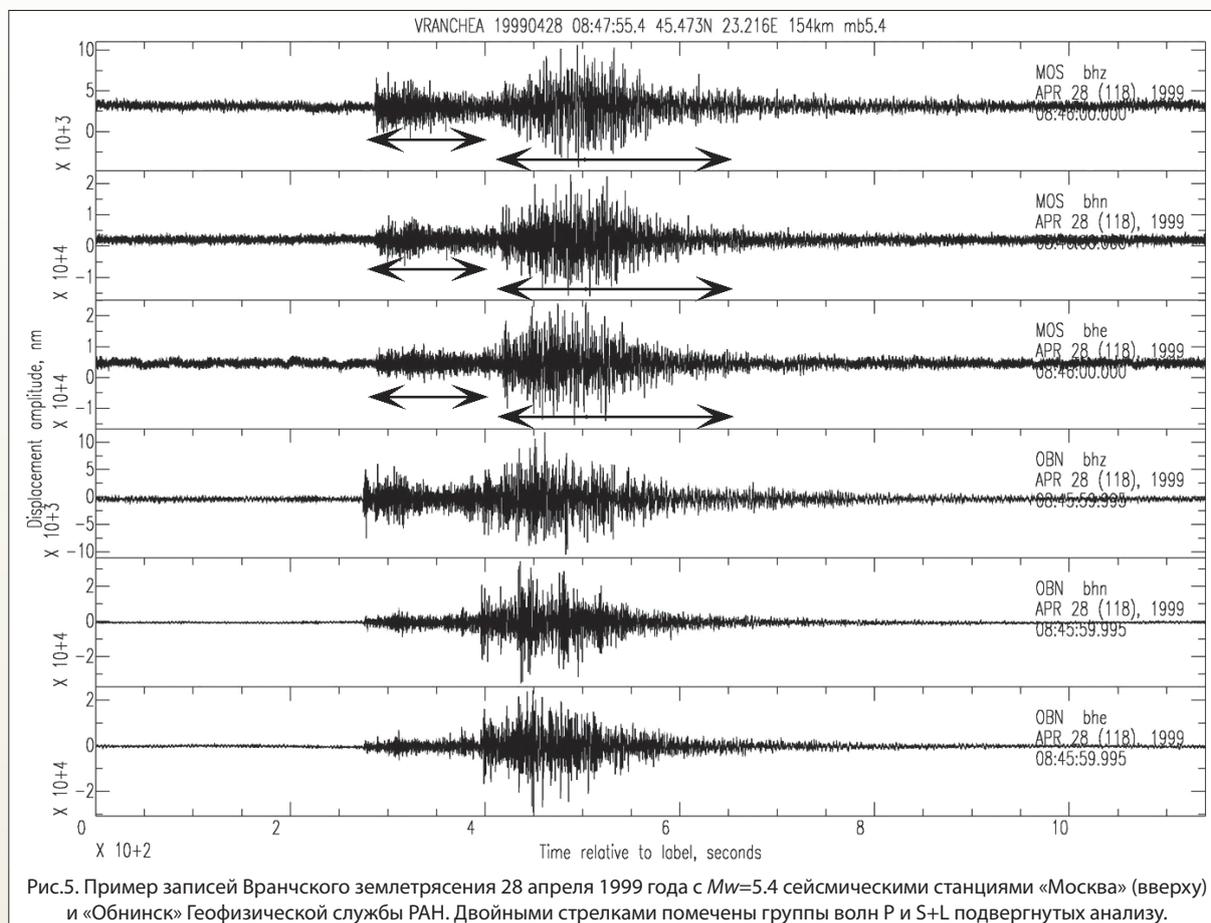


Рис.5. Пример записей Вранчского землетрясения 28 апреля 1999 года с $M_w=5.4$ сейсмическими станциями «Москва» (вверху) и «Обнинск» Геофизической службы РАН. Двойными стрелками помечены группы волн P и S+L подвергнутых анализу.

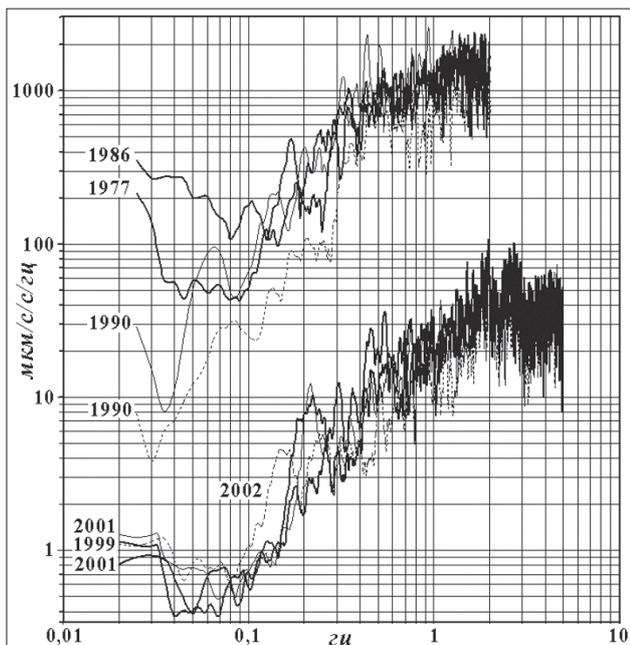


Рис.6. Спектральная плотность ускорений движений грунта в волнах P на территории г. Москвы. Цифрами указаны даты Вранчских землетрясений.

Легко обнаружить интенсивную низкочастотную составляющую сейсмических колебаний, особенно опасную для высотных строительных объектов. Однако следует также иметь в виду, что на низких частотах (периоды 10 с и более) результаты сейсмометрических измерений недостаточно надежны.

Преобладание низкочастотной составляющей характерно и спектрам ускорений на малых эпицентральных расстояниях (рис.2 и 7).

Рис.8 иллюстрирует три проекции (восток-запад, север-юг и вертикаль) цифровой акселерограммы движения грунта под сейсмостанцией «Москва» во время сильного Вранчского землетрясения 27 октября 2004 года. Здесь же, в том же горизонтальном масштабе, но в уменьшенном вертикальном, представлен единственный доступный для анализа фрагмент вертикальной составляющей акселерограммы землетрясения 4 марта 1977 года, повсеместно ощущавшегося в г. Москве.

Сравнивая амплитуды ускорений на сопоставимых участках записей 1977 и 2004 гг., было обнаружено, что максимальные ускорения на эталонном грунте, за который нами принят грунт ЦСС «Москва» на глубине 4 м от земной поверхности, в 1977 г. не намного превышали 1 см/с^2 [3]. Поначалу столь низкие величины ускорений вызвали сомнения в их реалистичности не только у проектировщиков и строителей, но и у некоторых сейсмологов, пользовавшихся до этого «перенормированной» акселерограммой сейсмостанции NIS. Однако, как будет показано ниже, величины такого же порядка были подтверждены новыми расчетами и построениями. Следом за нами к аналогичным результатам пришли и другие исследователи, в том числе из ранее усомнившихся в наших оценках.

При сравнении графиков коэффициентов динамичности (рис.9), составленных по вертикальной составляющей акселерограммы P-волн землетрясения 2004 г. (1) и по её фрагменту (2), эквивалентному по продолжительности

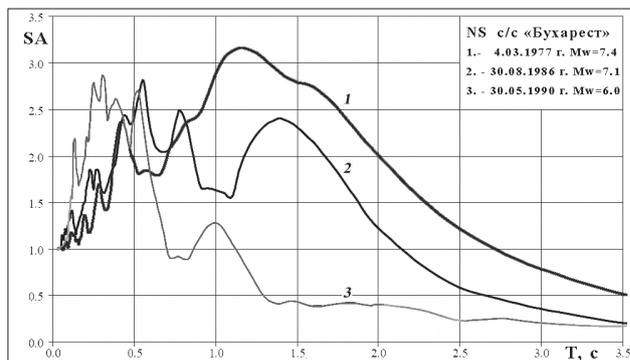


Рис.7. Нормализованные спектры акселерограмм горизонтальных составляющих «Север-Юг» землетрясений 1977, 1986 и 1990 гг., зарегистрированных сейсмостанцией в районе г. Бухареста. Преобладание амплитуд SA наблюдается в интервале 1-1,5 с (по данным [10]).

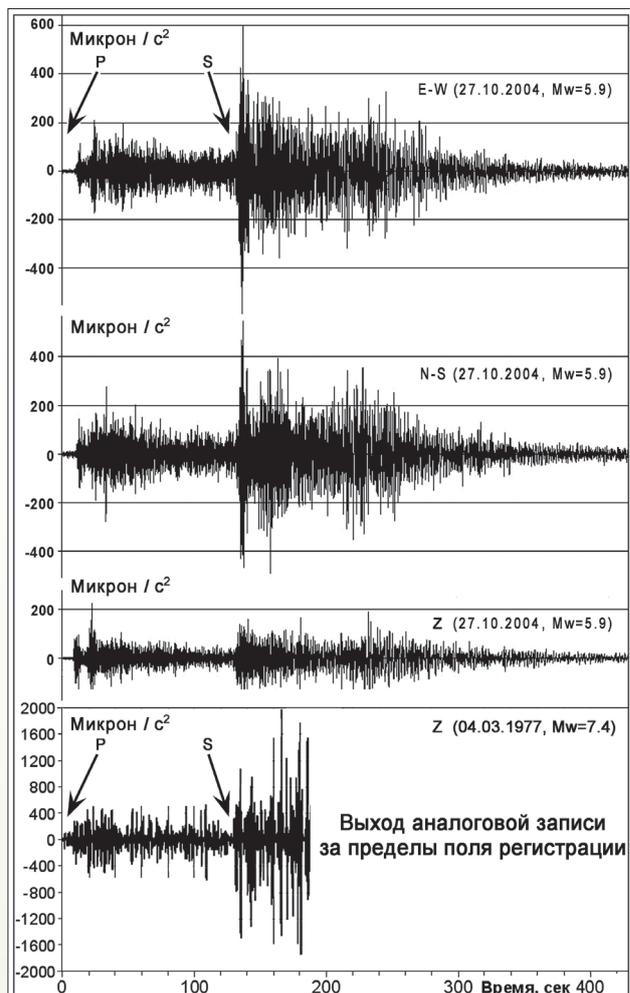


Рис.8. Цифровая трёхкомпонентная акселерограмма движения грунта на глубине 4 м под сейсмостанцией «Москва» во время Вранчского землетрясения 27 октября 2004 года с $Mw=5,9$ и фрагмент не полностью оцифрованной вертикальной составляющей акселерограммы землетрясения 4 марта 1977 года с $Mw=7,4$ (внизу). Указаны моменты вступления на сейсмостанцию «Москва» продольных (P) и поперечных (S) сейсмических волн.

имеющейся части записи землетрясения 1977 г., можно обнаружить существенную потерю на записи землетрясения 1977 г. полезной информации о низкочастотной компоненте сейсмических колебаний, наиболее важной для расчетов сейсмических воздействий на высотные строительные

Таблица 3.

Параметры сейсмического эффекта в г. Москве при Вранчских землетрясениях

Дата	H, км	Mw	X, км	A_z см/с ²	A_{EW} см/с ²	A_{NS} см/с ²	A_{hor} см/с ²
1977/03/04	108	7,4	1338	-	-	-	(1,0)
1986/08/30	137	7,1	1382	0,08	-	-	0,312
1999/04/28	156	5,4	1365	0,005	0,018	0,018	0,025
2001/05/24	129	5,3	1335	0,007	0,014	0,017	0,022
2004/10/27	96	5,9	1317	0,022	0,063	0,059	0,086
2005/06/18	139	5,0	1321	0,004	0,007	0,005	0,009
Прогноз (2100?)	150	8,0	1350	0,8	2,3	2,2	1,7-2,3

О сейсмических воздействиях на территории г. Москвы при максимальном землетрясении в зоне Вранча

В табл.3 приведены основные параметры Вранчских землетрясений разных магнитуд, использованные нами для измерения наблюдаемых и вычисления прогнозируемых ускорений. Как видно из таблицы, для всех цифровых записей были определены величины ускорений по всем трём

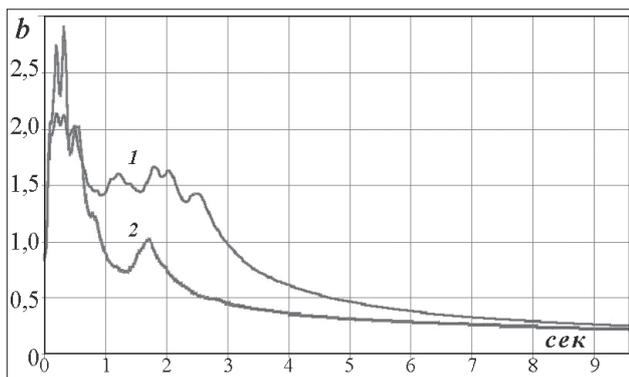


Рис.9. Графики коэффициентов динамичности, составленные по вертикальной составляющей акселерограммы Вранчского землетрясения 27 октября 2004 года (1) и по её фрагменту (2), эквивалентному по времени имеющейся части записи землетрясения 1977 г. (рис. 7). Отчетливо видна потеря низкочастотной составляющей сейсмических колебаний.



Рис.10. Зависимость максимальных горизонтальных ускорений A (см/с²) перемещений грунта под сейсмостанцией «Москва» от магнитуды M_w землетрясений в зоне Вранча.

объекты. Это же видно и на рис. 6, где низкочастотная часть графика наиболее сильного землетрясения 1977г. из-за его недостаточной информативности заметно понижена, по сравнению с графиком меньшего по магнитуде землетрясения 1986 г.

Поэтому, а также по причине неполноценности записи 1977г. с $M_w=7,4$, дальнейшие расчеты сейсмического эффекта в г. Москве нами выполнялись путём сопоставления цифровых акселерограмм умеренных и слабых землетрясений с записью вертикальной составляющей землетрясения 1986 г. с $M_w=7,1$.

составляющим — вертикальной (Z) и двум горизонтальным (EW, NS). В последнем столбце приведены значения полного вектора горизонтальных ускорений (A_{hor}). Последняя строка таблицы относится к прогнозируемому землетрясению с $M_w=8,0$.

Для землетрясения 1977 г. с $M_w=7,4$ в правой графе таблицы приведена ориентировочная величина полного вектора ускорений, оцененная нами ранее [3] и показанная в скобках. Для землетрясения 1986 г. с $M_w=7,1$ оказалась приемлемой лишь величина ускорений $A_z=0,08$ см/с² в вертикальной составляющей в продольных волнах. Полагая подобие сейсмограмм землетрясений с магнитудами 5,9 и 7,1, что правомерно для крупных очагов Вранчской зоны, можно провести сравнение соотношений амплитуд ускорений A_z для этих двух сейсмических событий. Так, основываясь на величине отношения $A_{hor}/A_z=3,9$ для землетрясения 2004 г., было получено значение $A_{hor}=0,312$ см/с² для события 1986 г.

Данные табл.3 графически представлены на рис.10, где они интерпретированы двояким образом. Проанализирована зависимость максимальных горизонтальных ускорений A (см/с²) движений грунта под сейсмостанцией «Москва» от магнитуды M_w землетрясений в зоне Вранча. Аппроксимация всех данных, приведенных в таблице 3, изображена пунктиром, а сплошной линией показана зависимость, полученная при исключении из рассмотрения события 1977 г. (т. е. $A_{hor}=1,0$ см/с²). Показано, что прогнозируемому сейсмическому событию с $M_w=8,0$ соответствуют ускорения 2.3 см/с² - в первом случае и 1.7 см/с² - во втором.

Исследования с иным подходом к расчетам ожидаемого сейсмического эффекта, выполненные А.А. Гусевым и О.В. Павленко, также показали, что для землетрясения с магнитудой $M_w=8,0$ в зоне Вранча ускорения сотрясений на территории Москвы лишь немногим превысят 2 см/с².

Все эти относительно невысокие оценки ускорений при ощутимых проявлениях в г. Москве Вранчских землетрясений, как уже упоминалось, вызвавшие дискуссии и сомнения, в первом приближении можно пояснить, анализируя рис.11, составленный с использованием данных из работы [11]. Как видно, хотя и наблюдается очень большой (до одного десятичного порядка) разброс величин ускорений при фиксированных целочисленных значениях сейсмической интенсивности (баллы), но он доступен систематизации и численному анализу, что и сделано в [11]. Параметры же сейсмических событий малой интенсивности (менее 5 баллов) и небольших ускорений (до 10 см/с²), которых явно недостаточно, пока остаются не систематизированными (левый нижний угол на рис.11). Они указывают

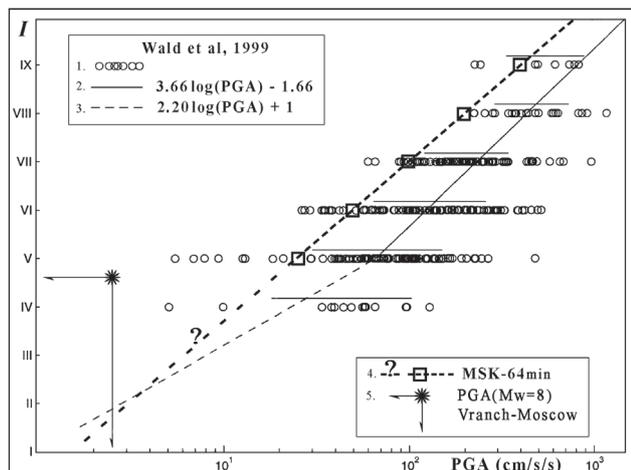


Рис.11. Соотношения величин сейсмической интенсивности (I, баллы) и пиковых ускорений (PGA): 1-3 — по данным [11]; 4 - нижний предел значений ускорений по шкале MSK-64, согласно СНиП II-7-81*; 5 - оценка соотношения I и PGA для грунта под сейсмостанцией «Москва» при проектном землетрясении с Mw=8.0 в зоне Вранча.

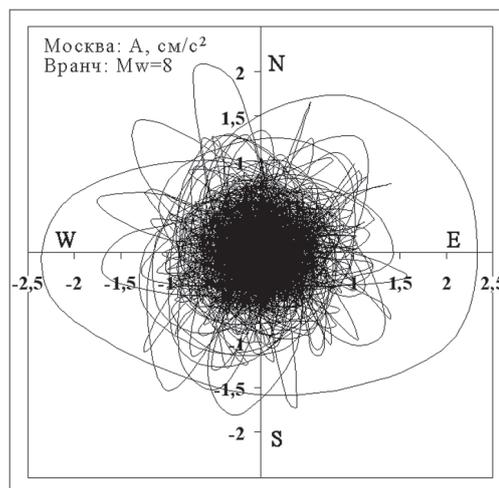


Рис.13. Траектория горизонтальных ускорений перемещений грунта под сейсмостанцией «Москва», полученная в результате векторного сложения цифровых записей двух горизонтальных компонент — север-юг и восток-запад синтетических акселерограмм при Вранчском землетрясении с Mw=8.0.

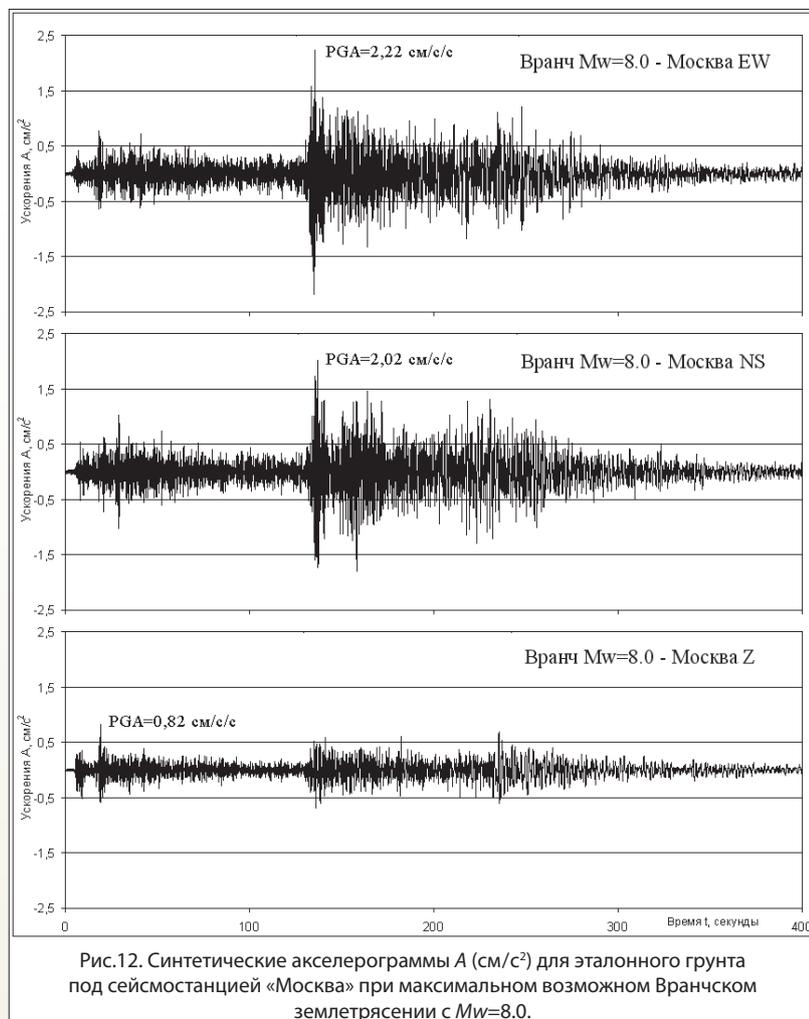


Рис.12. Синтетические акселерограммы A (см/с²) для эталонного грунта под сейсмостанцией «Москва» при максимальном возможном Вранчском землетрясении с Mw=8.0.

на правомочность полученных нами казалось бы заниженных ускорений при ощутимых сейсмических сотрясениях.

Уместно также заметить, что наиболее распространенным критерием оценки сейсмической опасности, по мнению многих исследователей, является векторная скорость колебаний грунта у оснований строительных объектов. Наблюдения показали, что по сравнению со всеми другими

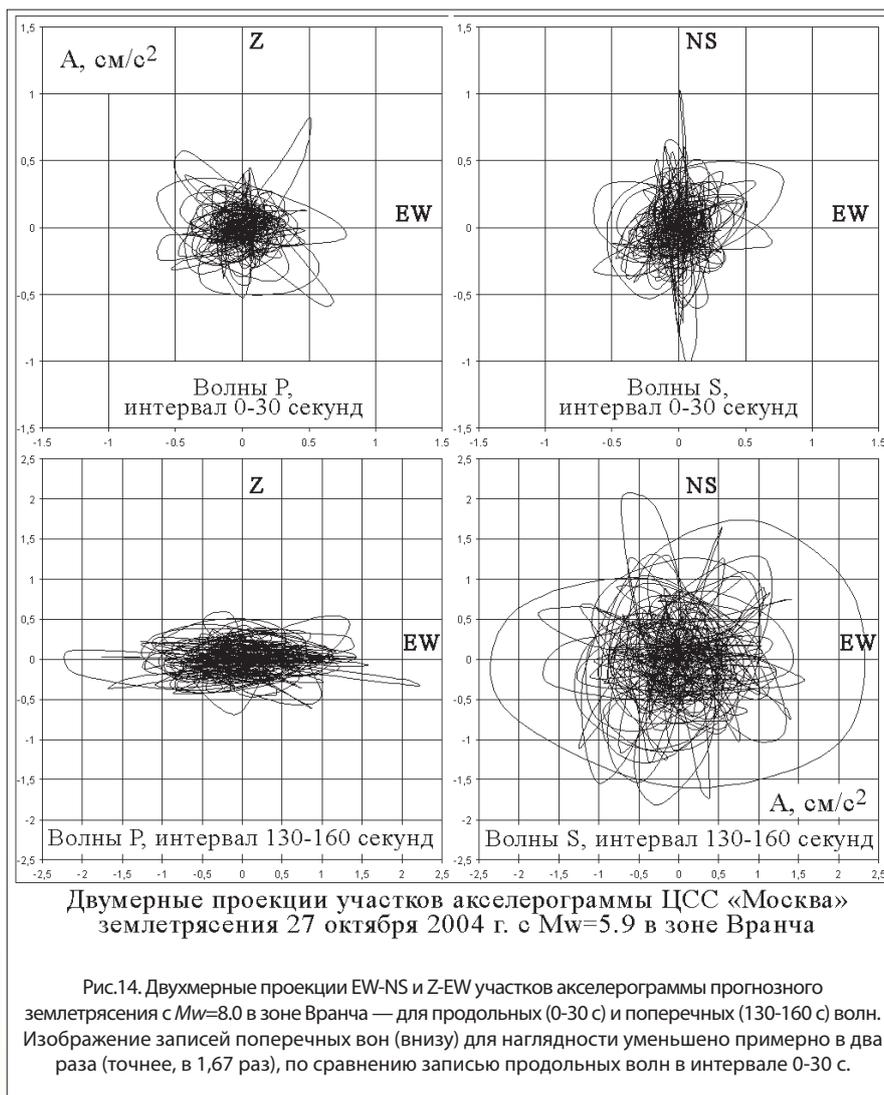
параметрами сейсмических волн (амплитудой смещения, ускорением смещения и др.) скорость смещений лучше всего коррелирует со степенью повреждений зданий.

На несоответствия инструментальных и макросейсмических данных, а также на необходимость учета влияния на сейсмический эффект длительности колебаний, неоднократно указывается многими исследователями [3, 9, 11].

Продолжительные и неоднократные сейсмические воздействия создают в конструктивных элементах зданий и сооружений дополнительные нагрузки. В случаях недостаточной прочности или неустойчивости в отдельных элементах накапливаются упругие напряжения и деформации, способствующие развитию трещин. Этот процесс мы отчетливо наблюдали при регистрации техногенных сейсмических воздействий на здания, при строительстве тоннеля на участке третьего транспортного кольца в Лефортово, г. Москва [12].

В заключение этого раздела, принимая за основу высококачественную запись сейсмостанцией «Москва» достаточно крупного Вранчского землетрясения 27 октября 2004 года с Mw=5.9, можно рассчитать синтезированную акселерограмму для грунтов 2-й категории г. Москвы в случае возникновения максимального возможного землетрясения с Mw=8.0

в зоне Вранча. Её можно получить, умножая цифровую запись ускорений при событии 2004 г. на коэффициент, определяемый из соотношения максимальной прогнозируемой величины $A_{hor}=2.3 \text{ см/с}^2$ и максимальной амплитуды ускорений $A_{EW}=0.063 \text{ см/с}^2$, зарегистрированных на горизонтальной составляющей в 2004 г. Этот коэффициент оказался равным 37.



Полученная таким образом синтетическая акселерограмма представлена в трёх проекциях (EW, NS, Z) на рис.12.

Рис.13 иллюстрирует траекторию горизонтальных ускорений, построенную путём векторного сложения цифровых записей двух горизонтальных компонент EW и NS синтетической акселерограммы. Как видно, суммарная амплитуда горизонтальных ускорений на этом графике близка к полученной нами величине $A_{hor}=2.3 \text{ см/с}^2$.

Как видно, траектории перемещений грунта гораздо сложнее и многомернее, а не ориентированы строго по направлению на источник сотрясений, как это обычно предполагается проектировщиками, и отличаются от ветровых и других динамических нагрузок. Как видно, наибольшим перемещениям свойственна широтная ориентация, а не направление на очаг Вранчского землетрясения, расположенный на юго-западе от Москвы, хотя во время прихода продольных волн (интервал 30 с, рис.14) такая поляризация наблюдается.

На рис.14 приведены фрагменты траекторий перемещения грунта в двумерных проекциях EW-NS и Z-EW, характеризующих изменение во времени поляризации полученной нами прогнозной акселерограммы на двух её участках — от начала записи до 30 с и от 130 до 160 с. Первый интервал относится к продольным волнам, второй — к поперечным. В целом же этот рисунок свиде-

тельствует о сложном характере объемных движений грунта во времени по мере вступления сейсмических волн различного типа.

Основные выводы

- Согласно нормативным картам Общего сейсмического районирования Российской Федерации — ОСП-97, территория г. Москвы расположена в 5-балльной сейсмической зоне. Наибольшую опасность для высотных зданий в г. Москве представляют низкочастотные колебания от заглубленных очагов сильных землетрясений, происходящих в Восточных Карпатах (зона Вранча, Румыния) и удаленных от г. Москвы на расстояние около 1350 км. Магнитуда максимальных возможных землетрясений в зоне Вранча может достигать $M_w=8.0$, а период их повторяемости составлять 300-500 лет.

- На основе анализа записей Вранчских землетрясений разных магнитуд (в интервале от $M_w=5.0$ до $M_w=7.4$) определены ускорения колебаний грунта под сейсмической станцией «Москва». Путем экстраполяции параметров слабых землетрясений в сторону сильных сейсмических событий оценены максимальные горизонтальные ускорения $A_{hor}=2.3$

см/с^2 , ожидаемые в г. Москве на плотных грунтах при землетрясении с максимальной возможной магнитудой $M_w=8.0$ в зоне Вранча.

- Рассчитана модельная (синтетическая) акселерограмма для эталонного грунта на глубине 4 м под сейсмостанцией «Москва», соответствующего грунту 2-й категории (по СНиП II-7-81*), при возможном наиболее крупном землетрясении ($M_w=8.0$) в зоне Вранча. Показано, что максимальные перемещения грунта в г. Москве при Вранчских землетрясениях гораздо сложнее и многомернее и не ориентированы строго по направлению на сейсмический источник.

- При выполнении работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) территории г. Москвы в качестве эталонного грунта следует принимать грунтовые условия места расположения ЦСС «Москва» (Пыжевский пер., 3), для которых выполнен расчёт сейсмических воздействий и смоделирована акселерограмма в случае максимального возможного землетрясения в зоне Вранча.

- При моделировании динамической реакции высотных зданий и сооружений во временной области необходимо учитывать повышенную длительность низкочастотных сейсмических воздействий. Для адекватной оценки сейсмических нагрузок наряду с теоретическими расчетами необходим систематический инструментальный мониторинг

на разных грунтах и на различных высотных уровнях строительных объектов.

• Сейсмологические исследования свидетельствуют о необходимости уточнения строительных норм — СНиП П-7-81* в части оценки низкочастотных сейсмических воздействий интенсивностью 5 баллов и менее, а также соответствующей корректировки норм и правил проектирования высотных зданий в г. Москве. При этом следует иметь в виду, что слабые и низкочастотные сейсмические воздействия не соответствуют общепринятым в шкале MSK-64 соотношениям между интенсивностью (в баллах) и ускорениями колебаний грунта, поскольку эта шкала была составлена по данным о близких и высокочастотных землетрясениях.

Литература

1. Уломов В. И., Шумилиа Л. С. Комплекс карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1: 8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. — М.: ОИФЗ, 1999. 57 с.
2. Уломов В.И. Низкочастотные сейсмические воздействия на высотные здания в г. Москве от далёких очагов сильных землетрясений. // Труды 5-й Международной конференции - выставки «Современные системы и средства комплексной безопасности и противопожарной защиты объектов строительства», 21-22 ноября 2007 г. Москва, Центр новых строительных технологий, материалов и оборудования Москомархитектуры. 2007. 8 с.
3. Уломов В.И. О сейсмических воздействиях на высотные здания и сооружения г.Москвы. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 2 (109), 2008.
4. Уломов В.И., Севостьянов В.В., Миндель И.Г., Трифонов Б.А. Оценка сейсмической опасности для высотных зданий в г.Москве. // Современное высотное строительство. Монография (464 с.). - М.: ГУП ИТЦ Москомархитектуры, 2007. С.94-100.
5. МДС 20-1.2006. Временные рекомендации по назначению нагрузок и воздействий на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве. – М.: ФГУП «НТЦ «Строительство». 2006.
6. Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А. Сильнейшие землетрясения Карпатского региона в XVIII-XX веке. // Buletinul Institutului de Geofizică și Geologie al AȘM, N1, 2006. PP.37-64.
7. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. - М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000. 44 с. Прил. 10 карт.
8. Сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Карта М: 1 8000000 на 4-х л. Гл. редакторы В.Н.Страхов и В.И.Уломов. - М.: ОИФЗ–РОСКАРТОГРАФИЯ, 2000.
9. Антикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Генерирование искусственных акселерограмм методом масштабирования реальных акселерограмм. // Физика Земли, № 7, 2002. С.39-45.
10. Imoto, M. and Nobuo Hurukawa, N. Assessing potential seismic activity in Vrancea, Romania, using a stress-release model. // Letter Earth Planets Space, 58, pp.1511–1514, 2006.
11. Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.H., Kanamori H. Relationship between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity for Earthquakes in California. // Earthquake Spectra, 1999. Vol.15, No.3. PP.557-564.
12. Отчет «Инструментальное наблюдение сейсмических колебаний здания дома №31/35 по ул.Фридриха Энгельса при проведении строительных работ третьего транспортного кольца в г.Москве». Исп. В.И.Уломов, С.С.Арефьев, А.Ю.Марченков, И.В.Уломов. // Договор № 02/2003 от 01 апреля 2003 г. НИЦ «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС.

Материалы хранятся по адресу: 123995, Москва, ул.Большая Грузинская, 10, тел.: (495) 254-93-05, e-mail: ulomov@ifz.ru.

Г.П.Чеботарев
МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ЗЕМЛЯНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures
Серия: Классика инженерной мысли

Издательство: Либроком, 2009 г.
Мягкая обложка, 618 стр.
ISBN 978-5-397-00332-2
Формат: 60x90/16

Автор настоящей книги, профессор Принстонского университета (США), является одним из крупнейших специалистов в области механики грунтов. Обширная личная практика автора позволила ему отразить в книге сведения, которые могут оказаться наиболее полезными для инженера-строителя в его повседневной практической деятельности.

В книге рассматриваются устойчивость откосов, бортов выемок, распределение напряжений в основании сооружений и их несущая способность, боковое давление грунта на трубы и т. д. Излагаются методы искусственного уплотнения грунтов, разведки основания бурением и пенетрацией. Даются указания по выбору наиболее целесообразных методов обоснования сооружений применительно к местным природным условиям. Уделено внимание вопросам разработки котлованов, свайным и кессонным фундаментам, опускным колодцам, подпорным стенкам, перемычкам, набережным и туннелям, а также возведению земляных плотин.

В книге приводится много данных по результатам экспериментальных исследований и наблюдений, а также указаний практического характера. Особенную ценность представляют исследования самого автора по работе шпунтовых стенок.

Книга рассчитана на инженеров-проектировщиков и строителей, занятых на строительстве оснований и фундаментов различных сооружений, а также на инженеров-гидротехников.

КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

