РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта

ОТЧЕТ

«Оценка возможных сейсмических воздействий на территории г. Москвы в соответствии с Общим сейсмическим районированием территории Российской Федерации - ОСР-97» «Утверждаю» Директор Института физики Земли РАН член-корреспондент РАН

А.О.Глико

15 июня 2004 г.

ОТЧЕТ

«Оценка возможных сейсмических воздействий на территории г. Москвы в соответствии с Общим сейсмическим районированием территории Российской Федерации - ОСР-97»

(выполнен по заккзу ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя России)

<i>Руководитель работы</i> Главный научный сотрудник ИФЗ РАН, д. физмат. наук, профессор геофизики	В.И.Уломов
Основные исполнители:	
Вед. научн. сотрудник, ИФЗ РАН, к. физмат. наук	Л.С. Шумилина
Ст. научн. сотрудник, ИФЗ РАН	Н С Мелрелера
Ст. научн. сотрудник ГС РАН (Обнинск),	п.с. медведева
к. физмат. наук	В.Д. Феофилактов

Москва, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Введение	4
2.	Краткая тектоническая и сейсмическая характеристика г. Москвы	5
3.	Возможные сейсмические воздействия на территории г. Москвы в соответствии с картами ОСР-97	9
4.	Спектральный анализ сейсмического эффекта на территории Москвы от Кар- патских землетрясений	14
5.	Общие положения оценки сейсмических воздействий на здания и сооруже- ния	21
6.	Долгосрочный прогноз Карпатских землетрясений, ощутимых в Москве	23
7.	Заключение	24
8.	Литература	25
9.	Приложения 1, 2, 3	27

1. Введение

Настоящая работа выполнена по договору № _____ от ___.2004 г. между ГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя России (Заказчик) и Институтом физики Земли Российской академии наук (ИФЗ РАН) (Исполнитель) на выполнение научных исследований по теме:

«Оценка возможных сейсмических воздействий на территории г. Москвы в соответствии с Общим сейсмическим районированием территории Российской Федерации - ОСР-97».

Цель работы и основное практическое назначение планируемых результатов: Оценка возможного сейсмического эффекта от близких и удаленных очагов землетрясений на территории Москвы.

Состав работ:

- 1. Анализ проявления сейсмической активности на территории Москвы и ее окрестностей.
- 2. Расчет на основе базы данных Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97) возможного сейсмического эффекта в Москве от очагов близких и удаленных тектонических землетрясений.
- 3. Спектральный анализ сейсмографического материала, полученного Центральной сейсмической станцией «Москва» от удаленных очагов землетрясений в Восточных Карпатах.

Итоги работы: Вероятностная оценка возможных сейсмических воздействий на территории г. Москвы в соответствии с Общим сейсмическим районированием территории Российской Федерации - ОСР-97 и дополнительными инженерными расчетами сейсмического эффекта от близких и удаленных очагов землетрясений.

Область применения планируемых результатов: Работа является частью раздела рекомендаций «Нагрузки и воздействия на многофункциональные высотные здания и комплексы» проекта МГСН (Московские Городские Строительные Нормы).

Поставленные задачи были реализованы в течение трех месяцев и включали в себя:

 сбор необходимого сейсмологического материала, в том числе сейсмографического, полученного современной высокочувствительной цифровой сейсмометрической аппаратурой сейсмической станции «Москва» и сейсмологической обсерватории «Обнинск» Геофизической службы РАН (ГС РАН);

- анализ макросейсмических проявлений на территории Москвы и ее окрестностей от близких и удаленных тектонических землетрясений;

- расчет на основе базы данных ОСР-97 возможного сейсмического эффекта и его повторяемости в Москве;

- спектральный анализ сейсмических сотрясений на территории Москвы от удаленных очагов землетрясений в Восточных Карпатах.

 составление каталога наиболее интенсивных землетрясений, произошедших на глубине свыше 100 км в Восточных Карпатах (район Вранча, Румыния) и инструментально зарегистрированных на территории Москвы (в том числе ощутимых в городе). Весь объем работ выполнен следующими сотрудниками ИФЗ и ГС РАН:

Уломов В.И.	Общее руководство работой. Написание отчета. Изготовление иллюстраций.
Шумилина Л.С.	Расчет повторяемости сейсмических сотрясений.
Медведева Н.С.	Работа с каталогами землетрясений.
Феофилактов В.Д.	Спектральный анализ сейсмографического материала.

В работе использованы также некоторые материалы исследований, выполненные в прошлом году В.И.Уломовым с сотрудниками ИФЗ по договору № 02/2003 от 01.04.2003 г. с НИЦ «Тоннели и метрополитены» ЦНИИС ООО ЦНИИС с целью оценки техногенных сейсмических воздействий на участке строительства тоннельноэстакадного варианта третьего транспортного кольца в районе Лефортово.

2. Краткая тектоническая и сейсмическая характеристика г. Москвы

В структурно-геоморфологическом отношении г. Москва расположена в районе сочленения трех крупных блоков земной коры, которые отчетливо проявляются в неотектонической структуре, геоморфологии и общем характере геологических процессов. Северная часть территории города (район Тушино) принадлежит к Клязминской депрессионной зоне субширотного простирания, которая севернее сопряжена с протяженным Московско–Дмитровско–Ветлужским валообразном поднятием земной коры. Остальная территория разделена долиной р. Москвы на две однотипные части: югозападный сегмент принадлежит Наро-Фоминской зоне поднятий, а восточный – Мещерской впадине, которая входит в состав еще более обширного Окско-Донского прогиба земной коры. Долина реки Москвы, имеющая общее северо-запад–юго-восточное направление, является частью весьма протяженной и широкой (до 7-10 км) Московско-Рязанской линеаментной зоны, рассматриваемой как пологая флексура или зона относительно высоких градиентов изменения геолого-геофизических характеристик, повышенной напряженности, трещиноватости и подвижности.

Результаты геодезического нивелирования позволяют наметить две зоны относительно высоких градиентов скоростей современных движений (рис.2.1). Одна из них, расположенная южнее центра города, протягивается субширотно вдоль р. Москвы и западнее – вдоль долины р. Сетунь. Расположенная к югу Теплостанская грабеноподобная зона не испытывает погружения, а более северная территория Москвы в той или иной мере опускается. Здесь, вдоль р. Яузы, намечается вторая зона повышенных градиентов северо-западного простирания, к северо-востоку от которой скорость погружения особенно велика и превышает 1.5 мм/год.

Имеющиеся геолого-геофизические данные обнаруживают в строении палеозойского фундамента и морфологии его поверхности зональность широтного и востоксеверо-восточного простирания. Часть разломов, фиксируемых в фундаменте, выражена уступами его поверхности. Разломы нарушают или ограничивают области распространения рифейско-вендских отложений, но лишь один из них (северный край Теплостанского грабена) выражен слабой флексурой с обратным знаком вертикальных движений в отложениях палеозоя. В более молодых отложениях эти разломы не прослеживаются, что позволяет считать маловероятной их эндогенную сейсмическую активность в настоящее время.



земной коры Москвы и окрестностей (по данным И.Б.Карасика, В.И.Макарова, А.К.Певнева) 1 – исходный репер; 2 – глубинный репер; 3 – фундаментный репер; 4 – стенная марка; 5 – изолиния скорости мм/год

Рис. 2.1. Карта-схема современных тектонических движений территории Москвы.

Москва традиционно считалась сейсмически безопасным районом. За письменный период истории Руси с X века по настоящее время ни в летописях, ни в литературных источниках в Москве не было отмечено ни одного достаточно сильного местного тектонического (глубинного) землетрясения. Вместе с тем до Москвы нередко доходят ощутимые сейсмические волны от заглубленных до 150–200 км очагов крупнейших землетрясений в Восточных Карпатах (район Вранча, Румыния), удаленных от Москвы на расстояние около 1400 км (рис. 2.2). По историческим сведениям, самое древнее из известных таких землетрясений ощущалось во «Владимирской земле» (а значит, и на территории будущей Москвы) в 1230 году с интенсивностью 5 баллов (по современной 12-балльной макросейсмической шкале MSK-64). Поэтому ниже Карпатским землетрясениям будет уделено основное внимание (см. Приложение 1).

Землетрясения, произошедшие в Восточных Карпатах в 1940, 1977 и 1986 гг., ощущались в Москве на уровне первых этажей силой до 4 баллов, а на 14-18 этажах зданий башенного типа интенсивность колебаний соответствовала 6-, а в отдельных

случаях даже 7-ми баллам. Так, при землетрясении 1977 г. в юго-западном районе, в железобетонном каркасном здании башенного типа на 24 этаже были заметные повреждения в виде небольших трещин на стыке стен и потолков. Сообщается, что шпиль Московского университета на Воробьевых горах раскачивался с амплитудой до двух метров.



Рис. 2.2. Схема изосейст сильнейших удаленных землетрясений, ощущавшихся в Москве.

Относительно недавними сейсмическими событиями такого рода, во время которых сотрясения на верхних этажах высоких зданий в Москве достигали интенсивности 3–4 баллов, были Карпатские землетрясения 30 и 31 мая 1990 г. Среди других удаленных сейсмических очагов в Москве ощущаются 2-3-балльные колебания почвы от сильных землетрясений, происходящих в западной части Средней Азии, на Северном Кавказе и в Крыму. Из недавних таких событий, ощущавшихся на верхних этажах зданий в Москве, было землетрясение 6 декабря 2000 г. на западе Туркменистана.

Район Вранча, расположенный в Румынии на изгибе юго-восточных Карпат, является одной из наиболее активных сейсмических областей Европы. Очаговая область представляет собой почти вертикальный блок литосферы, продолжающий погружаться на глубину до 200 км и более. Сильные сейсмические события, происходящие здесь, сопровождаются разрушительным эффектом не только на румынской территории, но и на плотно-населенной территории соседних европейских стран. Самые сильные землетрясения с магнитудой М>7.0 (по шкале Рихтера), произошедшие в этом столетии, случились здесь в 1908, 1940, 1977 и 1986 гг. и повлекли за собой многочисленные жертвы и причинили серьезный ущерб строительным объектам. В Румынии во время землетрясения 1977 года погибло 1560 человек и 11320 человек были ранены, 32 высотных зданий в Бухаресте практически полностью разрушились. Оказались разрушенными и два других румынских города, удаленных более чем на 200 км от эпицентральной области.

Крупные землетрясения – очень редкие явления. Это создает определенные трудности при подготовке достаточной базы данных о зарегистрированных сильных движениях грунта. Недавние исследования румынских сейсмологов указали на специфику этих землетрясений, отражающую, с одной стороны, более высокую скорость (V > 4 км/c) разрыва пород в очагах, расположенных под земной корой, по сравнению с внутрикоровыми очагами, и с другой стороны – большой сброс упругих напряжений при подвижках пород в сейсмическом очаге. Вычисления были выполнены для двух типичных подкоровых источников: (1) на глубине h = 90 км, моментная магнитуда $M_w = 7.4$; (2) h = 150 км, $M_w = 7.7$. Первый соответствует землетрясению 4 марта 1977, произошедшему в верхней части очаговой области Вранча, второй связан с землетрясением 10 ноября 1940 г. с гипоцентром на глубине 150 км. Механизмы подвижки пород в каждом из этих очагов оказались схожими между собой. Для более глубокого очага затухание сейсмического эффекта с удалением от эпицентра значительно меньше на больших расстояниях. На меньших расстояниях наблюдается противоположный эффект.

Параметры пикового ускорения (PGA), скорости (V) и перемещения (D) грунта в Бухаресте (который особенно подвержен Вранчским землетрясениям), составил при землетрясении 1977 г. – PGA = 0.23 g, Vmax = 27 см/с, Dmax = 18 см, при землетрясении 1940 г. – PGA = 0.52 g, Vmax = 105 см/с, Dmax = 42 см.

Возвращаясь к сейсмической ситуации в Москве, следует признать, что в последнее время она существенно меняется. Повышение этажности строительства, появление разветвленной сети подземных искусственных полостей, использование участков с насыпными грунтами и большая водонасыщенность горных пород значительно повышают сейсмическую уязвимость города. Оседание земной поверхности под высотными зданиями, а также в районах пойменных и озерно-болотных отложений, может превышать 50 см. Примерами районов больших осадочных деформаций являются участки города в районе Смоленской площади, Красных ворот, МГУ на Воробьевых горах, Якиманки и прибрежная зона р. Москва.

Другой причиной повышения сейсмической уязвимости города является подтопление, при котором водоносный горизонт поднимается до глубины менее 3 метров, а также карстовые провалы и суффозионные процессы. Максимальное подтопление наблюдается в северных районах города, в том числе на пересечении Дмитровского шоссе с окружной железной дорогой, у Савеловского вокзала, возле метро «Аэропорт», а также у Лужниковской излучины р. Москва. Карстовые провалы распространены в районе Хорошевского шоссе, на Новохорошовском проезде, возле проспекта маршала Жукова, ул. Маршала Тухачевского. Суффозионные провалы, возникающие вследствие выноса песков и известняков подземными водами, особенно широко распространены на правом, высоком, берегу р. Москва в районах Воробьевых гор, Фили-Кунцево, Коломенского. На склонах холмов и по берегам реки развиваются оползни. Опасными районами являются Воробьевы горы, Тушино, Поклонная гора, Нижние Мневники, Коломенское, Капотня и ряд других.

Важной задачей повышения сейсмобезопасности сооружений Москвы является исследование спектров сейсмических колебаний, приходящих в город от сильных Карпатских землетрясений. Исследование спектров позволит скорректировать тип строительства в Москве с учетом резонансных характеристик планируемых сооружений,

особенно многоэтажных. Самыми же перспективными в этом отношении могли бы быть высокоточные сейсмометрические наблюдения на верхних, средних, нижних и подвальных этажах строящихся в Москве отечественных «небоскребов».

3. Возможные сейсмические воздействия на территории Москвы в соответствии с картами ОСР-97

В настоящее время для официальной оценки сейсмической опасности на территории Российской Федерации служит Комплект карт общего сейсмического районирования Северной Евразии – ОСР-97, созданный в 1991–1997 гг. в Институте физики Земли РАН (отв. ред. В.И. Уломов) [*Уломов, Шумилина*, 1999; Сейсмическое..., 2000]. В 2000 году комплект ОСР-97 был включен в официальные Строительные нормы и правила «Строительство в сейсмических районах» (СНиП II-7-81*).

Комплект состоит из трех карт – ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С, отражающих 90%- (карта А), 95%- (В) и 99%-ную (С) вероятность непревышения (или 10%, 5% и 1% возможного превышения) расчетной сейсмической интенсивности в течение 50 лет, что соответствует повторяемости сейсмического эффекта на земной поверхности в среднем один раз в 500, 1000 и 5000 лет. Дифференцированные оценки сейсмической опасности позволяют использовать комплект ОСР-97 для проектирования и строительства сейсмостойких объектов разных категорий ответственности и сроков службы.

Впервые сейсмическим районированием была охвачена вся территория России, включая платформенные регионы и шельфы внутренних и окраинных морей. С единых сейсмологических позиций, на основе новой методологии впервые были изучены и Восточно-Европейская равнина и Урал, характеризующиеся относительно слабой сейсмичностью, но нередко возникающими здесь местными землетрясениями с магнитудой до M=5.5 и интенсивностью сотрясений до I_0 =6–7 баллов. Такие сейсмические явления известны в районе городов Альметьевск (1914 г., 1986 г.), Елабуга (1851 г., 1989 г.), Вятка (1897 г.), Сыктывкар (1939 г.), Верхний Устюг (1829 г.). Не менее сильные землетрясения возникают на Среднем Урале, в Предуралье, Поволжье, в районе Азовского моря и Воронежской области. На Кольском полуострове и сопредельной с ним территории отмечены и более крупные сейсмические события (Белое море, Кандалакша, 1626 г., M=6.3, I_0 =8 баллов).

Слабые землетрясения (с M<4.0, I_0 =5–6 баллов и менее) возможны практически повсеместно. На северо-западе России ощущаются землетрясения Скандинавии (Норвегия, 1817 г.), на юге – сильные землетрясения восточного побережья Каспийского моря (Туркмения, Красноводск, 1895, Небитдаг, 2000 г.), Кавказа (Спитак, Армения, 1988 г.), Крыма (Ялта, 1927 г.). Как уже сообщалось, на обширной площади, в том числе в Москве и Санкт-Петербурге, неоднократно наблюдались сейсмические колебания интенсивностью до 3–4 баллов от заглубленных очагов крупных землетрясений, происходящих в Восточных Карпатах (1802, 1940, 1977, 1986, 1990 гг.).

В соответствии с ОСР-97, район Москвы расположен в зоне возможных 5балльных сейсмических воздействий (рис. 3.1 и 3.2), отнесенных к средним грунтам по классификации действующих СНиП II-7-81^{*} [Строительные..., 2000]. Вместе с тем, может иметь место определенное приращение балльности за счет более слабых (рыхлых) и обводненных грунтов.

Как уже сообщалось, за весь исторический период ни в летописях, ни в литературных источниках, в Москве не было отмечено ни одного ощутимого местного тектонического землетрясения. Центральная сейсмическая станция «Москва» Геофизической службы РАН, действующая в центре города с середины 30-х годов прошедшего столетия, не зарегистрировала ни одного землетрясения, очаг которого располагался бы в пределах города и ее окрестностей.



Рис. 3.1. Фрагмент карты Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – OCP-97-В. На фоне рельефа земной поверхности контуром со штриховкой показаны зоны сейсмической интенсивности (в данном случае – 6 балльные) и красным цветом – активные тектонические разломы. Тонкими серыми линиями оконтурены области и их административные центры.



Рис. 3.2. Фрагмент карты Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97-С. Условные обозначения те же, что и на рис. 3.1.

Наиболее близкие к Москве очаги тектонических землетрясений находились в районах Рязани и Твери. Из относительно недавних таких сейсмических явлений было 4-5-балльное землетрясение с магнитудой М=3.5, случившееся 18 января 2000 г. в Кировской области. Сугубо локальные, но ощутимые и изредка разрушительные землетрясения могут быть связаны с оползнями, карстовыми и техногенными провалами и оседаниями поверхности и морозобойными землетрясениями (по А.А.Никонову). По

историческим сведениям предполагается, что самым близким к Москве было «подмосковное» землетрясение 1446 г. интенсивностью до 5 баллов (по другим же источникам его относят к Карпатскому очагу). Ближайшая к Москве 6-балльная зона удалена от центра города на расстояние около 120 км и частично захватывает восточную часть Московской области.

В таблице 3.1 приведены периоды **T** (годы) повторяемости сотрясений различной интенсивности **I** (баллы) в г. Москве в соответствии с базой данных ОСР-97 и двумя принятыми параметрами добротности Q_1 и Q_2 среды. При этом величина Q_1 , соответствующая преимущественно внутрикоровой сейсмичности, в ОСР-97 использовалась практически для всей территории Северной Евразии, а величина Q_2 специально введена нами для трассы от заглубленных очагов Карпатских землетрясений до Москвы. Основанием для введения повышенной добротности среды Q_2 послужили, с одной стороны, отмеченное румынскими сейсмологами, уменьшение затухания сейсмического эффекта с удалением от глубоких очагов, а с другой стороны, – наблюдаемый сейсмический эффект на территории Москвы.

				<u>Та</u> блица 3.1
Т	T	Интенсивнос	ть I (баллы)	
1, годы	тип карты	Q1	Q2	
100		< 3	3.2	
250		< 3	3.6	
500	OCP-97A	< 3	3.8	
1000	OCP-97B	< 3	4.2	
2500		3.4	4.4	
5000	OCP-97C	4.1	4.6	
10 000	OCP-97D	46	5.0	



Рис. 3.3. Вероятностный анализ сейсмической опасности (ВАСО) на территории Москвы при Карпатских землетрясениях. Точечные значения интенсивности вычислены для периодов 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000 и 10000 лет. Аппроксимирующая прямая (экспонента) описывается приведенным на рисунке уравнением. Стрелками указаны оценки соответствующих карт ОСР-97.

Как видно, значения интенсивности при добротности среды Q_2 несколько возросли по сравнению с вариантом Q_1 . Однако даже для чрезвычайно большого периода повторяемости 10000 лет они не превысили 5 баллов на грунтах второй категории по СНиП II-7-81*.

На рис. 3.3 приведен график повторяемости сотрясений различной интенсивности в заданные интервалы времени (годы). В отечественной терминологии – это график «сотрясаемости», по Ю.В.Ризниченко, а в зарубежной литературе он называется «вероятностным анализом сейсмической опасности» (ВАСО) – PSHA. Как видно, этот график имеет вполне нормальный угол наклона, равный ≈ 0.86 . Здесь же приведено уравнение этой зависимости, позволяющее вычислить величину сейсмического эффекта в любой заданный промежуток времени, а также указаны позиции, соответствующие нормативным картам ОСР-97 (A, B, C, D).



Рис. 3.4. Зоны (домены, в терминологии ОСР-97) возникновения очагов землетрясений в центральной части Восточно-Европейской платформы и максимальные возможные магнитуды М_{тах} землетрясений в их пределах [Уломов, Шумилина, 1999].

Указанные в табл. 3.1 значения интенсивности сейсмических сотрясений для Москвы определены на основе принятых в ОСР-97 зон ВОЗ (домены, линеаменты) и параметров их сейсмического режима. Значимыми в окрестностях Москвы оказались домены №119 (с M_{мах}=5.0); №122 (M_{мах}=4.0); №107 (M_{мах}=3.5) с очень редкой повторяемостью таких событий (один раз в 100 и более лет на всей площади домена) и зоны Вранча с M_{мах}=7.0 и M_{мах}=7.5 со свойственным ей сейсмическим режимом (см. далее Раздел 6). Согласно концепции ОСР-97, домены характеризуются рассеянной сейсмичностью. Угол наклона графиков повторяемости сейсмических событий в них обычно составляет 0.7÷0.8, что несколько меньше по сравнению со структурированной сейсмичностью линеаментов [Уломов, Шумилина, 1999]. Как уже упоминалось, для трассы Вранч–Москва была введена более реалистичная добротность среды – Q_2 . В программно-математическом обеспечении ОСР-97 принят параметр **RQ**, определяющий затухание в среде и соответствующий расстоянию, на котором сейсмическая энергия поглощается средой в е раз. Для материковой части Северной Евразии он задавался равным 100 км [Гусев, Шумилина, 1999] и использовался для расстояний 10–500 км, в данной работе – принята величина 300 км и эпицентральное расстояние – ≈ 1400 км.

Таким образом, комплект карт ОСР-97 для территории Москвы достаточно уверенно оценивает «исходный» сейсмический эффект в 5 баллов с вероятностью возможного его превышения не выше 1.0÷0.5% (карты ОСР-97-В и ОСР-97-D) [Уломов, Шумилина, 1999; Сейсмическое районирование..., 2000; СНиП..., 2000]. При сейсмическом микрорайонировании можно учитывать также дробные величины балла, приведенные в таблице 3.1 и на рисунке 3.3.

Наряду с вероятностными оценками, приведенными в таблице 3.1 и на рис. 3.3, нами выполнены также детерминистские расчеты уровня сейсмической опасности Москвы на основе крупных «сценарных землетрясений», представленных в виде площадных виртуальных очагов соответствующих размеров, обусловленных их магнитудой. Для количественной характеристики источников Карпатских землетрясений также была использована база данных ОСР-97 (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Магни- туда М _W =М _{LH}	Географ координ центра ¹ ,	ические аты эпи- градусы	Глубина гипо- центра ² .	Ориен площад гра,	тировка ки очага, дусы	Разме	ры очага, Км	
	широта	долгота	КМ	Прости- рание ³	Падение ⁴	длина	Ширина	
7	45.5	26.6	90÷200	230	160	50	17	
7.5	45.5	26.6	90÷200	230	160	90	30	
8	45.5	26.6	90÷200	230 160 154.5 51.5				
 ¹ эпицентр – центр проекции на земную поверхность прямоугольника, модели- рующего виртуальный очаг; ² гипоцентр – центр прямоугольника, моделирующего очаг; ³ простирание – азимут длинной горизонтальной стороны прямоугольника; ⁴ паление – угол короткой наклонной стороны прямоугольника с горизонтом 							, модели- ьника; изонтом.	

Параметры сценарных землетрясений

Расчет интенсивности сотрясений в г. Москве от выбранных сценарных землетрясений выполнен по той же методике, что и в технологии создания карт ОСР-97 [Гусев, 1984; Гусев, Шумилина, 1999]. Однако при этом сейсмический эффект рассматривался лишь от одного конкретного очага и поэтому является «детерминистским», а не вероятностным. Расчеты выполнены для набора значений **RQ** и разных глубин **H** виртуальных очагов.

Полученные оценки интенсивности сотрясений отнесены к средним грунтовым условиям (грунты второй категории). Их можно рассматривать как средние или медианные значения нормально распределенной случайной величины со среднеквадратическим отклонением около 0.65 балла. Результаты расчета сведены в таблицу 3.3.

Как видно из таблицы, оценки интенсивности сотрясений в Москве от сценарных землетрясений с заданным перебором параметров \mathbf{RQ} и **H** также практически не превышают 5 баллов. Вместе с тем, для более тонких расчетов график спадания интенсивности с расстоянием требует доработки на основе наблюдательных данных. Его следует смоделировать так, чтобы он отвечал наблюденным картам изосейст от сильнейших землетрясений области Вранча 1940, 1977. 1986 гг.

Таблица 3.3

Магнитуда $M_{LH} = M_W$	RQ – параметр, определяющий затухание (км)	Глубина гипо- центра (км)	Интенсивность (баллы)
	200	90	<3
7.0	300	130	<3
7.0	600	90	3.2
	000	130	3.2
	200	90	<3
75	300	130	<3
7.5 600	600	90	4.1
	000	130	4.1
	300	90	3.5
		130	3.4
	500	150	3.4
		200	3.4
		90	4.5
8.0	450	130	4.5
8.0	450	150	4.5
		200	4.5
		90	5.1
	600	130	5.1
	000	150	5.0
		200	5.0

Интенсивность сотрясений в г. Москве при сценарном землетрясении

4. Спектральный анализ сейсмического эффекта на территории Москвы от Карпатских землетрясений

В этом разделе Отчета анализируются спектры наиболее сильных подкоровых землетрясений в Восточных Карпатах, произошедших в 1977, 1986 и 1990 (два события) годах в районе Вранча (Румыния) и зарегистрированных Центральной сейсмической станцией (ЦСС) «Москва», расположенной по адресу: г. Москва, Пыжевский переулок, 3. Спектральный анализ выполнен также для менее сильных и не ощутимых в Москве землетрясений, записи которых были получены в цифровом виде на ЦСС «Москва».

В случае отсутствия цифровых сейсмограмм оцифровка осуществлялась по стандартным **аналоговым** фотозаписям. Данные оцифровки представляют собой два числовых ряда: в первом записаны относительные времена снятия отсчета по сейсмограмме, а во втором – соответствующие отсчеты амплитуд аналоговой осциллограммы. Шаг оцифровки был непостоянным и зависел от четкости фотозаписи и особенностей самой кривой. Средняя частота оцифровки не превышала 4÷5 Гц, что объясняется низкой скоростью развертки сейсмограмм при фотозаписи (30 мм/мин). Таким образом, верхнюю доверительную частоту количественного анализа можно оценить величиной не более 2 Гц.

При помощи сплайн-интерполяции эти данные переводились в ряды ординат с равномерным шагом оцифровки, равным 10 Гц. Для спектрального анализа в группах продольных (Р) и поперечных (S) волн брались выборки максимально возможной дли-

тельности, т.е. для Р-волн – от первого вступления практически до вступления S-волны, а для S-волн от вступления S до начала поверхностных волн основного тона. Длительность таких выборок для Р-волн составила 100÷130 сек и для S-волн – 50÷80 сек.

С целью стандартизации представления спектров, выборки дополнялись нулевыми значениями в начале и конце (приблизительно симметрично) до общей длины 200 сек. Таким образом, вычисленные спектры имели стандартный шаг частотных полос, равный 0.005 Гц.

Цифровые сейсмограммы сейсмометрических каналов СКД-DASS сейсмостанции «Москва» (MOS) представляют собой числовые ряды с частотой опроса 20 Гц, записанные на двух уровнях усиления. В данной работе использован только чувствительный канал. Верхнюю доверительную частоту анализа можно оценить величиной не более 5 Гц. Нижняя частота доверительного анализа вряд ли менее 0.04–0.05 Гц (период 20–25 сек) из-за плохих условий размещения сейсмометров в центральном районе столицы (грунтовые условия, малая приспособленность помещений, высокий антропогенный шум). Однако мы представляем спектры до периодов 50 сек, чтобы видеть аномальный подъем спектра в этом диапазоне.

При обработке цифровых сейсмограмм слабых сотрясений нами рассматривались две группы волн – Р-волна и S+L-волна, объединившая поперечные и поверхностные волны (см. интервалы, показанные стрелками в Приложении). Для спектрального анализа в группах P и S+L-волн по каждой из трех компонент (вертикальной – z; северюг – n, восток-запад – е) брались выборки максимально возможной длительности, т.е. для P-волн – от первого вступления почти 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 сек для P-волн и около 240 сек для S+L-волн. С целью стандартизации представления спектров, выборки дополнялись нулевыми значениями в начале и конце (приблизительно симметрично) до общей длины 400 сек. Таким образом, вычисленные спектры имели стандартный шаг частотных полос, равный 0.0025 Гц.

Для вычисления амплитудных спектров использовалась стандартная методика быстрого преобразования Фурье. Спектральные плотности нормировались на величину нуль-фазового сигнала, т.е. интеграл от спектральной плотности в данной полосе частот точно дает амплитуду сигнала с нулевым фазовым спектром в начальный момент времени. Спектральные плотности после введения поправок за частотные свойства сейсмографов представлены в единицах мкм/Гц (микрон на герц) для спектров смещений грунта (рис. 4.1). Приводимые здесь спектры сглажены по 5 точкам.

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) аппаратуры рассчитывались относительно колебательной скорости грунта для набора частот, соответствующего частотным полосам, приведенным выше.

Данные об амплитудно-частотных характеристиках (АЧХ) аппаратуры брались из ежегодных сборников «Параметры, амплитудные и фазовые характеристики приборов опорных сейсмических станций СССР» (издание ОМЭ ИФЗ АН). На основании табличных данных о параметрах сейсмографов рассчитывались АЧХ для набора частот, соответствующего частотным полосам, приведенным выше. Поскольку в различные годы на сейсмостанции «Москва» использовались сейсмографы с различающимися характеристиками, пришлось рассчитать целый ряд АЧХ.

На рисунках 4.1÷4.6 приведены рассчитанные на основе полученного сейсмографического материала спектральные плотности смещений, скоростей и ускорений движений грунта при наиболее сильных и ощутимых в Москве Восточно-Карпатских землетрясениях 1977, 1986, 1990 (2 события) гг., и относительно слабых и не ощущавшихся на территории Москвы землетрясений 1999, 2001 (2 события) и 2002 гг., зареги-



стрированных Сейсмической станцией «Москва». Рис. 4.4, в качестве примера, иллюстрирует ускорения горизонтальных перемещений грунта при землетрясении 1999 г.

Рис. 4.1. Спектральная плотность смещений грунта в Р-волнах на территории Москвы при землетрясениях в Восточных Карпатах в 1977, 1986 и 1990 гг.



Рис. 4.2. Спектральная плотность смещений грунта в S-волнах на территории Москвы при землетрясениях в Восточных Карпатах в 1977, 1986 и 1990 гг.



Рис.4.3. Спектральная плотность скоростей перемещений грунта в Москве при Карпатских землетрясениях 1999, 2001, 2002 гг. РZ, SZ – продольные и поперечные волны на вертикальной составляющей сейсмограмм; PE, SE – то же самое на горизонтальной составляющей «восток-запад».



Рис.4.4. Горизонтальная составляющая амплитуд ускорений смещения грунта в Москве при Карпатском землетрясении 1999 г.



Рис. 4.5.



Рис. 4.6.

В таблице 4.1 приведены основные параметры наиболее крупных землетрясений Восточно-Карпатских землетрясений, ощущавшихся на территории Москвы в 1977, 1986 и в 1990 (2 события) годах, и менее сильных, которые произошли в 1999, 2001 (2 события) и в 2002 годах, зарегистрированы в Москве цифровой аппаратурой и проанализированы нами для сравнения их с сильными.

				Таблица 4.1
Дата возникновения землетрясения	Координаты, Градусы Широта, N Долгота, Е		Магнитуда, Ms	Глубина очага, км
1977 / 4 марта	45,77	26,80	7.1	108
1986 / 30 августа	45,64	26,38	7.4	132
1990 / 30 мая	45,84	26,67	6.7	89
1990 / 31 мая	45,81	26,77	6.1	88
1999 / 28 апреля	45,47	23,21	5.4	154
2001 / 24 мая	45,74	26,40	5.2	144
2001 / 20 июня	45,75	26,77	5.2	125
2002 / 30 ноября	45,88	26,57	5.1	162

Поскольку по сейсмограммам в фотозаписи наиболее сильных землетрясений 1977, 1986 и 1990 гг. удалось оцифровать лишь одну вертикальную компоненту, выделив на ней временные отрезки продольных Р и поперечных S волн (с исключением поверхностных), на рисунках 4.5 и 4.6 приводится сравнение сильных и слабых землетрясений только для этой компоненты. Графики даны для модуля Фурье-спектра ускорения движения грунта. По оси ординат отложена спектральная плотность ускорения в единицах микрометр/сек²/Гц или, что то же самое, мкм/с. Для лучшего восприятия выполнено сглаживание графиков. Окно сглаживания прямоугольное, шириной 0.025 Гц, т.е. по 5 точкам. Следует иметь в виду, что на низких частотах (периоды более 10 сек) результаты сейсмометрических измерений недостаточно надежны.

Графики рис. 4.3 и 4.4 даны для модуля Фурье-спектра ускорения движения грунта. От спектров Фурье переход к спектрам реакции может быть сделан при помощи корреляционных связей [Ризниченко и др., 1976], т.к. однозначной связи между спектрами Фурье и спектрами реакции не существует. Кроме того, для перехода к спектрам реакции необходимо знать конкретные данные о добротности осцилляторов. В первом приближении, от спектров Фурье ускорений грунта FA можно перейти к спектрам реакции по скорости RV, от спектров Фурье скорости FV – к реакции по смещению RD, от спектров Фурье скорости FV – к реакции по смещению RD, от спектров Фурье скорости SA

Обращает на себя внимание, что для всех землетрясений, сильных и слабых, периоды преобладающих значений спектральной плотности находятся в интервале от 0,4 до 10 с. Максимальные колебания наблюдаются в интервале периодов от 0,4 до 3–4 сек.

Более того, все кривые по конфигурации схожи между собой, независимо от рассматриваемого интервала магнитуд – от 5.1 до 7.4. При этом спектры землетрясений небольших магнитуд незначительно различаются между собой по амплитудам как в волнах Р, так и S, в то время как у сильных землетрясений компонента S-волн существенно (примерно, в 3 раза) превалирует над волнами Р и в пиковых значениях достигает 1 см/с, что соответствует 4 баллам по шкале MSK-64 и 3 баллам по шкале MMSK-92, если ориентироваться на шкалы скоростей (см следующий раздел Отчета).

По-видимому, если бы мы располагали не только вертикальной составляющей сейсмического эффекта, но и полным вектором при наличии двух горизонтальных компонент, эти различия были бы значительнее. Вместе с тем, полученный нами уникаль-

ный материал уже сейчас может быть использован для профессиональных расчетов спектров реакции, которыми пользуются проектировщики и строители.

Далее эти исследования должны быть продолжены совместно со специалистами по сейсмостойкому строительству.

5. Общие положения оценки сейсмических воздействий на здания и сооружения

Сейсмические и 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. В результате неоднократных сейсмических воздействий такие сооружения могут оказаться полностью непригодными к дальнейшей эксплуатации. Определяющую роль в этих деструктивных процессах играют интенсивность и спектральный состав сейсмических воздействий, зависящий от степени близости строительного объекта к сейсмическому источнику и от размеров последнего, определяющих магнитуду землетрясения.

Наиболее распространенным критерием оценки сейсмической опасности является векторная скорость колебаний грунта у оснований зданий и сооружений. Экспериментальные исследования 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. Вместе с тем, несмотря на то, что величина скорости смещений грунта практически общепринята как мера оценки устойчивости зданий, ее допустимые значения существенно различаются, так как зависят от типа зданий, частоты колебаний грунта, характера взаимодействия грунта и сооружений и целого ряда других факторов.

В таблице 5.1 и на рис. 5.1 сведены новейшие и частично устаревшие (MSK-64) соотношения макросейсмических и инструментальных данных для оценки количественных характеристик сейсмических воздействий.



Рис. 5.1. Сопоставление величин скоростей сейсмических воздействий по данным разных версий макросейсмических шкал (см. Табл. 5.1)

Соотношение балльности и амплитуды скорости колебаний									
I, баллы	V, cr	м/c (MSK-64)	V, см/с (MMSK-92)		V, см/с	(Казахстан, 1993)	V, см/	с (РШСИ-2000)	
MSK-64	Ι	II	Ι	II	Ι	II	Ι	II	
1	-	<0,12	-	<0.41	- <0,017		-	< 0.013	
2	0,18	0.12-0.25	0.6	0.41-0.8	0.03	0.017-0.05	0.026	0.013-0.049	
3	0,37	0.25-0.5	1.1	0.81-1.5	0.1 0.05-0.17		0.078	0.05-0.14	
4	0,75	0.5-1	2.1	1.6-3.0	0.31	0.17-0.55	0.24	0.15-0.41	
5	1,5	1-2	4.2	3.1-6.0	1 0.55-1.8		0.72	0.42-1.29	
6	3	2-4	8.5	6.1-12	3.2 1.8-5.5		2.2	1.3-3.7	
7	6	4-8	16.8	13-25	10 5.5-18		6.5	3.8-11.3	
8	12	8-16	35	26-50	32	18-58	19.5	11.4-34	
9	24	16-32	66	51-100	100	55-180	58	34-102	

Таблица 5.1. Сопоставление инструментальных данных некоторых шкал сейсмической интенсивности

Соотношение балльности и амплитуды ускорений колебаний								
I, баллы	А. см	/c/c (MSK-64)	А, см/с/с (MMSK-92)		А, см/с/с	(Казахстан, 1993)	А, см/с/с (Прибайкалье, 2000)
MSK-64	Ι	II	Ι	II	Ι	II	Ι	II
1	-	<1.5	-	< 0.21	- <1.5		-	<0,40
2	2.1	1.5-3.0	0.45	0.21-1.0	2.3	1.5-3	0.65	0.40-1.0
3	4.3	3-6	2.1	1.1-4.0	5 3-7		1.7	1.0-2.0
4	8.5	6-12	10	4.1-15.0	11 7-16		4.5	3-7
5	17.4	12-25	24	15.1-41	25 16-35		12	7-19
6	35	25-50	60	41-90	55	35-80	31	19-51
7	71	50-100	130	91-200	120 80-180		81	51-130
8	141	100-200	280	201-400	270	180-400	214	130-350
9	282	200-400	560	401-800	600	400-900	540	350-910

Примечание: I - медиана, II - интервал значений

Наиболее правдоподобными оценками величин скоростей (см/с) и ускорений (см/с²) колебательных воздействий землетрясений и их соотношений с сейсмической интенсивностью (в баллах), можно признать полученные в последнее время в Казахстане и Прибайкалье (РШСИ-2000) [Региональная..., 2000] (см. Табл. 5.1, Рис. 5.2).

6. Долгосрочный прогноз Карпатских землетрясений, ощутимых в Москве

Располагая надежным, представительным за достаточно большой промежуток времени, каталогом крупных подкоровых землетрясений в Восточных Карпатах, можно осуществить долгосрочный прогноз сейсмических событий, которые могут заметно ощущаться на территории Москвы.

На рис. 6.1 представлены последовательности возникновения во времени t (годы) таких землетрясений (магнитуды M=7.5±0.2 и M=7.0±0.2), произошедших за несколько столетий на глубине 150–200 км в районе Вранча. Землетрясения с M=7.5±0.2, по-видимому, представительны с 1446 г., а с M=7.0±0.2 – с 1700 г. При этом, как отмечалось выше, землетрясение 1446 года достаточно сильно ощущалось в районе Москвы, что привело некоторых исследователей к предположению, что это сейсмическое событие было не «карпатским», а местным землетрясением, случившимся в Подмосковье.



Рис. 6.1. Сейсмический режим крупных подкоровых землетрясений в Восточных Карпатах и долгосрочный прогноз ощутимых сотрясений на территории Москвы.

Вдоль оси абсцисс на рис. 6.1 отложены порядковые номера (**n**) землетрясений в каждой из двух приведенных хронологических последовательностей сейсмических событий с $M=7.5\pm0.2$ и $M=7.0\pm0.2$. Кружками на координатной плоскости показано местоположение каждого из событий. Кривые, соединяющие наблюденные данные, получены на основе интерполяции В-сплайнами соответствующих исходных данных. Прямые линии – результат линейной аппроксимации точечных значений.

Здесь же приведены уравнения t(n) этих прямых и коэффициенты корреляции (\mathbf{R}^2) , в целом характеризующие достаточно стабильную стационарность развития сейсмических процессов во времени. Коэффициент при **n** соответствует среднему периоду повторяемости сейсмических событий в указанных интервалах магнитуд. Так, землетрясения с M=7.5±0.2 повторяются, примерно, каждые 247 лет, а с M=7.0±0.2 – каждые 28 лет. Прогнозируемые землетрясения показаны на рисунке кружками серого цвета.

Как видно на графиках, очередное событие с $M=7.0\pm0.2$ должно произойти и, следовательно, ощущаться в Москве, в 2036 г. с отклонением ±30 лет (т.е. в интервале 2006÷2066 гг.). Событие с $M=7.5\pm0.2$, по-видимому, проявится не раньше 2158 г. Однако следует заметить, что эти даты условны, и указанные те и другие события могут возникнуть гораздо раньше.

7. Заключение

1. Территория г. Москвы согласно официальным нормативным картам ОСР-97 расположена в зоне 5-балльных сейсмических сотрясений, превышение которых на средних грунтах (грунты второй категории по СНиП II-7-81*) в течение 50 лет возможно с вероятностью менее 1% (карты ОСР-97-С и ОСР-97-D). Местных же землетрясений тектонического происхождения в пределах города и его окрестностей инструментально не зарегистрировано. Не имеются таких сведений и за весь исторический период. Не выявлены местные тектонические подвижки и по геологическим данным. Расчеты повторяемости сейсмического эффекта на территории Москвы, выполненные на основе базы данных ОСР-97, привели к следующим оценкам интенсивности сейсмических сотрясений (в долях балла): по карте ОСР-97-А – 3.8 балла; по ОСР-97-В – 4.2; по ОСР-97-В – 4.6; по ОСР-97-D – 5.0 баллов. В целочисленных единицах балльности это соответствует 4, 4 и 5 баллам – по картам А, В и С. Получено уравнение

I=0.856logT+1.527,

позволяющее вычислять интенсивность сотрясений *I* на территории Москвы для любого периода *T* повторяемости сейсмического эффекта.

2. Указанные в п. 1 оценки сейсмической интенсивности учитывают также и сейсмический эффект от удаленных на большие расстояния (около 1400 км) от Москвы заглубленных очагов сильных Восточно-Карпатских землетрясений с магнитудой Mw>7.0 и глубиной очага свыше 70 км, которые неоднократно ощущались (и будут ощущаться впредь) в Москве в виде достаточно интенсивных низкочастотных колебаний. Такие сейсмические воздействия способны повредить чувствительные к низкочастотным колебаниям высотные здания и особо ответственные строительные объекты. Относительно недавние из подобных сотрясений, ощущавшихся в Москве на разных этажах зданий интенсивностью до 4 баллов, имели место при Восточно-Карпатских землетрясениях 4 марта 1977 г. (M=7.1), в ночь с 30 на 31 августа 1986 г. (M=7.4) и 30 мая 1990 г. (М=6.7). Наиболее сильные из известных в Москве сейсмических сотрясений, интенсивностью свыше 4 баллов, наблюдались 4 октября 1802 г. и 10 ноября 1940 г. от еще более крупных землетрясений в Восточных Карпатах. Расчеты, выполненные по сценарным землетрясениям с M=7.5÷8.0, показали, что не исключены в будущем и более значительные (например, 5–6-балльные) колебания, которые могут быть усилены высотными сооружениями.

3. Выполнен спектральный анализ смещений, скоростей и ускорений колебаний грунта на территории Москвы при наиболее крупных Восточно-Карпатских землетрясениях 1977, 1986 и 1990 (2 события) годов. Для сравнения аналогичные вычисления и построения проведены и для менее сильных сейсмических событий 1999, 2001 (2 события) и 2002 годов, зарегистрированных в Москве современной цифровой аппаратурой. Наиболее интенсивными являются поперечные и поверхностные сейсмические волны, поляризованные в северо-восточном направлении (что соответствует направлению вспарывания пород в очагах Восточно-карпатских землетрясений). На грунте в пределах Москвы (район расположения сейсмостанции «Москва», Пыжевский переулок) максимальные величины этих колебаний интенсивностью до $3 \div 4$ баллов могут быть приурочены к частотному диапазону $0.1 \div 5$ герц, что соответствует интервалу периодов $0.2 \div 10$ секунд, наиболее опасных для высотных строительных объектов.

Как показано, спектральная плотность ускорений движения грунта при землетрясениях небольших магнитуд незначительно различаются между собой как в волнах Р, так и S, в то время как у сильных землетрясений компонента S-волн существенно (примерно, в 3 раза) превалирует над волнами Р и в пиковых значениях достигает 1 см/с, что может соответствовать интенсивности сотрясений, примерно, в 3 балла непосредственно на грунте. Продолжительность наиболее сильных сотрясений достигает 1 минуты.

Сопоставление спектральных плотностей скоростей и ускорений колебаний грунта при сильных и слабых землетрясениях указало на их достаточно хорошее сходство по конфигурации кривых, несмотря на существенную разницу в магнитуде (от 5.1 до 7.4). Это позволит в дальнейшем получить более надежную информацию о сейсмических воздействиях при интерпретации современных цифровых сейсмограмм и составлять полноценные спектры реакции сооружений.

Отчет иллюстрирован многочисленными графиками и расчетами. Сейсмограммы сильных и слабых землетрясений приведены в Приложении к Отчету.

8. Литература

- Ананьин И.В. Макросейсмическое проявление Карпатского землетрясения 4 марта 1977 г. на европейской части территории СССР // Землетрясения в СССР в 1977 году. М.: Наука, 1981. С.10-13.
- Ананьин И.В., Багмет А.Л. Землетрясения и их проявления на территории Москвы. // Развитие методов и средств экспериментальной геофизики. Вып.2. М.: ОИФЗ РАН, ГНИЦ ПГК (МФ). Минобразования России, 1996. С.366-375.
- *Гусев А.А.* Описательная статистическая модель излучения очага землетрясения и ее применение к оценке сильного движения // Вулканология и сейсмология. 1984. N1. C.3-22.
- *Гусев А.А., Шумилина Л.С.* Моделирование связи балл-магнитуда-расстояние на основе представления о некогерентном протяженном очаге // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4-5. С.29-40.
- Друмя А.В. и др. Анализ колебаний при землетрясении 31 августа 1986 г. на территории Молдавской ССР // Исследования по сейсмической опасности. Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.29. М.: Наука, 1988, с.35-48.
- Землетрясение Вранча 30 августа // Землетрясения в СССР в 1986 году. М.: Наука, 1989, с.13-28.
- Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. М.: Наука, 1980.
- Кондорская Н.В., Уломов В.И. (отв. ред.). Специализированный каталог землетрясений Северной. Евразии с древнейших времен до 1990 г. ОИФЗ РАН, 1995.
- Москва: геология и город / гл. ред. В.И.Осипов, О.П.Медведев. М.: АО «Московские учебники и Картография», 1997. 400 с.
- Никонов А.А. Сильнейшее в Восточной Европе Карпатское землетрясение 26 октября 1802 г. новые материалы и оценки // ДАН, 1996, т.347, № 1, с.99-102.

- Никонов А.А. Европейская Россия: сейсмическая опасность с юга // Наука в России, 2002, № 2.
- Никонов А.А. О долговременной сейсмической опасности юга европейской части России // Геофизика XXI столетия: 2001 год. Сборник Трудов Третьих геофизических чтений имени В.В. Федынского (22-24 февраля 2001г., Москва). М.: Научный мир, 2001. С.142-145.
- Никонов А.А. Раздел 4.2. Землетрясения в Московском регионе // Москва. Геология и город. Под ред. В.И.Осипова и О.П. Медведева. М.: Московские учебники и Картолитография. 1997. С.173-180.
- Ризниченко Ю.В. и др. Спектры Фурье и спектры реакции сейсмических колебаний.Изв.АНСССР, Физика Земли N6,1976, с.3-14
- Сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Карта М: 1 8000000 на 4-х листах, Главные редакторы В.Н. Страхов и В.И. Уломов. М.: ОИФЗ-РОСКАРТОГРАФИЯ, 2000.
- СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах/Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2000. 44 с. Прил. 10 карт.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект 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.
- Уломов В.И. Сейсмическая опасность на территории России // Бюлл. Строит. Техники. № 8. 1999. С. 9 12.
- Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4 5. С. 6 22.
- Сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР-97. Карта на 4х листах / Гл. ред. В.Н. Страхов и В.И. Уломов; ОИФЗ РАН. М.: НПП «Текарт», 2000.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С. Прогноз сейсмической опасности на территории России. (Соавт. Шумилина Л.С.) // Проекты и инвестиции. № 3/6. 2000. С. 2–6.
- Уломов В.И. Сейсмическая опасность на территории России // Наука в России. Издание Президиума Российской академии наук. № 6. 2001. С. 18–25.

9. Приложения

1. Каталог крупных подкоровых (глубина очага h>=70 км) землетрясений Восточных Карпат (магнитуда Ms>=6,5), ощущавшихся на территории Москвы с интенсивностью более 3 баллов

$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Интервал между события-	Ms	Mw	Н, км	Долг. Л, Е	Шир. Ф, N	Сек	Мин	Час	Дата	Mec.	Год	nn
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	МИ												
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.9 -	6.9	7.0	150	26.60	45.70			3	12	2	1107	1
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7 63	7	7.1	150	26.60	45.70				1	4	1170	2
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7 26	7	7.1	150	26.60	45.70			7	13	2	1196	3
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7.1 34	7.1	7.2	150	26.60	45.70			7	10	5	1230	4
6 1327 45.70 26.60 150 7.1 7 1446 10 10 4 45.70 26.60 150 7.7 7. 8 1471 8 29 8 45.70 26.60 150 6.9 6. 9 1516 11 24 45.70 26.60 150 7.1 11 1523 6 9 45.70 26.60 150 7.0 6. 12 1595 4 21 10 45.70 26.60 150 7.0 6. 13 1606 1 13 1 30 45.70 26.60 150 6.7 6. 14 1620 12 1 1 30 45.70 26.60 150 6.7 6. 15 1637 2 1 1 30 45.70 26.60 150 6.7 6. 17 1681 8 <	6.9 28	6.9	7.0	150	26.60	45.70			13	7	2	1258	5
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7 69	7	7.1	150	26.60	45.70						1327	6
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7.6 119	7.6	7.7	150	26.60	45.70			4	10	10	1446	7
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.8 25	6.8	6.9	150	26.60	45.70			8	29	8	1471	8
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.7 45	6.7	6.8	150	26.60	45.70				24	11	1516	9
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7 7	7	7.1	150	26.60	45.70				9	6	1523	10
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.9 22	6.9	7.0	150	26.60	45.70		30	8	9	7	1545	11
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.9 50	6.9	7.0	150	26.60	45.70			10	21	4	1595	12
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.6 11	6.6	6.7	150	26.60	45.70		30	1	13	1	1606	13
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.6 14	6.6	6.7	150	26.60	45.70					12	1620	14
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.6 17	6.6	6.7	150	26.60	45.70		30	1	1	2	1637	15
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.6 42	6.6	6.7	100	26.60	45.70			2	9	8	1679	16
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.7 2	6.7	6.8	150	26.60	45.70			0	18	8	1681	17
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7.1 20	7.1	7.2	150	26.60	45.70			0	12	6	1701	18
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7 37	7	7.1	150	26.60	45.70		30	10	11	6	1738	19
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.9 52	6.9	7.0	150	26.60	45.70		29	19	6	4	1790	20
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7.4 12	7.4	7.5	150	26.60	45.70		55	10	26	10	1802	21
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.7 19	6.7	6.8	150	26.60	45.70		45	13	17	11	1821	22
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.8 8	6.8	6.9	150	26.60	45.70		40	1	26	11	1829	23
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	7 9	7	7.1	100	26.60	45.70		36	18	23	1	1838	24
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.6 55	6.6	6.7	100	26.60	45.70		25	14	17	8	1893	25
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.5 1	6.5	6.6	150	26.60	45.70		20	12	31	8	1894	26
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	6.8 14	6.8	6.9	150	26.50	45.80	48	39	21	6	10	1908	27
29 1934 3 29 20 6 48 45.70 26.50 150 6.9 6. 30 1940 10 22 6 37 0 45.90 26.50 150 6.9 6. 30 1940 11 10 1 39 7 45.80 26.80 150 7.4 7. 31 1977 3 4 19 21 53.8 45.77 26.80 108 7.0 6. 22 1986 8 20 21 28 26 45.54 26.21 137 6	6.7 21	6.7	6.8	150	26.50	45.90	21	57	6	1	11	1929	28
30 1940 10 22 6 37 0 45.90 26.50 150 6.9 6. 30 1940 11 10 1 39 7 45.80 26.80 150 7.4 7. 31 1977 3 4 19 21 53.8 45.77 26.80 108 7.0 6. 20 1986 8 20 21 28 26 45.54 26.21 127 6.9	6.8 5	6.8	6.9	150	26.50	45.70	48	6	20	29	3	1934	29
30 1940 11 10 1 39 7 45.80 26.80 150 7.4 7. 31 1977 3 4 19 21 53.8 45.77 26.80 108 7.0 6. 22 1086 8 20 21 53.8 45.77 26.80 108 7.0 6.	6.8 0	6.8	6.9	150	26.50	45.90	0	37	6	22	10	1940	30
<u>31 1977 3 4 19 21 53.8 45.77 26.80 108 7.0 6.</u>	7.3 6	7.3	7.4	150	26.80	45.80	7	39	1	10	11	1940	30
	6.9 37	6.9	7.0	108	26.80	45.77	53.8	21	19	4	3	1977	31
$\begin{bmatrix} 32 \\ 1900 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 6 \\ 30 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 21 \\ 26 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 30 \\ 43.34 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 20.31 \\ 137 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 137 \\ 0.9 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.8 \end{bmatrix}$	6.8 9	6.8	6.9	137	26.31	45.54	36	28	21	30	8	1986	32
33 1990 5 30 10 40 6.2 45.88 26.67 90 6.8 6.	6.7 4	6.7	6.8	90	26.67	45.88	6.2	40	10	30	5	1990	33
Среднее и стандартно отклонени	ное 26±25 ние	Среднее и стандартное отклонение											
t, лет 120	Ms ── ^{7.6}	T						¥					t, лет 120









Москва, 1977 г., вертикальная составляющая; миллиметры на записи.



Москва, 1986 г., вертикальная составляющая; миллиметры на записи.

3. Примеры сейсмограмм землетрясений, не ощущавшихся в Москве, но зарегистрированных сейсмостанциями в Москве и Обнинске и использовавшихся при спектральном анализе. Двойные стрелки – интервалы записи продольных, поперечных и поверхностных волн, использованных при спектральном анализе.



.

Time relative to label, seconds



© В.И.Уломов и др., ИФЗ РАН