

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

---

**Институт физики Земли – ИФЗ**

**О Т Ч Е Т**

**«Инструментальное наблюдение  
сейсмических колебаний здания дома №31/35  
по ул. Фридриха Энгельса при проведении  
строительных работ третьего транспортного  
кольца в г. Москве»**

// Договор № 02/2003 от 01 апреля 2003 г.

НИЦ «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС и ИФЗ РАН //

---

**Москва, 2003**

*«Утверждаю»*  
Директор Института физики Земли РАН  
член-корреспондент РАН

\_\_\_\_\_ А.О.Глико

10 июня 2003 г.

**О Т Ч Е Т**  
**«Инструментальное наблюдение**  
**сейсмических колебаний здания дома №31/35**  
**по ул. Фридриха Энгельса при проведении**  
**строительных работ третьего транспортного**  
**кольца в г. Москве»**

(сокращенно «Сейсмический мониторинг»)

// Договор № 02/2003 от 01 апреля 2003 г.

НИЦ «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС и ИФЗ РАН //

Руководитель работы заведующий лабораторией континентальной сейс- мичности ИФЗ РАН, д. физ.-мат. наук, профессор	В.И.Уломов
Основные исполнители:	
Зав. лаб. сильных землетрясений ОИФЗ РАН д. физ.-мат. наук	С.С. Арефьев
Ст. научн. сотрудник лаб. сейсмометрии ИФЗ РАН, к.физ.-мат. наук	А.Ю. Марченков
Ст. научн. сотрудник лаб. сейсмометрии ИФЗ РАН	И.В. Уломов

---

**Москва, 2003**

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ПРИРОДНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ.....	6
2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ.....	9
3. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧАЕМОГО ОБЪЕКТА.....	16
3.1. Расположение объекта .....	16
3.2. Видимые повреждения.....	19
4. АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ .....	22
4.1. Сейсмометрическая аппаратура.....	22
4.1.1. Трехкомпонентный Малогабаритный Велосиметр КМВ .....	22
4.1.2. Сейсмический Автономный Регистратор СЕЙСАР .....	26
4.2. Технология наблюдений .....	29
5. ТЕХНОГЕННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИССЛЕДУЕМОЕ ЗДАНИЕ.....	32
5.1. Общая характеристика результатов сейсмометрических наблюдений .....	32
5.2. Спектральный анализ сейсмограмм.....	38
5.2.1. Методика расчетов.....	38
5.2.2. Изучение динамических параметров микросейсмического фона .....	39
5.2.3. Изучение динамических параметров сейсмических воздействий механизмов .....	40
5.3. Зарегистрированные удаленные события .....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	50
Основные результаты работ .....	50
Основные выводы выполненных исследований .....	51
Общий вывод .....	52
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Каталог наиболее интенсивных сейсмических событий техногенного происхождения .....	54
Чердачное помещение.....	54
Подвальное помещение.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СУБЪЕКТИВНЫЕ ОЩУЩЕНИЯ ЖИЛЬЦОВ ОБСЛЕДУЕМОГО ДОМА.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. КОМПАКТ-ДИСК С МАТЕРИАЛАМИ.....	61
СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ.....	62
СПИСОК ТАБЛИЦ.....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа выполнена по договору № 02/2003 от 01.04.2003 г. между НИЦ «Тоннели и метрополитены» ЦНИИС ООО ЦНИИС (Заказчик) и Институтом физики Земли Российской академии наук (ИФЗ РАН) (Исполнитель). Поводом для постановки сейсмометрических наблюдений явились жалобы местных жителей на сильные сотрясения, а также видимые повреждения в стенах отдельных жилых и общественных зданий, расположенных в непосредственной близости от участка строительства тоннельно-эстакадного варианта третьего транспортного кольца в районе Лефортово (Заказчик – ОАО «Москапстрой», Генподрядчик – ООО НПО «Космос»).

Объектом сейсмометрического мониторинга, выполненного сотрудниками ИФЗ в соответствии с техническим заданием НИЦ «Тоннели и метрополитены», было 6-этажное кирпичное здание дома №31/35 по ул. Фридриха Энгельса, построенное в 30-х годах прошедшего столетия и наиболее подверженное процессу трещинообразования в его конструкциях. Априори предполагалось, что наряду с естественной просадкой этого здания, вызванной недавней надстройкой четырьмя этажами его восточного крыла, определенное влияние на накопление деформаций в стенах здания будут оказывать техногенные сейсмические воздействия, создаваемые работой механизмов в рядом расположенном котловане. Как известно, при динамических воздействиях такие конструкции уязвимы сильнее, чем не имеющие трещин.

Ранее достаточно полное обследование городской застройки вблизи строящихся тоннелей было выполнено НИИ ОСП и НИЦ ТМ ЦНИИС. При этом были обнаружены многочисленные трещины в стенах целого ряда зданий. Основная причина появления большинства трещин была объяснена дополнительными напряжениями от неравномерной осадки фундаментов. В старых постройках трещины в стенах особенно часто появляются в углах зданий, в карнизах и в кирпичной кладке стен над оконными проёмами. По материалам разведочного бурения на участках строительства Лефортовских тоннелей, Метрогипротрансом составлены инженерно-геологические разрезы вдоль их осей.

Рассматриваемый в настоящем отчете участок тоннеля расположен в восточной части г.Москвы, в долине р. Яузы. Его геологическое строение достаточно неоднородно. Верхняя часть грунтовой толщи сложена разнообразными по генезису и физико-механическим свойствам четвертичными отложениями, общая мощность которых составляет от 4 до 31 м. Глубже залегают коренные породы верхнеюрского и верхне-каменноугольного комплексов, сложенных суглинками, мергелями и известняками. Глубина уровня грунтовых вод небольшая и измеряется на отдельных участках первыми метрами. Водовмещающими грунтами являются пески и супеси.

Приповерхностные грунтовые условия участка расположения тоннеля в сейсмическом отношении могут быть отнесены к средним (II категория) по градации СНиП II-7-81\*, а местами и к более неблагоприятной III категории. В неблагоприятных условиях может оказаться и ряд существующих зданий, расположенных в полосе влияния тоннеля. Определенную опасность могут представ-



лять суффозионные провалы, возникающие вследствие выноса песков и известняков подземными водами.

Целью работы ИФЗ являлось исследование характера и интенсивности техногенных сейсмических воздействий строительных механизмов на ближайшую к котловану и значительно поврежденную трещинами часть здания дома № 31/35 по ул. Фридриха Энгельса (см. фотоснимки в следующих разделах настоящего отчета).

Поставленные задачи были реализованы путем круглосуточного (в течение более одного месяца) сейсмического мониторинга подвального и чердачного помещений указанной части здания двумя трехкомпонентными комплектами современной высокочувствительной цифровой сейсмометрической аппаратуры. Интерпретация полученных сейсмограмм включала в себя профессиональную обработку огромного числа трехкомпонентных записей сейсмических колебаний разного рода (естественный городской фон, импульсные воздействия механизмов в котловане и др.), анализ их спектрального состава и других физических параметров (амплитуды смещения, скорости, ускорения и др.). Для наиболее интенсивных и информативных колебаний составлен каталог, включающий указание времени (дата, час, минута, секунды) их возникновения, величины амплитуд, частоты колебаний и других параметров, характеризующих колебательные (вибрационные) процессы в исследуемом здании. Эта обширная информация, записанная на компакт-дисках, включена в Приложение к настоящему отчету и может быть полезна для последующего практического использования в строительной практике.

Весь объем экспериментальных наблюдений, цифровая обработка и анализ зарегистрированных данных выполнены сотрудниками лаборатории континентальной сейсмичности, лаборатории сильных землетрясений и лабораторией сейсмометрии:

Уломов В.И.	Общее руководство работой. Написание отчета (Введение, Разделы 1, 2, Подраздел 5.1, Заключение)
Арефьев С.С. Быкова В.В.	Анализ сейсмографического материала, написание отчета (Подраздел 5.2)
Марченков А.Ю.	Обеспечение инструментальных наблюдений; обработка первичных данных, написание отчета (Подраздел 4.2, Приложение 1)
Уломов И.В.	Обработка и интерпретация сейсмометрических данных, написание отчета (Раздел 3, Подразделы 4.1, 5.3, Приложение 2, все фото, оформление отчета, CD).

Успешному выполнению программы работ способствовала поддержка со стороны Директора ОАО ЦНИИС НИЦ «Тоннели и метрополитены» В.Е. Меркина и заведующего Лабораторией конструкции и технологий сооружений тоннелей и метрополитенов В.А. Гарбера. Особую признательность исполнители работ выражают жительнице дома №31/35 по ул. Ф. Энгельса Л.Ф. Шепелевой, осуществлявшей записи времени возникновения и характера наиболее ощутимых и сильных сотрясений здания.

# 1. ПРИРОДНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ

Поскольку отдельными гражданами, ранее проживавшими в сейсмоактивных районах, наиболее сильные сотрясения зданий, расположенных вблизи котлована строящегося третьего транспортного кольца, трактовались как природные землетрясения, ниже вкратце сообщается о естественных сейсмических явлениях – тектонических землетрясениях, ощущавшихся в разное время на территории Москвы.

С геологической точки зрения, территория Москвы представляет собой район сочленения трех крупных блоков земной коры, которые отчетливо проявляются в неотектонической структуре, геоморфологии и в общем характере геодинамических процессов.

Имеющиеся геолого-геофизические данные позволяют обнаружить в строении палеозойского фундамента и морфологии его поверхности зональность широтного и восток–северо-восточного простирания. Часть разломов земной коры, 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.

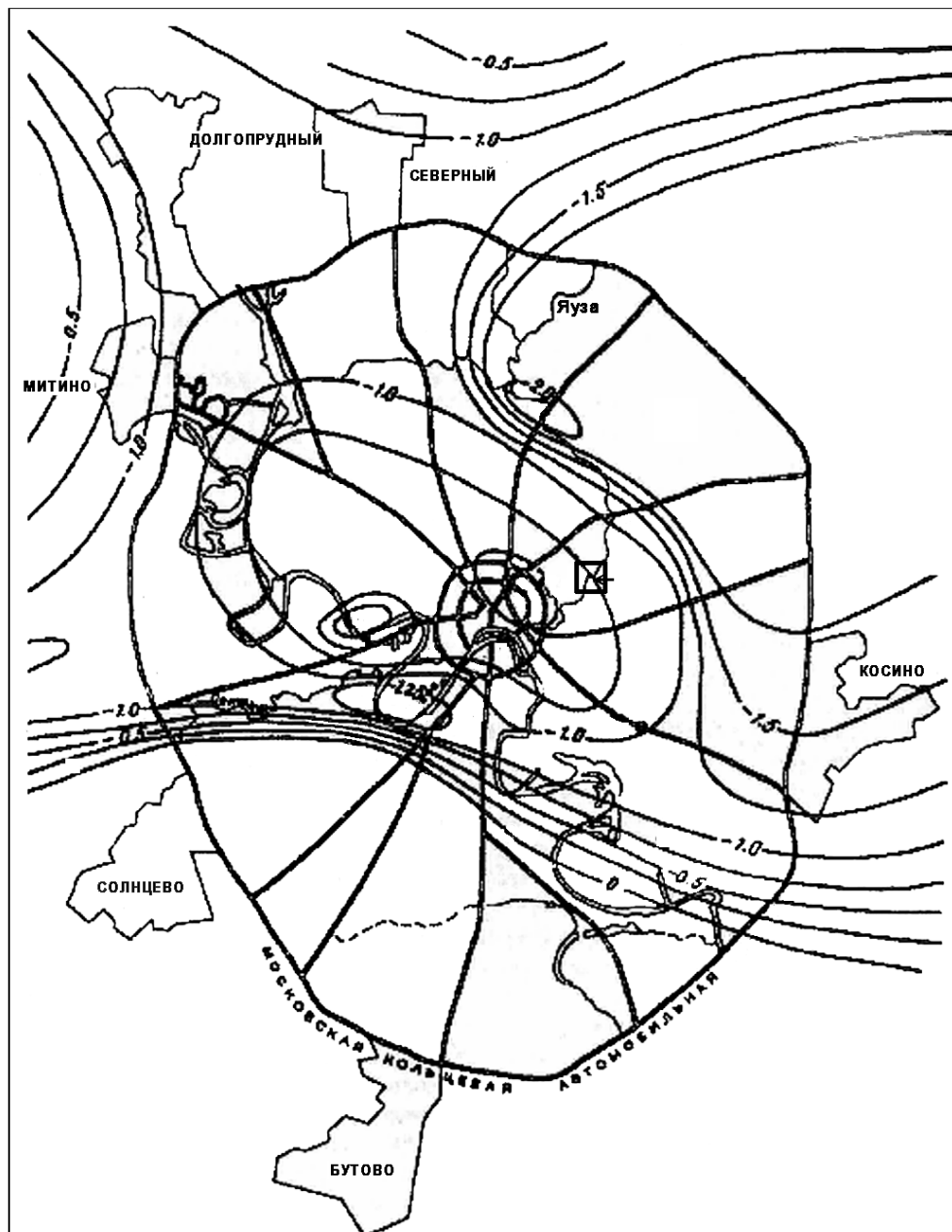
Результаты повторного нивелирования на территории Москвы (рис.1.1) позволяют наметить две зоны относительно высоких градиентов скоростей современных движений. Одна из них, расположенная южнее центра города, протягивается субширотно вдоль р.Москвы и западнее – вдоль долины р. Сетунь.

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 ( $>1.5$  мм/год).

За весь исторический период, с XII в. по настоящее время, 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.

## 1. Природные сейсмические воздействия на территории Москвы

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  $M=3.5$  (по шкале Рихтера), случившееся 18 января 2000 г. в Кировской области.



Изолинии скорости (мм/год) вертикальных движений земной поверхности на территории Москвы и ее окрестностей (по данным И.Б.Карасика, В.И.Макарова, А.К.Певнева)

☐ ← местоположение объекта сейсмометрических наблюдений

Рис. 1.1. Карта-схема современных тектонических движений

## 1. Природные сейсмические воздействия на территории Москвы

Вместе с тем, в Москве нередко ощущаются низкочастотные сейсмические волны от крупных землетрясений с магнитудой до  $M=7.4$  и с заглубленными до 100–150 км очагами в Восточных Карпатах, в зоне Вранча на территории Румынии (Рис. 1.2).



Рис. 1.2. Схема изосейст удаленных землетрясений, ощущавшихся в Москве

По историческим сведениям самое сильное из них ощущалось в Москве в 1230 году интенсивностью 5 баллов (по современным 12-балльным макросейсмическим шкалам MSK-64 или EMS-98). 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. Относительно недавними, 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. ( $M=6.7$ ).

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 самых последних таких событий, ощущавшихся на верхних этажах зданий в Москве, было сильное землетрясение 6 декабря 2000 г. на западе Туркменистана.

В Москве известны также карстовые сейсмические явления, обусловленные локальными провалами кровли карстовых полостей.

В соответствии с Общим сейсмическим районированием территории Российской Федерации (ОСР-97), выполненным в 1991–1997 гг. в ИФЗ РАН [Уломов, Шумилина, 1999; Сейсмическое..., 2000], район Москвы расположен в зоне возможных 5-балльных (по 12-балльной шкале MSK-64) сейсмических воздействий, отнесенных к средним грунтам по классификации действующих Строительных норм и правил СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах» [Строительные..., 2000]. Вместе с тем, может иметь место определенное приращение балльности за счет более слабых (рыхлых) и обводненных грунтов.

## **2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ**

Сейсмические и вибрационные 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 [Кириллов, Медведев и др., 1962]. В результате неоднократных сейсмических воздействий такие сооружения могут оказаться полностью непригодными к дальнейшей эксплуатации. Определяющую роль в этих деструктивных процессах играют интенсивность сейсмических воздействий и степень близости

строительного объекта к источнику сейсмических возмущений. Эта близость не должна быть меньше сейсмически безопасных расстояний, определяемых соответствующими нормативными документами. Нам представляется, что в качестве одного из таких документов могут быть использованы «Единые правила безопасности при взрывных работах. ПБ 13-407-01», введенные в действие 1 марта 2002 г. В них в общем виде регламентированы различные типы безопасных расстояний при производстве взрывных работ. Поскольку эти нормы предназначены для оценки сейсмической опасности не только однократных взрывов сосредоточенных зарядов, но и неодновременного (замедленного) взрывания нескольких рассредоточенных зарядов, воздействия которых по своему характеру могут быть близкими к воздействиям ударных механизмов, они могут оказаться полезными для будущих исследований по тематике, рассматриваемой в настоящем отчете.

Нам представляется, что в первом приближении в качестве оценки сейсмического воздействия работающих механизмов можно совместно рассматривать характеристики взрывных воздействий замедленного типа и параметры сотрясений, вызванных естественными тектоническими землетрясениями. В отличие от кратковременного воздействия взрывов, исчисляющегося десятками долями и первыми секундами, при землетрясениях колебания грунтов с высокой интенсивностью продолжаются значительно дольше (10–15 с и более). Можно полагать, что воздействия разного рода ударных механизмов на стройплощадке на резонансные свойства близко расположенных зданий будут занимать промежуточные значения между взрывными воздействиями и естественными землетрясениями.

Далее эта идея в отчете в деталях не развивается, так как такой задачи перед исполнителями не стояло, хотя и приводятся некоторые соотношения физических параметров из практики взрывного дела и из большой сейсмологии.

Наиболее распространенным критерием сейсмической опасности является векторная скорость колебаний грунта у оснований охраняемых 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 [Садовский, 1939, 1946].

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 [Бутовская, Уломов, Яковлев, 1957].

В таблице 2.1 на основе обобщения литературных источников, выполненного А.А.Маловичко [Маловичко, 2002], в систематизированном виде приведены данные о допустимых значениях скоростей смещения в основании малоэтажных кирпичных зданий. Как видно, большинство допустимых значений скоростей смещения приняты в пределах 1-3 см/с.

Таблица 2.1

**Допустимые значения скоростей смещения  
в основании малоэтажных кирпичных зданий**

NN пп	Авторы или организации	Скорость ко- лебаний, см/с	Примечания
1	С. В. Медведев (1964)	1.5-3 3-6	Допустимая величина для зданий, имеющих деформации. Допустимая величина для зданий в удовлетвори-
2	Б.Н.Кутузов (1988)	1-3 3-6	Для жилых и общественных зданий всех типов. Для административно-бытовых и промышленных зданий.
3	П.С.Миронов (1973)	1.5-3	Осыпание побелки легкие повреждения отдельных зданий.
4	ПЗУ «Союзвзрыв-пром»	2-3	Допустимая величина для удаленных от взрывов зданий.
5	Д. Д. Баркан (1946)	5	Допустимые величины скоростей.
6	Горное бюро США (Барон, Кантор, 1989)	5	Максимально допустимая скорость смещения для жилых зданий.

Класс сооружений определяется степенью их важности:

I класс – особо ответственные здания, ведение взрывных работ вблизи которых возможно лишь в исключительных случаях;

II класс – промышленные сооружения большой важности (копры шахт, водонапорные башни) и гражданские здания с большим скоплением людей (жилые здания, кинотеатры, магазины);

III класс – сооружения промышленного и служебного назначения сравнительно небольших размеров в плане и не выше трех этажей по высоте; здания гражданского назначения с небольшим скоплением людей;

IV класс – здания промышленного и гражданского назначения, нарушения в которых не угрожают жизни и здоровью людей или повреждению установленного оборудования.

Суммарный ранг сооружений выражается суммой четырех частных рангов и может принимать значения в диапазоне от 1 до 8. В таблице 2.1 приведены допустимые скорости в зависимости от ранга и класса сооружений. Например, если здание относится к классу II с рангом 3 (кирпичное здание без антисейсмического сцепления), то допустимая скорость колебаний грунта у основания здания составит  $V = 1.6$  см/с и т.п.

Для характеристики сейсмических воздействий возможно также применять подходы, разработанные в сейсмологии при изучении землетрясений и базирующиеся на 12-балльной шкале MSK-64 [Медведев, 1964; Антикаев, Гитис и др., 1997].

Обобщенные значения скоростей и ускорений, приведенные в таблице 2.2, можно в первом приближении рассматривать в качестве оценки сейсмического воздействия работающих механизмов, поскольку в отличие от кратковременного воздействия взрывов, исчисляющегося десятками долями и первыми секундами, при землетрясениях колебания грунтов с высокой интенсивностью продолжаются значительно дольше (10–15 с и более). Можно полагать, что воздействия разного рода ударных механизмов на стройплощадке на резонансные свойства близко расположенных зданий будут занимать промежуточные значения между взрывными воздействиями и естественными землетрясениями.

Таблица 2.2

**Расчетные значения допустимой скорости колебаний  
грунта в зависимости от ранга и класса сооружений**

Ранг	Характеристика сооружений	Допустимая скорость колебаний, см/с		
		Классы: II III IV		
1	Здания с ж/б каркасом, имеющие антисейсмические усиления	4.6	7.5	12.0
2	То же без антисейсмического усиления	2.8	4.6	7.5
3	Каркасные, крупноблочные или кирпичные здания без антисейсмического усиления. Остаточных деформаций не имеется	1.6	2.8	4.6
4	То же при наличии отдельных небольших трещин в несущих стенах, каркасе и перегородках	1.0	1.6	2.8
5	Каркасные, крупнопанельные, крупноблочные или кирпичные здания, имеющие значительные нарушения в виде косых трещин в несущих стенах	0.6	1.0	1.6
6	Все типы зданий с крупными и многочисленными трещинами и нарушениями	0.3	0.6	1.0

Следует иметь в виду, что здания одного и того же типа и ранга могут различаться качеством и прочностными свойствами, и эти различия, имеющие случайный характер, будут приводить к необходимости статистических оценок [Садовский, Костюченко, 1974]. Величины скоростей также могут принимать разные значения в зависимости от частоты сейсмических колебаний. Необходимо отметить, что воздействие высокочастотных составляющих сейсмических колебаний на отдельные элементы несущих конструкций зданий и сооружений является еще срав-



нительно слабо изученным вопросом и требует дальнейших исследований [Адушкин, Стивак и др., 2000].

Как известно, устарели и количественные оценки сейсмического эффекта по шкале MSK-64, приведенной ниже (см. Таблицы 2.3 и 2.4).

Таблица 2.3

**Шкала интенсивности сейсмических воздействий – MSK-64**

Баллы	Скорость колебаний почвы $V$ , см/с	Ускорение колебаний почвы $A$ , см/с <sup>2</sup>	Характеристика колебаний и их последствий
1	0.06–0.12	0.75–1.50	Колебания почвы фиксируются только высокочувствительными приборами
2	0.13–0.25	1.6–3.1	Колебания ощущаются отдельными людьми, находящимися в спокойном состоянии
3	0.26–0.50	3.2–6.2	Колебания отмечают немногими людьми
4	0.51–1.0	6.3–12.5	Колебание отмечается многими людьми, возможно колебание дверей, дребезжание стекол
5	1.1–2.0	12.6–25.0	Качание висячих предметов, многие спящие просыпаются, осыпание побелки
6	2.1–4.0	26–50	Легкие повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке, трещины в печках
7	4.1–8.0	51–100	Значительные повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах
8	8.1–16.0	101–200	Разрушение в зданиях: большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб
9	16.1–32.0	201–400	Значительные разрушения, в некоторых зданиях обвалы: обрушение стен, перекрытий, кровли
10-12	>32.1	>401	Обвалы во многих зданиях

Таблица 2.4

## Сопоставление инструментальных данных некоторых шкал сейсмической интенсивности

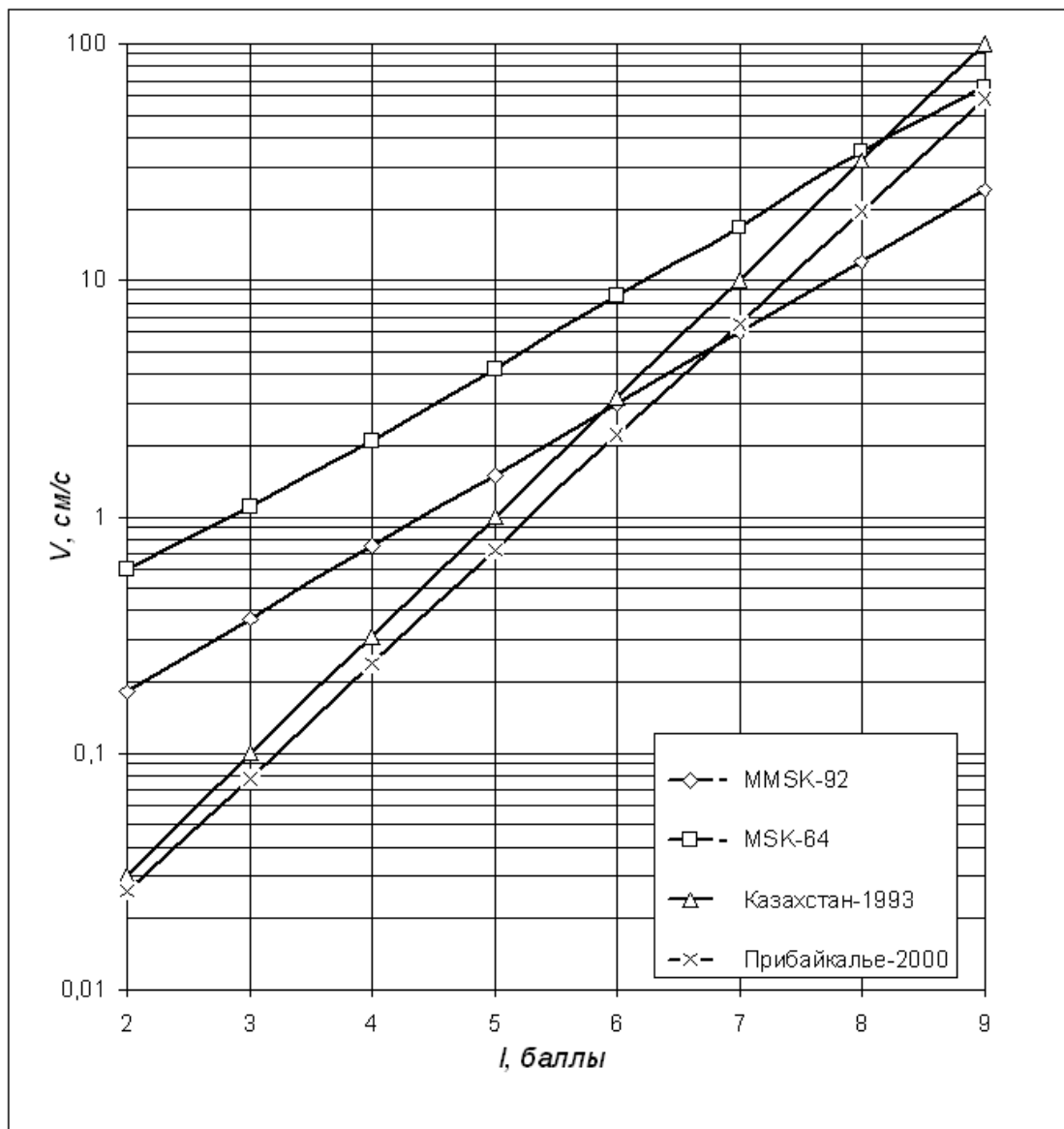
Соотношение балльности и амплитуды скорости колебаний

I, баллы MSK-64	V, см/с (MSK-64)		V, см/с (MMSK-92)		V, см/с (Казахстан, 1993)		V, см/с (РШСИ-2000)	
	I	II	I	II	I	II	I	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

Соотношение балльности и амплитуды ускорений колебаний

I, баллы MSK-64	A, см/с/с (MSK-64)		A, см/с/с (MMSK-92)		A, см/с/с (Казахстан, 1993)		A, см/с/с (Прибайкалье, 2000)	
	I	II	I	II	I	II	I	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



**Рис. 2.3.** Сопоставление величин скоростей сейсмических воздействий по данным разных версий макросейсмических шкал. (см. Табл. 2.4)

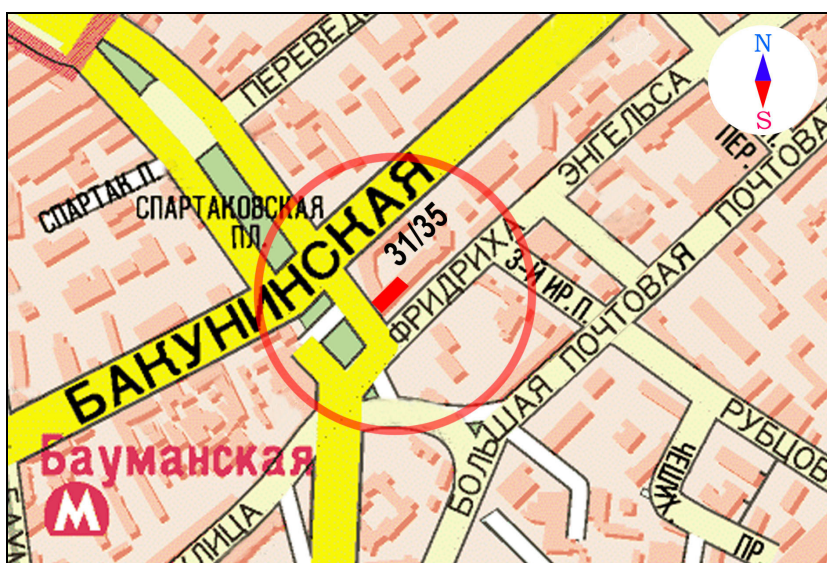
Наиболее правдоподобными оценками величин скоростей (см/с) и ускорений (см/с<sup>2</sup>) колебательных воздействий землетрясений и их соотношений с сейсмической интенсивностью (в баллах), можно признать полученные в последнее время в Казахстане и Прибайкалье (шкала РШСИ-2000) [Региональная..., 2000] (см. Табл. 2.4, Рис. 2.3). На них мы и будем ориентироваться в дальнейшем при анализе сейсмических воздействий механизмов в котловане возле исследуемого здания дома №31/35 по ул. Фридриха Энгельса.

## 3. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧАЕМОГО ОБЪЕКТА

### 3.1. Расположение объекта

Как уже сообщалось, объектом сейсмометрического мониторинга было 6-этажное кирпичное здание дома №31/35 по ул. Фридриха Энгельса, построенное в 30-х годах прошедшего столетия и наиболее подверженное процессу трещинообразования в его конструкциях. Предполагалось также, что наряду с естественной просадкой части этого здания, вызванной недавней надстройкой четырьмя этажами его восточного крыла и строительством примыкающего к нему многоэтажного дома, определенное влияние на накопление деформаций в стенах изучаемого здания будут оказывать техногенные сейсмические воздействия, создаваемые работой механизмов в рядом расположенном котловане.

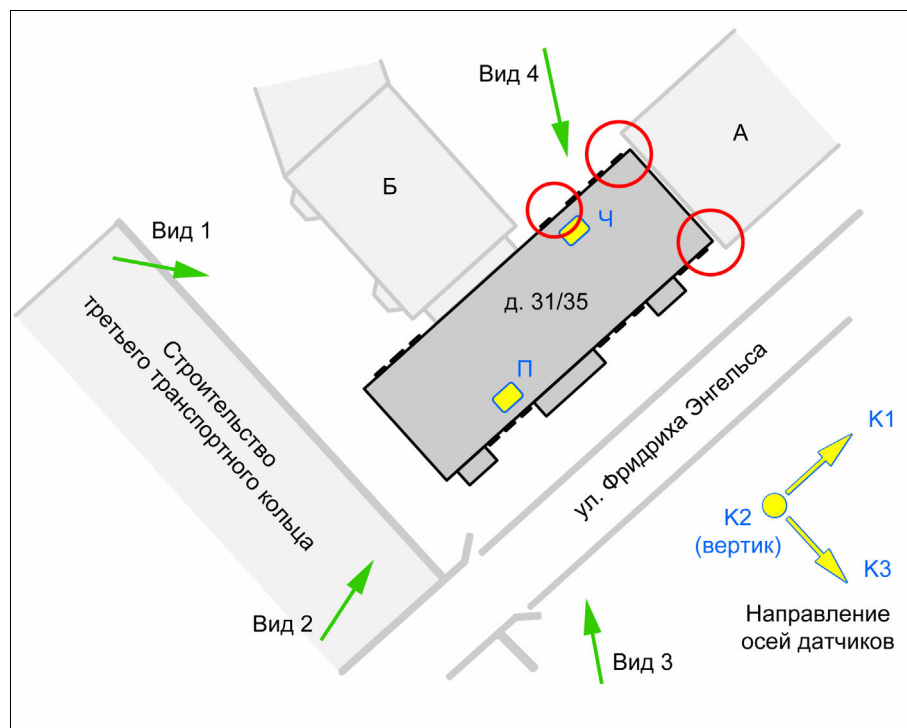
Как будет показано ниже, зарегистрированные сейсмические воздействия вряд ли могли повлиять на развитие трещин в стенах изучаемого дома. Скорее всего, решающую роль в этих деструктивных процессах играет просадка построенного в непосредственной близости 13-этажного здания и достроенного четырьмя этажами восточного крыла изучаемого дома.



*Рис. 3.1.1. План местности и расположение исследуемого здания.  
Здание показано красным цветом.*

Здание расположено продольной стороной вдоль ул. Ф.Энгельса и развернуто на северо-восток, угол между направлением на север и продольной стороной здания составляет  $48^\circ$ . К дому №31/35 вплотную примыкают: к его торцевой части со стороны ул. Энгельса – достроенная в 2000 г. до 10 этажей восточная часть 6-этажного исследуемого дома (А), а со стороны строительства 3-го ТК 13-этажный кирпичный дом (Б).

### 3. Местоположение и характеристика изучаемого объекта



**Рис. 3.1.2.** Расположение дома №31/35 по отношению к площадке строительства.

На рис. 3.1.2 стрелки (Вид 1 ... Вид 4) указывают на места, с которых сделаны приводимые ниже фотоснимки. Окружностями помечены места наибольших видимых повреждений здания. Прямоугольники Ч и П – расположение регистрирующей аппаратуры, Ч – в чердачном помещении, П – в подвальном.



**Рис. 3.1.3.** Вид объекта со стороны строительства 3-го ТК (вид 1 на рис.3.2).

На переднем плане рис. 3.1.3 – котлован строящейся магистрали 3-го транспортного кольца. Светлое 6-этажное здание в центре фотоснимка – изучаемый объект. В левой части снимка на передний план выступает 13-этажное кирпичное здание (объект Б).



### 3. Местоположение и характеристика изучаемого объекта



*Рис. 3.1.4. Вид объекта со стороны пересечения 3-го ТК и ул.Ф.Энгельса (вид 2 на рис.3.2).*

В центре снимка 3.1.4, за котлованом находится изучаемый объект. За ним – надстроенное 4-мя этажами его дальнее крыло (объект А). Слева на снимке – примыкающее к объекту 13-этажное здание (объект Б).



*Рис. 3.1.5. Вид объекта со стороны ул.Ф.Энгельса (вид 3 на рис.3.2).*

На переднем плане рис. 3.1.5 – исследуемое здание. За ним возвышается современное 13-этажное здание (объект Б). Справа от него – надстроенное четырьмя этажами восточное крыло исследуемого дома (объект А).

## 3.2. Видимые повреждения

С целью выбора места для установки регистрирующей аппаратуры был произведен осмотр наружных и внутренних видимых повреждений объекта. Ниже в виде примеров приводятся несколько изображений наиболее внушительных трещин и разломов в структуре здания.

На рис. 3.1.5 и 3.1.7 окружностями помечены местоположения наиболее крупных трещин. А на рис. 3.1.6, 3.1.8, 3.1.9 приведены увеличенные фрагменты этих трещин. Трещинообразование наблюдается по всем этажам, вертикальными аномалиями, с первого до последнего этажа.

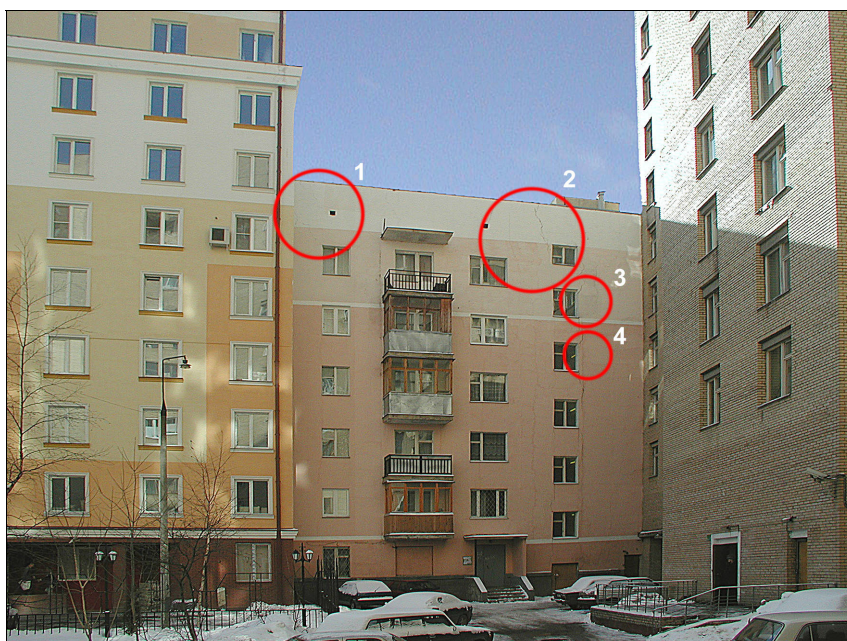


*Рис. 3.1.6. Крупные трещины на уровне 6-го этажа со стороны ул.Ф.Энгельса.*

Со стороны ул.Ф.Энгельса наиболее крупные трещины наблюдаются в части здания, примыкающей к надстроенному 10-этажному крылу. Большинство трещин развивается от оконных проемов. В качестве примера на рис. 3.1.6 приведен снимок фрагмента стены на уровне 6-го этажа с рис. 3.1.5.



### 3. Местоположение и характеристика изучаемого объекта

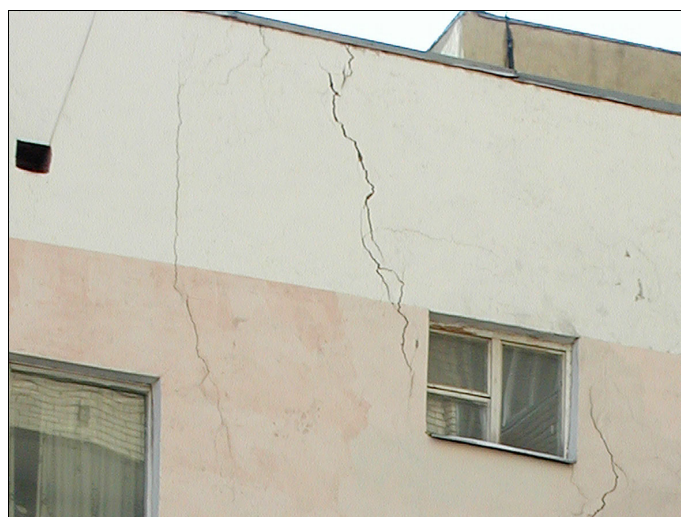


*Рис. 3.1.7. Вид объекта со стороны двора (вид 4 на рис. 3.1.2).*

В центре рис. 3.1.7 – исследуемое 6-этажное здание, сфотографированное со стороны двора. Слева – его крыло с надстройкой (объект А), справа – 13-этажное здание (объект Б). Окружностями помечены участки наиболее активного трещинообразования (см. фрагменты на следующих фотоснимках).



Фрагмент 1



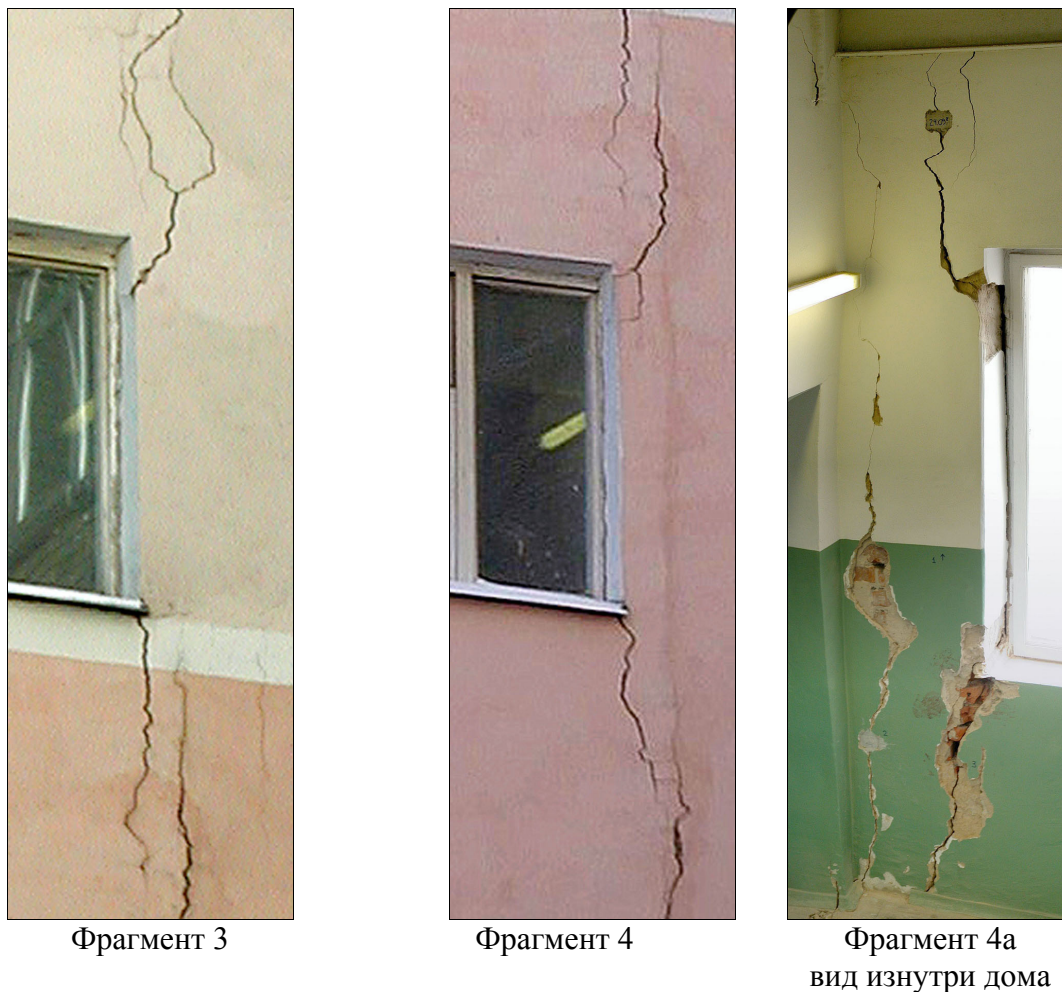
Фрагмент 2

*Рис. 3.1.8. Фрагменты 1 и 2 наружных стен дома со стороны двора.*

На рис. 3.1.8 приведены два увеличенных фрагмента (с рис. 3.1.7) наружной стены дома с сильными трещинами со стороны двора.



### 3. Местоположение и характеристика изучаемого объекта



*Рис. 3.1.9. Фрагменты трещин на верхних этажах снаружи и внутри дома.*

На рис. 3.1.9 показаны фрагменты 3 и 4 с рис. 3.1.7 наружной стены дома со стороны двора. Наблюдаются наиболее мощные сквозные трещины, проникающие на лестничные площадки здания по всей высоте дома, от нижних до верхних этажей. На фрагменте 4а изображен пример такой сквозной трещины, представляющей собой вид фрагмента 4 изнутри дома.

По результатам осмотра внутренних и внешних повреждений здания, был сделан выбор в пользу установки одного из комплектов регистрирующей аппаратуры в непосредственной близости от наиболее мощных трещин. А именно, в чердачном помещении в качестве места установки была выбрана ниша в поперечной капитальной стене, примыкающей к наружной стене дома в области фрагмента 2 на рис. 3.1.7.

## 4. АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

### 4.1. Сейсмометрическая аппаратура

В качестве регистрирующей аппаратуры для проведения эксперимента выбраны два комплекта велосиметров КМВ и 24-разрядных цифровых сейсмических автономных регистраторов СЕЙСАР. Образуемый приборами широкополосный канал регистрации с полосой частот 0.5-70 Гц, идеально подходит для решения инженерно-сейсмометрических задач.

Приборы разработаны и изготовлены в Институте физики Земли РАН.

Ниже даются краткие технические характеристики аппаратуры. В качестве демонстрации высоких разрешающих возможностей аппаратуры в разделе 5.5 даются образцы удаленных землетрясений, зарегистрированных в месте установки в исследуемом здании во время эксперимента.

#### 4.1.1. Трехкомпонентный Малогабаритный Велосиметр КМВ

##### Область применения прибора

Сейсмометры S2123A/AT серии КМВ предназначены для преобразования в электрические сигналы трех взаимно ортогональных составляющих колебаний грунта, сооружений и других объектов при сейсмических явлениях естественного и искусственного происхождения. Модификация АТ отличается наличием выхода по наклонам корпуса прибора.



Рис. 4.1.1. Внешний вид велосиметра КМВ

отличается наличием выхода по наклонам корпуса прибора.

Прибор может быть использован при регистрации сейсмических явлений в полевых, инженерно-сейсмометрических и промышленных наблюдениях, в донных станциях, а также в различных областях науки и техники для измерения вибраций.

Настоящая модификация разработана для применения в составе цифровой измерительной аппаратуры.

## Конструкция

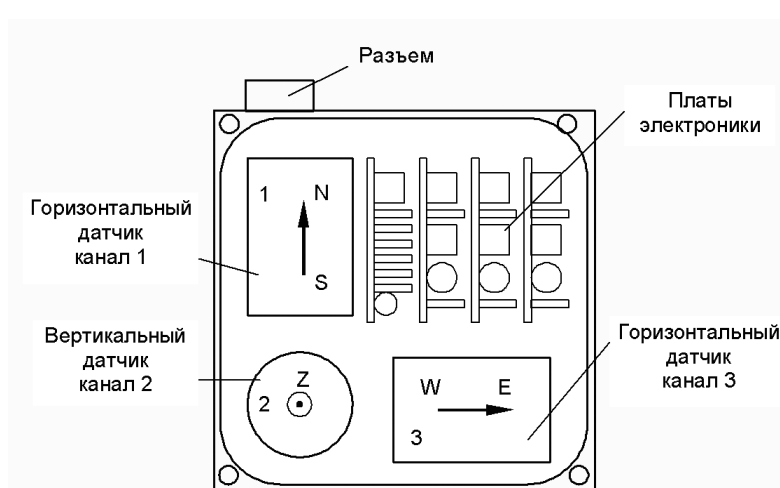
В корпусе сейсмометра размещаются три преобразователя сейсмического сигнала в электрический и электроника, формирующая частотные характеристики каналов. Питание прибора и его связь с внешними устройствами осуществляются через герметичный разъем, расположенный на корпусе.

## Преобразователи

Преобразователи, применяемые в приборе, являются маятниковыми емкостными датчиками, в основе которых лежат дифференциальные воздушные конденсаторы. Сигнал на выходе такого датчика зависит от расстояния между пластинами конденсатора или его электрической емкости.

## Направления главных измерительных осей

Главные измерительные оси компонент прибора образуют декартову систему координат и расположены традиционным образом - две горизонтальных и одна вертикальная компоненты. Положительные направления измерительных осей обозначены на рисунке стрелками - на "север", на "восток" и вверх.



Положительные направления измерительных осей обозначены на рисунке стрелками - на "север", на "восток" и вверх. На рисунке приведен вид прибора сверху со снятой крышкой.

Зависимость полярностей сигналов на выходе прибора от направления движения его корпуса является общепринятой в сейсмологии.

А именно, при возникновении движения корпуса в направлении, совпадающим с положительным направлением измерительной оси, на выходе соответствующей компоненты появляется положительный отклик. Выходные электрические сигналы в рабочей полосе частот прибора пропорциональны частоте смещения его корпуса при внешних воздействиях.

## Электроника

Электронная часть сейсмометра содержит следующие функциональные узлы - емкостной преобразователь с модулятором/демодулятором, схемы обратных связей и усилителей, фильтры низких частот, выходные симметрирующие каскады. Модификация S2123AT имеет также дополнительные выходы, сигналы на которых пропорциональны наклону корпуса сейсмометра.

### **Емкостной преобразователь**

Емкостной преобразователь является сердцем сейсмометра и построен по высокочастотной мостовой схеме. При перемещении маятника баланс моста нарушается и на его выходе появляется разностный сигнал. После демодуляции и выделения низкочастотного полезного сигнала последний обрабатывается и подается на схемы обратных связей.

### **Схемы обратных связей**

Схемы обратных связей формируют частотные характеристики измерительных каналов сейсмометра, расширяя столбобразную часть в область низких частот. Благодаря этим схемам улучшается линейность каналов, а также обеспечивается стабильная и устойчивая работа сейсмометра в условиях наклонов его корпуса.

### **Фильтр низких частот**

Формирует спад частотной характеристики в области верхних частот. Позволяет минимизировать количество дополнительных устройств согласования при непосредственном подключении приборов к цифровым устройствам регистрации.

### **Симметрирование выходного сигнала**

Симметрирование выходного сигнала необходимо для улучшения помехозащищенности полезного сигнала при передаче его по линии связи в условиях повышенного уровня электрических помех. Для этого сигнал расщепляется и поступает на выходной разъем сейсмометра в виде двух идентичных по амплитуде, но противофазных относительно общей шины сигналов – оригинального сигнала и сигнала со сдвигом в  $180^\circ$ . При приеме сигнала аппаратурой, имеющей симметричный (дифференциальный) вход, наведенная на линию связи синфазная помеха подавляется, а амплитуда полезный сигнал остается неизменной.

В случае применения регистрирующей аппаратуры, не имеющей симметричных входов, используется только оригинальный сигнал.

### **Устройство калибровки**

Предназначается для проведения оперативной сквозной калибровки каналов измерения в месте установки. Сигнальные входы устройства калибровки выведены на внешний разъем прибора. Сигнал тока (импульс или другой модельный сигнал) подается через развязывающую цепочку в катушку преобразователя. При этом инерционный элемент перемещается и на выходе компонент появляется отклик.

Калибровка осуществляется независимо по компонентам и без прерывания функционирования прибора.

### Устойчивость к наклонам

Благодаря применению отрицательных обратных связей прибор свободен от известного свойства "заваливания" маятника, присущего обычным сейсмометрам.

Кроме того, прибор не требует настройки нуля-пункта компонент в процессе эксплуатации, так как маятник велосиметра всегда находится в положении равновесия.

### Технические данные

Тип преобразователя	Емкостной
Компоненты	Одна вертикальная, две горизонтальных

#### Выход основной

Чувствительность номинальная	1800 В/м/с
Номинальный диапазон частот	0.5 ... 70 Гц
Максимальный выходной сигнал	$+U_{пит}-1В \dots -U_{пит}+1В$
Крутизна фильтра низких частот	80 дБ/дек
Поперечная чувствительность	Менее 1%

#### Контроль

Регулировка нуля-пункта	Не требуется
Калибровка	Внешняя

#### Питание

Тип источника питания	Биполярный постоянного тока
Номинальное напряжение питания, $U_{пит}$	$\pm 15В$
Потребляемый ток	15ма макс (9ма тип)

#### Внешние данные

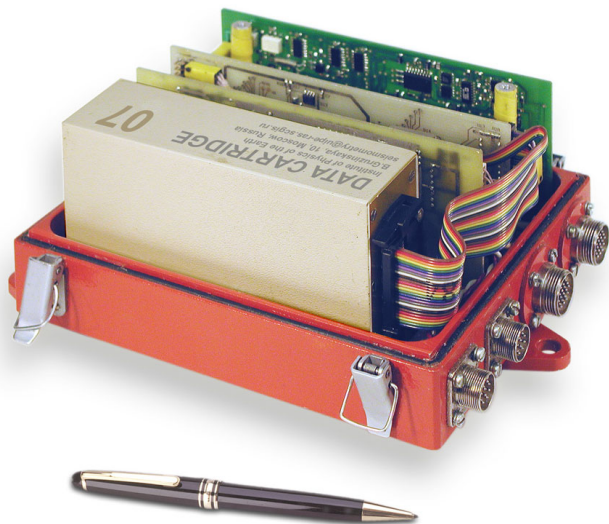
Длина	140 мм
Ширина	140 мм
Высота	80 мм
Вес	2.5 кг

#### Условия эксплуатации

Диапазон температур	$-20^{\circ}С \dots +45^{\circ}С$
Влагозащищенность	DIN IP66

## 4.1.2. Сейсмический Автономный Регистратор СЕЙСАР

Сейсмический Автономный Регистратор СЕЙСАР представляет собой 24-разрядную компактную полевую систему сбора и регистрации сейсмических сигналов. Очень удобен для случаев, когда пространство полевой лаборатории ограничено по размерам, или когда требуется мобильный быстро развертываемый регистрирующий комплекс для работы в жестких условиях.



Регистратор позволяет в считанные минуты подготовить его к работе. Достаточно установить датчики, подключить питание и с помощью пульта или портативного компьютера выполнить тестирование системы.

*Рис. 4.1.2. Внешний вид регистратора СЕЙСАР*

### Конструкция

Прибор размещен в герметичном корпусе с разъемами для присоединительного монтажа и цанговым вводом для антенны GPS приёмника.

### Применяемые типы датчиков

Регистратор допускает подключение любых сейсмометров – от датчиков с пассивным магнитоэлектрическим преобразователем (СМ-2, СМ-3КВ, С-5-С) до широкополосных электронных типа КМВ S2123. Для энергообеспечения питаемых датчиков регистратор оборудован встроенным источником напряжения  $\pm 12\text{В}$ .

Оптическая развязка измерительных каналов от остальных подсистем регистратора позволяет применять удаленные датчики, в том числе несейсмические, с высокой синфазной составляющей сигнала.

### Накопление данных

Вся регистрируемая информация записывается на сменный носитель. Регистратор допускает «горячую» замену носителя данных без потери информации. Энергосберегающие технологии, заложенные в основу схемотехники прибора, позволяют производить замену аккумуляторной батареи (12В 65А·ч) один раз в месяц. Напряжение батареи непрерывно контролируется, результаты измерений записывается в отдельный файл. Также записывается температура внутри регистратора и в картридже жесткого диска. При снижении температуры картриджа до  $+5^\circ\text{C}$  включается термостат.



## Служба времени и местоположение

Поддержка абсолютного времени дискретных данных и локализация в пространстве обеспечивается встроенным приемником GPS.

## Технические данные

### Общие характеристики

Количество каналов	3 (3 дополнительно)
Аналоговый вход	Дифференциальный
Входной усиление	-20, 0, 20, 40 дБ
Ослабление синфазной помехи	Не хуже 80 дБ в полосе 0 – 200 Гц
Разрешающая способность	1.2 мкВ/МЗР при усилении 0 дБ
Отношение сигнал/шум	Не хуже 134 дБ при частоте дискретизации 100 Гц
Антиалийсинг-фильтры	
Частота среза	100 Гц (-3дБ)
Тип фильтра	Бессель, 2-го порядка

### Аналого-цифровой преобразователь

Тип	24-разрядный сигма-дельта преобразователь
Выходная частота дискретизации	1...250 отсчетов/с на канал
Программируемое приращение частоты	1Hz
Разрешающая способность	22 разрядов эфф. При частоте 100 отсчетов/с 21 разряд эфф. При частоте 250 отсчетов/с
Линейность	0.0015% от полной шкалы
Входная частота дискретизации	312 кгц

### Режим сбора данных

Непрерывный

### Контроль жизнеобеспечения

Датчики температуры	Температура регистратора Температура картриджа с носителем данных
Датчик напряжения	Входное питание (в т.ч. батарея)
Прочие датчики	Влажность

### Картридж носителя данных

Тип носителя	Жесткий диск 2.5"
Емкость	20Гб номинально
Тип сжатия данных	Без потери информации
Температурный диапазон эксплуатации	От -20 до +50°C
Режим подогрева	Автоматическое включение/выключение в зависимости от условий окружающей среды
Размеры	Длина: 140мм, ширина: 70мм, высота 35мм.
Вес	200 г
Удароустойчивость	
В нерабочем режиме	Гарантируется отсутствие потерь данных при ускорениях до 1200 м/с <sup>2</sup> при полупериодном воздействии гармонической волной длительностью 11мс.
В рабочем режиме	Допускается свип-воздействие гармоническим сигналом амплитудой 10м/с <sup>2</sup> в диапазоне 5..500Гц.

#### 4. Аппаратурное обеспечение сейсмологических наблюдений

##### **Служба времени**

Абсолютное время	С помощью встроенного GPS
Антенна	Выносная
Длина кабеля антенны	5 м
Точность	Не хуже 0.1мс
Частота обновления	Устанавливается пользователем с пульта

##### **Интерфейс пользователя**

Тип интерфейса	Выносной подключаемый клавишный пульт (либо IBM PC-совместимый компьютер – лаптоп)
Количество клавиш	2
Индикация	Состояние регистратора Индикация работы с накопителем Комбинированная индикация

##### **Контроль датчиков**

Тип калибровки	Импульсная, сквозная
Режимы калибровки	Независимо по каждой компоненте датчика

##### **Питание**

Энергопотребление типовое	0.5Вт
Батарейное питание	Внешнее, 9–16В постоянного тока
Рамена батарей	Горячий режим, без прекращения регистрации

##### **Соединители**

Внешние	
Тип соединителей	Нержавеющая сталь, мультиполюсные
Для подключения датчиков	2 разъема по 3 канала
Последовательный порт	Разъем EIA RS-232E
Антенна GPS	Коаксиальный разъем
Разъемы питания	1 для батареи 12В, 2 для горячей замены
Внутренние	
Подключение картриджа данных	Разъем с плоским многожильным кабелем
Разъем	IEEE1284 EPP

##### **Габаритные размеры**

Ширина	170 мм
Длина	200 мм
Высота	100 мм
Вес	950 г
Корпус	Алюминиевый сплав

##### **Корпус и условия эксплуатации**

Температурный диапазон	–20°C ... +50°C
Брызгозащищенность	DIN IP65

##### **Программное обеспечение для первичной обработки**

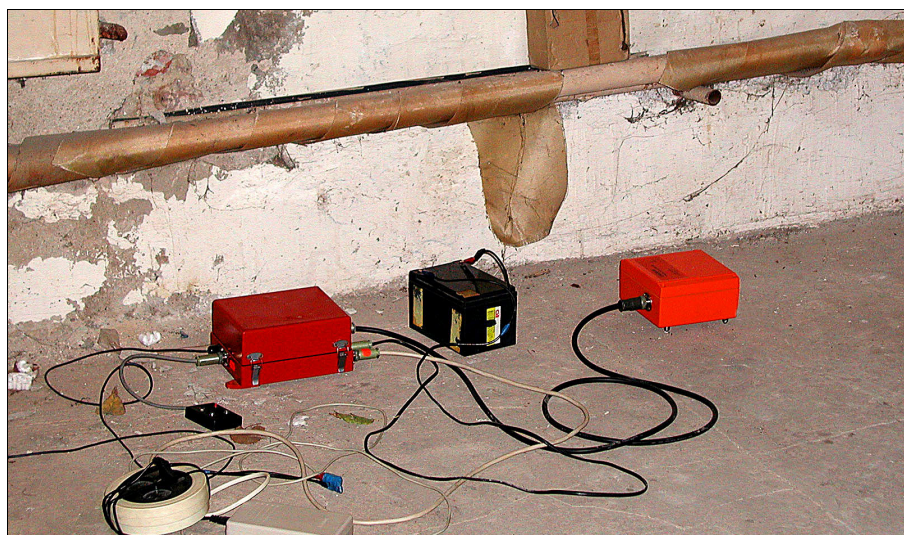
Программы	Чтение данных. Конвертер данных.
Формат данных	Miniseed, Integer4
Операционная система	MS-DOS



## 4.2. Технология наблюдений

К началу работ здание по ул.Фридриха Энгельса 31/35 было обследовано визуально, а также были проведены рекогносцировочные измерения переносной цифровой сейсмостанцией в течение часа. На основании внешнего и внутреннего осмотров здания, имеющих на нем повреждений, а также по оценке полученных данных были намечены точки для установки стационарной регистрации.

Стационарные измерения проводились двумя полевыми цифровыми сейсмостанциями (см. описание в 4.1), расположенными в подвальном помещении и в чердачном помещении исследуемого здания (схема на рис. 3.1.2). Датчики были расположены так, что их одноименные оси чувствительности были параллельны с точностью до 5 угловых градусов. Датчик в подвальном помещении (местоположение в плане здания обозначено на рис. 3.1.2 буквой "П", а также как "Low level" на ряде рисунков и диаграмм) располагался на цементной стяжке примыкающего к фундаменту здания бетонного пола подвала.



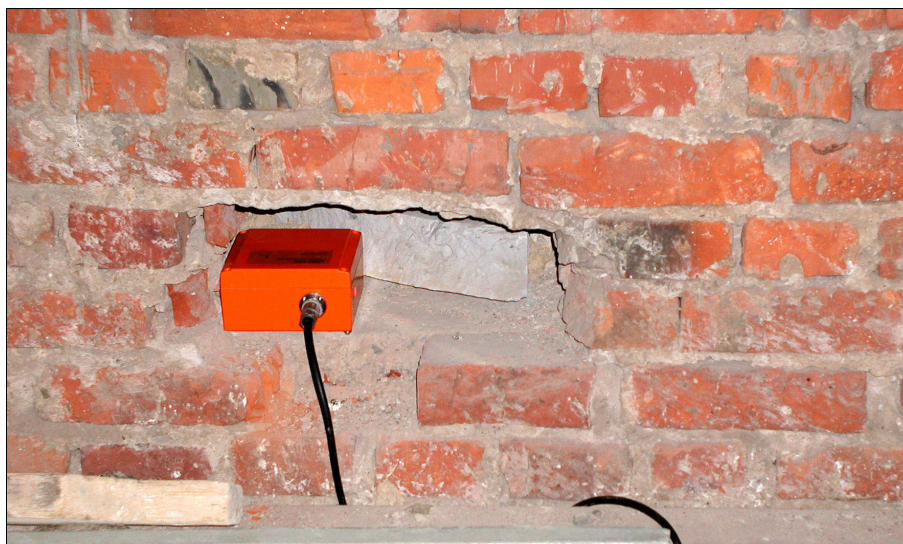
*Рис. 4.2.1. Подвальное помещение. Размещение датчика и регистратора. Датчик размещен рядом с наружной стеной, выходящей на ул.Ф.Энгельса.*

Датчик в чердачном помещении (местоположение обозначено на рис. 3.1.2 буквой "Ч") был помещен в нишу капитальной кирпичной стены.

Текущий анализ записей показал, что выбор мест установки с точки зрения анализа воздействия вибраций на здание был удачным и расположение сейсмостанций больше не менялось.

В процессе производства измерений обе сейсмостанции были дополнительно запитаны от электросети здания через устройства бесперебойного питания. С целью обеспечения службы времени с необходимой точностью обе сейсмостанции работали в режиме синхронизации с помощью GPS (глобальная система позиционирования, дающая точность определения времени с расхождением менее микросекунды в штатном режиме). При этом антенна приемного устройства GPS на чердаке была вынесена за

пределы здания из-под крыши и постоянно находилась в рабочем положении, в то время как антенна в подвале устанавливалась в рабочее положение лишь при смене носителей информации на станции (раз в 2-4 дня). Такое положение дел определялось соображениями сохранности аппаратуры в течение времени наблюдений.



*Рис. 4.2.2. Чердачное помещение. Размещение датчика и регистратора. Датчик расположен во внутренней поперечной капитальной стене, примыкающей к наружной стене в непосредственной близости с крупными трещинами.*

Сводные данные по времени непрерывных наблюдений представлены в таблице 4.1.

**Время работы сейсмостанций** **Таблица 4.1**

Подвал			Чердак		
№	Начало записи	Конец записи	№	Начало записи	Конец записи
1	16.04.2003 07:18	18.04.2003 06:22	1	16.04.03 09:22	17.04.03 09:09
2	18.04.2003 07:13	19.04.2003 04:35	2	18.04.03 08:22	19.04.03 22:10
3	22.04.2003 05:53	24.04.2003 05:47	3	20.04.03 06:18	20.04.03 16:48
4	26.04.2003 07:23	03.05.2003 19:25	4	22.04.03 07:26	23.04.03 04:42
5	15.05.2003 07:16	30.05.2003 07:35	5	24.04.03 07:09	05.05.03 07:47
			6	05.05.03 08:40	08.05.03 06:08
			7	10.05.03 07:55	17.05.03 05:56
			8	23.05.03 07:35	30.05.03 07:33
Общее время записи в подвальном помещении: 27 суток, 8 часов 39 мин.			Общее время записи в чердачном помещении: 31 сутки, 17 часов 27 мин.		

Время синхронной регистрации обеими сейсмостанциями: 19 суток, 3 часа 56 мин.

В ходе работ были получены качественные цифровые сейсмограммы общим объемом около 10 Гигабайт. Накопленных данных достаточно для проведения качественного и количественного анализа колебаний здания. Все данные архивированы и могут быть при необходимости предоставлены для анализа. Формат данных является стандартным (integer4), что по-



#### 4. Аппаратурное обеспечение сейсмологических наблюдений

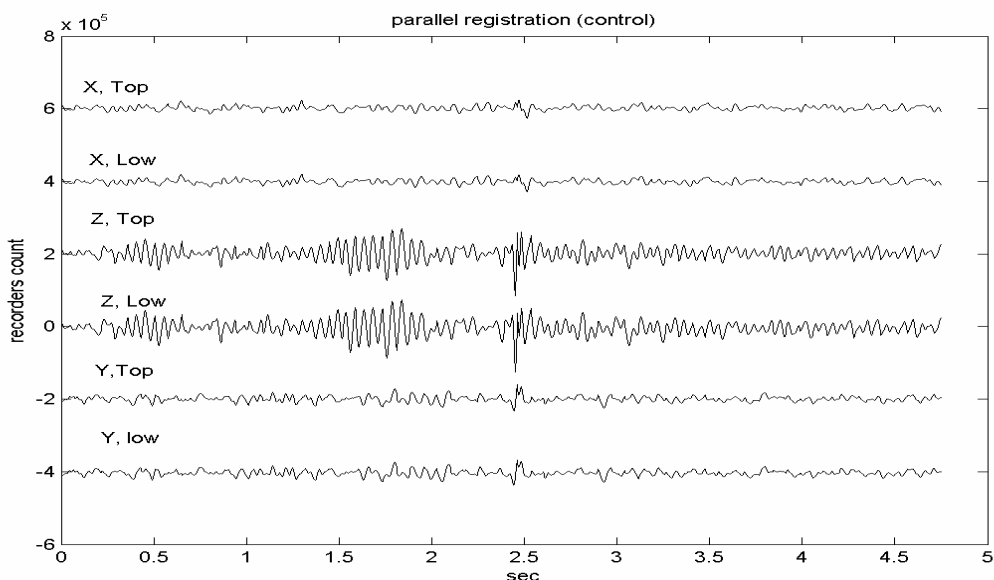
зволяет использовать практически любые программы для их обработки не прибегая к сложным преобразованиям форматов. К данным прилагаются журналы наблюдений, включающие информацию о температуре, времени и качестве синхронизации и калибровок каналов, времен записи данных на диск, смены носителей и действий оператора.

С целью проверки идентичности аппаратуры была проведена получасовая контрольная регистрация обеими расположенными рядом станциями.



*Рис. 4.2.3. Калибровочная запись параллельно установленными датчиками.*

На рис.4.2.4. представлена запись искусственно созданного сигнала.



*Рис. 4.2.4. Калибровочная регистрация с установленных рядом датчиков.*

Горизонтальная ось – секунды, вертикальная – отсчеты регистратора.  
Трассы раздвинуты по вертикали для наглядности

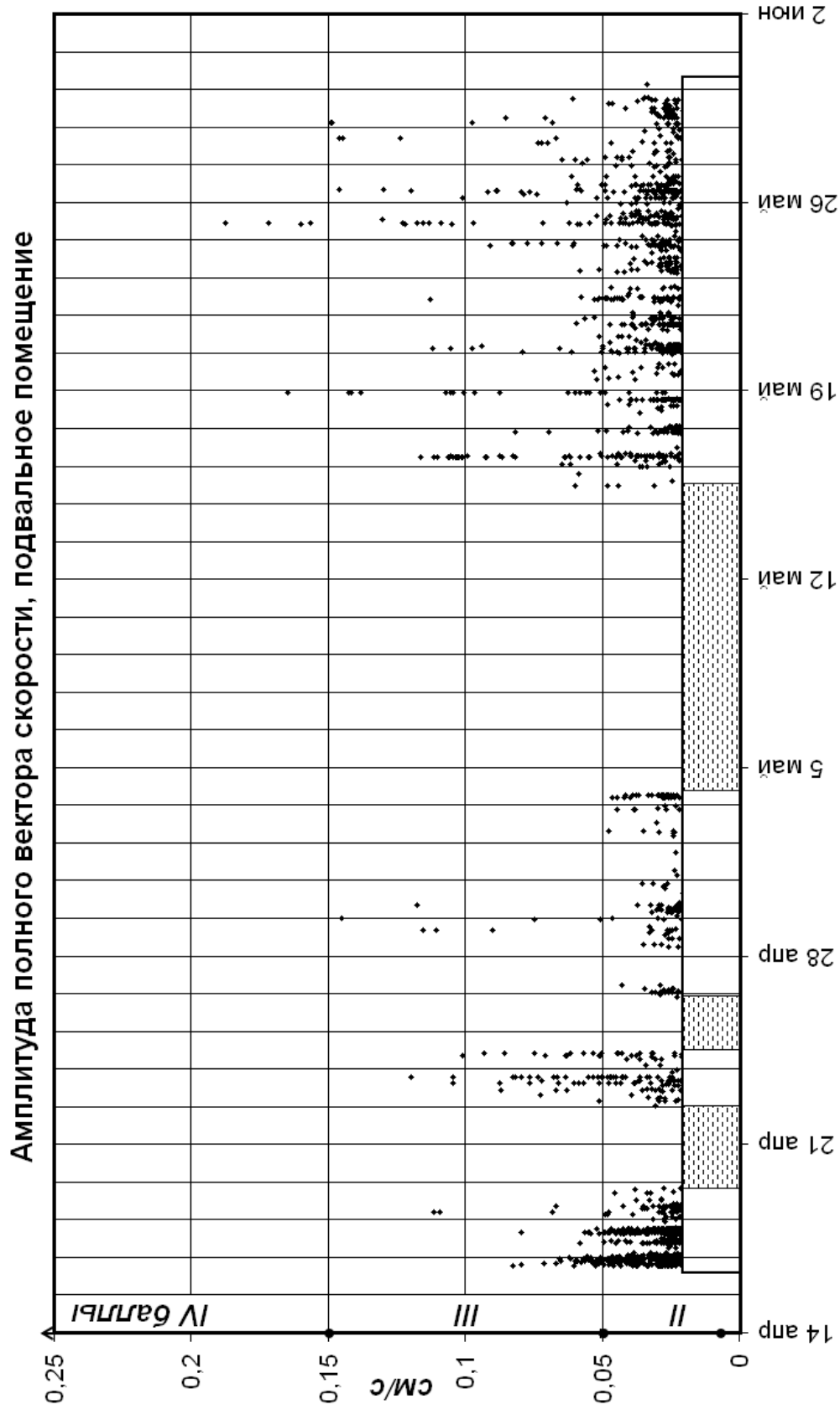
## 5. ТЕХНОГЕННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИССЛЕДУЕМОЕ ЗДАНИЕ

### 5.1. Общая характеристика результатов сейсмометрических наблюдений

В соответствии с техническим заданием и календарным планом работ инструментальные сейсмологические наблюдения должны были начаться 8 апреля 2003 г. после недельной подготовки, продолжаться в течение одного месяца и завершиться 8 мая. В течение следующего месяца, т.е. до 10 июня, планировалось провести камеральные работы и составить информационный отчет с интерпретацией полученных результатов. Однако в связи с объективными причинами (неопределенности с заключением договора, подготовка аппаратуры и т.п.) наблюдения были начаты 16 апреля. В процессе работ возникли и другие сложности (перерывы в электропитании, неполадки в регистраторе и т.п.), которые привели к необходимости продлить сроки инструментальных наблюдений до 30 мая, чтобы выполнить месячный план работы. Наиболее продолжительные перебои в регистрации происходили в подвальном помещении исследуемого дома №31/35 по ул. Фридриха Энгельса. Значительно меньше пропусков в регистрации наблюдалось в чердачном помещении дома.

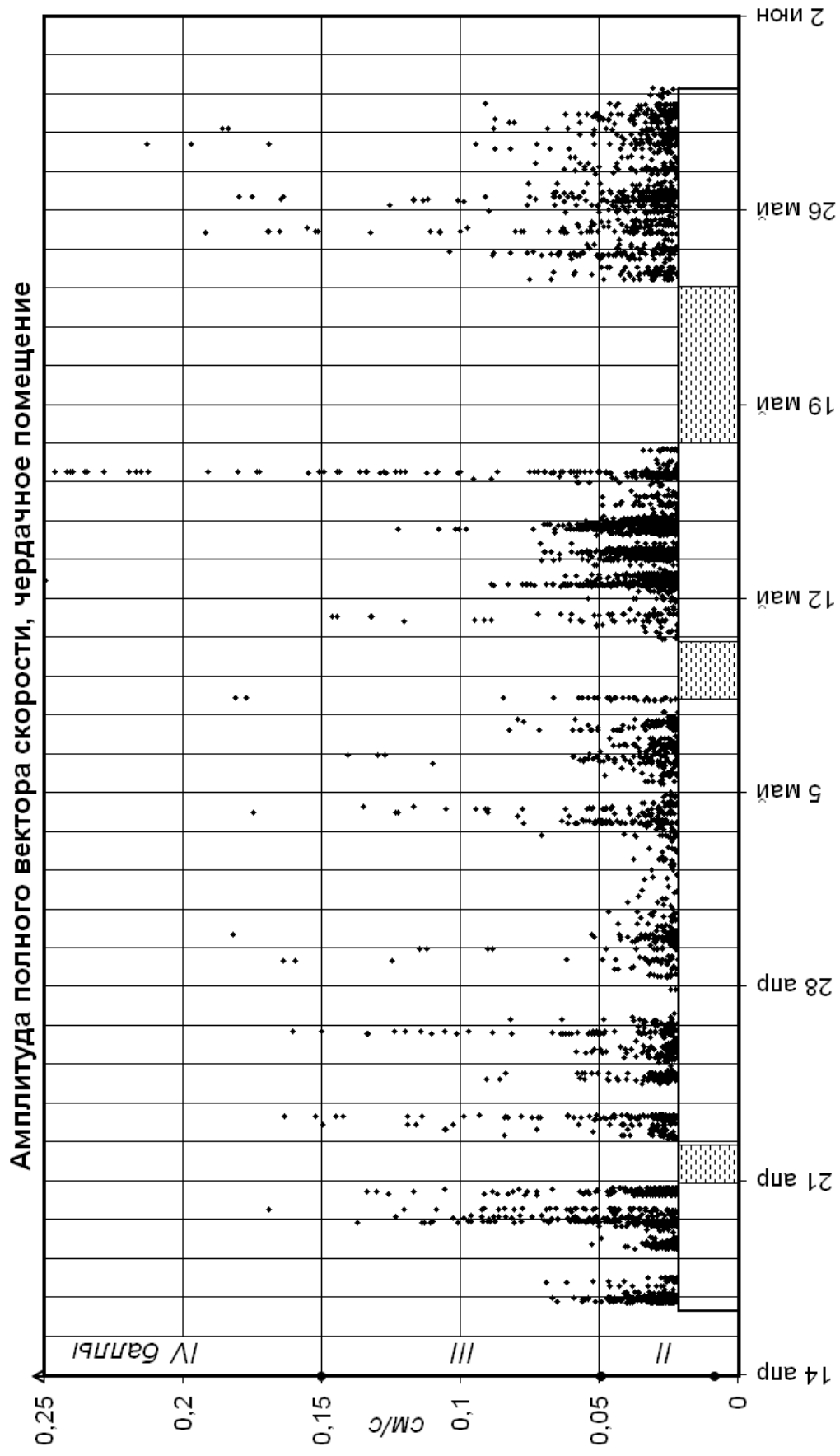
О продолжительности работы и результатах наблюдений каждой из двух сейсмических станций можно судить по рисункам 5.1.1 и 5.1.2, где вдоль оси абсцисс отложено время (даты), а по оси ординат – величина скорости сейсмических колебаний (см/с). Здесь же, согласно данным таблицы 2.4 (шкала РШСИ-2000), указана соответствующая этим величинам сейсмическая интенсивность (баллы). Точками на графиках помечены амплитуды полного вектора скорости в соответствующий момент времени, т.е. когда такие экстремальные значения появлялись. Полный вектор определялся обычным путем – извлечением квадратного корня из суммы квадратов амплитуд скорости на каждой из трех составляющих ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), регистрируемых в один и тот же момент времени трехкомпонентным сейсмометром. Как уже сообщалось,  $X$  соответствует продольному колебанию здания в месте установки аппаратуры,  $Y$  – поперечному и  $Z$  – вертикальному.

Приведенные графики являются наглядным представлением сейсмических воздействий, оказываемых на здание работой строительных механизмов в близ расположенном котловане. Все воздействия значительно превышают общий сейсмический фон, создаваемый городским транспортом и другими источниками техногенных колебаний.



16 апреля - 30 мая 2003 г.

Рис. 5.1.1. Сейсмические воздействия в подвальном помещении



16 апреля - 30 мая 2003 г.

Рис. 5.1.2. Сейсмические воздействия в чердачном помещении

Чтобы не затемнять картину, эта часть сейсмических возмущений городского происхождения на графике «прикрыта» узкой горизонтальной полосой, протяженность которой соответствует общей продолжительности наблюдений, а высота несколько превышает амплитуду фона помех. Заштрихованные участки этой полосы – это те «пробелы» в регистрации, о которых упоминалось выше.

На каждом из графиков отчетливо видна суточная периодичность техногенных сейсмических воздействий, обусловленная активностью работы механизмов в дневное время суток и их затишьем ночью. Огромное число относительно слабых сейсмических событий характеризуются скоростью колебаний до 0.05 см/с, что соответствует двухбалльным сотрясениям по 12-балльным шкалам сейсмической интенсивности – MSK-64, EMS-98. В дневное время такие сотрясения возникают практически непрерывно. Они лишь в отдельных случаях ощущаются людьми, находящимися в спокойном состоянии в помещении.

Достаточно часто, почти ежедневно, регистрируются более сильные сотрясения (скорость колебаний до 0.15 см/с), соответствующие 3-балльной интенсивности, на которую реагируют жильцы верхних этажей. Наиболее сильные, 4-балльные (скорость колебаний выше 0.15 см/с) сейсмические воздействия возникают значительно реже, но ощущаются практически всеми жильцами дома как сотрясение всего здания. Самое сильное из таких сотрясений отмечено 16 мая в 13 ч. 01 мин., когда амплитуда векторной скорости превысила 0,25 см/с. Достаточно сильные сотрясения зарегистрированы 29 апреля в 21 ч. 15 мин. (скорость 0.18 см/с), 12 мая в 14 ч. 59 мин. (0.25 с/с), 16 мая (0.25 см/с), 28 мая в 09 ч. 08 мин. (0.21 см/с). Большинство из наиболее интенсивных сотрясений идентифицировано ощущениями жильцов как 3-4-балльные.

Описание реакции людей на сейсмические воздействия разной интенсивности можно найти в таблице 2.2, где приведена шкала MSK-64. Оно полностью соответствует тем, о которых сообщали нам в период инструментальных наблюдений жильцы исследуемого дома (см. шкалу РШСИ-2000, на которую и сориентированы оси ординат на приведенных графиках).

В качестве одного из подтверждений, что источниками всех сотрясений, значительно превышающих нормальный городской сейсмический фон, является работа механизмов на стройплощадке в котловане, был эксперимент с приостановкой по единой команде работы практически всех механизмов. Механизмы перестали работать примерно в 12 часов 15 мая. Результат анализа этого эксперимента виден на рис. 5.1.3, который является увеличенным фрагментом графика на рис. 5.1.2. Здесь, так же, как и на двух предыдущих рисунках, показаны события, превышающие по амплитуде уровень городского сейсмического шума. Отчетливо видно, что в интервале с 11 ч. 27 мин. до 15 ч. 16 мин. наблюдается отсутствие каких-либо сейсмических сигналов из котлована.

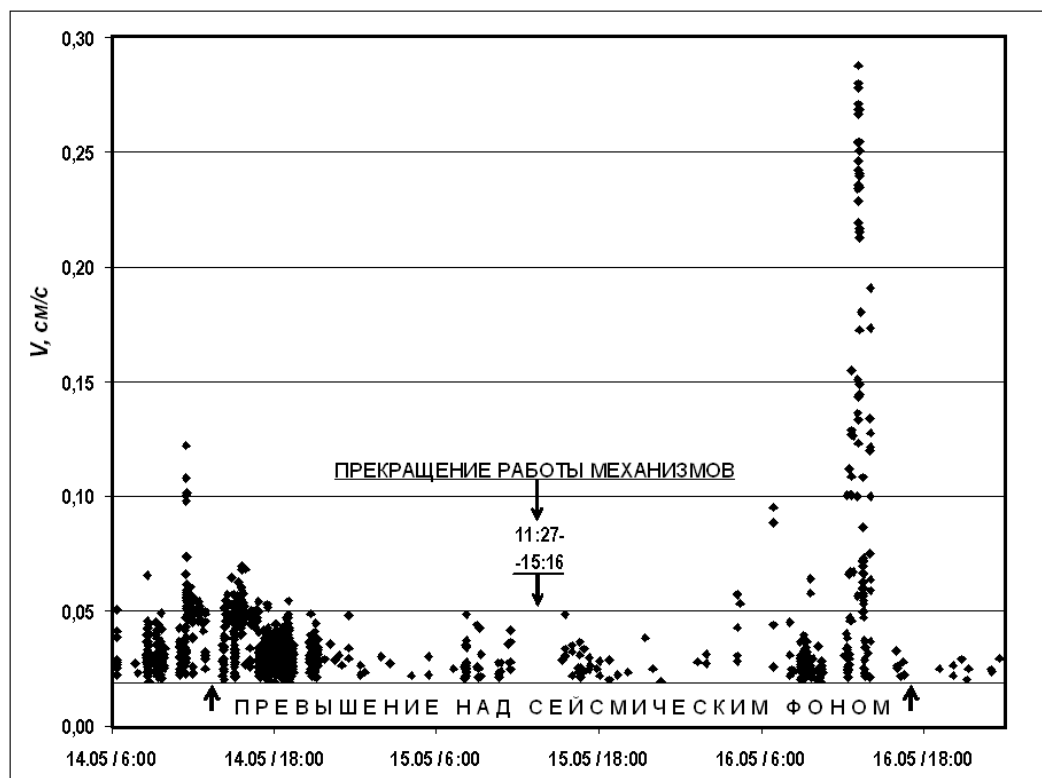


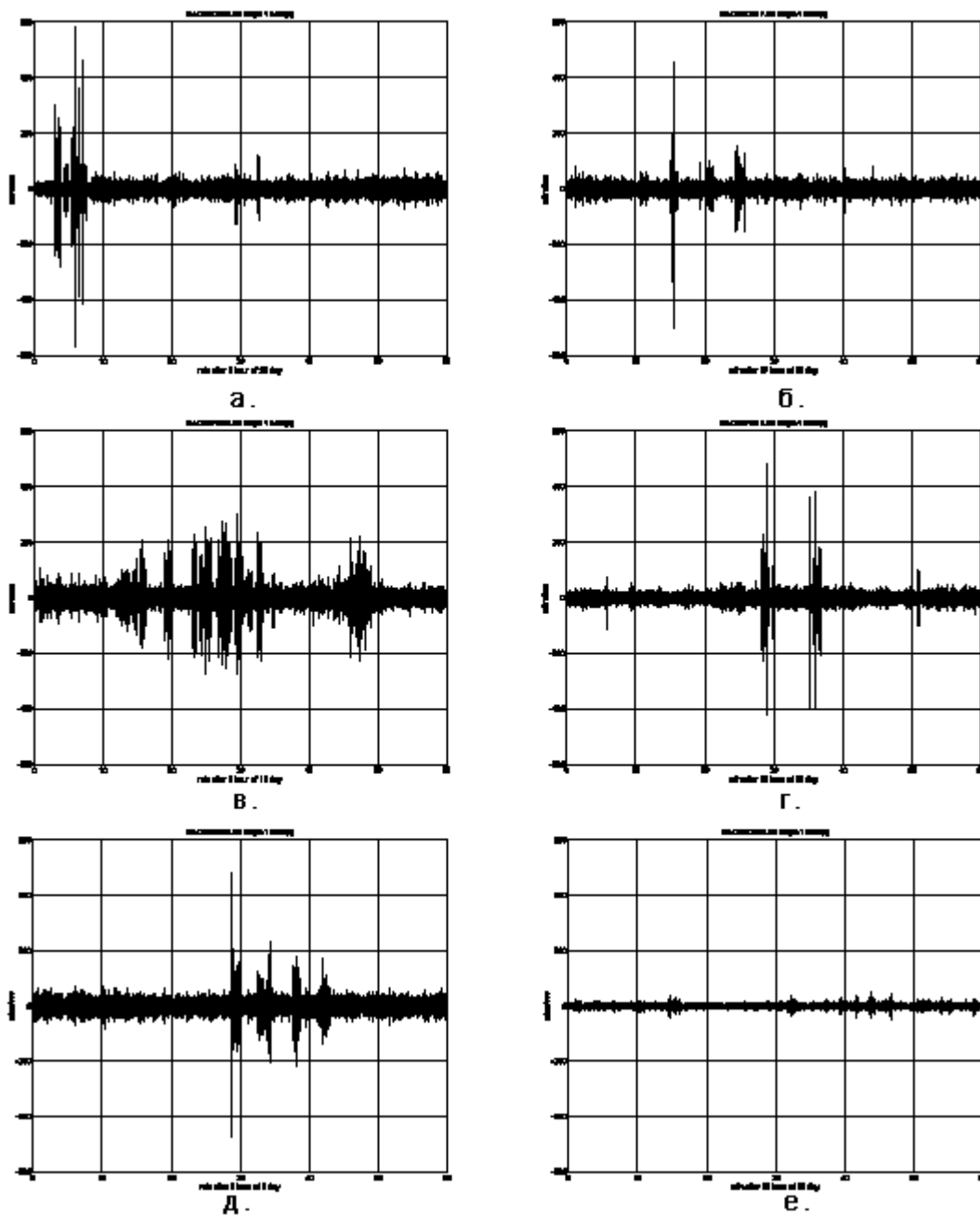
Рис. 5.1.3. Сейсмическое «затишье» 15 мая

На рисунке 5.14 приведены образцы типичных сейсмических воздействий строительных механизмов. Как видно, среди них можно выделить как отдельные импульсные сотрясения, так и групповые, в том числе ритмично повторяющиеся. В ночное время все сейсмические воздействия, связанные с работой в котловане, практически отсутствуют.

В следующих разделах настоящего отчета будет выполнен более детальный анализ многочисленных сейсмограмм, полученных в результате сейсмометрических наблюдений в подвальном и чердачном помещениях исследуемого здания. Здесь же, в заключение, следует подчеркнуть, что инструментальные измерения были начаты нами значительно позже наиболее активного периода разработки котлована, когда сейсмические воздействия на близко расположенные здания могли быть более интенсивными. Однако даже самые сильные из зарегистрированных приборами воздействия не могли и не могут вызвать в исследуемом здании каких-либо повреждений. Безусловно, что здание дома №31/35 по ул. Фридриха Энгельса находится в аварийном состоянии не по причине сейсмических воздействий со стороны котлована, а в связи с продолжающимися просадками соседних недавно построенных и неправомочно надстроженных зданий. Что касается просадки этих зданий, то не исключено, что она может быть активизирована многочисленными, хотя и слабыми, сейсмическими воздействиями.



## 5. Техногенные сейсмические воздействия на исследуемое здание



*Рис. 5.1.4. Примеры типичных сейсмических воздействий строительных механизмов на объект*

а – тройные удары (слева) с минимальным по амплитуде средним; б, г, д – ритмичные удары разной интенсивности; в – практически непрерывные вибрации; е – микросейсмический фон в ночное время с незначительными воздействиями со стороны котлована. Вертикальный и горизонтальный масштаб всюду одинаковый. Отчетливо видно усиление сейсмического фона в дневное время суток.

## 5.2. Спектральный анализ сейсмограмм

### 5.2.1. Методика расчетов

Для оценки уровня сейсмических колебаний здания (в подвале и на чердаке) проводились долговременные измерения, а также обработка и анализ полученных данных. Сейсмометрическая информация обрабатывалась различными методами.

**Спектральный анализ** имеет целью описание частотного состава сигнала, случайного процесса или системы на основе конечного набора данных. Оценка спектра энергии полезна для многочисленных приложений, включая выделение сигналов, скрытых в широкополосном волновом процессе.

**Спектр энергии** стационарного случайного процесса математически связан с корреляционной последовательностью дискретным по времени преобразованием Фурье.

Простейшим методом расчета спектральной плотности энергии является метод периодограмм, относящийся к непараметрическим методам, в которых спектральная плотность оценивается непосредственно по сигналу. Он реализуется как квадрат результата дискретного преобразования Фурье для выборки процесса и обычно осуществляется на сетке с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ). Однако недостатком этого метода является то, что периодограмма дает большие вариации исследуемой величины, причем они не уменьшаются при увеличении исследуемой выборки. Уменьшить вариации результата можно путем разбиения исследуемой выборки сигнала на отдельные интервалы с последующим их усреднением, а также с помощью применения различных окон к разбиваемым интервалам. Эти операции реализуются в методах модифицированных периодограмм, например, в методе Велча, применяемом в настоящей работе со следующими входными параметрами. Весь сигнал разбивался на интервалы длиной 2048 точек, с пересечением в 1024 точках. Каждый интервал сглаживался окном Ханнинга длиной 2048 точек. Преобразование Фурье вычислялось для этих интервалов. Предварительно сигнал дифференцировался, после чего из спектра удалялась амплитудно-частотная характеристика аппаратуры.

Впервые такой подход к анализу микросейсмического шума был применен Петерсоном [Peterson, 1993]. Поскольку, в отличие от обычного спектрального анализа, здесь результат не зависит от размеров выбранного участка записи, этот подход удобен для сравнения между собой результатов наблюдений в различных местах установки аппаратуры.

На графиках спектральной плотности энергии показаны также две кривые (черным цветом), соответствующие моделям низкого и высокого шума, разработанным Петерсоном при анализе мировых данных [Peterson, 1993].

**Спектры мощности** были рассчитаны для различных интервалов измерений в соответствии с вышеизложенной методикой. Отмечено, что уровень колебаний на чердаке заметно выше, чем в подвале, хотя на разных частотах и для разных компонент это превышение различно. В частности, для компоненты Z (вертикальной) усиления колебаний почти не происходит, в то время как для горизонтальных компонент (X и Y) усиление хорошо прослеживается. На графиках спектров, в соответствии с моделью Петерсона, черными линиями представлены наиболее высокие и наиболее низкие значения микросейсмического шума. Это позволяет наглядно оценить уровень исследуемых колебаний для выбранного интервала времени.

В построенном спектре мощности были выбраны следующие значения периодов (в секундах) колебаний: 0.1, 0.2, 0.35, 0.65, 1.0, 2.0 и 4.0. Для этих периодов рассмотрены изменения во времени спектральной амплитуды для различных компонент и для двух мест размещения сейсмических станций (подвал и чердак). Такое представление дает общую картину поведения во времени колебательных воздействий, измеренных в подвале и на чердаке исследуемого дома. Для каждого часа записи (720 тыс. отсчетов) раздельно по компонентам и по станциям рассчитывались спектры мощности. При этом отбрасывались данные для тех интервалов времени, где присутствовали существенные дополнительные помехи, не связанные с исследуемым объектом (следы ежесуточной калибровки датчиков; помехи, вносимые оператором при обслуживании станции и т.п.).

### **5.2.2. Изучение динамических параметров микросейсмического фона**

На основе анализа графиков временного хода спектральной плотности для двух периодов спектра – 0.2 и 0.65 с была количественно оценена суточная цикличность уровня микросейсм. Ночью они значительно меньше, чем днем. Это вполне ожидаемый результат, поскольку ночью прекращается работа метро и других промышленных источников сотрясений, и уровень микросейсмического шума становится заметно меньше. Это уменьшение соответствует ~12 dB, то есть изменяется в 4 раза.

Тот факт, что уровень микросейсмического шума в г.Москве весьма высок, известен достаточно хорошо. Это эффект большого города и многочисленных источников сотрясений различной интенсивности. Представлялось интересным сравнить уровень микросейсмических шумов в районе Лефортово с данными, полученными в менее шумной части города. С этой целью, за месяц до измерений в исследуемом здании, теми же приборами

велась регистрация в подвале здания Института физики Земли РАН, по адресу Большая Грузинская, 10. Как оказалось, и те, и другие, характеризуются циклическими изменениями уровня спектра мощности в течение суток.

Для компоненты  $X$  средний уровень спектра мощности в подвале исследуемого здания практически такой же, как и в ИФЗ. Вертикальная компонента  $Z$  незначительно больше. Однако компонента  $Y$  заметно выше, и в 4–5 раз превышает такую же в ИФЗ. На чердаке горизонтальные компоненты имеют еще большую величину спектра мощности, отражая тем самым эффект усиления (а для некоторых частот и компонент и ослабления) уровня колебательных воздействий.

Таким образом, колебательные воздействия в подвале исследуемого здания лишь для компоненты  $Y$  (компонента ориентирована вдоль котлована, перпендикулярно длинной стороне здания) заметно превышают уровень микросейсмического фона в ИФЗ, на Большой Грузинской, 10. Однако сам по себе такой уровень микросейсмических колебаний весьма мал.

Поэтому можно заключить, что средняя составляющая микросейсмических воздействий никакой опасности для исследуемого здания представлять не может.

### **5.2.3. Изучение динамических параметров сейсмических воздействий механизмов**

Поскольку сейсмические воздействия, создаваемые механизмами, работающими в котловане вблизи исследуемого здания, существенно превышают микросейсмический фон, с аналогичных позиций были исследованы и они. Это относительно короткие (несколько десятков секунд) колебательные воздействия, в какой-то мере являющиеся аналогом реальных сейсмических событий – землетрясений. Каталог таких событий представлен в Приложении 1.

Ниже приведены некоторые наиболее типичные примеры анализа сейсмограмм с использованием представлений спектра мощности. На рис. 5.2.1 представлены пять наиболее сильных событий. Для спектрального анализа был использован интервал времени несколько больший, чем собственно выделенные события. Этот интервал составлял от 30 до 110 с. Из спектров мощности для рассмотренных событий можно видеть, что на коротких периодах (меньше 0.2–0.3 с) отдельные компоненты сближаются по величине, а вертикальная составляющая даже слегка превалирует. Самое сильное воздействие представлено на первом рисунке.

Для средних периодов (0.3–2.0с) картина другая – превалируют горизонтальные компоненты. На относительно длинных периодах опять начинает превалировать вертикальная компонента. Насколько значим последний

результат с точки зрения опасности для здания неясно, особенно учитывая тот факт, что на этих периодах уровень микросейсмических воздействий ниже уровня максимальных значений для фона помех и вряд ли представляет интерес для инженерно-сейсмологических приложений. В целом же, даже для рассмотренных событий амплитуды колебаний и значения спектра мощности слишком малы, чтобы причинить какой-либо ущерб зданию.

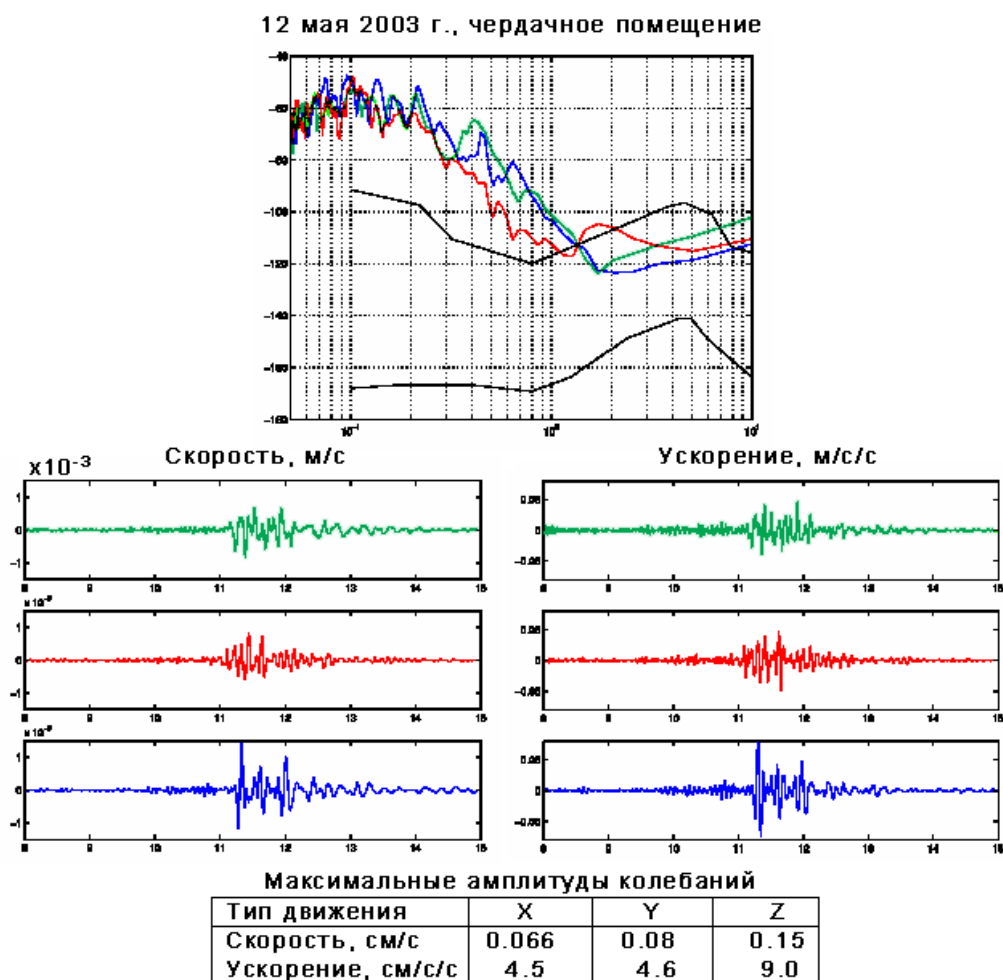


Рис. 5.2.1. Чердачное помещение. Максимальные амплитуды колебаний.

Как уже отмечалось, сравнение записей микросейсмических колебаний в подвале и на чердаке исследуемого здания в целом указывают на заметное увеличение амплитуд колебаний для горизонтальных компонент на чердаке. Для вертикальной компоненты это не так заметно и даже на некоторых периодах наблюдается обратное явление. Поэтому данный вопрос был исследован подробнее.

Вначале весь массив данных синхронных измерений в подвале и на чердаке был слегка отфильтрован: исключались интервалы измерений, где присутствовали следы калибровки и некоторые другие записи с помехами, что составило менее 10% от общего числа записей.

5. Техногенные сейсмические воздействия на исследуемое здание

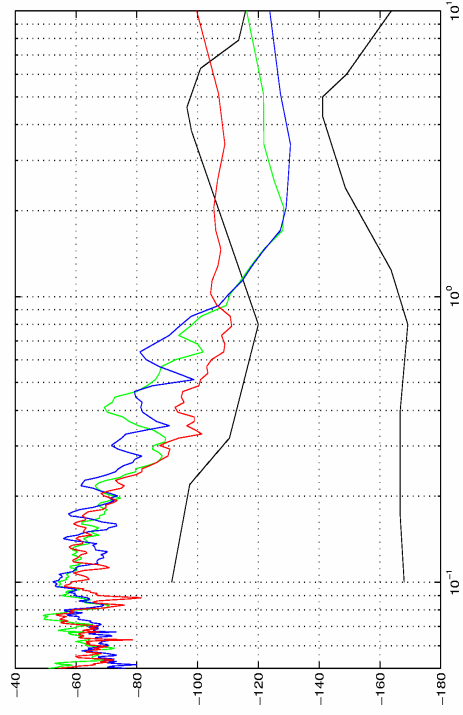


Рис. 5.2.2а. Чердачное помещение. 25 мая 00ч 17м

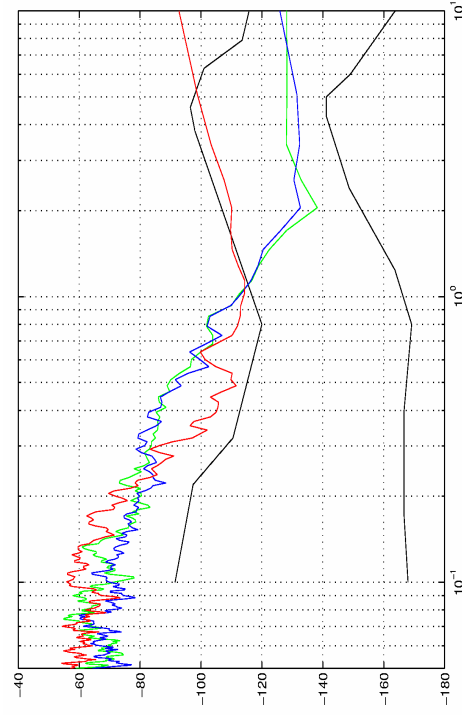
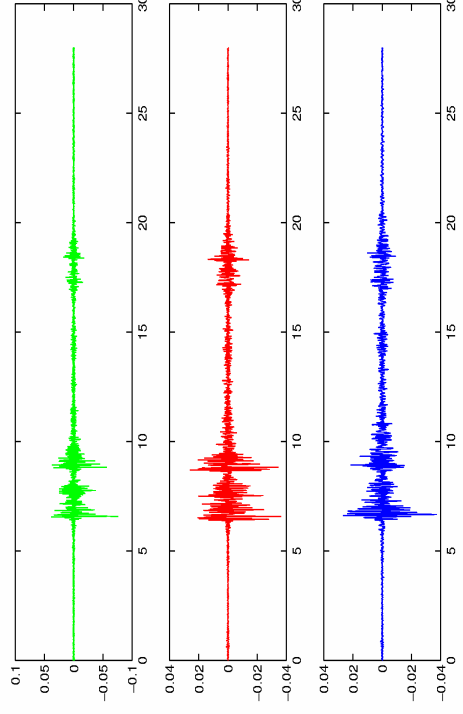
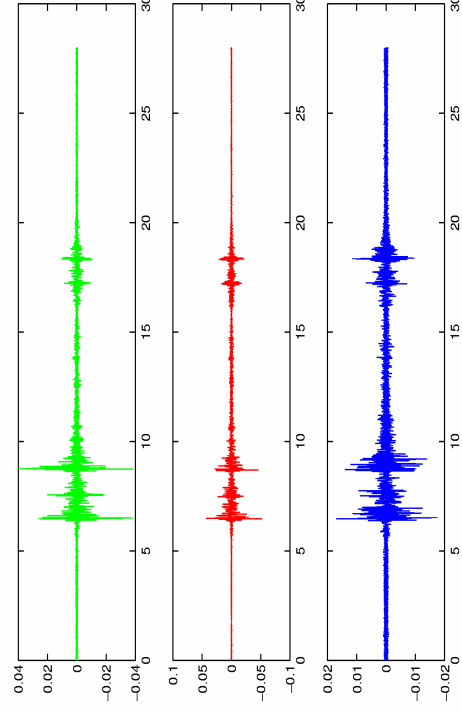


Рис. 5.2.2б. Подвальное помещение. 25 мая 00ч 17м



5. Техногенные сейсмические воздействия на исследуемое здание

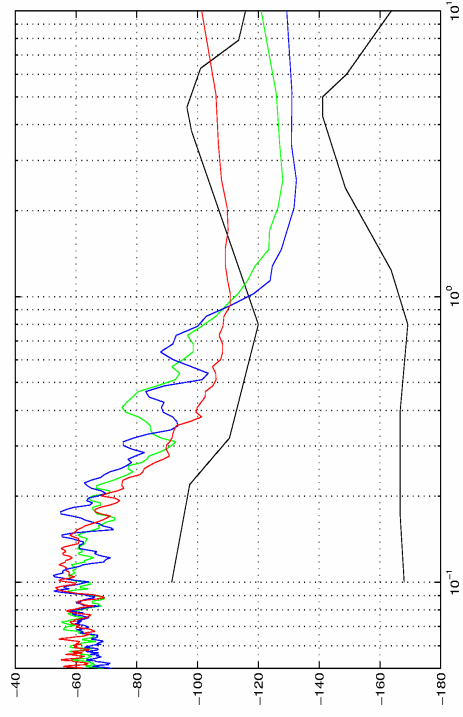


Рис. 5.2.3а. Чердачное помещение. 25 мая 01ч 20м

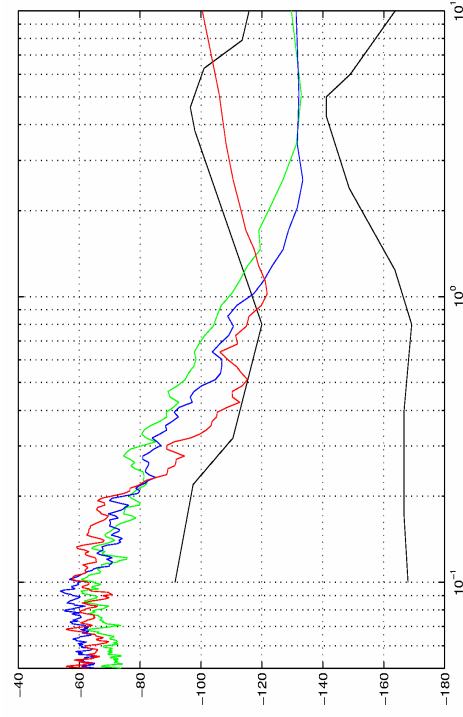
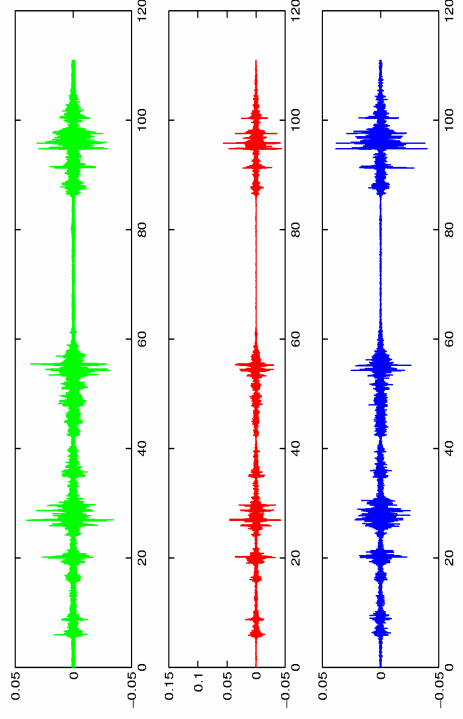
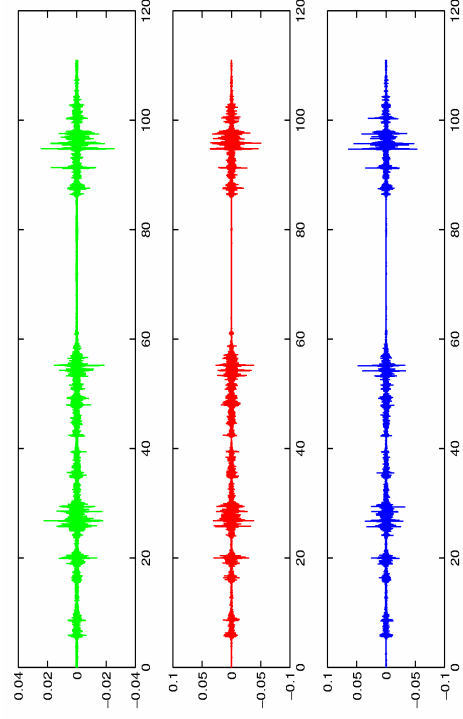


Рис. 5.2.3б. Подвальное помещение. 25 мая 01ч 20м



5. Техногенные сейсмические воздействия на исследуемое здание

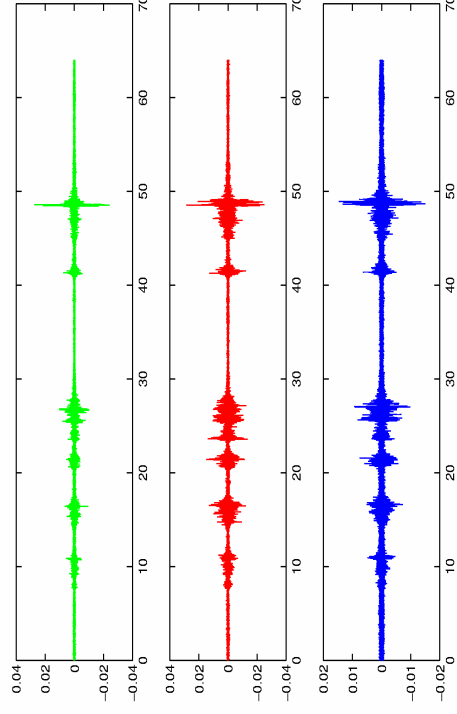
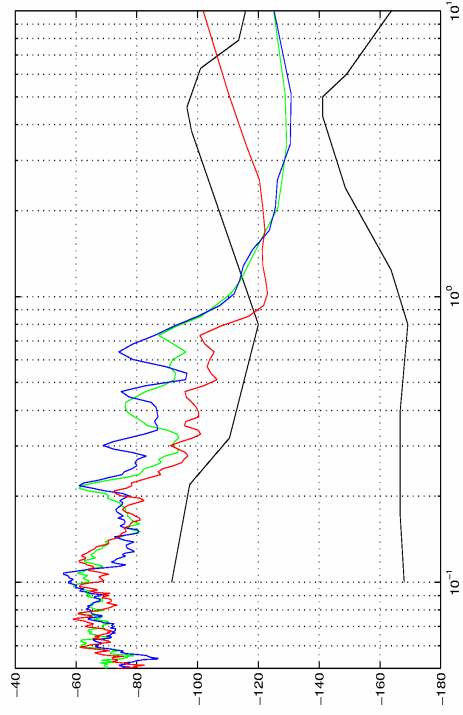


Рис. 5.2.4а. Чердачное помещение. 25 мая 05ч 41м

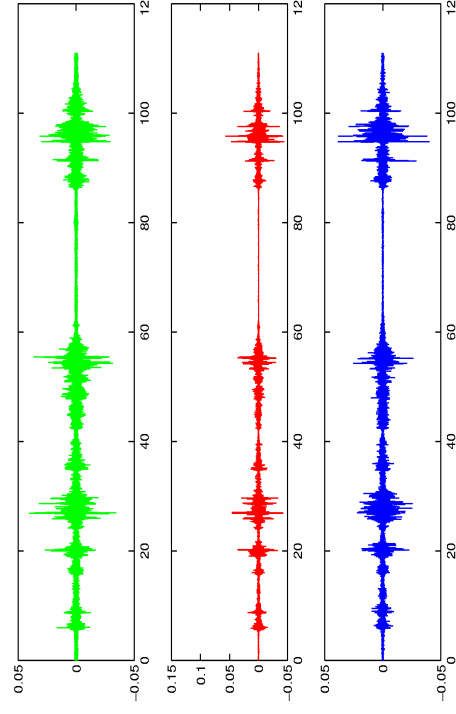
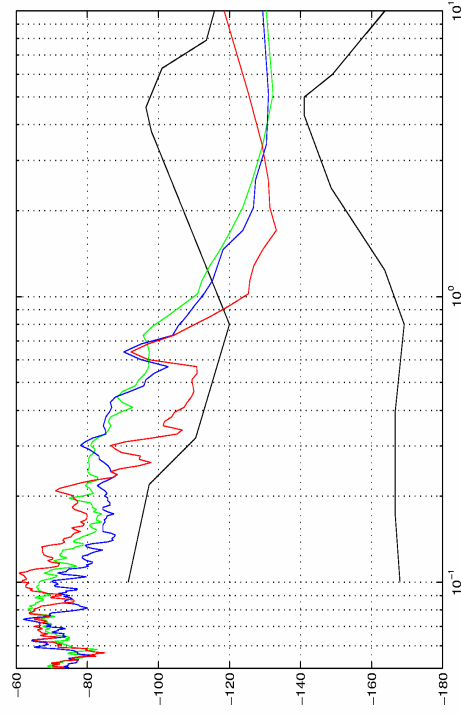


Рис. 5.2.4б. Подвальное помещение. 25 мая 05ч 41м



5. Техногенные сейсмические воздействия на исследуемое здание

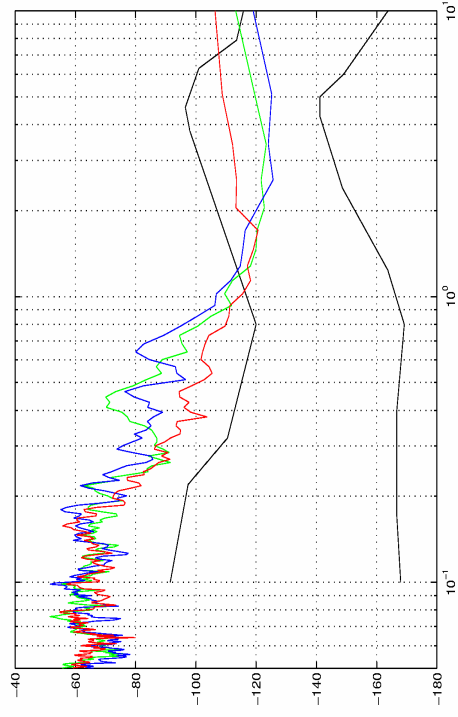


Рис. 5.2.5а. Чердачное помещение. 28 мая 18ч 36м

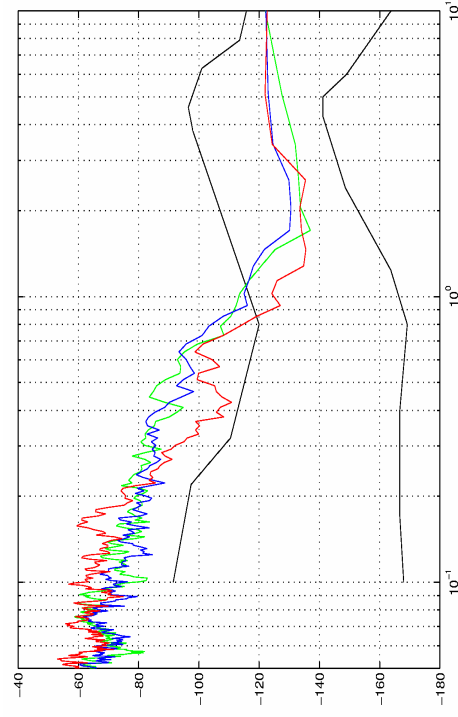
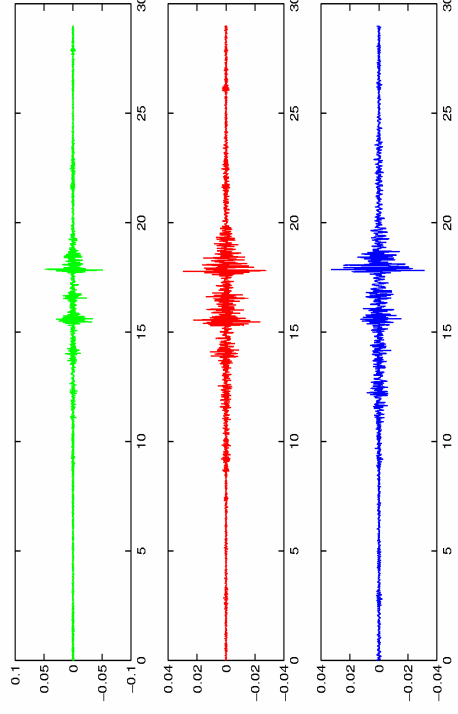
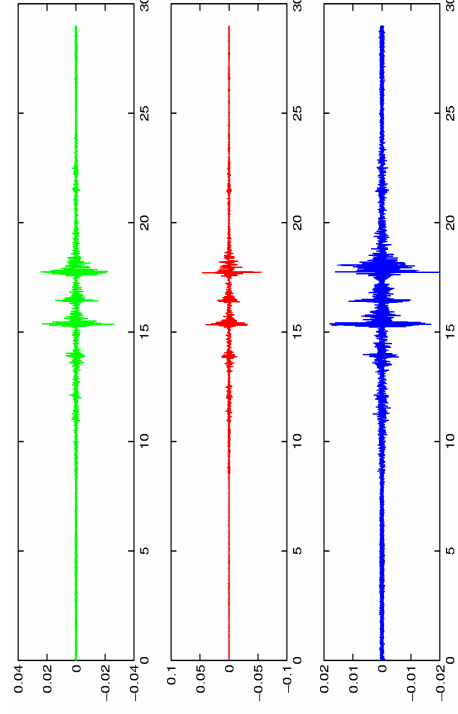
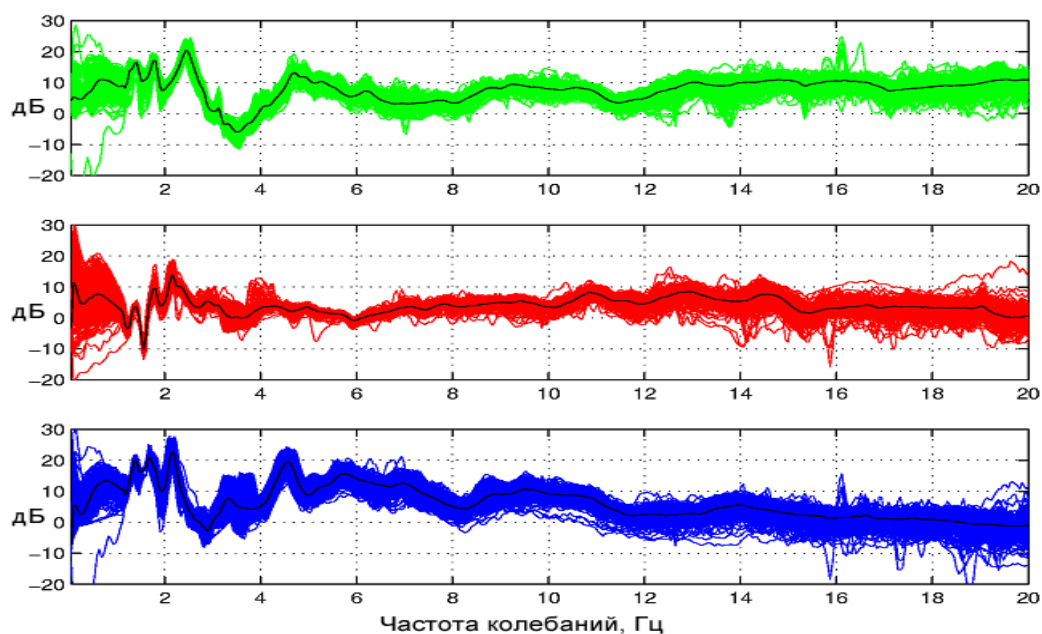


Рис. 5.2.5б. Подвальное помещение. 28 мая 18ч 36м



Каждая запись, соответствующая одному часу по времени, представлена шестью компонентами, по три на каждой станции, причем каждая компонента содержит 720 тысяч числовых значений. Для каждого часа каждой компоненты рассчитывался спектр мощности, а также разность его значений на чердаке и в подвале, соответственно. Сводный результат представлен на рис. 5.2.6.

Ноль на оси ординат соответствует отсутствию усиления или ослабления колебаний; положительные значения (в децибелах) – усилению колебаний на чердаке, отрицательные – ослаблению. Проанализируем интервал частот от 1 до 6 Гц. Частоты ниже 1 Гц (область относительно длинных периодов) не дает надежно выявленных закономерностей. На более высоких частотах поведение может считаться установленным достаточно надежно, но отсутствуют выраженные характерные частоты.



*Рис. 5.2.6. Осредненная разность уровней спектров мощности для различных компонент (X, Z, Y) для чердака относительно подвала*

В рассмотренном интервале можно видеть, что для компоненты X минимум соответствует  $\sim 3.5$  Гц., а для компоненты Y – в районе 3.0 Гц. Для вертикальной компоненты наиболее сильное ослабление соответствует  $\sim 1.5$  Гц. Наибольшее усиление колебаний отвечает частоте  $\sim 2.5$  Гц на компоненте X, а для компонент Z и Y – около 2 Гц. Эти и другие более тонкие особенности влияния здания на проходящие сейсмические волны отражают, по-видимому, как резонансные характеристики здания и его дефекты, так и направленность на источник колебательных воздействий.

### 5.3. Зарегистрированные удаленные события

За время эксперимента установленной на исследуемом объекте аппаратурой был зарегистрирован ряд удаленных землетрясений, в том числе несколько крупных, произошедших на расстоянии тысяч километров от места эксперимента. Для демонстрации высоких разрешающих возможностей используемых сейсмометрических каналов и методов обработки сигналов ниже приведены примеры записей двух таких землетрясений.

Показаны фрагменты первоначальных сейсмограмм, сильно осложненных техногенными шумами окружающей среды. Общий уровень помех многократно превышает уровень интересующих нас сейсмических сигналов. На последующих рисунках изображены эти же фрагменты сейсмограмм, обработанные с целью подавления помех и выделения интересующих нас сейсмических волн от землетрясений.

На рисунке 5.1а приведен 20-минутный участок записи, произведенной 1 Мая 2003г начиная с 00:28:20 до 00:48:20 UTC (Universal Coordinated Time). По московскому времени участок соответствует интервалу с 04:28:20 до 04:48:20. В это время до исследуемого нами здания дошли сейсмические волны от землетрясения, произошедшего в районе Восточной Турции в 00:27:04 UTC (04:27:04 МСК).

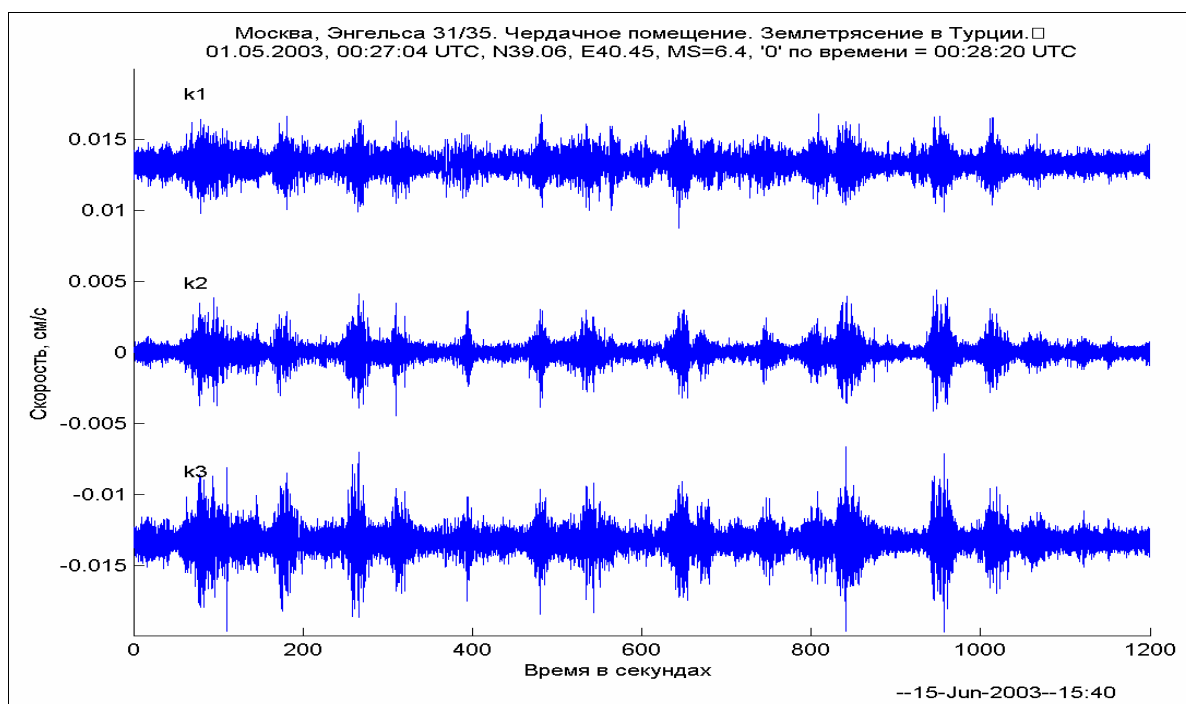


Рис. 5.1а. Землетрясение в Турции. Исходная запись.

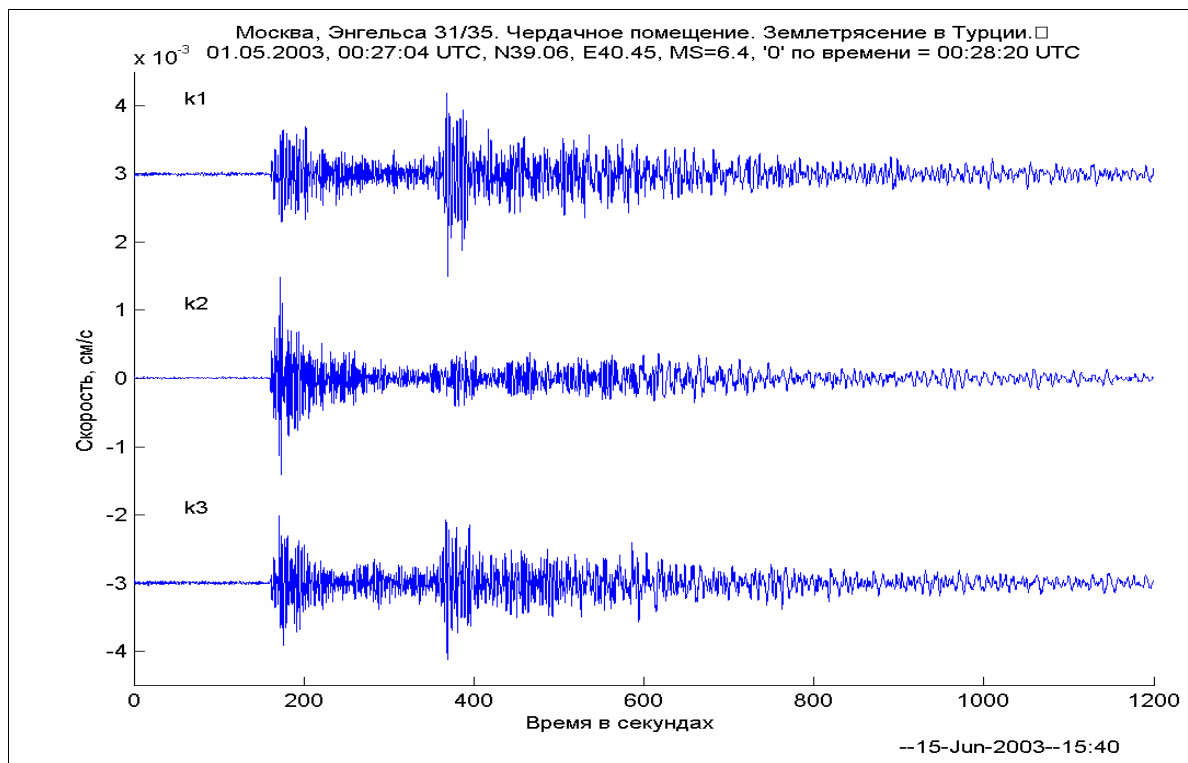


Рис. 5.1б. Землетрясение в Турции. Обработанная запись.

На рисунке 5.1б изображен этот же участок сейсмограммы, подвергнутый обработке. На рисунке 5.1а приведен 20-минутный участок записи, произведенной 1 Мая 2003 г начиная с 00:28:20 до 00:48:20 UTC (Universal Coordinated Time). По московскому времени участок соответствует интервалу с 04:28:20 до 04:48:20. В это время до исследуемого нами здания дошли сейсмические волны от землетрясения, произошедшего в районе Восточной Турции в 00:27:04 UTC (04:27:04 МСК).

Эпицентральное расстояние составило 1 870 км от Москвы. Уровень амплитуд сейсмических волн в точке регистрации находился ниже общего уровня местных сейсмических шумов.

На рисунке 5.2а приведен 30-минутный участок записи, начиная с 18:46:40 по 19:16:40 UTC 21 Мая 2003г (по московскому времени соответствует интервалу с 22:46:40 по 23:16:40). В это время до исследуемого объекта дошли сейсмические волны от более мощного по сравнению с предыдущим землетрясения, произошедшего в районе Восточной Турции в 18:44:19 UTC (22:44:19 МСК). Эпицентральное расстояние составило 3 270 км от Москвы. Уровень амплитуд пришедших сейсмических волн в точке регистрации находился на уровне местных сейсмических шумов.

## 5. Техногенные сейсмические воздействия на исследуемое здание

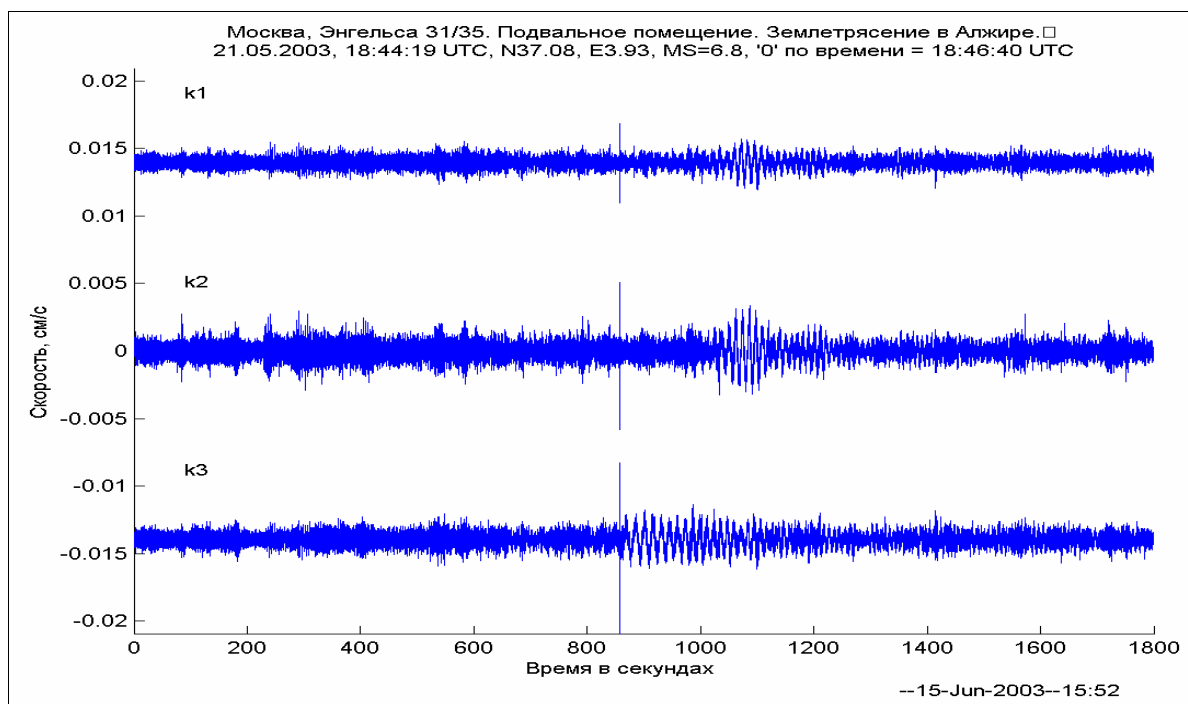


Рис. 5.2а. Землетрясение в Алжире. Исходная запись.

На рисунке 5.2б изображен этот же участок сейсмограммы, подвергнутый обработке.

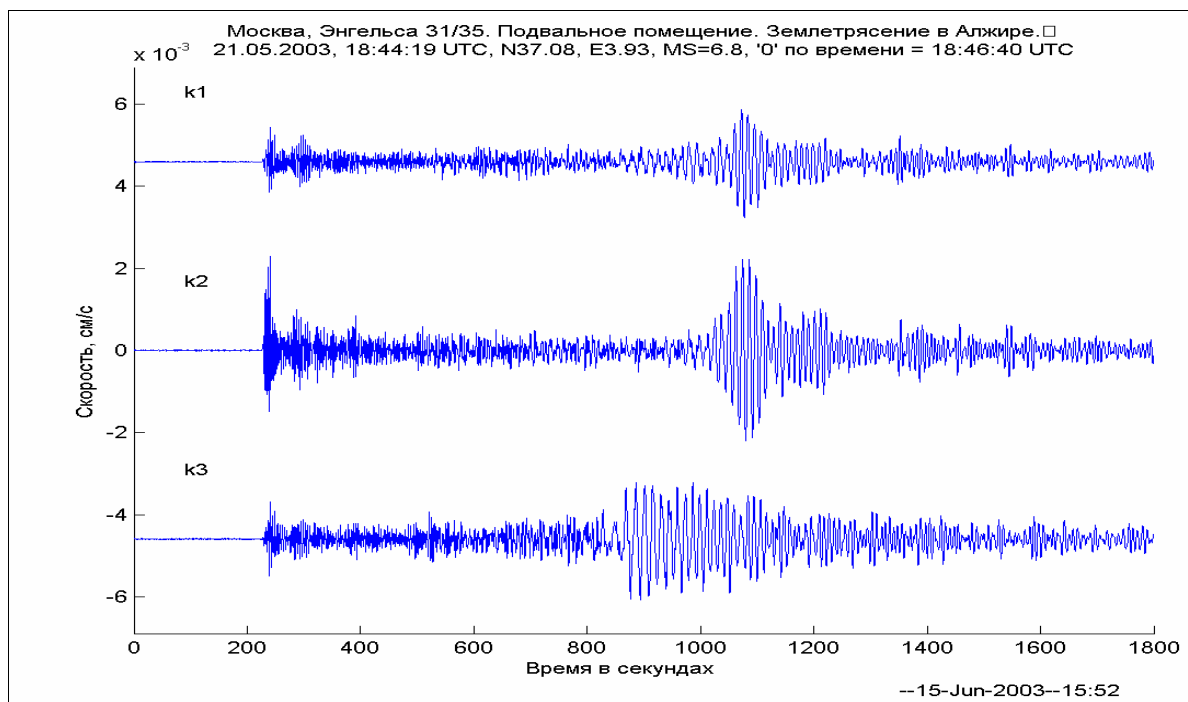


Рис. 5.2б. Землетрясение в Алжире Обработанная запись.

Таким образом, наглядно показано, что даже из зашумленной записи, сильно осложненной местными техногенными шумами, при соответствующей обработке можно извлечь интересующий нас сигнал.

# **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## ***ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ***

В результате выполнения широкого комплекса сейсмологических исследований, включавшего проведение долговременных круглосуточных сейсмометрических наблюдений на двух площадках изучаемого объекта – дома №31/35 по ул. Фридриха Энгельса, цифровую обработку и интерпретацию зарегистрированных сейсмологических данных, анализ и обобщение всей полученной информации, в полном объеме решены все задачи, сформулированные в Техническом задании к Договору.

### **Основные результаты работ**

1. В период с 16 апреля по 30 мая 2003 г. осуществлен мониторинг двумя трехкомпонентными сейсмическими станциями, установленными на двух уровнях исследуемого здания: на нижнем – фундамент в подвальном помещении и на верхнем – чердачное помещение дома на участке наибольшего трещинообразования. Получена цифровая информация о всех сейсмических воздействиях на изучаемое здание, занимающая объем около 10 Гигабайт и хранящаяся на компакт-дисках, доступных для компьютерного просмотра и любого типа анализа. Составлен каталог около 5500 зарегистрированных техногенных событий, представленный на компакт-дисках, с указанием для каждого из них времени возникновения и величин динамических параметров (амплитуды скорости колебаний по каждой из трех составляющей, векторная скорость, частота и др.).

2. Изучены динамические параметры постоянного микросейсмического фона, создаваемого общегородскими шумами. На основе анализа спектральной плотности была количественно оценена суточная цикличность уровня микросейсм. Ночью они значительно меньше, чем днем. Изменение составляет около  $-12$  dB, что соответствует уменьшению уровня в 4 раза. Сравнение сейсмического фона, зарегистрированного той же аппаратурой в подвальном помещении Института физики Земли (ИФЗ, ул. Большая Грузинская, 10) и в районе Лефортово, показало их сходство по форме и некоторое различие по амплитуде. В подвальном помещении дома № 31/35 по ул. Фридриха Энгельса естественный фон несколько выше по сравнению с ИФЗ, а в чердачном помещении изучаемого объекта горизонтальные компоненты имеют значительно большую величину спектра мощности сотрясений. Особенно это относится к поперечному колебанию дома. Однако сам по себе такой уровень микросейсмических колебаний весьма мал и не представляет какой-либо опасности для строительных объектов.



3. На современном уровне сейсмологических знаний выполнена цифровая обработка и интерпретация всего сейсмографического материала, полученного в результате инструментальных измерений сейсмических воздействий, создаваемых работающими на стройплощадке механизмами и существенно превышающих городской микросейсмический фон. Изучены динамические параметры этих воздействий. Сейсмометрическая информация обрабатывалась различными методами (спектральный анализ, спектральная плотность энергии, спектры мощности и др.). Отмечено, что (как и в случае микросейсм) уровень колебаний на чердаке заметно выше, чем в подвале, хотя на разных частотах и для разных компонент превышение различно. По форме сейсмограмм – это относительно короткие (несколько десятков секунд) высокочастотные колебательные воздействия, в какой-то мере являются аналогом реальных сейсмических событий – землетрясений. Спектры мощности рассмотренных событий показывают, что на коротких периодах (меньше 0.2–0.3 с) отдельные компоненты сближаются по величине, а вертикальная составляющая даже слегка превалирует. Для средних периодов (0.3–2.0 с) картина иная – превалируют горизонтальные компоненты. На относительно длинных периодах вновь начинает превалировать вертикальная компонента. Насколько эти данные представляют интерес для инженерно-сейсмологических приложений, пока неясно. В целом же, даже для рассмотренных событий амплитуды колебаний и значения спектра мощности слишком малы, чтобы причинить какой-либо ущерб зданию.

## **Основные выводы выполненных исследований**

1) Анализ результатов инструментальных наблюдений показывает, что даже самые сильные из ощущавшихся людьми и зарегистрированных за период эксперимента (с 16 апреля по 30 мая 2003 г.) сейсмические воздействия работающих в котловане механизмов, не могли создать в соседних домах какие-либо механические повреждения. Об этом свидетельствуют количественные характеристики наблюдаемых техногенных сейсмических воздействий, колебательная скорость которых не превышает 0.30 см/с. Этот максимальный уровень сейсмических воздействий в 3–4 раза ниже значения допустимой векторной скорости 1 см/с, которая во взрывном деле (см. Раздел 2 и Табл. 2.1) соответствует наиболее жесткому критерию требований к сейсмической безопасности для кирпичных зданий без антисейсмического усиления. Остальное, хотя и очень большое, число относительно слабых сейсмических событий, связанных с деятельностью в котловане, характеризуется скоростью колебаний не выше 0.05 см/с, что соответствует двухбалльным сотрясениям, которые в редких случаях ощущаются людьми. Основной же части техногенных сотрясений, на которые реагируют жильцы верхних этажей здания, свойственна скорость колебаний до 0.15 см/с.

2) О высокой чувствительности и качестве использованной широкополосной сейсмометрической аппаратуры, а также применяемых методов цифровой обработки, можно судить по приведенным в разделе 5.3 высококачественным сейсмограммам Турецкого (магнитуда  $M=6.4$ ) и Алжирского ( $M=6.8$ ) землетрясений, произошедших, соответственно, 1 мая и 21 мая 2003 г. и зарегистрированных в пунктах инструментальных наблюдений в доме №31/35 по ул. Фридриха Энгельса. Записи того и другого землетрясения, полученные в подвале и на чердаке исследуемого дома, не превышают фона микросейсм. События такого класса, удаленные на расстояние в тысячи километров, в принципе не могут оказать абсолютно никакого деструктивного воздействия на здания в г. Москве, а представляют собой лишь научный интерес.

## **Общий вывод**

Проведенные сейсмологические исследования показали, что даже самые сильные из зарегистрированных в период инструментальных наблюдений сейсмические воздействия от работы оборудования и механизмов на строительстве Лефортовского тоннеля не оказывали какого-либо деструктивного влияния на состояние дома № 31/35 по ул. Фридриха Энгельса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адушкин В.В., Спивак А.А., Соловьев С.П., Перник Л.М., Кишкина С.Б.* Геоэкологические последствия массовых химических взрывов на карьерах // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*, № 6, 2000. - С. 554-363.
- Антикаев Ф.Ф., Гитис В.Г., Кофф Г.Л., Фролова Н.И.* Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. - М.: ОИФЗ РАН, 1997. - 54 с.
- Баркан Д.Д.* Сейсмозрывные волны и действие их на сооружения. - М.: Стройиздат, 1946. - 76 с.
- Барон К.А., Кантор В.Х.* Техника и технология взрывных работ в СИТА, - М: Недра, 1989.-376с.
- Бутовская Е.М., Уломов В.И., Яковлев В.Н.* Первые опыты регистрации сейсмического эффекта взрывов в условиях грунтов Узбекистана. *Известия АН УзССР. Серия физ.-мат.* №3. 1957.
- Кутузов Б.Н.* Взрывные работы. - М.: Недра, 1988. - 284 с.
- Мионов П.С.* Взрывы и сейсмобезопасность сооружений - М.: Недра, 1973. -168с.
- Региональная шкала сейсмической интенсивности для Прибайкалья (РШСИ-2000) / Ред. С.И.Шерман. Иркутск, 2000.
- Садовский М.А.* Геофизика и физика взрыва. - М.: Недра, 1997. - 334 с.
- Садовский М.А., Костюченко В.Н.* О сейсмическом действии подземных взрывов // *Докл. АН СССР*, Т. 25, № 25, 1974. - С. 1097-1100.
- Садовский М.А.* Простейшие приемы определения сейсмической безопасности. М.: ИГД ММ СССР, 1946. - 28 с.
- Садовский М.А.* Сейсмический эффект взрывов. М., 1939.
- 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. (Соавт. Шумилина Л.С.). М.: ОИФЗ. 1999.
- Сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-97. Карта на 4-х листах / Гл. ред. В.Н. Страхов, В.И. Уломов; ОИФЗ РАН. М.: НПП «Текарт», 2000.
- Строительные нормы и правила «Строительство в сейсмических районах» СНиП II-7-81\*. Изд. официальное. М.: Госстрой, 2000.

### Фондовая литература

- Маловичко А.А.* (рук.) «Оценка сейсмического воздействия взрывных работ на подрбатываемые гипсовой шахтой ОАО «Гипс Кнауф» здания сооружения. Отчет по Договору № 1.1.15 с ОАО «Гипс Кнауф». Новомосковск–Пермь. 2002. 61 стр.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Каталог наиболее интенсивных сейсмических событий техногенного происхождения

## Чердачное помещение

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
19.04.2003 11:27	0,069	0,065	0,057	0,111
19.04.2003 11:28	0,069	0,065	0,057	0,111
19.04.2003 11:28	0,069	0,065	0,057	0,111
19.04.2003 11:32	0,069	0,060	0,042	0,101
19.04.2003 11:32	0,069	0,060	0,042	0,101
19.04.2003 11:32	0,069	0,060	0,042	0,101
19.04.2003 11:42	0,074	0,071	0,048	0,113
19.04.2003 11:42	0,074	0,071	0,048	0,113
19.04.2003 11:42	0,084	0,057	0,052	0,114
19.04.2003 11:42	0,092	0,085	0,055	0,137
19.04.2003 11:44	0,056	0,051	0,025	0,080
19.04.2003 12:23	0,042	0,078	0,036	0,096
19.04.2003 12:23	0,062	0,059	0,044	0,097
19.04.2003 12:23	0,038	0,069	0,042	0,089
19.04.2003 12:23	0,039	0,073	0,039	0,092
19.04.2003 12:27	0,048	0,066	0,037	0,090
19.04.2003 12:27	0,044	0,067	0,053	0,096
19.04.2003 12:29	0,040	0,052	0,058	0,088
19.04.2003 12:32	0,082	0,059	0,043	0,110
19.04.2003 13:52	0,062	0,060	0,043	0,097
19.04.2003 14:29	0,061	0,048	0,044	0,090
19.04.2003 15:55	0,028	0,059	0,048	0,081
19.04.2003 15:55	0,039	0,084	0,045	0,103
19.04.2003 15:55	0,042	0,080	0,039	0,099
19.04.2003 16:21	0,040	0,058	0,050	0,086
19.04.2003 16:21	0,059	0,082	0,070	0,123
19.04.2003 16:21	0,034	0,073	0,045	0,092
19.04.2003 16:21	0,045	0,054	0,053	0,088
19.04.2003 17:01	0,055	0,035	0,053	0,084
19.04.2003 18:00	0,068	0,051	0,045	0,096
19.04.2003 22:28	0,036	0,064	0,034	0,081
19.04.2003 22:28	0,085	0,114	0,091	0,169
19.04.2003 22:28	0,045	0,065	0,047	0,092
19.04.2003 22:35	0,082	0,043	0,077	0,120
19.04.2003 22:35	0,060	0,045	0,078	0,109
19.04.2003 22:35	0,047	0,026	0,067	0,086
19.04.2003 23:25	0,043	0,065	0,048	0,091
19.04.2003 23:57	0,058	0,042	0,044	0,084
20.04.2003 11:53	0,038	0,054	0,056	0,087
20.04.2003 11:53	0,055	0,090	0,069	0,126
20.04.2003 11:53	0,041	0,062	0,053	0,091
20.04.2003 11:53	0,040	0,058	0,043	0,083
20.04.2003 14:06	0,034	0,061	0,054	0,088
20.04.2003 14:06	0,035	0,050	0,054	0,081
20.04.2003 14:50	0,059	0,103	0,061	0,134
20.04.2003 14:50	0,044	0,106	0,061	0,130
20.04.2003 14:50	0,044	0,091	0,059	0,117
20.04.2003 16:52	0,074	0,049	0,057	0,106
22.04.2003 15:06	0,044	0,058	0,042	0,084

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
22.04.2003 20:23	0,046	0,084	0,044	0,105
22.04.2003 20:23	0,046	0,084	0,045	0,106
22.04.2003 23:55	0,049	0,069	0,057	0,103
22.04.2003 23:55	0,049	0,069	0,057	0,103
22.04.2003 23:55	0,049	0,069	0,057	0,103
22.04.2003 23:55	0,060	0,075	0,071	0,119
22.04.2003 23:55	0,054	0,074	0,071	0,116
22.04.2003 23:55	0,054	0,074	0,071	0,116
22.04.2003 23:56	0,079	0,107	0,068	0,150
22.04.2003 23:56	0,079	0,107	0,068	0,150
23.04.2003 07:03	0,041	0,049	0,055	0,084
23.04.2003 07:03	0,038	0,049	0,055	0,083
23.04.2003 07:03	0,044	0,048	0,051	0,083
23.04.2003 07:05	0,049	0,061	0,061	0,099
23.04.2003 07:05	0,048	0,050	0,047	0,083
23.04.2003 07:05	0,063	0,088	0,097	0,145
23.04.2003 07:05	0,052	0,063	0,116	0,142
23.04.2003 07:06	0,077	0,107	0,076	0,152
23.04.2003 07:06	0,079	0,112	0,089	0,163
23.04.2003 07:06	0,047	0,072	0,082	0,119
23.04.2003 07:06	0,047	0,072	0,075	0,114
23.04.2003 08:22	0,047	0,071	0,038	0,093
24.04.2003 15:54	0,047	0,056	0,045	0,086
24.04.2003 15:54	0,047	0,056	0,045	0,086
24.04.2003 15:56	0,040	0,065	0,049	0,090
24.04.2003 21:15	0,030	0,064	0,045	0,083
26.04.2003 07:20	0,042	0,058	0,038	0,081
26.04.2003 07:22	0,039	0,071	0,075	0,110
26.04.2003 07:22	0,039	0,071	0,075	0,110
26.04.2003 07:22	0,051	0,102	0,068	0,133
26.04.2003 07:22	0,052	0,098	0,075	0,134
26.04.2003 07:22	0,047	0,069	0,057	0,101
26.04.2003 08:34	0,045	0,062	0,043	0,088
26.04.2003 08:39	0,045	0,093	0,049	0,114
26.04.2003 08:39	0,045	0,093	0,049	0,114
26.04.2003 08:39	0,045	0,093	0,049	0,114
26.04.2003 08:39	0,058	0,137	0,061	0,161
26.04.2003 08:42	0,097	0,101	0,054	0,150
26.04.2003 08:42	0,068	0,071	0,040	0,106
26.04.2003 08:44	0,086	0,064	0,053	0,120
26.04.2003 08:46	0,054	0,066	0,046	0,097
26.04.2003 08:47	0,078	0,056	0,078	0,124
26.04.2003 19:50	0,059	0,048	0,032	0,082
26.04.2003 19:50	0,059	0,048	0,032	0,082
28.04.2003 22:42	0,084	0,095	0,103	0,164
28.04.2003 22:42	0,084	0,088	0,103	0,159
28.04.2003 22:42	0,054	0,066	0,091	0,125
29.04.2003 08:43	0,046	0,054	0,055	0,090
29.04.2003 08:43	0,042	0,054	0,055	0,088

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Каталог наиболее интенсивных сейсмических событий техногенного происхождения

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с	ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
29.04.2003 08:44	0,057	0,077	0,062	0,115	16.05.2003 12:40	0,061	0,087	0,024	0,109
29.04.2003 08:44	0,054	0,073	0,066	0,112	16.05.2003 12:40	0,063	0,106	0,036	0,129
29.04.2003 21:15	0,097	0,119	0,097	0,182	16.05.2003 12:40	0,106	0,106	0,038	0,155
29.04.2003 21:15	0,097	0,119	0,097	0,182	16.05.2003 12:47	0,049	0,113	0,028	0,127
04.05.2003 06:55	0,073	0,076	0,065	0,123	16.05.2003 12:47	0,049	0,113	0,028	0,127
04.05.2003 06:55	0,073	0,076	0,065	0,123	16.05.2003 13:09	0,045	0,085	0,027	0,100
04.05.2003 06:55	0,101	0,108	0,093	0,174	16.05.2003 13:09	0,045	0,085	0,027	0,100
04.05.2003 06:55	0,101	0,108	0,093	0,174	16.05.2003 13:09	0,045	0,085	0,027	0,100
04.05.2003 06:55	0,069	0,064	0,079	0,123	16.05.2003 13:09	0,077	0,125	0,034	0,151
04.05.2003 06:55	0,039	0,051	0,063	0,090	16.05.2003 13:09	0,067	0,112	0,040	0,136
04.05.2003 10:00	0,043	0,048	0,064	0,091	16.05.2003 13:09	0,111	0,202	0,045	0,234
04.05.2003 10:00	0,043	0,048	0,064	0,091	16.05.2003 13:09	0,118	0,218	0,056	0,254
04.05.2003 10:00	0,050	0,058	0,072	0,105	16.05.2003 13:09	0,125	0,234	0,055	0,271
04.05.2003 10:03	0,045	0,058	0,060	0,095	16.05.2003 13:09	0,133	0,248	0,058	0,288
04.05.2003 10:03	0,054	0,054	0,048	0,090	16.05.2003 13:09	0,103	0,199	0,045	0,229
04.05.2003 12:00	0,087	0,057	0,053	0,117	16.05.2003 13:09	0,122	0,243	0,056	0,278
04.05.2003 12:06	0,103	0,063	0,060	0,135	16.05.2003 13:10	0,112	0,213	0,052	0,246
06.05.2003 01:29	0,048	0,095	0,027	0,110	16.05.2003 13:10	0,115	0,221	0,051	0,255
06.05.2003 08:40	0,092	0,068	0,061	0,130	16.05.2003 13:10	0,116	0,236	0,054	0,269
06.05.2003 08:40	0,094	0,085	0,061	0,141	16.05.2003 13:10	0,061	0,126	0,033	0,144
06.05.2003 08:40	0,080	0,085	0,050	0,127	16.05.2003 13:10	0,108	0,204	0,047	0,236
07.05.2003 05:40	0,058	0,046	0,036	0,083	16.05.2003 13:10	0,121	0,245	0,061	0,280
08.05.2003 09:28	0,121	0,093	0,097	0,181	16.05.2003 13:10	0,093	0,193	0,047	0,219
08.05.2003 09:28	0,121	0,093	0,089	0,177	16.05.2003 13:10	0,062	0,109	0,045	0,133
08.05.2003 09:28	0,035	0,051	0,058	0,085	16.05.2003 13:10	0,104	0,212	0,054	0,242
11.05.2003 04:09	0,065	0,083	0,059	0,120	16.05.2003 13:10	0,111	0,235	0,056	0,266
11.05.2003 04:43	0,050	0,071	0,020	0,089	16.05.2003 13:11	0,048	0,110	0,029	0,123
11.05.2003 04:50	0,053	0,053	0,052	0,091	16.05.2003 13:13	0,097	0,188	0,047	0,217
11.05.2003 04:50	0,057	0,055	0,052	0,095	16.05.2003 13:13	0,103	0,225	0,059	0,254
11.05.2003 08:50	0,082	0,074	0,073	0,132	16.05.2003 13:13	0,102	0,211	0,053	0,241
11.05.2003 08:50	0,082	0,074	0,073	0,132	16.05.2003 13:13	0,085	0,187	0,054	0,213
11.05.2003 08:50	0,087	0,078	0,087	0,146	16.05.2003 13:14	0,104	0,221	0,056	0,251
11.05.2003 08:50	0,087	0,078	0,087	0,146	16.05.2003 13:14	0,077	0,194	0,053	0,215
11.05.2003 08:50	0,087	0,078	0,084	0,144	16.05.2003 13:14	0,098	0,241	0,064	0,268
11.05.2003 08:50	0,087	0,078	0,084	0,144	16.05.2003 13:14	0,056	0,133	0,037	0,149
11.05.2003 08:50	0,076	0,069	0,084	0,132	16.05.2003 13:14	0,084	0,212	0,055	0,235
11.05.2003 08:50	0,076	0,069	0,084	0,132	16.05.2003 13:14	0,081	0,219	0,056	0,240
12.05.2003 11:44	0,032	0,042	0,071	0,088	16.05.2003 13:14	0,063	0,155	0,040	0,172
12.05.2003 11:44	0,032	0,042	0,071	0,088	16.05.2003 13:14	0,065	0,125	0,031	0,144
12.05.2003 11:54	0,034	0,036	0,074	0,089	16.05.2003 13:21	0,088	0,152	0,042	0,180
12.05.2003 12:25	0,032	0,050	0,058	0,083	16.05.2003 13:30	0,050	0,091	0,030	0,108
12.05.2003 14:59	0,148	0,138	0,265	0,334	16.05.2003 13:32	0,057	0,061	0,026	0,087
12.05.2003 14:59	0,122	0,128	0,176	0,250	16.05.2003 14:02	0,070	0,091	0,032	0,120
14.05.2003 11:28	0,046	0,108	0,033	0,122	16.05.2003 14:02	0,070	0,091	0,032	0,120
14.05.2003 11:29	0,040	0,085	0,052	0,108	16.05.2003 14:02	0,070	0,091	0,032	0,120
14.05.2003 11:29	0,046	0,066	0,055	0,098	16.05.2003 14:02	0,085	0,096	0,038	0,134
14.05.2003 11:29	0,050	0,072	0,048	0,101	16.05.2003 14:02	0,085	0,096	0,038	0,134
14.05.2003 11:32	0,036	0,073	0,061	0,102	16.05.2003 14:02	0,085	0,096	0,038	0,134
16.05.2003 06:53	0,043	0,062	0,058	0,095	16.05.2003 14:03	0,058	0,089	0,060	0,122
16.05.2003 06:53	0,042	0,064	0,044	0,089	16.05.2003 14:03	0,058	0,089	0,060	0,122
16.05.2003 12:22	0,047	0,083	0,033	0,101	16.05.2003 14:03	0,058	0,089	0,060	0,122
16.05.2003 12:22	0,047	0,083	0,033	0,101	16.05.2003 14:03	0,059	0,093	0,064	0,128
16.05.2003 12:29	0,048	0,096	0,031	0,112	16.05.2003 14:03	0,059	0,093	0,064	0,128
16.05.2003 12:29	0,048	0,096	0,031	0,112	16.05.2003 14:03	0,059	0,093	0,064	0,128
16.05.2003 12:33	0,043	0,087	0,028	0,101	16.05.2003 14:03	0,084	0,136	0,068	0,173
16.05.2003 12:40	0,044	0,116	0,028	0,127	16.05.2003 14:03	0,102	0,148	0,066	0,191
16.05.2003 12:40	0,044	0,116	0,028	0,127	16.05.2003 14:04	0,043	0,084	0,032	0,100
16.05.2003 12:40	0,060	0,078	0,024	0,101	24.05.2003 09:11	0,049	0,057	0,047	0,088

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
24.05.2003 11:28	0,042	0,073	0,025	0,088
24.05.2003 11:28	0,042	0,073	0,025	0,088
24.05.2003 11:28	0,035	0,071	0,020	0,082
24.05.2003 11:28	0,035	0,071	0,020	0,082
24.05.2003 11:36	0,047	0,069	0,063	0,104
25.05.2003 04:14	0,083	0,053	0,044	0,108
25.05.2003 04:14	0,083	0,053	0,044	0,108
25.05.2003 04:14	0,083	0,053	0,044	0,108
25.05.2003 04:17	0,147	0,090	0,084	0,192
25.05.2003 04:17	0,100	0,070	0,051	0,132
25.05.2003 04:17	0,100	0,070	0,052	0,132
25.05.2003 05:20	0,073	0,117	0,063	0,151
25.05.2003 05:21	0,081	0,112	0,090	0,165
25.05.2003 05:21	0,088	0,093	0,082	0,152
25.05.2003 05:22	0,065	0,119	0,101	0,169
25.05.2003 05:22	0,068	0,119	0,100	0,169
25.05.2003 05:49	0,073	0,065	0,044	0,107
25.05.2003 05:49	0,066	0,046	0,060	0,100
25.05.2003 05:49	0,063	0,065	0,064	0,111
25.05.2003 05:52	0,050	0,030	0,055	0,080
25.05.2003 09:04	0,112	0,066	0,085	0,155
25.05.2003 09:04	0,042	0,043	0,076	0,097
25.05.2003 23:27	0,060	0,039	0,054	0,090
26.05.2003 04:06	0,091	0,052	0,068	0,125
26.05.2003 07:13	0,041	0,078	0,046	0,099
26.05.2003 07:13	0,041	0,078	0,046	0,099

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
26.05.2003 08:45	0,071	0,038	0,061	0,101
26.05.2003 08:45	0,077	0,062	0,062	0,117
26.05.2003 08:45	0,077	0,055	0,062	0,114
26.05.2003 09:58	0,080	0,050	0,060	0,112
26.05.2003 09:58	0,080	0,059	0,061	0,117
26.05.2003 09:58	0,122	0,082	0,075	0,165
26.05.2003 09:58	0,122	0,082	0,075	0,165
26.05.2003 11:27	0,081	0,131	0,055	0,164
26.05.2003 11:27	0,088	0,130	0,088	0,180
26.05.2003 11:27	0,086	0,124	0,088	0,175
26.05.2003 11:27	0,049	0,059	0,048	0,091
28.05.2003 05:10	0,044	0,048	0,050	0,082
28.05.2003 05:10	0,043	0,051	0,057	0,088
28.05.2003 09:08	0,055	0,057	0,051	0,094
28.05.2003 09:08	0,055	0,057	0,051	0,094
28.05.2003 09:08	0,093	0,157	0,109	0,213
28.05.2003 09:08	0,081	0,155	0,090	0,197
28.05.2003 09:08	0,070	0,130	0,082	0,169
28.05.2003 22:37	0,063	0,049	0,037	0,088
28.05.2003 22:37	0,130	0,092	0,096	0,186
28.05.2003 22:37	0,130	0,092	0,092	0,184
29.05.2003 03:38	0,053	0,039	0,049	0,082
29.05.2003 03:38	0,053	0,041	0,045	0,081
29.05.2003 06:37	0,046	0,040	0,062	0,088
29.05.2003 20:53	0,041	0,076	0,027	0,091

## Подвальное помещение

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
16.04.2003 12:05	0,008	0,027	0,045	0,053
16.04.2003 12:05	0,008	0,027	0,045	0,053
16.04.2003 12:08	0,017	0,036	0,045	0,060
16.04.2003 12:09	0,022	0,033	0,073	0,082
16.04.2003 12:11	0,013	0,028	0,043	0,053
16.04.2003 12:12	0,019	0,040	0,066	0,079
16.04.2003 13:39	0,015	0,039	0,052	0,067
16.04.2003 13:39	0,018	0,034	0,059	0,071
16.04.2003 13:46	0,013	0,026	0,042	0,051
16.04.2003 15:04	0,022	0,031	0,043	0,058
16.04.2003 16:00	0,014	0,027	0,045	0,054
16.04.2003 16:05	0,012	0,030	0,047	0,057
16.04.2003 16:05	0,016	0,028	0,039	0,051
16.04.2003 16:06	0,020	0,027	0,049	0,060
16.04.2003 16:07	0,016	0,030	0,038	0,051
16.04.2003 16:08	0,015	0,036	0,052	0,065
16.04.2003 16:09	0,013	0,035	0,046	0,059
16.04.2003 16:10	0,014	0,022	0,044	0,051
16.04.2003 16:10	0,015	0,028	0,041	0,052
16.04.2003 16:11	0,014	0,023	0,044	0,051
16.04.2003 16:14	0,018	0,025	0,050	0,059
16.04.2003 16:14	0,019	0,017	0,045	0,052
16.04.2003 16:14	0,014	0,030	0,043	0,054
16.04.2003 16:14	0,009	0,024	0,046	0,052
16.04.2003 16:15	0,014	0,033	0,044	0,056
16.04.2003 16:16	0,018	0,021	0,053	0,060

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
16.04.2003 16:17	0,016	0,019	0,046	0,053
16.04.2003 16:26	0,012	0,025	0,046	0,053
16.04.2003 16:47	0,015	0,024	0,042	0,050
16.04.2003 16:49	0,024	0,022	0,044	0,055
16.04.2003 17:48	0,017	0,026	0,041	0,051
16.04.2003 17:49	0,016	0,030	0,051	0,062
16.04.2003 17:57	0,015	0,028	0,044	0,054
16.04.2003 18:32	0,027	0,023	0,055	0,066
16.04.2003 18:33	0,016	0,014	0,053	0,057
16.04.2003 18:39	0,022	0,027	0,042	0,054
16.04.2003 18:42	0,019	0,024	0,054	0,062
16.04.2003 18:44	0,020	0,039	0,025	0,051
16.04.2003 20:28	0,019	0,024	0,046	0,056
17.04.2003 08:05	0,011	0,043	0,038	0,058
17.04.2003 16:34	0,016	0,024	0,042	0,051
17.04.2003 16:35	0,016	0,026	0,045	0,054
17.04.2003 17:33	0,018	0,025	0,045	0,055
17.04.2003 17:41	0,017	0,030	0,045	0,056
17.04.2003 17:44	0,012	0,026	0,047	0,055
17.04.2003 17:44	0,012	0,026	0,047	0,055
17.04.2003 17:44	0,021	0,036	0,068	0,079
17.04.2003 20:27	0,018	0,027	0,040	0,052
18.04.2003 11:43	0,035	0,091	0,054	0,111
18.04.2003 11:43	0,035	0,091	0,050	0,109
18.04.2003 11:43	0,019	0,052	0,040	0,068
18.04.2003 17:04	0,021	0,026	0,058	0,067



ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Каталог наиболее интенсивных сейсмических событий техногенного происхождения

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с	ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
22.04.2003 15:06	0,014	0,046	0,017	0,051	29.04.2003 10:03	0,016	0,075	0,123	0,145
22.04.2003 20:23	0,027	0,054	0,040	0,072	29.04.2003 21:15	0,043	0,098	0,048	0,117
22.04.2003 20:23	0,027	0,054	0,040	0,072	15.05.2003 11:21	0,002	0,060	0,004	0,060
22.04.2003 23:55	0,017	0,056	0,022	0,063	15.05.2003 21:24	0,019	0,035	0,043	0,059
22.04.2003 23:55	0,017	0,056	0,022	0,063	16.05.2003 06:53	0,025	0,044	0,035	0,062
22.04.2003 23:55	0,021	0,056	0,029	0,067	16.05.2003 06:53	0,019	0,054	0,031	0,065
22.04.2003 23:55	0,021	0,056	0,029	0,067	16.05.2003 12:33	0,017	0,049	0,018	0,055
22.04.2003 23:56	0,031	0,077	0,025	0,087	16.05.2003 12:40	0,023	0,048	0,015	0,055
22.04.2003 23:56	0,031	0,077	0,025	0,087	16.05.2003 12:40	0,037	0,037	0,026	0,058
23.04.2003 07:03	0,018	0,050	0,039	0,066	16.05.2003 12:47	0,022	0,044	0,024	0,055
23.04.2003 07:03	0,016	0,048	0,029	0,058	16.05.2003 13:09	0,030	0,047	0,030	0,063
23.04.2003 07:03	0,020	0,031	0,035	0,051	16.05.2003 13:09	0,030	0,047	0,030	0,063
23.04.2003 07:03	0,017	0,037	0,031	0,051	16.05.2003 13:09	0,026	0,052	0,026	0,064
23.04.2003 07:05	0,020	0,047	0,028	0,058	16.05.2003 13:09	0,026	0,052	0,026	0,064
23.04.2003 07:05	0,020	0,047	0,025	0,057	16.05.2003 13:09	0,044	0,066	0,035	0,086
23.04.2003 07:05	0,028	0,068	0,021	0,076	16.05.2003 13:09	0,045	0,070	0,041	0,093
23.04.2003 07:06	0,040	0,079	0,056	0,104	16.05.2003 13:09	0,050	0,079	0,043	0,103
23.04.2003 07:06	0,027	0,077	0,031	0,087	16.05.2003 13:09	0,049	0,080	0,046	0,104
23.04.2003 07:06	0,022	0,053	0,020	0,060	16.05.2003 13:09	0,049	0,087	0,050	0,112
23.04.2003 08:22	0,027	0,055	0,038	0,072	16.05.2003 13:10	0,039	0,074	0,039	0,092
23.04.2003 11:37	0,039	0,057	0,024	0,073	16.05.2003 13:10	0,039	0,074	0,040	0,093
23.04.2003 11:37	0,039	0,057	0,024	0,073	16.05.2003 13:10	0,045	0,080	0,044	0,102
23.04.2003 11:37	0,044	0,061	0,032	0,082	16.05.2003 13:10	0,042	0,082	0,054	0,106
23.04.2003 11:37	0,044	0,061	0,032	0,082	16.05.2003 13:10	0,044	0,075	0,053	0,101
23.04.2003 11:39	0,059	0,097	0,038	0,120	16.05.2003 13:10	0,047	0,080	0,059	0,110
23.04.2003 11:49	0,061	0,079	0,030	0,104	16.05.2003 13:13	0,046	0,084	0,066	0,116
23.04.2003 11:52	0,021	0,025	0,058	0,066	16.05.2003 13:13	0,041	0,076	0,057	0,104
23.04.2003 11:52	0,025	0,032	0,072	0,082	16.05.2003 13:14	0,039	0,078	0,051	0,101
23.04.2003 11:53	0,019	0,039	0,031	0,053	16.05.2003 13:14	0,042	0,082	0,051	0,106
23.04.2003 11:54	0,025	0,062	0,037	0,076	16.05.2003 13:14	0,036	0,084	0,047	0,103
23.04.2003 11:56	0,032	0,052	0,052	0,080	16.05.2003 13:14	0,027	0,071	0,030	0,082
23.04.2003 11:58	0,020	0,038	0,034	0,055	16.05.2003 13:14	0,021	0,055	0,019	0,062
23.04.2003 11:58	0,018	0,020	0,042	0,050	16.05.2003 13:21	0,039	0,066	0,031	0,083
23.04.2003 11:58	0,021	0,042	0,042	0,064	16.05.2003 14:02	0,033	0,069	0,030	0,082
23.04.2003 12:00	0,026	0,054	0,031	0,068	16.05.2003 14:02	0,033	0,069	0,030	0,082
23.04.2003 12:01	0,019	0,047	0,011	0,052	16.05.2003 14:02	0,034	0,073	0,033	0,088
24.04.2003 06:39	0,020	0,036	0,030	0,051	16.05.2003 14:03	0,042	0,060	0,067	0,099
24.04.2003 06:39	0,020	0,036	0,030	0,051	16.05.2003 14:03	0,042	0,066	0,071	0,105
24.04.2003 06:40	0,025	0,054	0,038	0,071	16.05.2003 14:03	0,022	0,048	0,032	0,062
24.04.2003 06:40	0,025	0,054	0,038	0,071	16.05.2003 14:04	0,018	0,044	0,016	0,050
24.04.2003 06:40	0,023	0,043	0,040	0,063	16.05.2003 16:00	0,014	0,031	0,038	0,051
24.04.2003 06:40	0,025	0,047	0,035	0,063	17.05.2003 10:54	0,025	0,070	0,034	0,082
24.04.2003 06:40	0,019	0,038	0,028	0,051	17.05.2003 10:54	0,025	0,070	0,034	0,082
24.04.2003 06:40	0,031	0,083	0,048	0,101	17.05.2003 11:13	0,026	0,057	0,031	0,070
24.04.2003 06:40	0,031	0,083	0,048	0,101	17.05.2003 11:13	0,026	0,057	0,031	0,070
24.04.2003 08:45	0,020	0,038	0,032	0,053	17.05.2003 11:55	0,015	0,030	0,039	0,052
24.04.2003 08:45	0,020	0,038	0,032	0,053	18.05.2003 21:47	0,036	0,081	0,048	0,101
24.04.2003 08:45	0,022	0,037	0,026	0,050	18.05.2003 21:47	0,036	0,081	0,048	0,101
24.04.2003 08:45	0,020	0,044	0,029	0,057	18.05.2003 21:47	0,018	0,043	0,029	0,055
24.04.2003 08:45	0,029	0,044	0,032	0,062	18.05.2003 21:48	0,020	0,040	0,033	0,056
24.04.2003 08:45	0,034	0,057	0,034	0,075	18.05.2003 21:48	0,036	0,054	0,058	0,087
24.04.2003 08:46	0,035	0,057	0,065	0,093	18.05.2003 21:48	0,050	0,126	0,094	0,165
24.04.2003 09:18	0,034	0,059	0,051	0,085	18.05.2003 21:48	0,050	0,126	0,094	0,165
24.04.2003 09:18	0,034	0,059	0,051	0,085	18.05.2003 21:48	0,018	0,033	0,034	0,051
24.04.2003 09:18	0,034	0,059	0,051	0,085	18.05.2003 21:48	0,058	0,106	0,076	0,142
28.04.2003 22:42	0,037	0,088	0,055	0,110	18.05.2003 21:48	0,058	0,106	0,076	0,142
28.04.2003 22:42	0,036	0,080	0,075	0,115	18.05.2003 21:49	0,042	0,087	0,046	0,107
28.04.2003 22:42	0,035	0,036	0,075	0,090	18.05.2003 21:51	0,043	0,110	0,078	0,142
29.04.2003 08:44	0,033	0,049	0,045	0,075	18.05.2003 21:51	0,029	0,076	0,067	0,105
29.04.2003 08:44	0,021	0,034	0,032	0,051	18.05.2003 21:51	0,027	0,076	0,067	0,105

ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с	ДАТА	X, см/с	Z, см/с	Y, см/с	R, см/с
18.05.2003 21:51	0,035	0,097	0,092	0,138	25.05.2003 04:17	0,022	0,051	0,018	0,058
18.05.2003 21:51	0,023	0,040	0,043	0,063	25.05.2003 05:20	0,045	0,093	0,066	0,123
18.05.2003 21:51	0,018	0,040	0,038	0,058	25.05.2003 05:20	0,045	0,093	0,066	0,123
18.05.2003 21:52	0,025	0,037	0,040	0,060	25.05.2003 05:20	0,045	0,093	0,066	0,123
18.05.2003 21:52	0,031	0,064	0,066	0,097	25.05.2003 05:20	0,038	0,085	0,065	0,113
19.05.2003 10:11	0,020	0,041	0,024	0,052	25.05.2003 05:20	0,041	0,085	0,071	0,117
19.05.2003 17:34	0,017	0,046	0,020	0,053	25.05.2003 05:20	0,041	0,085	0,067	0,115
20.05.2003 10:35	0,018	0,041	0,042	0,061	25.05.2003 05:21	0,065	0,120	0,077	0,156
20.05.2003 10:35	0,023	0,057	0,049	0,079	25.05.2003 05:22	0,050	0,086	0,159	0,187
20.05.2003 10:40	0,016	0,035	0,032	0,050	25.05.2003 05:22	0,045	0,082	0,144	0,172
20.05.2003 14:12	0,036	0,079	0,060	0,105	25.05.2003 05:49	0,021	0,060	0,073	0,097
20.05.2003 14:12	0,036	0,079	0,060	0,105	25.05.2003 05:49	0,030	0,060	0,085	0,109
20.05.2003 14:12	0,036	0,079	0,060	0,105	25.05.2003 05:51	0,020	0,047	0,036	0,062
20.05.2003 14:14	0,020	0,045	0,043	0,065	25.05.2003 05:52	0,028	0,047	0,046	0,072
20.05.2003 14:14	0,034	0,058	0,090	0,112	25.05.2003 05:52	0,026	0,038	0,030	0,055
20.05.2003 14:14	0,034	0,058	0,090	0,112	25.05.2003 09:04	0,081	0,095	0,038	0,130
20.05.2003 14:14	0,036	0,050	0,076	0,097	25.05.2003 11:51	0,034	0,031	0,024	0,052
20.05.2003 16:03	0,017	0,080	0,046	0,094	25.05.2003 23:27	0,040	0,046	0,014	0,063
21.05.2003 00:37	0,013	0,032	0,038	0,051	26.05.2003 04:06	0,067	0,068	0,033	0,101
21.05.2003 12:05	0,011	0,047	0,035	0,059	26.05.2003 04:06	0,033	0,036	0,018	0,052
21.05.2003 16:31	0,007	0,045	0,033	0,056	26.05.2003 07:13	0,020	0,074	0,017	0,079
21.05.2003 17:35	0,014	0,041	0,031	0,053	26.05.2003 07:13	0,020	0,070	0,011	0,074
22.05.2003 09:35	0,005	0,043	0,028	0,052	26.05.2003 08:45	0,037	0,068	0,020	0,080
22.05.2003 09:47	0,006	0,041	0,033	0,053	26.05.2003 08:45	0,037	0,068	0,020	0,080
22.05.2003 09:47	0,006	0,041	0,033	0,053	26.05.2003 08:45	0,046	0,074	0,030	0,092
22.05.2003 09:51	0,009	0,076	0,082	0,113	26.05.2003 08:45	0,033	0,066	0,021	0,077
22.05.2003 10:09	0,006	0,044	0,026	0,051	26.05.2003 09:57	0,037	0,041	0,017	0,058
22.05.2003 11:33	0,007	0,050	0,027	0,058	26.05.2003 09:57	0,037	0,041	0,017	0,058
23.05.2003 10:28	0,021	0,048	0,026	0,058	26.05.2003 09:58	0,057	0,063	0,025	0,089
23.05.2003 12:07	0,017	0,046	0,015	0,051	26.05.2003 09:58	0,052	0,066	0,028	0,088
24.05.2003 09:11	0,031	0,055	0,065	0,091	26.05.2003 09:58	0,072	0,089	0,035	0,120
24.05.2003 09:12	0,017	0,043	0,039	0,061	26.05.2003 11:27	0,045	0,087	0,085	0,130
24.05.2003 11:28	0,019	0,045	0,036	0,060	26.05.2003 11:27	0,054	0,098	0,093	0,146
24.05.2003 11:28	0,025	0,052	0,033	0,067	26.05.2003 11:27	0,022	0,044	0,031	0,058
24.05.2003 11:28	0,025	0,058	0,035	0,072	26.05.2003 11:27	0,019	0,045	0,035	0,060
24.05.2003 11:28	0,028	0,067	0,039	0,082	26.05.2003 15:25	0,018	0,047	0,031	0,059
24.05.2003 11:28	0,025	0,060	0,041	0,077	26.05.2003 15:25	0,015	0,037	0,030	0,050
24.05.2003 11:36	0,034	0,042	0,063	0,083	26.05.2003 22:55	0,032	0,048	0,019	0,061
25.05.2003 04:14	0,049	0,090	0,022	0,105	27.05.2003 10:59	0,019	0,053	0,013	0,057
25.05.2003 04:14	0,049	0,090	0,022	0,105	27.05.2003 13:32	0,010	0,058	0,028	0,065
25.05.2003 04:14	0,049	0,090	0,022	0,105	27.05.2003 13:33	0,012	0,053	0,026	0,060
25.05.2003 04:17	0,079	0,136	0,032	0,160					
25.05.2003 04:17	0,072	0,094	0,029	0,122					
25.05.2003 04:17	0,024	0,051	0,018	0,059					

**Примечание.** Каталог наиболее интенсивных сейсмических воздействий составлен на основе всего сейсмографического материала, включающего около 5 500 событий.

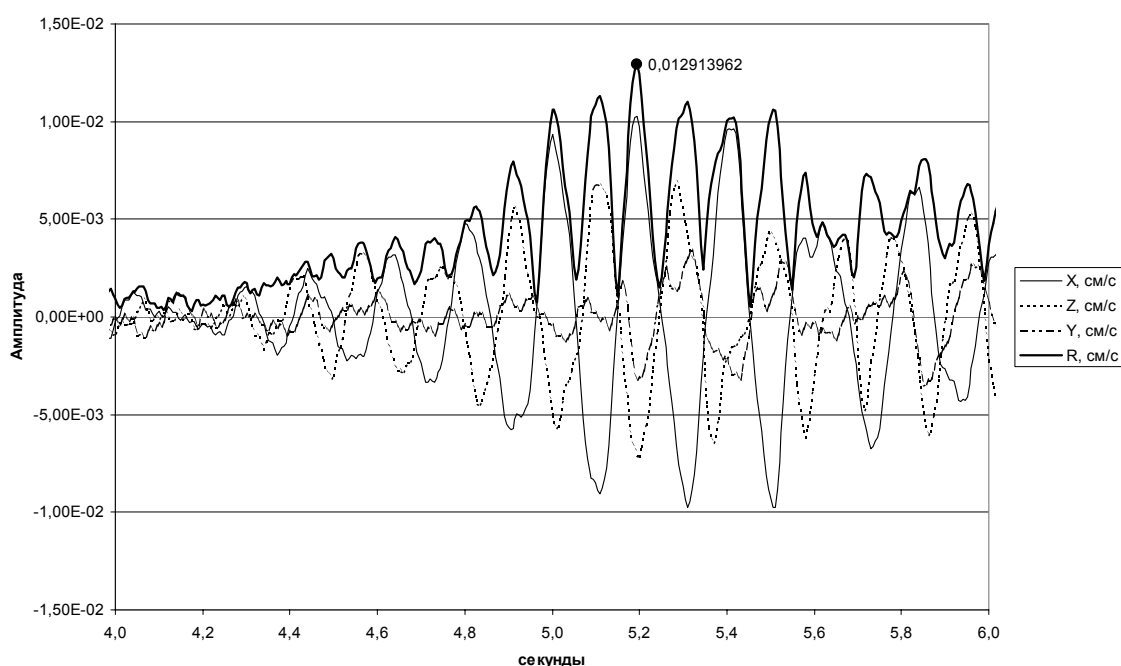
Под событиями понимаются сотрясения, амплитуда которых существенно превосходит фоновые значения. В данном случае, для чердачного помещения в представленный каталог включены события с амплитудой векторной скорости 0.08 см/с и выше, а для подвального помещения – с 0.06 см/с и выше.

Амплитуда векторной скорости определялась как максимальное значение модуля мгновенного вектора скорости, т.е.,

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2},$$

где  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  – регистрируемые сейсмометром компоненты скорости колебаний, соответственно, вдоль, поперек и по высоте исследуемого здания дома №31/35 по ул. Фридриха Энгельса. Величина  $R$  наиболее полно отражает степень воздействия колебаний на объект.

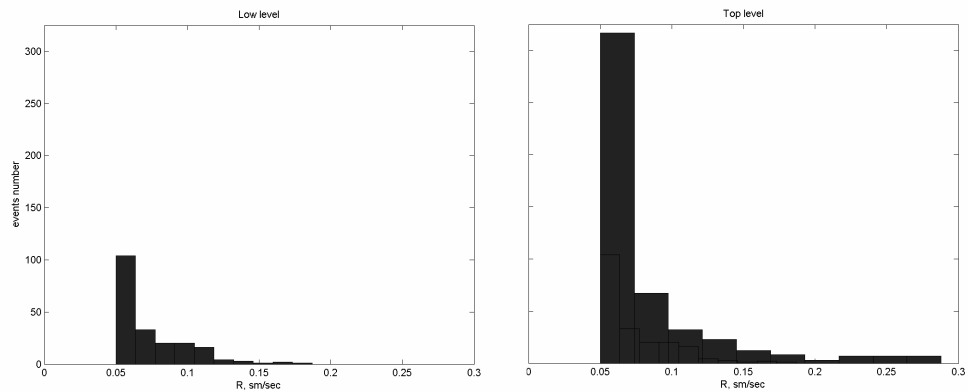
На приведенном ниже рисунке показаны трехкомпонентная сейсмограмма и соответствующее значение  $R$ . Точкой помечено максимальное значение амплитуды, по которому устанавливается принадлежность события к каталогу.



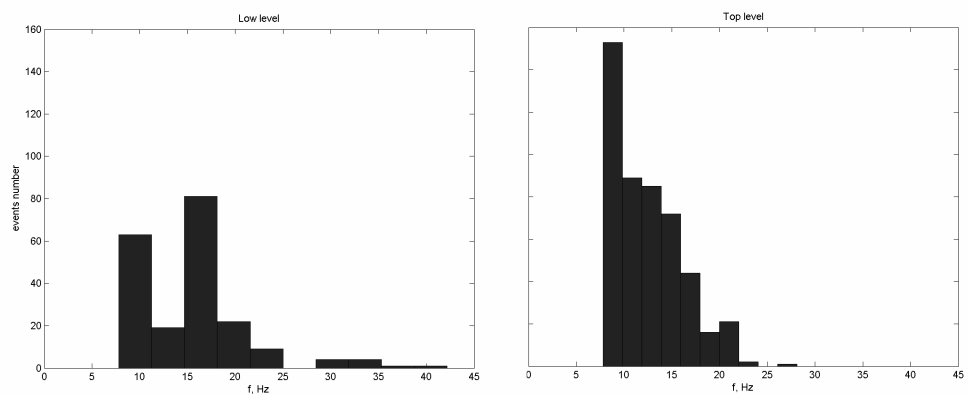
**Рис. III.1.** К вычислению амплитуды полного вектора скорости.

Для значений  $R$  было выбрано несколько ступеней, позволяющих отнести событие к данному каталогу. Для событий с  $R > 0.05$  см/с строились приведенные ниже гистограммы, наглядно представляющие количество зарегистрированных событий и общий уровень сотрясений, зарегистрированных за время инструментальных наблюдений. Наиболее сильные сотрясения, для которых  $R > 0.05$  см/с, внесены в приведенный здесь каталог. В таблицах указаны дата и время события, значение максимальной амплитуды и частоты основной спектральной компоненты колебаний. Для исключения ряда помех, вызванных эпизодической работой оператора с сейсмостанцией, а также контрольных калибровочных сигналов, подаваемых на датчики с целью контроля их работоспособности, был использован дополнительный критерий, по которому частота колебаний должна превышать 6.25 Гц. Кроме того, в таблицу не включены события, промежутки времени

между которыми составлял менее двух секунд, т.к. анализ записей показал, что такие события связаны с одним и тем же источником, неравномерно излучающим механическую энергию в грунт более или менее продолжительное время. Длительность самого события в данном случае не учитывалась, достаточно было однократного превышения величиной  $R$  порогового значения, поскольку конструкция аппаратуры полностью исключает наличие выбросов, не связанных с регистрируемыми в рабочем диапазоне частот колебаниями. Всего в данный каталог включено 204 события, зафиксированных в подвальном помещении и 483 события, зарегистрированных в чердачном помещении.



**Рис. III.2.** Гистограммы распределения событий каталога по амплитудам:  
Low level – подвальное помещение, Top level – чердачное,  
Events number – число событий.



**Рис. III.3.** Гистограммы распределения событий каталога по частотам:  
Low level – подвальное помещение, Top level – чердачное,  
Events number – число событий.

Сейсмограммы всех событий, как и полный каталог записей сейсмических воздействий по каждой из трех составляющих ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) и максимальные значения векторной скорости представлены на компакт-диске.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

### Субъективные ощущения жильцов обследуемого дома

В настоящем приложении приведены выборочные примеры записей жильцов последнего этажа дома по ул.Ф.Энгельса, 31/35.

Кроме отдельных ощутимых событий со слов жильцов имеет место непрерывная вибрация, неосязаемая непосредственно, но видимая на поверхности воды в сосуде.

В тех местах таблицы, где время события указано не интервалом, колебания продолжались около одной минуты.

Таблица ощущавшихся жильцами событий

№	Московское время (UTC+4)		Универсальное время UTC		Характер сотрясений
	Дата	Время	Дата	Время	
4	16 апреля	17:49 20:29	16 апреля	13:49 16:29	Дребезжание стекол в книжных полках
5	18 апреля	09:59 11:43	18 апреля	05:59 07:43	Дребезжание стекол в книжных полках
6	19 апреля	23:58	19 апреля	19:58	Дребезжание стекол в книжных полках
7	20 апреля	03:14	19 апреля	23:14	Дребезжание стекол в книжных полках
8	22 апреля	05:25	22 апреля	01:25	Дребезжание стекол в книжных полках
9	29 апреля	08:45	29 апреля	04:45	Ощущение вибрации на своем теле
10	4 мая	06:55 12:05	4 мая	02:55 08:05	Дребезжание стекол в книжных полках
11	11 мая	07:30	11 мая	03:30	Дребезжание стекол в книжных полках
12	12 мая	14:08 14:21 20:17	12 мая	10:08 10:21 16:17	Дребезжание стекол в книжных полках
13	28 мая	09:09	28 мая	05:09	Сильная вибрация всего здания

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

### Компакт-диск с материалами

На прилагаемом компакт-диске находятся:

настоящий отчет,

каталог всех зарегистрированных событий (более 5 500),

каталог визуализированных записей событий в графическом формате.

Подробное содержание находится на компакт-диске.

## СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рис. 1.1. Карта-схема современных тектонических движений.....	7
Рис. 1.2. Схема изосейст удаленных землетрясений, ощущавшихся в Москве.....	8
Рис. 2.3. Сопоставление величин скоростей сейсмических воздействий по данным разных версий макросейсмических шкал.....	15
Рис. 3.1.1. План местности и расположение исследуемого здания.....	16
Рис. 3.1.2. Расположение дома №31/35 по отношению к площадке строительства.....	17
Рис. 3.1.3. Вид объекта со стороны строительства 3-го ТК (вид 1 на рис.3.2).....	17
Рис. 3.1.4. Вид объекта со стороны пересечения 3-го ТК и ул.Ф.Энгельса (вид 2 на рис.3.2).....	18
Рис. 3.1.5. Вид объекта со стороны ул.Ф.Энгельса (вид 3 на рис.3.2).....	18
Рис. 3.1.6. Крупные трещины на уровне 6-го этажа со стороны ул.Ф.Энгельса.....	19
Рис. 3.1.7. Вид объекта со стороны двора (вид 4 на рис. 3.1.2).....	20
Рис. 3.1.8. Фрагменты 1 и 2 наружных стен дома со стороны двора.....	20
Рис. 3.1.9. Фрагменты трещин на верхних этажах снаружи и внутри дома.....	21
Рис. 4.1.1. Внешний вид велосиметра КМВ.....	22
Рис. 4.1.2. Внешний вид регистратора СЕЙСАР.....	26
Рис. 4.2.1. Подвальное помещение. Размещение датчика и регистратора.....	29
Рис. 4.2.2. Чердачное помещение. Размещение датчика и регистратора.....	30
Рис. 4.2.3. Калибровочная запись параллельно установленными датчиками.....	31
Рис. 4.2.4. Калибровочная регистрация с установленных рядом датчиков.....	31
Рис. 5.1.1. Сейсмические воздействия в чердаке.....	33
Рис. 5.1.2. Сейсмические воздействия в чердаке.....	34
Рис. 5.1.3. Сейсмическое «затишье» 15 мая.....	36
Рис. 5.1.4. Примеры типичных сейсмических воздействий строительных механизмов на объект.....	37
Рис. 5.2.1. Чердачное помещение. Максимальные амплитуды колебаний.....	41
Рис. 5.2.2а. Чердачное помещение. 25 мая 00ч 17м.....	42
Рис. 5.2.2б. Подвальное помещение. 25 мая 00ч 17м.....	42
Рис. 5.2.3а. Чердачное помещение. 25 мая 01ч 20м.....	43
Рис. 5.2.3б. Подвальное помещение. 25 мая 01ч 20м.....	43
Рис. 5.2.4а. Чердачное помещение. 25 мая 05ч 41м.....	44
Рис. 5.2.4б. Подвальное помещение. 25 мая 05ч 41м.....	44
Рис. 5.2.5а. Чердачное помещение. 28 мая 18ч 36м.....	45
Рис. 5.2.5б. Подвальное помещение. 28 мая 18ч 36м.....	45
Рис. 5.2.6. Осредненная разность уровней спектров мощности для различных компонент (X, Z, Y) для чердака относительно подвала.....	46
Рис. 5.1а. Землетрясение в Турции. Исходная запись.....	47
Рис. 5.1б. Землетрясение в Турции. Обработанная запись.....	48
Рис. 5.2а. Землетрясение в Алжире. Исходная запись.....	49
Рис. 5.2б. Землетрясение в Алжире. Обработанная запись.....	49
Рис. П1.1. К вычислению амплитуды полного вектора скорости.....	59
Рис. П1.2. Гистограммы распределения событий каталога по амплитудам.....	60
Рис. П1.3. Гистограммы распределения событий каталога по частотам.....	60

## СПИСОК ТАБЛИЦ

Допустимые значения скоростей смещения в основании малоэтажных кирпичных зданий.....	11
Расчетные значения допустимой скорости колебаний грунта в зависимости от ранга и класса сооружений.....	12
Шкала интенсивности сейсмических воздействий – MSK-64.....	13
Сопоставление инструментальных данных некоторых шкал сейсмической интенсивности.....	14
Время работы сейсмостанций.....	30
Таблица ощущавшихся жильцами событий.....	61