

КОЛЕБАНИЯ ГРУНТА ПРИ ОЛЮТОРСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 20 (21) АПРЕЛЯ 2006 г. И ЕГО АФТЕРШОКАХ ПО ДАННЫМ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.

Гусев А.А.^{1,2}, Чубарова О.С.¹, Чебров В.Н.² и Абубакиров И.Р.²

1 Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gusev@emsd.ru

2 Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Введение

Сильное ($M_w=7.6$) Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 года – сильнейшее известное землетрясение на территории Корякского автономного округа (КАО). Уровень сотрясений в эпицентральной зоне достигал при нем 8-9 баллов. Записи колебаний грунта при этом землетрясении представляют большой интерес. К сожалению, вплоть до апреля 2006 г. на территории КАО не велась регистрация сильных движений грунта. Однако, ограниченную информацию о колебаниях грунта при основном толчке получить все же удалось. Ближайшая к эпицентру постоянная сейсмическая станция расположена в пос. Каменское, где регистрация ведется цифровой широкополосной сейсмической станцией (ЦШПСС) КАМ. К сожалению, максимальные амплитуды в Каменском были слишком велики для неискаженной регистрации основного толчка (и даже сильнейших афтершоков) на используемых каналах.

Вскоре после землетрясения сотрудникам Камчатского филиала Геофизической службы РАН Е.П.Токареву, В.Н.Козлову и Т.В.Шевченко в сложной обстановке удалось оперативно установить в эпицентральной зоне (пос. Тиличики) цифровой акселерограф. Это позволило записать сотни последующих толчков (афтершоков) Олюторского землетрясения.

В работе выполнен предварительный анализ цифровых записей колебаний грунта при Олюторском землетрясении. Помимо данных из эпицентральной зоны, привлечены также материалы других ЦШПСС на удалениях до 1000 км.

Цифровая регистрация колебаний грунта на Камчатке и в КАО

Аналоговые сейсмографы, которые до последнего времени в основном применялись на Камчатке, позволили, начиная с 1962 г. выполнить большой объем важных и интересных сейсмологических исследований. При этом регистрация сильных и слабых колебаний грунта производилась по различным схемам. Слабые колебания постоянно записывались чувствительными короткопериодными сейсмографами с гальванометрической регистрацией на фотобумаге. В то же время сильные колебания, интерес к которым был ниже, регистрировались ограниченным числом акселерографов (с прямой оптической регистрацией) и велосигрофов на базе 5-секундного маятника С5С. В обоих случаях регистрация шла в ждущем режиме на фотопленку. Наиболее развитыми эти наблюдения были в 1985-1988 гг., когда функционировало 11 пунктов регистрации в районе Петропавловска-Камчатского и еще 18 таких пунктов вне него. Привязки к точному времени приборы сильных движений (акселерографы и велосигрофы) не имели, а степень надежности их работы, по ряду объективных и субъективных причин, была довольно ограниченной в 1970-1980 гг., и еще ухудшилась в 1990 гг. Поясним, что одного-двух десятков размещенных на Камчатке чувствительных сейсмографов было достаточно, чтобы определять гипоцентры и энергию одной-двух тысяч слабых землетрясений региона ежегодно, что позволило детально изучать здесь географию сейсмичности, строение среды и др. В то же время, приборы сильных движений характеризуют движения грунта только в точке установки, и обобщать результаты их наблюдений на большие территории затруднительно. Поэтому в мировой практике их устанавливают плотными сетями из сотен и тысяч приборов. На фоне такого стандарта, Камчатская сеть приборов сильных движений за 1962-2000 гг. смогла накопить хотя и чрезвычайно ценные, но в сущности лишь весьма отрывочные материалы о сильных колебаниях грунта. Существенным слабым местом наблюдений с аналоговыми приборами является тот факт, что они в принципе (по техническим причинам) не в состоянии дать информацию о низкочастотной части спектров землетрясений, интерес к которой у инженеров и сейсмологов все

более нарастает. Отметим также, что сколько-нибудь серьезная обработка собираемых данных (например, оценка ускорений грунта по записям ИСО) требовала трудоемкой и вносящей неизбежные искажения процедуры цифровки.

Положение начало меняться в 1993 г. с началом работы на сейсмостанции Петропавловск ЦШПСС РЕТ в рамках консорциума «IRIS». Для регистрации сильных толчков станция имела в комплекте канал низкой чувствительности на базе акселерометра с обратной связью (FBA). Записи этой станции позволили начать исследование колебаний грунта на Камчатке на основе прямой цифровой записи в весьма широкой полосе частот. Но лишь после 2002 г. начала разворачиваться собственно сеть цифровых приборов, формирование которой еще не завершено. Олюторское землетрясение послужило определенной проверкой работоспособности этой сети.

В статье использованы записи нескольких сейсмических станций и приборов, их краткая характеристика дана в табл.1. Отметим, что большой динамический диапазон современных цифровых сейсмических станций позволяет в ряде случаев вести запись и сильных движений грунта и слабых землетрясений одной и той же аппаратурой.

Поскольку Олюторское землетрясение находится на заметном расстоянии от Камчатской сети, в настоящей работе, помимо станций КАМ и TLC, расположенных в КАО, изучались только записи ближайших к эпицентру станций Камчатской сети - ВКИ и КВГ, а также опорной станции РЕТ (рис. 1). На использованных станциях (кроме КАМ) провели контроль калибровки путем сравнения, для отдельных землетрясений, записей выбранных каналов регистрации и альтернативных цифровых каналов. В качестве альтернативных использовали: каналы мобильной станции «MARS» (Lennartz) для TLC, каналы С5С-ОС с обратной связью разработки КФ ГС РАН (Ю.В.Шевченко) для ВКИ и КВГ, и каналы региональной телеметрии (РТСС) для ст. РЕТ.

Исходные данные, процедуры обработки.

В работе изучались записи основного толчка Олюторского землетрясения и его афтершоков (рис.1). Каталог изученных землетрясений приведен в табл. 2. Очаговые параметры приводятся по каталогу КФ ГС РАН. Графический материал приводится по основному толчку и трем афтершокам (выделено в табл. 2). Была проведена обработка еще ряда афтершоков, для которых приводятся только результаты определения пиковых амплитуд, найденные при цифровой обработке (табл. 3, в конце статьи). Цифровые записи землетрясений отбирались из основного цифрового архива КФ ГС РАН. Хотя станция TLC работала в ждущем режиме, в ряде случаев при одном включении регистратора записывались несколько землетрясений. В таких случаях из полной записи вырезались отдельные сегменты.

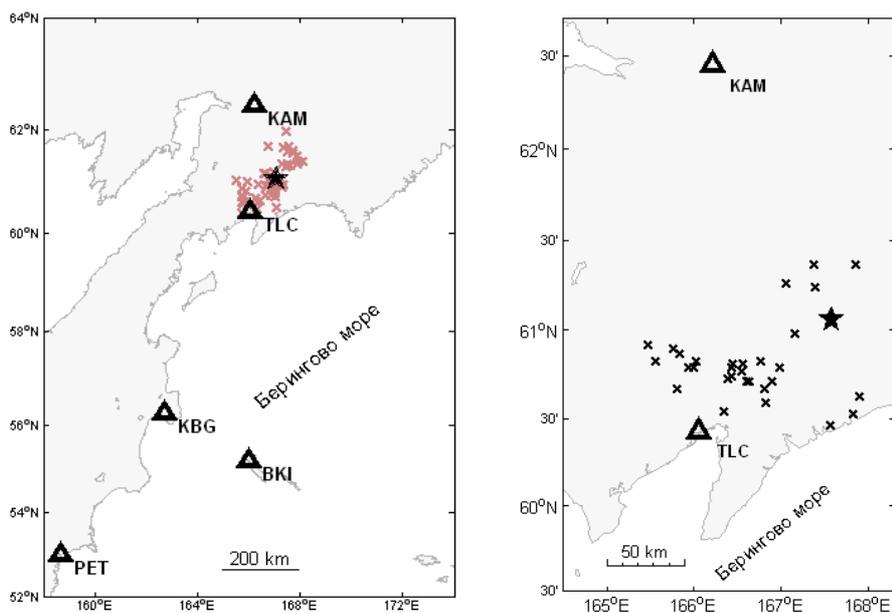


Рис. 1. Схема расположения станций и очагов. Слева – эпицентр (звезда), очаговая зона, очерченная эпицентрами афтершоков за первые трое суток (x), и использованные цифровые станции (треугольники). Справа – эпицентры афтершоков, записи которых обработаны, в более крупном масштабе.

Таблица 1. Характеристики цифровых сейсмических станций.

Пункт	Код с/ст	φ , °с.ш.	λ° , в.д.	H, м	Грунт	Тип датчика	Регистратор	Частота опроса, $f_{\text{ис}}$, с ⁻¹	Режим	Δ , км
Тиличики	TLC	60.4302	166.0563	52	Гравий вечномёрзлый	CMG-5T(A)	GSR-24	100	Жд.	98
Каменское	KAM	62.4560	166.2100	64	Скала	STS-1 (V)	Quanterra	20	Непр.	175
Никольское	BKI	55.1939	165.9835	10	Песчаник слабо сцементированный	CMG-5T(A)	GSR-24	100	Жд.	650
Крутоберегово	KBG	56.2584	162.7127	18	Пирокластика	CMG-5T(A)	GSR-24	100	Непр.	490
Петропавловск	PET	53.0233	158.6501	102	Скала	STS-IV (V), GS13 (V)	Quanterra	20, 80	Непр.	1030

Δ - эпицентральный расстояние, приводится от инструментального эпицентра основного толчка. Пометка А или V- род канала: акселерограф или велосиграф. CMG-5T - форсбалансный акселерометр, GSR-24 - цифровой сейсмический регистратор; Quanterra - цифровая сейсмическая станция, реализует каналы ВН на датчиках STS-I и STS-IV и каналы ЕН на датчике GS13

Таблица 2. Список обработанных землетрясений

№ з/гр	Дата, дд/мм/гггг	Время, ч:мин:с	φ , °с.ш.	λ° , в.д.	H, км	Ks	ML	mb/Ms	Обработаны записи ст.
1	20/04/2006	23:24:57	60.98	167.37	1	15.7*	7.1	7.6(Ms)	KAM KBG BKI PET
2	21/04/2006	04:32:45	60.56	165.85	22	12.7	5.6	6.3	BKI
3	21/04/2006	11:14:12	61.39	167.77	0	13.5	6.0	6.1(Mw)	BKI
4	21/04/2006	20:50:01	60.92	167.06	0	11.9	5.2	5.3	BKI
5	22/04/2006	07:21:58	61.17	167.11	14	12.6	5.6	5.8	BKI
6	29/04/2006	16:58:05	60.54	167.76	0	14.4	6.5	6.6	BKI
7	07/05/2006	00:54:54	60.46	167.39	0	10.0	4.3	4.6	TLC KAM
8	09/05/2006	03:31:38	60.83	165.84	9	10.2	4.4	4.5	TLC
9	09/05/2006	11:02:20	60.74	166.02	5	13.0	5.8	5.8(Mw)	TLC KAM BKI
10	11/05/2006	12:50:09	60.83	165.96	6	9.6	4.1	4.6	TLC
11	11/05/2006	13:41:56	60.76	166.03	1	9.7	4.1	4.6	TLC
12	14/05/2006	05:16:47	60.74	166.00	10	10.7	4.6	4.7	TLC
13	18/05/2006	19:30:23	60.75	166.05	2	10.9	4.7	5.1	TLC
14	22/05/2006	11:11:56	60.75	166.10	3	14.2	6.4	6.7(mb)	TLC KBG BKI PET
15	22/05/2006	11:29:52	60.73	166.21	5	11.1	4.8	4.8	TLC
16	22/05/2006	11:43:51	60.81	166.37	10	10.5	4.5	4.6	TLC
17	22/05/2006	11:50:30	60.76	166.01	9	11.8	5.2	4.9	TLC
18	22/05/2006	12:04:49	60.77	166.20	5	11.6	5.1	4.9	TLC
19	22/05/2006	12:30:11	60.77	166.01	14	11.2	4.9	5.0	TLC
20	22/05/2006	13:03: 8	60.73	166.12	12	12.6	5.6	5.3	TLC
21	22/05/2006	15:16:27	60.79	166.16	7	10.5	4.5	4.5	TLC
22	22/05/2006	22:40:42	60.74	166.39	6	10.3	4.4	4.5	TLC
23	24/05/2006	15:44:49	60.78	165.92	8	11.8	5.2	5.1	TLC
24	24/05/2006	20:48:44	60.71	166.03	15	10.7	4.6	5.1	TLC
25	27/05/2006	04:09:01	60.77	165.89	7	10.8	4.7	4.8	TLC
26	27/05/2006	23:57:52	60.76	165.99	17	10.8	4.7	4.5	TLC
27	29/05/2006	19:39:35	60.72	165.77	10	10.2	4.4	4.6	TLC
28	09/06/2006	07:25:17	60.59	166.82	32	10.0	4.3	4.6	TLC
29	07/07/2006	11:56:04	60.77	166.54	29	10.0	4.3	4.3	TLC
30	11/08/2006	06:45:42	61.37	167.37	6	10.2	4.4	4.7	TLC

φ - широта; λ - долгота; H - глубина; Ks - энергетический класс по S-волнам, * - энергетический класс Ks по кода-волнам; ML - локальная магнитуда, Ms, mb, Mw - другие виды магнитуды. Здесь и далее в табл. 3 полужирным выделены события, для которых приводятся графики.

Для обработки записей был применен новый программный пакет, развивающий ранее отработанную методику [2]. В доработке пакета использован модуль деконволюции, любезно предоставленный В.М. Павловым. В плане собственно обработки алгоритм реализует следующую последовательность операций:

- выбор сегмента обработки;
- коррекция за передаточную функцию прибора в широкой полосе частот путем деконволюции в частотной области «вслепую»;
- интерактивный выбор рабочей полосы частот (минимальная частота f_1 , максимальная – f_2) для надежного восстановления амплитуд сигнала;
- повторная деконволюция в частотной области в пределах выбранной полосы, расчет восстановленных сигналов ускорения, скорости и смещения;
- снятие пиковых амплитуд ускорения, скорости и смещения;
- расчет оценки сглаженного амплитудного спектра Фурье в пределах выбранной полосы с предварительным выбеливанием сигнала;
- расчет спектра реакции.

Важным и существенным новым элементом использованного пакета является использование при оценке сглаженного амплитудного спектра Фурье процедуры предварительного выбеливания сигнала (prewhitening). Этот метод был первоначально разработан для расчета оценок спектров мощности стационарных сигналов [1]. Впервые он применен к оценке сглаженного спектра Фурье сейсмической записи. Метод позволяет существенно подавить искажения оценок спектра при наличии в нем участков крутого спада или нарастания. Известно, что простое сглаживание приводит в подобных случаях к заметному искажению оценок за счет просачивания мощности от «более тяжелой» к «более легкой» стороне сглаживающего окна. Данная проблема является вполне реальной. В частности, крутой (по экспоненте e^{-kf}) спад спектров Фурье в области высоких частот за счет поглощения сейсмических волн в Земле – непереносимое свойство наблюдаемого сигнала. Часто достаточно крутым является также спад спектра ускорений объемных волн в области низких частот (ниже корнер-частоты). В обоих случаях при сглаживании обычным путем спектры заведомо искажаются. Использование предварительного выбеливания сигнала позволяет почти полностью подавить искажения.

Процедура деконволюции и восстановления сигнала использует параметры полосы частот восстановления (f_1, f_2). Значение f_2 выбирали как 0.6-0.7 частоты Найквиста $f_N=0,5 f_c$, а значение f_1 – исходя из необходимости ограничить паразитный низкочастотный сигнал (см.[2]). Выбор этих параметров частично влияет на результат восстановления. В частности, по записям велосиграфов КАМ невозможно восстановить участок спектра ускорения от 5 до 15 Гц. Аналогично, по записям акселерографов не удается восстановить участок спектра смещения в диапазоне 0.01-0.1 Гц. Практически, использовали для велосиграфов (каналы ВН): $f_1 = 0,02-0,03$ Гц, $f_2 = 6-7$ Гц, а для акселерографов: $f_1 = 0.07-0.1$ Гц, $f_2 = 40$ Гц.

Описание результатов

В разделе описаны материалы обработки и первичного анализа изученных записей. Основные материалы приведены в графическом виде. Это восстановленные сигналы движения грунта – ускорения, скорости и смещения – для всех трех компонент, сглаженные амплитудные спектры Фурье для сигналов ускорения, спектры реакции ускорения при 5% затухании. Сглаживание спектров Фурье всегда проводилось с логарифмически постоянной шириной окна, составляющей 0.1 декады (1/3 октавы).

На рис. 2 приведены найденные движения грунта для основного толчка на четырех станциях. Искаженная необработанная запись велосиграфа ст. КАМ на эпицентральной расстоянии 175 км иллюстрирует работу цифрового канала в условиях перегрузки. Заметный участок Р-волны все же записан без искажений и был далее использован для более детального анализа. Для ст. РЕТ, ВКІ, КВГ приводятся три компоненты смещения. Запись ждущего режима ст. ВКІ неполная из-за неоптимальной настройки временного окна ждущей регистрации в момент основного толчка. Для КВГ приведены также ускорения и скорости грунта.

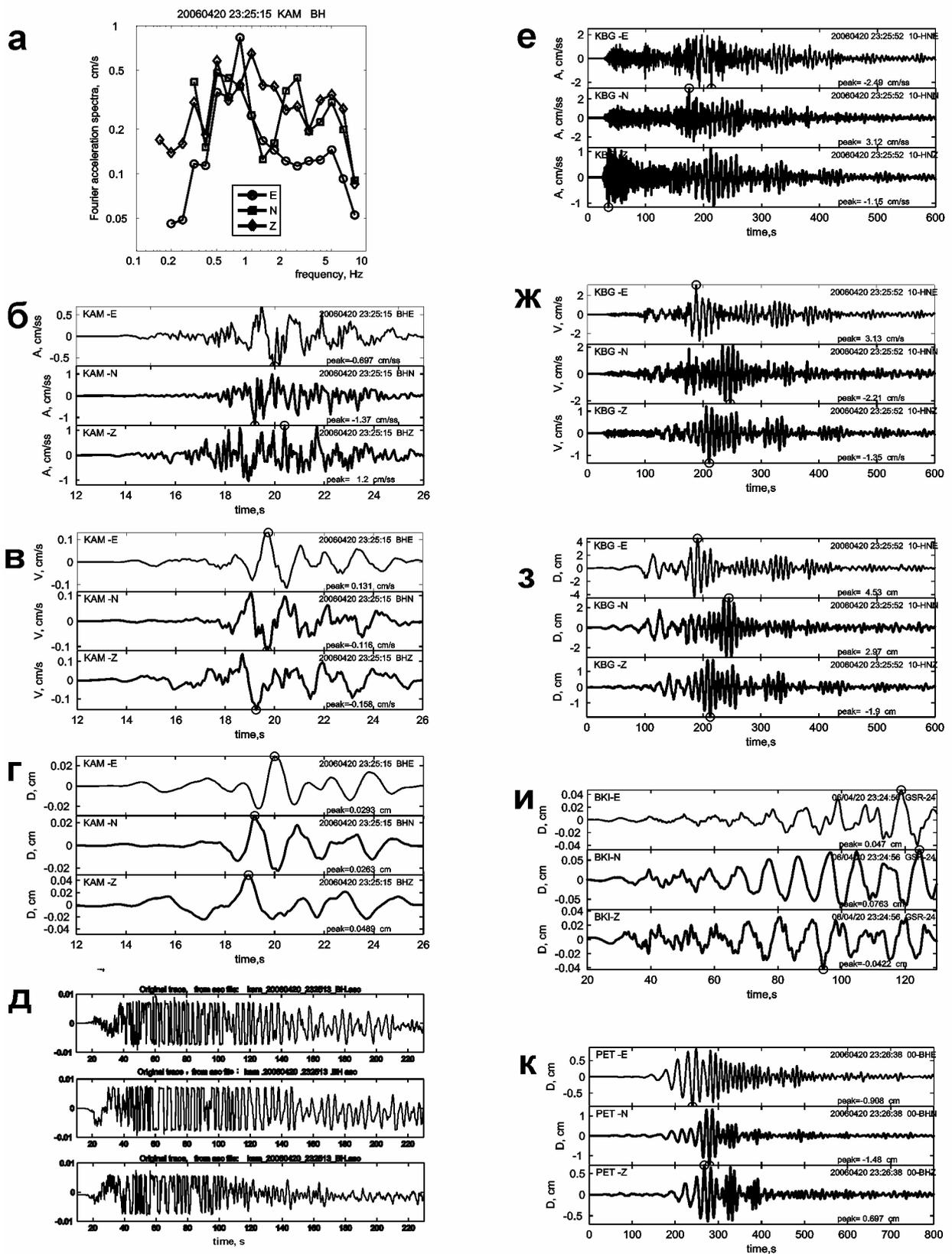


Рис.2. Обработка записей основного толчка 20.04.2006 на ст. KBG, VKI, PET и KAM: а - спектр Фурье ускорения первых 15 с записи Р-волн на KAM, абсцисса - частота, Гц, ордината - спектр, см/с; б, в, г - (восстановленные) ускорения (A), скорости (V) и смещения грунта (D) первых 15 с записи Р-волн на KAM, абсцисса - время, с, ордината - ускорение, см/с², скорость, см/с, смещение грунта, см, соответственно (графики для последующих записей приводятся по той же схеме); д - полная исходная запись велосиграфа на KAM, абсцисса - время, с, ордината - скорость, см/с; е, ж, з - (восстановленные) ускорения, скорости и смещения грунта на KBG; и, к - смещения грунта на VKI и PET, запись VKI – неполная. Пиковые значения сигналов здесь и далее помечены кружком.

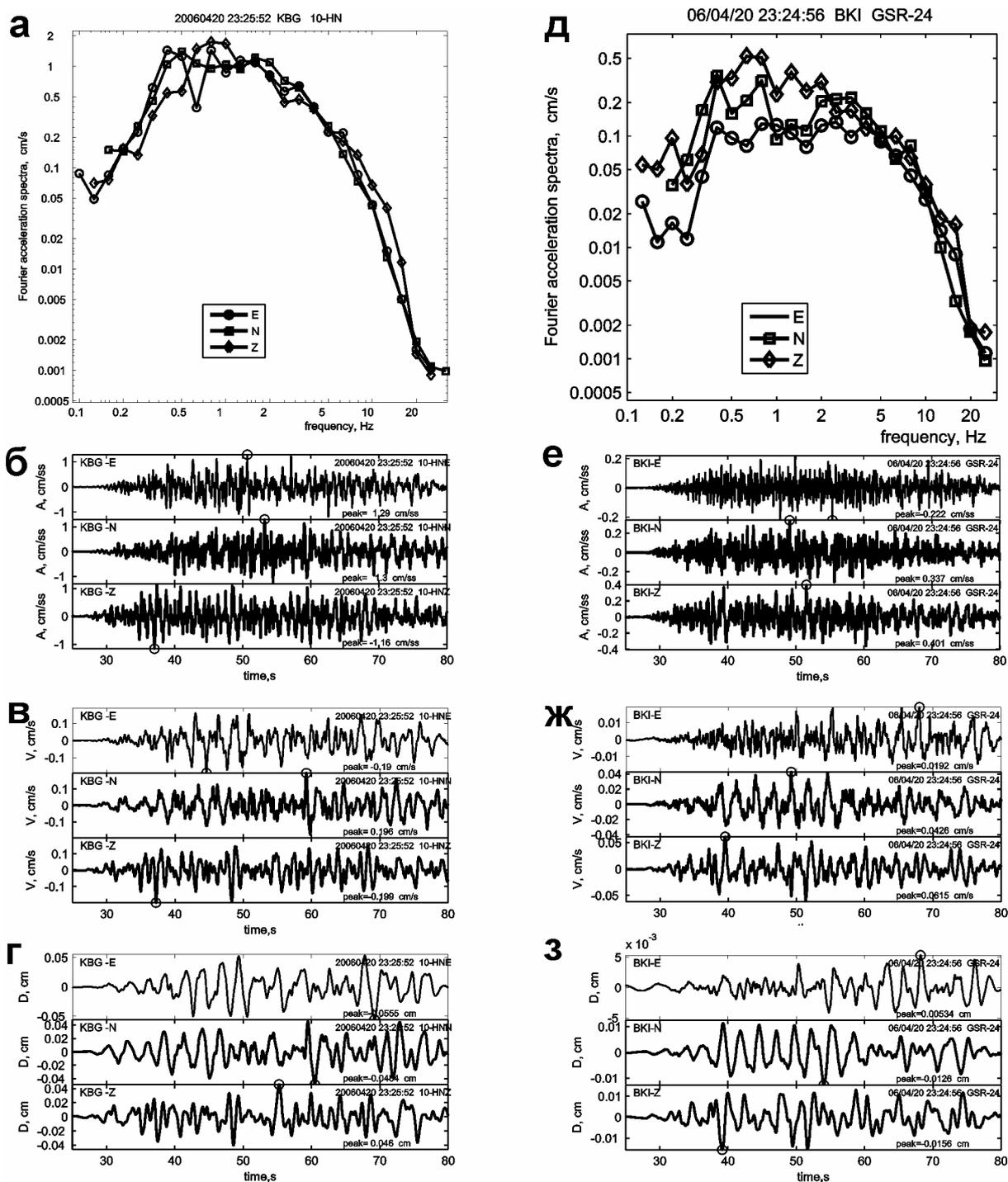


Рис. 3. Обработка записей Р-волн основного толчка 20.04.2006 на ст. KBG и VKI: а - спектры Фурье записей Р-волн; б, в, г - (восстановленные) ускорения, скорости и смещения грунта для ст. KBG; д, е, ж, з - аналогичные графики для ст. VKI.

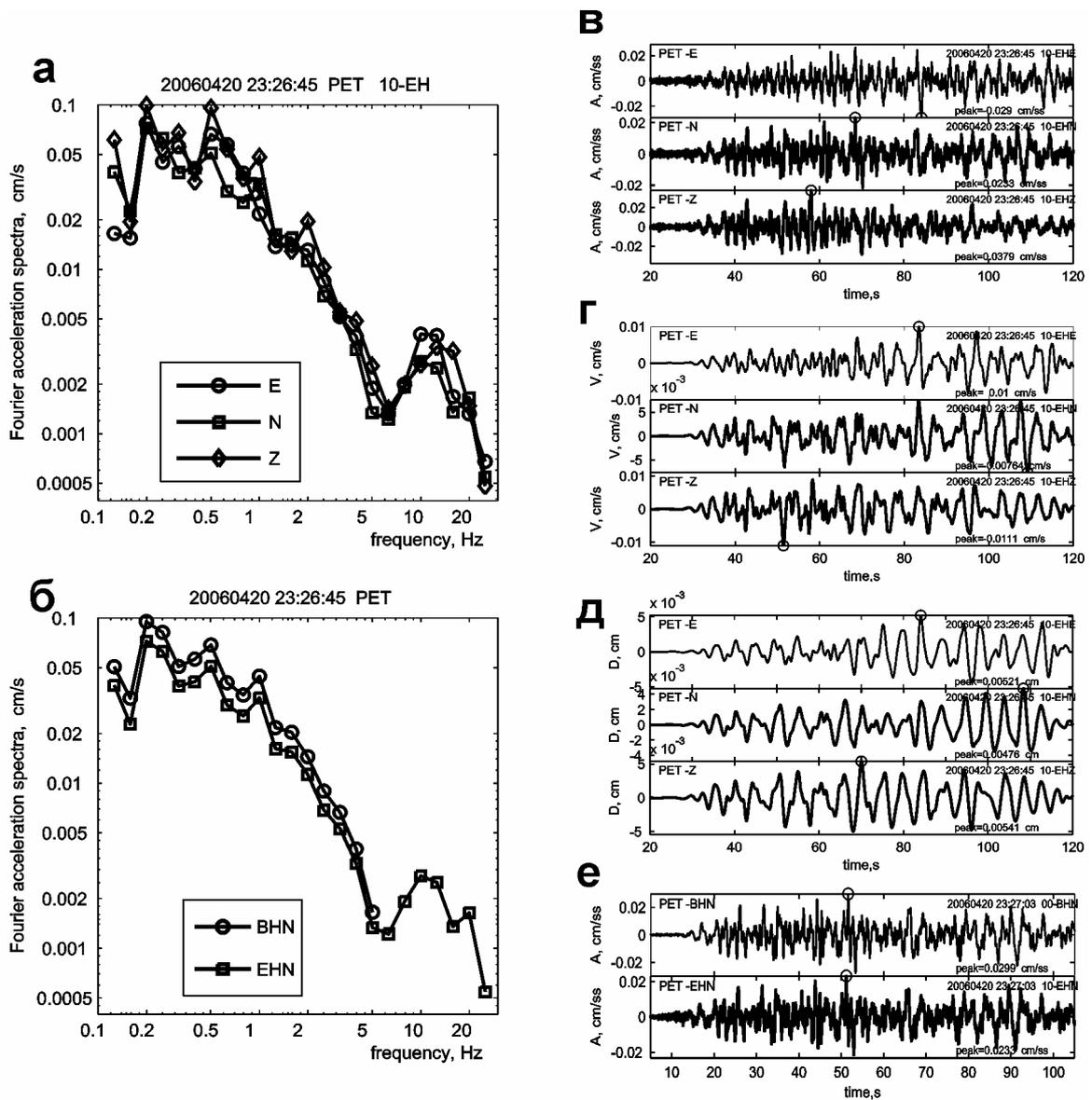


Рис. 4. Обработка записей Р-волн основного толчка 20.04.2006 на ст. PET: а - спектры Фурье; б - сравнение спектров Фурье каналов BHN и EHN; в, г, д - ускорения, скорости и смещения грунта; е - сравнение ускорений каналов BHN и EHN.

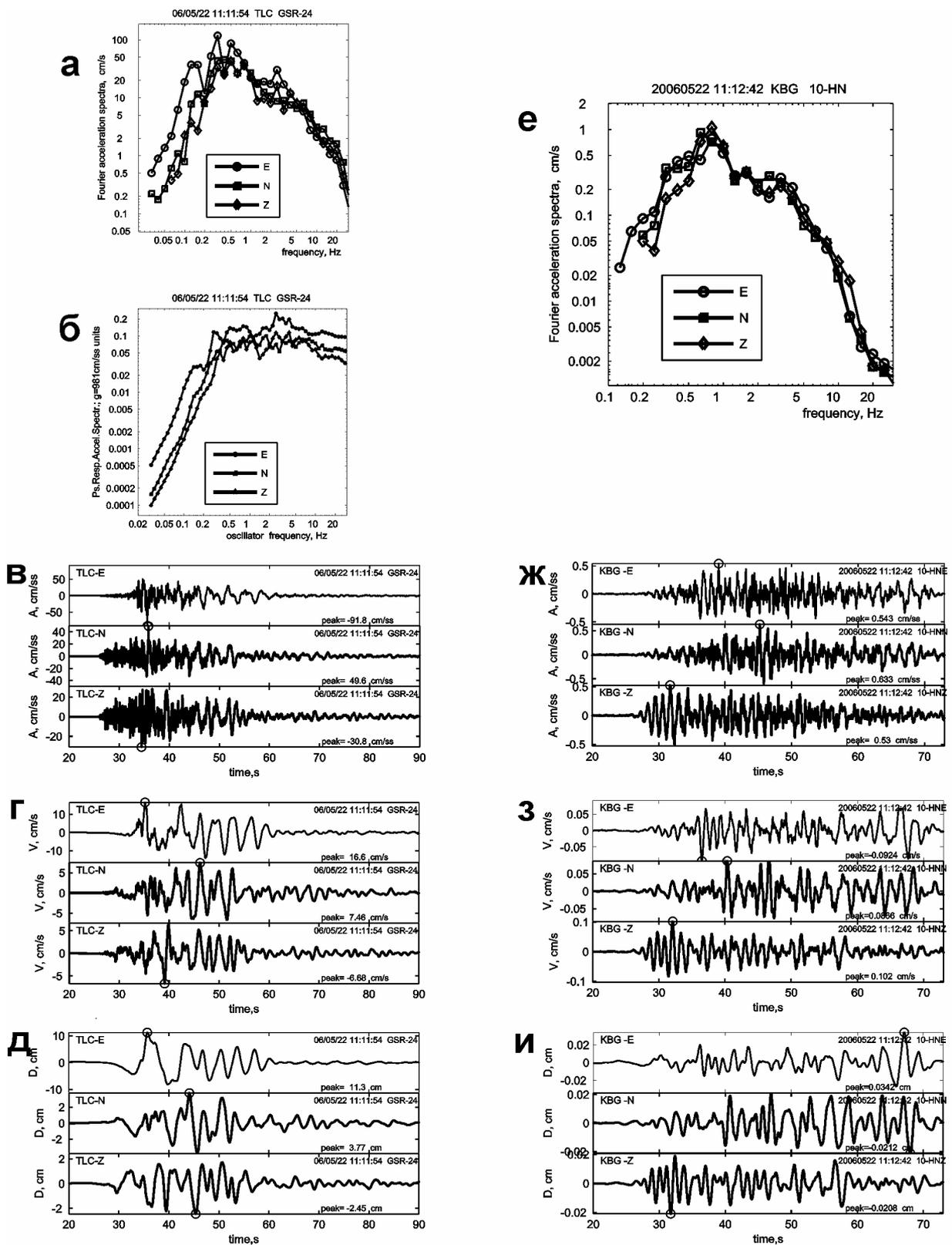


Рис. 5. Обработка записей афтершока 22.05.2006 в 11:11: а - спектры Фурье ускорения полных записей на TLC; б - спектры реакции (ускорение) при затухании 5% для тех же записей, абсцисса – частота, Гц, ордината - псевдо-ускорение в единицах $g=981 \text{ cm/s}^2$; в, г, д - ускорения, скорости и смещения грунта на TLC; е- спектры Фурье ускорения записи Р-волн на KBG; ж, з, и - ускорения, скорости и смещения грунта Р-волн на KBG.

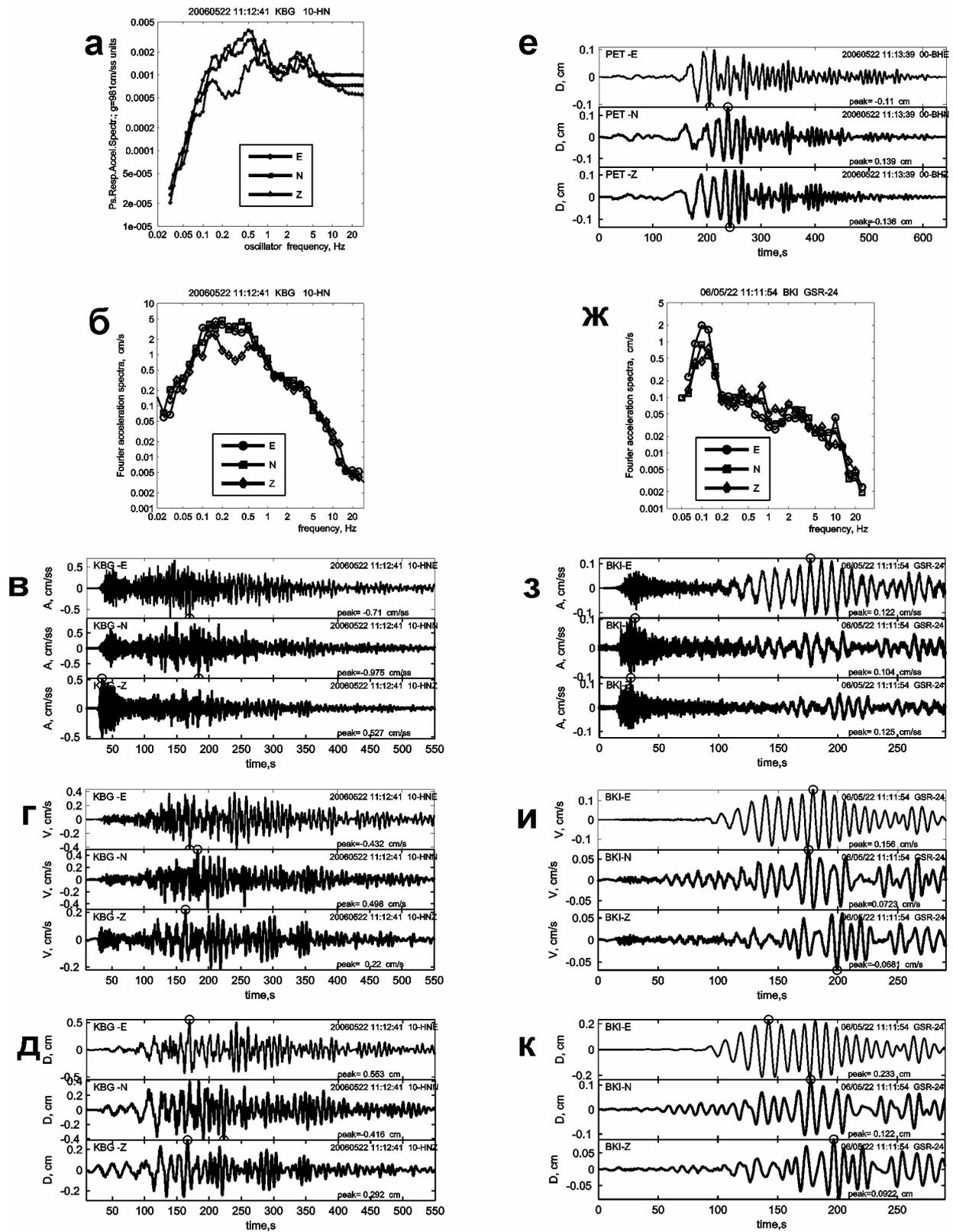


Рис. 6. Обработка полных записей афтершока 22.05.2006 в 11:11: а - спектры реакции по ускорению при затухании 5% для записей на KBG; б - спектры Фурье для тех же записей; в, г, д - ускорения, скорости и смещения грунта на KBG; е - смещения грунта на PET; ж, з, и, к - аналогично б, в, г, д, для ст. VKI.

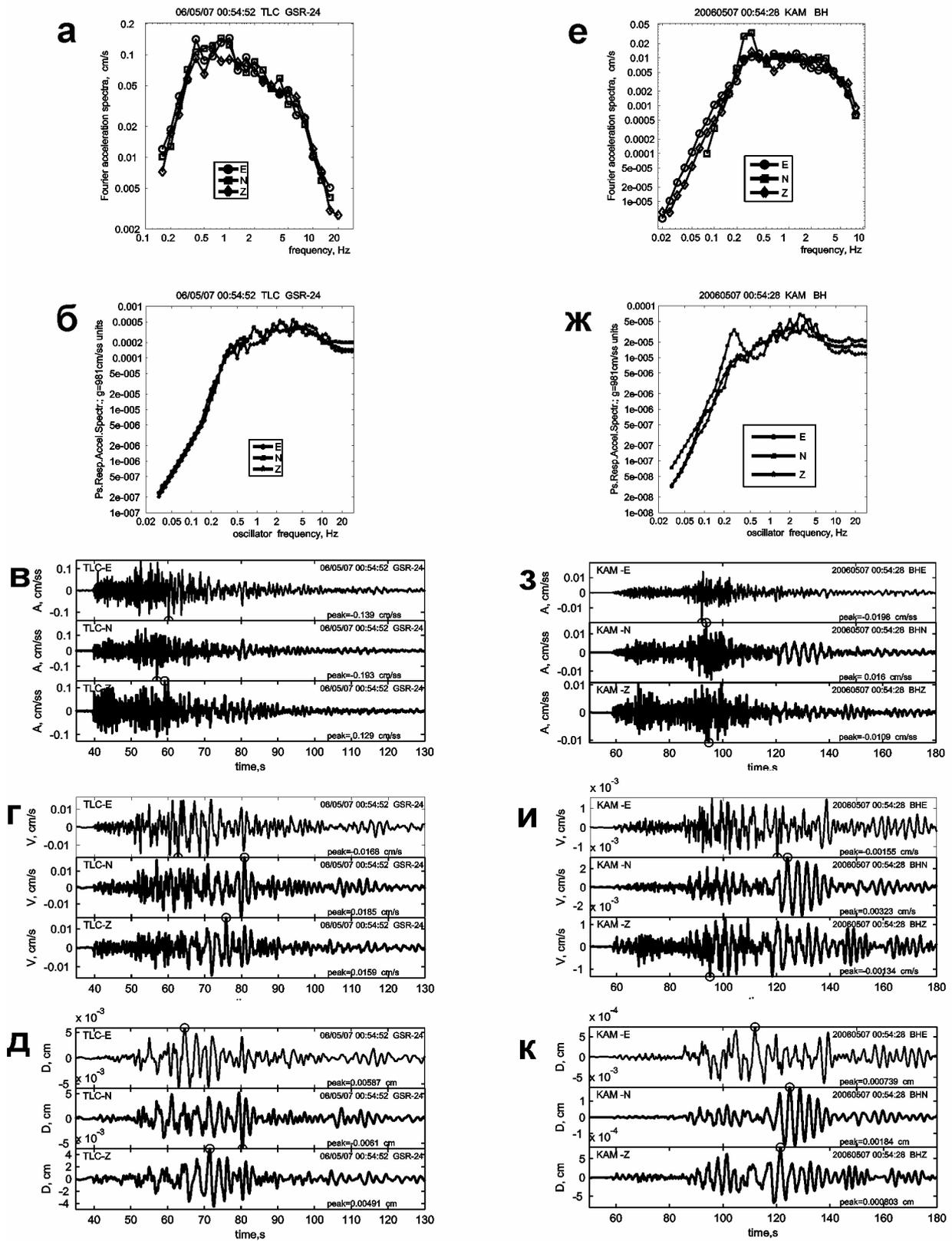


Рис. 7. Обработка полных записей афтершока 07.05.2006 в 00:54: а - спектры Фурье для записей на TLC; б - спектры реакции по ускорению при затухании 5% для тех же записей; в, г, д - ускорения, скорости и смещения грунта на TLC; е, ж, з, и, к - аналогично для ст. KAM.

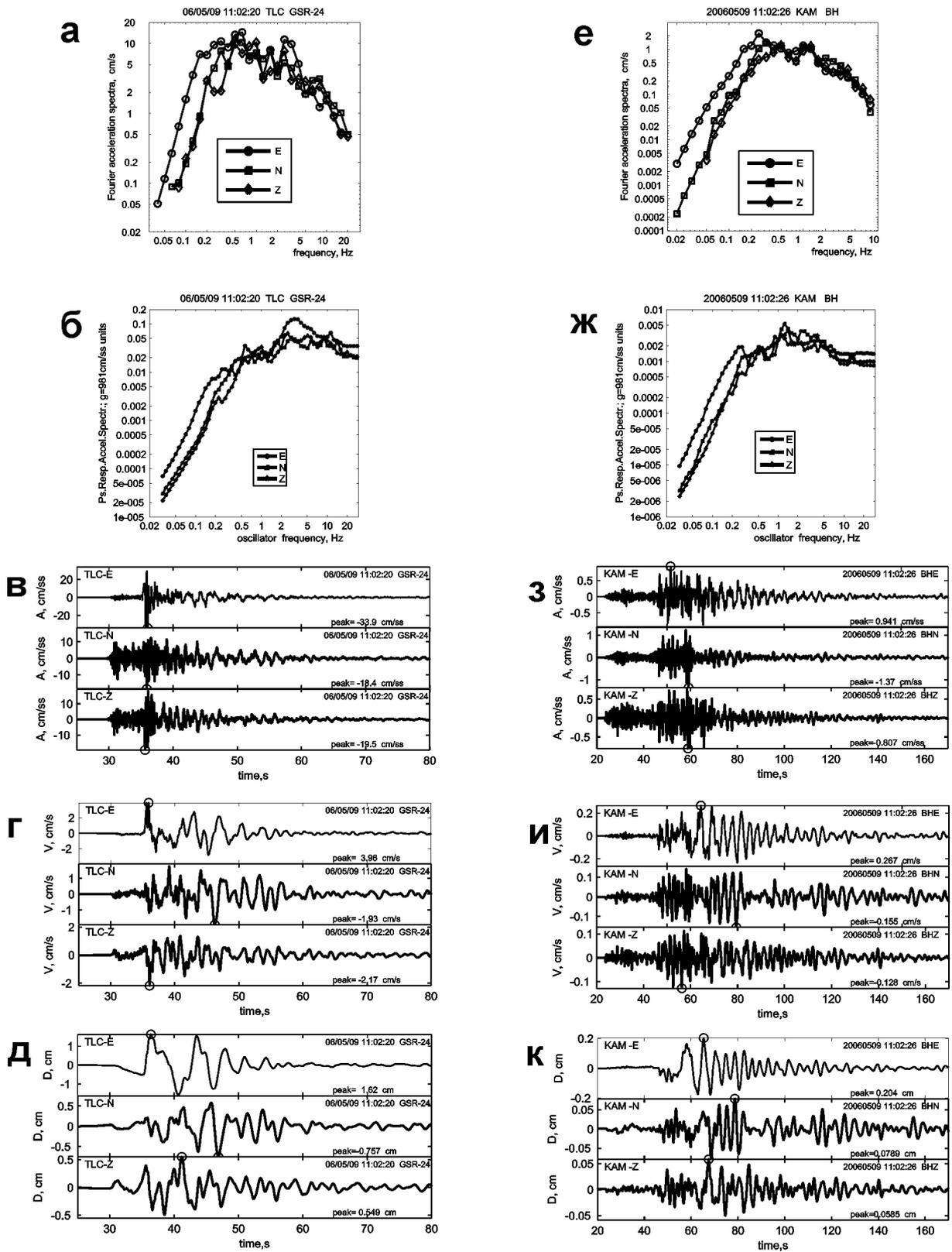


Рис. 8. Обработка полных записей афтершока 09.05.2006 в 11:02: а - спектры Фурье для записей на TLC; б - спектры реакции по ускорению при затухании 5% для тех же записей; в, г, д - ускорения, скорости и смещения грунта на TLC; е, ж, з, и, к - аналогично для ст. KAM.

Также на рис. 2 приведены материалы анализа записи неискаженного участка Р-волн на ст. КАМ длительностью около 15 с. Даны трассы ускорения, скорости, смещения и три сглаженных спектра Фурье ускорения. Видно, что спектр занимает достаточно обычную при подобных землетрясениях полосу частот, примерно от 0.4 до 7 Гц. Отметим, что вырезание участка обработки с помощью окна в данном случае, когда размах колебаний нарастает, приводит к неизбежным искажениям в низкочастотной части сигнала. Поэтому в реальности сигнал Р-волны заведомо имел более высокие спектральные амплитуды на частотах ниже 0.2-0.3 Гц, и соответственно, более высокие амплитуды скорости и смещения. Однако можно полагать, что сигнал ускорения восстановлен относительно надежно.

На рис. 3 приведены материалы обработки участка записи Р-волн (от первого вступления и примерно до вступления S) на ст. KBG и ВКИ. Сравним сначала записи ст. KBG и ВКИ. Полоса частот ускорения на обеих записях занимает диапазон примерно 0.4-2 Гц. Из-за поглощения верхний срез полосы частот заметно опустился в сравнении со спектром на КАМ. Уровень амплитуд на ВКИ заметно (в 5-10 раз) ниже, чем на KBG, хотя их эпицентральные расстояния различаются не сильно. Крайне любопытно, что данное различие проявляется в пределах всей наблюдаемой полосы частот. Поэтому простое объяснение наблюдаемых различий за счет разницы в поглощающих свойствах трасс сомнительно: обычно эффекты поглощения заметно растут с частотой.

На рис. 4 приведены материалы обработки участка записи Р-волн на ст. PЕТ. Видно, что при дальнейшем распространении Р волн полоса частот спектра сузилась далее, примерно до 0.3-1 Гц. Обращает внимание спектральный пик в области 10-15 Гц на всех трех компонентах. Как показал анализ, этот пик связан с довольно устойчивым шумовым источником вблизи станции, скорее всего это промышленные микросейсмы. Для методических целей также проведено сопоставление записей каналов ВНН и ЕНН ст. PЕТ. Видно, что форма записи восстановленного ускорения и форма спектра практически идентичны, однако имеется небольшое расхождение в уровне спектров.

Далее приводятся материалы обработки записей трех афтершоков. Сильнейший из них (22.05.2006 в 11:11, $M_w=6.6$) хорошо записан на ВКИ, KBG и PЕТ, но каналы КАМ снова были перегружены и их записи не приводятся. На рис.5 приведены материалы обработки записей для KBG и TLC, а на рис. 6 – для KBG и ВКИ, и частично для PЕТ. Сравнение спектров Р-волн основного толчка и афтершока на ст. KBG (рис. 3 и 5) показывает необычный выброс очагового спектра афтершока в области 0.5-1 Гц, в то время как спектр основного толчка довольно типичный. В результате, записи афтершока обеднены высокими частотами. Это еще ярче видно на полных записях и их спектрах. В согласии с этим наблюдением, спектр для TLC имеет выраженный низкочастотный пик - на 0.2-0.6 Гц, что достаточно необычно для эпицентральной зоны. Спектры полной записи на удаленных станциях KBG и ВКИ также имеют необычно низкочастотный характер, хотя выраженный подъем низкочастотной части спектров здесь вызывается в существенной мере также и вкладом поверхностных волн.

На рис.7 и 8 приведены материалы обработки записей двух более слабых афтершоков, записанных одновременно на ст. TLC и КАМ. Любопытны записи смещений ст. КАМ, на которых видно мощное вступление поверхностных волн (см. помеченный пик смещения на компоненте E). Формы спектров Фурье и на TLC и на КАМ достаточно обычны, и отличаются в этом плане от спектров афтершока 22.05.2006. Однако, обращает на себя внимание тот факт, что высокочастотный спад спектров на TLC относительно круче, чем на КАМ, хотя эпицентральное расстояние этой станции меньше. Эффекты поглощения должны были бы дать противоположную картину. Вероятно, это различие говорит о существенном различии грунтово-геологических условий двух названных станций.

Обсуждение результатов, заключение

Опыт работы системы цифровой регистрации колебаний грунта при Олюторском землетрясении 2006 г. обнадеживает. Несмотря на редкость сети и определенные недоработки, получены ценные, хотя и неполные данные об основном толчке, и обильный материал по афтершокам. Впервые в России получены широкополосные цифровые записи множества сильных афтершоков в эпицентральной зоне. На этой основе можно будет пытаться реконструировать характеристики колебаний в эпицентральной зоне при основном толчке.

Таблица 3. Амплитуды движений грунта изученных землетрясений.

№ з/г	Стан-ция	S-P, Δ, с	Δ, км	Комп	a _{макс} , см/с ²	v _{макс} , см/с	d _{макс} , см
1	2	3	4	5	6	7	8
1	КАМ*	20	175	EW/P	0.772	0.132	0.029
				NS/P	1.380	0.115	0.026
				Z/P	1.199	0.159	0.048
	КВГ	59	591	EW	2.493	3.129	4.533
				NS	3.124	2.208	2.974
				Z	1.154	1.349	1.900
	КВГ			EW/P	1.294	0.189	0.055
				NS/P	1.296	0.196	0.048
				Z/P	1.157	0.198	0.045
	ВКИ*	649		EW	0.220	0.041	0.046
				NS	0.331	0.071	0.076
				Z	0.397	0.068	0.042
	ВКИ	649		EW/P	0.222	0.0191	0.00516
				NS/P	0.338	0.0426	0.01260
				Z/P	0.400	0.0633	0.01454
	PET	1031		EW	0.225	0.422	0.907
				NS	0.334	0.656	1.484
	ВН			Z	0.313	0.445	0.696
				EW/P	0.028	0.0103	0.00542
	ВН			NS/P	0.030	0.0100	0.00621
				Z/P	0.042	0.0128	0.00632
PET			EW/P	0.029	0.0100	0.00521	
			NS/P	0.023	0.0076	0.00476	
2	ВКИ	597		Z/P	0.037	0.011	0.00541
				EW/P	0.020	0.0020	0.00049
				NS/P	0.029	0.0031	0.00139
3	ВКИ	68	697	Z/P	0.036	0.0042	0.00112
				EW/P	0.053	0.0029	0.00078
				NS/P	0.077	0.0064	0.00172
4	ВКИ	640		Z/P	0.096	0.0082	0.00197
				EW	1.356	0.4131	0.21724
				NS	1.531	0.4146	0.22118
5	ВКИ	668		Z	1.038	0.2299	0.18706
				EW/P	0.012	0.0008	0.00011
				NS/P	0.014	0.0011	0.00022
6	ВКИ	60	604	Z/P	0.016	0.0021	0.00033
				EW/P	0.028	0.0013	0.00058
				NS/P	0.043	0.0021	0.00037
7	ТЛС	11	73	Z/P	0.046	0.0030	0.00055
				EW/P	0.071	0.0056	0.00220
				NS/P	0.146	0.0209	0.00699
8	ТЛС	11	73	Z/P	0.224	0.0264	0.00629
				EW	0.139	0.0168	0.00587
				NS	0.197	0.0186	0.00609
9	ТЛС	11	73	Z	0.130	0.0159	0.00493
				EW	0.752	0.0675	0.02844
				NS	0.464	0.0472	0.00861
10	ТЛС	6.6	45	Z	0.432	0.0311	0.00607
				EW	1.222	0.0642	0.01530
				NS	0.529	0.0380	0.01024
11	ТЛС	5.8	37	Z	0.541	0.0333	0.00864
				EW	2.348	0.1130	0.03989
				NS	2.842	0.1636	0.05003
12	ТЛС	5.3	34	Z	2.193	0.1612	0.05115
				EW	6.42	0.3683	0.06633
				NS	2.64	0.1689	0.01998
13	ТЛС	5.7	36	Z	4.67	0.1904	0.02305
				EW	1.908	0.3573	0.18057
				NS	8.24	0.4635	0.19296
14	ТЛС	6.0	36	Z	5.09	0.4264	0.14494
				EW	91.815	16.635	11.306
				NS	49.989	7.459	3.771
15	ТЛС	5.0	34	Z	31.111	6.678	2.447
				EW	0.710	0.432	0.553
				NS	0.975	0.497	0.415
16	ТЛС	6.9	45	Z	0.528	0.219	0.291
				EW/P	0.545	0.092	0.034
				NS/P	0.636	0.086	0.021
17	ТЛС	5.5	36	Z/P	0.531	0.102	0.020
				EW/P	0.089	0.0044	0.00108
				NS/P	0.104	0.0094	0.00186
18	ТЛС	5.5	36	Z/P	0.126	0.0121	0.00274
				EW	0.035	0.055	0.109
				NS	0.043	0.058	0.138
19	ТЛС	5.0	34	Z	0.037	0.058	0.135
				EW	12.4	0.665	0.0821
				NS	7.01	0.385	0.0413
20	ТЛС	6.9	45	Z	8.96	0.541	0.0511
				EW	1.238	0.068	0.0125
				NS	0.675	0.038	0.008
21	ТЛС	5.5	36	Z	0.55	0.053	0.006
				EW	13.178	1.32	0.224
				NS	6.589	0.411	0.070
22	ТЛС	5.5	36	Z	4.159	0.325	0.090
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
23	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	33.871	3.963	1.619
				NS	18.384	1.927	0.756
24	ТЛС	5.5	34	Z	19.507	2.171	0.548
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
25	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
26	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
27	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
28	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
29	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
30	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
31	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
32	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
33	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
34	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
35	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
36	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
37	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
38	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
39	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
40	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
41	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
42	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
43	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
44	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
45	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
46	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
47	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
48	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
49	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
50	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
51	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
52	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
53	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
54	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
55	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
56	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
57	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078
58	ТЛС	5.5	34	Z	0.806	0.127	0.058
				EW	0.995	0.267	0.204
				NS	1.367	0.155	0.078</

1	2	3	4	5	6	7	8
18	TLC	5.8	39	EW	4.389	0.432	0.183
				NS	3.574	0.408	0.114
				Z	3.668	0.426	0.126
19	TLC	6.0	37	EW	4.213	0.340	0.129
				NS	1.857	0.196	0.045
				Z	1.636	0.125	0.024
20	TLC	5.3	33	EW	26.492	2.420	0.544
				NS	11.081	1.109	0.260
				Z	15.224	1.761	0.321
21	TLC	6.0	40	EW	1.278	0.1478	0.0370
				NS	1.329	0.1296	0.0236
				Z	0.867	0.1204	0.0239
22	TLC	6.0	38	EW	1.728	0.1018	0.03064
				NS	1.102	0.0676	0.01570
				Z	0.700	0.0516	0.01457
23	TLC	5.9	39	EW	5.36	0.844	0.3490
				NS	4.22	0.535	0.1329
				Z	4.15	0.327	0.0829
24	TLC	4.7	31	EW	2.161	0.301	0.1096
				NS	2.545	0.399	0.0759
				Z	2.325	0.327	0.0707

1	2	3	4	5	6	7	8
25	TLC	6.0	39	EW	2.834	0.5414	0.2366
				NS	1.546	0.2684	0.0736
				Z	1.371	0.1947	0.0519
26	TLC	5.7	36	EW	6.357	0.4392	0.06536
				NS	2.389	0.1783	0.02558
				Z	2.838	0.1385	0.01912
27	TLC	5.5	36	EW	7.059	0.3741	0.1141
				NS	2.233	0.1648	0.0569
				Z	2.558	0.2371	0.0441
28	TLC			EW	2.615	0.2106	0.08692
				NS	1.526	0.1352	0.05481
				Z	1.192	0.1688	0.05098
29	TLC			EW	2.039	0.2028	0.02776
				NS	1.407	0.0990	0.02261
				Z	1.368	0.1076	0.02132
30	TLC			EW	0.542	0.0530	0.00864
				NS	0.498	0.0386	0.00525
				Z	0.241	0.0270	0.00738

(*) - неполная запись, Δ - эпицентрального расстояние;

Даже при предварительном просмотре сразу выявились некоторые особенности колебаний грунта на данной малоизученной территории, такие, как повышенные амплитуды колебаний низких частот (периоды более 1-2 с). Впервые полученные материалы сейсмологических наблюдений на малоизученной территории КАО послужат базой для корректной оценки параметров возможных сильных колебаний грунта при будущих сильных землетрясениях. Они позволят начать изучение влияния на колебания грунта факторов очага, трассы распространения волн и геологических условий площадки строительства («грунтов»). В перспективе удастся выполнять количественные оценки сейсмической угрозы для зданий и сооружений Камчатки и Корякии на основе собственных материалов данного региона.

Создание системы цифровой регистрации колебаний грунта на территории России – важнейшая задача Геофизической службы РАН. Как показывает пример Олюторского землетрясения, эта задача начинает решаться. При всей неполноте собранных данных, их удалось получить только за счет использования современных цифровых средств регистрации. Качество, надежность, частотный и динамический диапазон собранных материалов далеко превосходит параметры, ранее с трудом достигавшиеся при производстве и обработке данных о колебаниях грунта на основе аналоговой аппаратуры.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 07-05-00775.

Список литературы

1. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. «Мир», М. 1980, 536 с.
2. Гусева Е.М., Гусев А.А., Оскорбин Л.С. Пакет программ для цифровой обработки сейсмических записей и его опробование на примере некоторых записей сильных движений // Вулканология и сейсмология. 1989. №5. С. 35-49.