

Чебров В. Н., Воропаев В. Ф., Дроздин Д. В., Сергеев В. А., Шевченко Ю. В.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
683006, г. Петропавловск-Камчатский, бул. Пийпа, 9,
e-mail: chebr@emsd.iks.ru*

Введение

Первоочередной задачей развития сейсмометрических наблюдений на Камчатке является создание опорной сети широкополосных цифровых сейсмических станций [1].

Сеть цифровых сейсмических станций создается на базе имеющихся стационаров, которые расположены, как правило, в населенных пунктах. Каждый стационар - это техническое здание со всей инфраструктурой (электроснабжение (380/220 В), теплоснабжение, телефон и т.д.) и сейсмокамера, где установлены сейсмометры. Сооружения станции находятся на территории с общей площадью до нескольких Га. Сейсмическая камера обычно удалена от технического здания на расстояние от 50 до 200 метров, соединена с техническим зданием многожильным сигнальным кабелем, электроснабжением не обеспечена.

Основные принципы создания сети цифровых сейсмических станций.

При выборе оборудования для создания сети учитывались: требуемый диапазон регистрируемых сейсмических сигналов; согласованность технических характеристик применяемых датчиков сейсмических сигналов и регистраторов; климатические условия и режим эксплуатации.

Диапазон сейсмических сигналов [2]. Для региональных сейсмологических наблюдений на территории Камчатской области [1, 3], обеспечивающих фундаментальные исследования Земли и исследования в области инженерной сейсмологии, необходимо и достаточно обеспечить регистрацию землетрясений с магнитудами 1 – 9, как близких, с эпицентрными расстояниями до 100 км, так и далеких (телесейсмических, 1000 и более км). Для близких сильных землетрясений принципиально обеспечить достаточный динамический диапазон системы. Она должна без искажений регистрировать ускорения грунта до 10-20 м/с² и скорости до 2 м/с [3].

До последнего времени региональная сеть сейсмических станций Камчатки была оснащена сейсмометрами СМЗ [2]. Реальный частотный диапазон на стационарных сейсмических станциях Камчатской сети 0.5 – 10 Гц, на станциях радиотелеметрической сети 0.5 – 25 Гц. Динамический диапазон регистрируемых сигналов ограничивается аналоговыми способами регистрации и составляет для стационаров не более 40 Дб (60 Дб на двух уровнях), для радиотелеметрических станций не более 54 Дб [4].

Очевидно, что сейсмометры СМЗ и аналоговые способы и приборы для регистрации сейсмических сигналов в целом не удовлетворяют сформулированным выше требованиям.

Специальные (сейсмологические) технические требования к СЦСС

- Регистрация сейсмических сигналов в широком диапазоне частот (0.01 – 100 Гц) с динамическим диапазоном 120-140 дБ.
- Число каналов – 3, 6, (3 широкополосных (0.01-10 Гц) сейсмометра, 3 канала для подключения акселерометров или велосиметров для регистрации сильных движений).
- Калибровка сейсмометрических каналов в автоматическом режиме, контроль работоспособности.
- Точность синхронизации отсчетов АЦП не хуже 0,001 с.
- Сигнализация о землетрясениях с заданного уровня (звуковая, световая).
- Возможность подключения к регистратору накопителей HDD или других, обеспечивающих непрерывную регистрацию данных в течение заданного времени (10-100 суток).
- Удаленный доступ к регистратору для контроля его работоспособности и управления режимами работы. Удаленный доступ к данным буферного накопителя (например, по времени) по запросу из центра сбора информации.
- Формирование в компьютере, предназначенном для обработки сейсмических сигналов на станции, копии буфера данных регистратора, накопление данных на HDD, формирование архива на CD-RW или DVD в формате SEED. Все процедуры,

связанные с обращениями к регистратору или его буферу данных, не должны останавливать процесс оцифровки сигналов, кроме операций по перезапуску (рестарту) станции или изменению ее параметров.

- Обработка на станции сигналов землетрясений, формирование бюллетеня станции с оценками параметров землетрясений, передача данных оперативной обработки по каналам связи.
- Режим работы – непрерывный, круглосуточный.
- Условия эксплуатации: температура – $-5 - +35^{\circ}\text{C}$; влажность до 95% без конденсата.
- Питание – 220 В, 50 Гц с резервированием от ИБП не менее 12 час.

Общие технические требования. Создание сети СЦСС должно быть сопряжено с развитием на территории Камчатской области комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений. Экономически целесообразно на каждой стационарной станции предусматривать возможность сбора (регистрации) не только сейсмических, но и других геофизических данных. Данных GPS наблюдений, наклономеров, метеорологических данных, данных наблюдений электротеллурических потенциалов (ЭТП), электромагнитного поля Земли (ЭМПЗ) и других. Уже сейчас на всех стационарных станциях установлены GPS приемники и стоит проблема сбора данных этих наблюдений по общим каналам связи.

Таким образом, сеть цифровых сейсмических станций должна представлять собой специализированную сеть сбора (регистрации), хранения, передачи и обработки сейсмической и геофизической информации. Поэтому каждая стационарная цифровая сейсмическая станция (СЦСС) рассматривается как узел сети сбора и передачи данных. Перечисленные специальные и общие технические требования, вызванные необходимостью создания специализированной сети сбора (регистрации), хранения, передачи и обработки сейсмической и геофизической информации, определяют структуру СЦСС и технологию системы передачи данных. На рисунке 1 показана обобщенная структурная схема СЦСС. Все сейсмические и геофизические наблюдения включаются в общую сеть сбора, хранения, передачи и обработки информации через стандартные интерфейсы RS 232/422/485 или Ethernet.

Технические средства сети цифровых сейсмических станций Камчатки

При создании сети цифровых сейсмических станций на Камчатке использовались сейсмометры СМЗ, СМЗ-ОС, С5С-ОС [2]. Использование сейсмометров СМЗ и С5С на первом этапе снижает затраты на создание цифровых станций и обеспечивает преимущество характеристик имеющейся сети. Модернизация сейсмометров СМЗ и С5С, путем введения обратной связи, в СМЗ-ОС и С5С-ОС дает возможность обеспечить регистрацию сейсмических сигналов (скорость, ускорение движения грунта) в расширенном диапазоне частот. Датчики и блоки аналого-цифрового преобразования (АЦП) сейсмических сигналов располагаются в сейсмокамере, удаленной на десятки и первые сотни метров от технического помещения сеймостанции.

Для создания сети использовались комплекты оборудования цифровых станций SDAS производства НПП «Геотех» [5] и СЦСС разработки КФ.

Цифровая сейсмическая станция SDAS состоит из блока сбора и выделения сейсмического сигнала, системы точного времени GPS, системы архивации и обработки, комплекта сейсмометров СМЗ-ОС, системы резервного питания.

Сбор информации может осуществляться в двух частотных диапазонах с программно задаваемыми коэффициентами усиления. Регистрация информации производится в непрерывном или ждущем режимах. В качестве алгоритма выделения полезного события используется алгоритм отношения STA/LTA. Собранная информация буферизуется в кольцевом файле на электронном диске. Сейсмические данные, записанные системой сбора, передаются в систему обработки и архивации. Расстояние, на которое могут быть разнесены система сбора и система обработки, составляет до 100 м. Система архивации и обработки осуществляет: общее управление работой сейсмической станции; визуализацию текущих данных; изменение конфигурации станции и параметров алгоритма выделения; оперативную обработку и архивацию собранных данных.

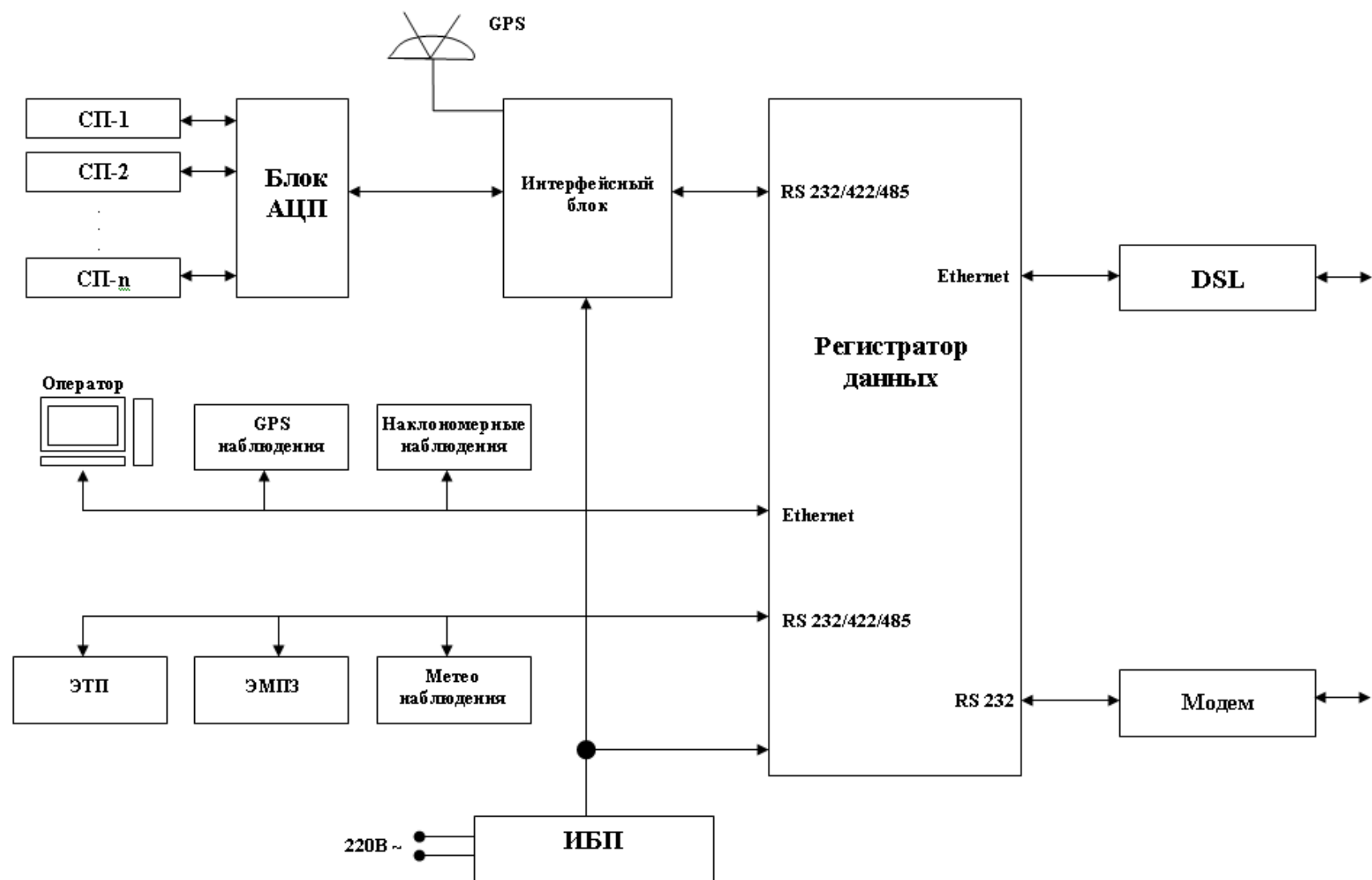


Рис. 1. Обобщенная структурная схема СЦСС.

Цифровая сейсмическая станция СЦСС состоит из блока преобразования аналоговых сигналов в цифру на базе АЦП Е-24 производства L-card [6], регистратора на базе промышленного микро-РС, приемника сигналов времени GPS, системы архивации и обработки, системы связи (передачи данных), комплекта сейсмометров СМЗ-ОС, системы резервного питания.

В основу разработки комплекса технических средств СЦСС были положены серийно выпускаемые и широко применяемые датчики сейсмических сигналов, устройства, приборы, средства вычислительной техники. Программное обеспечение для СЦСС базируется на общепринятых в России и мире операционных системах (UNIX, Linux, Windows) и учитывает возможность использования имеющегося в КФ ГС РАН программного обеспечения для обработки данных. Блок АЦП с формирователем калибровочных сигналов находится в сейсмокамере, что обеспечивает минимизацию помех. Регистратор (накопитель данных) с GPS – узел сети сбора и передачи данных, подсистема обработки сейсмических сигналов (ПЭВМ), подсистема связи (передачи данных), система гарантированного электропитания размещаются в техническом помещении сейсмостанции. В качестве регистратора (накопитель данных) – узла сети сбора и передачи данных используется промышленный микро-РС. Регистратор построен на базе мало потребляющей промышленной компьютерной платформы 5.25” для встраиваемых приложений на базе процессора с пассивным охлаждением, имеет повышенную надежность при жестких условиях эксплуатации и расширенный температурный диапазон эксплуатации. Для питания станции используется источник постоянного тока 24В. Энергопотребление станции менее 25 Вт.

Выключение и включение питания станции может производиться в любой момент времени без риска повреждения системы. Система самостоятельно производит холодный рестарт при появлении питания. Смена программного обеспечения станции производится сменой CompactFlash диска, доступного с передней панели. Программные и аппаратные средства регистратора данных - узла сети сбора и передачи данных позволяют путем минимальных доработок подключать различные первичные цифровые источники сигналов. Это могут быть как различные АЦП с последовательным интерфейсом, так и регистраторы сейсмических сигналов российских и зарубежных производителей поддерживающие режим “дигитайзера”.

Для доступа операторов к данным кольцевого буфера на станции открыт специальный порт. Микро-РС запрограммирован на два способа передачи данных по сокетам TCP/IP: непрерывный поток данных на удаленный компьютер в реальном времени; по запросам пользователей с указанием времени и даты начала выборки, маски интересующих каналов и длины выборки.

В системе предусмотрен автоматический рестарт, который инициализируется при обнаружении таких неисправностей как:

- 1) отсутствие данных или несоответствие частоты дискретизации;
- 2) отсутствие синхро-импульсов и временных меток или их рассогласование с импульсами GPS;
- 3) ошибки записи данных во флэш память.

В этих случаях происходит ре-инициализация системы сбора, система входит в режим бесконечного цикла ожидания, выход из которого возможен лишь только при устранении описанных выше неисправностей.

Калибровочные сигналы автоматически подаются в момент рестарта системы, и могут быть инициированы оператором путем послышки сигнала процессору сбора данных.

Предусмотрены отладка и контроль работы системы в дистанционном режиме.

В таблице 1 приведены основные технические характеристики комплектов оборудования SDAS и СЦСС.

Система обработки данных на сейсмической станции

Система обработки данных на сейсмической станции организуется на ПЭВМ (IBM PC совместимый компьютер), оснащенной средствами связи с регистратором данных и средствами для архивации данных станции, например CD-RW или DVD.

Основные функции:

- прием данных от регистратора и их накопление на HDD, создание архива станции;
- отображение сейсмических сигналов на экране с возможностью просмотра отрезков данных длительностью от 4 до 24 часов;
- создание архива станции на CD или DVD дисках;
- оценка параметров каждого землетрясения;

- формирование бюллетеня станции;
- передача сообщений с оценками параметров землетрясений в центр сбора данных.

Для автоматизированной обработки сейсмических сигналов используется, разработанный в КФ ГС РАН Дрозным Д. В., пакет программного обеспечения DATAAN [7].

Таблица 1. Основные технические характеристики оборудования SDAS и ЦСС

	НПП «Геотех»	КФ ГС РАН
	SDAS	ЦСС
АЦП		
Тип:	16-разрядный, 3,6 канала	24-разрядный сигма-дельта АЦП, 4 канала
Динамический Диапазон:	90 дБ при 200 отс/с,	110 дБ при 100 отс/с,
Частота опросов:	20, 200	До 100 отс/с, задается на программном уровне
Выделение событий		
По уровню сигнала		+
Включение записи по алгоритму выделения событий STA/LTA:	+	+
По времени		+
Память		
Память:	RAM 8 Мб	Флэш 1 Гб
Формат регистрации данных	DASS	Mini SEED
Питание		
Тип:	220 В, ИБП	24 В, ИБП
Потребление энергии:	25 Вт	< 20 Вт
Автономность:	10 часов	24 часа
Переменное напряжение:	220 В	220 В
Время		
Точность внутренних часов	100 ppm	20 ppm
Внешние интерфейсы времени:	GPS	GPS
Связь		
Последовательные порты:		2, PPP протокол
Передача данных	Ethernet, RS-232 (TCP/IP, PPP)	Ethernet, RS-232, модем (TCP/IP, PPP)
Исполнение, условия эксплуатации		
Температурный диапазон:	от - 15°C до + 20 °C	от - 20°C до + 40 °C
Влажность:		от 0 до 100 % (без конденсата)
Защищенность:		Блок АЦП - IP 67
Самопроверка (Self Test)		+

Сеть стационарных цифровых сейсмических станций, состояние на 01.01.2006 г.

Комплекты оборудования ЦСС были установлены на стационарных сейсмических станциях «Апача» (июль 2004 г.), «Эссо» (декабрь 2004 г.) и «Паужетка» (апрель 2005 г.). Кроме этого были установлены на стационарных сейсмических станциях «Беринг» (декабрь 2003 г.), «Крутоберегово» (ноябрь 2004 г.) комплект оборудования SDAS производства фирмы «Геотех» (Обнинск) и на станции «Ключи» комплект оборудования фирмы GEOTECH (США) с широкополосным велосиметром KS-2000. На всех перечисленных станциях, кроме станции «Ключи», сейсмометрические каналы построены на датчиках CM3-OC, на станции «Крутоберегово» дополнительно подключены датчики C5C-OC. Таким образом, в 2005 г. в камчатской региональной сети вместе с ранее открытыми по международным проектам станциями (IRIS («Петропавловск», 1993 г.), POSEIDON («Каменское», 1994 г.), ISTC 1121

(«Карымшина», 1999 г. [6])) работает 9 цифровых сейсмических станций. Технические характеристики датчиков СМЗ, СМЗ-ОС, С5С-ОС позволяют обеспечить регистрацию слабых землетрясений с магнитудой 2-3 на эпицентральных расстояниях до 100 км и сильных землетрясений с интенсивностью сотрясений в точке регистрации до 2-3 баллов по шкале MSK-64 (скорость движения грунта менее 0.15 см/с).

В таблице 2 приведены основные параметры цифровых станций камчатской сети.

Заключение

1. Создан аппаратно-программный комплекс для стационарной цифровой сейсмической станции (СЦСС). В основу разработки комплекса технических средств СЦСС положены серийно выпускаемые и доступные устройства, приборы, средства вычислительной техники. Программное обеспечение СЦСС базируется на операционных системах UNIX, Windows и учитывает имеющийся в КФ (КОМСП) ГС РАН опыт по разработке аппаратно-программных комплексов сбора и обработки данных. Проведены его лабораторные и натурные испытания.

2. В 2003-2005 гг. сеть стационарных сейсмических станций переведена на цифровую регистрацию (кроме станции «Оссора»). Фактически на Камчатке реализован 1-й этап по созданию опорной сети цифровых широкополосных сейсмических станций, которая представляет собой специализированную сеть сбора (регистрации), хранения, передачи и обработки сейсмической и геофизической информации. В 2005 г. камчатская региональная сеть включает в себя уже 9 цифровых станций. Станции "Апача", «Паужетка» и "Эссо" оснащены оборудованием СЦСС, разработанным в КОМСП.

3. Регистрация сейсмических сигналов в широких частотном и динамическом диапазонах дает возможность исследовать на современном уровне строение геологической среды на Камчатке. Данные цифровых станций также позволят на новом уровне вести поиск и апробацию сейсмологических предвестников землетрясений.

4. Основной проблемой уже установленных цифровых станций является качество датчиков СМЗ-ОС, динамический диапазон которых не превышает 100 Дб.

5. Дальнейшее развитие сети цифровых станций должно быть связано с ее расширением на западное побережье и север Камчатки, а также направлено на решение проблем службы предупреждения о цунами.

6. Создание сети цифровых станций требует проведения методических работ: энергетическая оценка землетрясений Камчатки по широкополосным записям; калибровка и контроль сейсмометрических каналов и др.

Список литературы

1. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Сеницын В.И., Шевченко Ю.В., Ящук В.В. Система сейсмологических наблюдений // Сб. статей «Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки». Петропавловск-Камчатский, 2004. С.11-42.
2. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974. 245 с.
3. Штейнберг В. В., Сакс М. В., Аптикаев Ф. Ф., Алказ В. Г., Гусев А. А., Ерохин Л. Ю., Заградник И., Кендзера А. В., Коган Л. А., Лутиков А. И., Попова Е. В., Раутиан Т. Г., Чернов Ю. К., Методы оценки сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии, 1993. Вып. 34, С.5-94.
4. Гаврилов В.А., Воропаев В.Ф., Головщикова И.А. и др. Комплекс радиотелеметрической аппаратуры ТЕСИ-2 // Сейсмические приборы. М.: Наука, 1987. Вып. 19. С. 5-16.
5. SDAS. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, «Геотех», 2001.
6. Модуль Е-24. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. L-Card, 1998.
7. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Козырева Н.П., Левина В.И., Сергеев В.А., Сеников С.Л., Ящук В. В. Сбор, обработка и хранение сейсмологической информации // Сб. статей «Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки». Петропавловск-Камчатский, 2004. С.43-61.

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых сейсмических станций камчатской сети на 1.01.2006 г.

Название станции	Дата открытия	Тип датчика	Точность отсчёта времени	Перечень имеющихся каналов и их характеристики	Диапазон регистрируемых периодов (полоса пропускания), s	Частота опроса данных, Hz	Эффективная разрядность АЦП	Чувствительность, велосигграф – counts/(m/s), акселерограф – counts/(m/s ²)	Формат записи	Доступ к данным	Примечание						
Петропавловск РЕТ	15/09/1993	STS-1V/VBB	≤1 ms	BH(Z,N,E) Велосигграф	0.2 – 360	20	24	Z 1.06116*10 ⁹ N 9.7224*10 ⁸ E 9.51276*10 ⁸	IRIS MINISEED tape format	Магн. носит., CD 6250	IRIS						
				LH(Z,N,E) Велосигграф	4 – 360	1	24	Z 4.24464*10 ⁹ N 3.88896*10 ⁹ E 3.80507*10 ⁹									
				VH(Z,N,E) Велосигграф	40 – 360	0,1	24	Z 1.69785*10 ¹⁰ N 1.55558*10 ¹⁰ E 1.52203*10 ¹⁰									
				UH(Z,N,E) Велосигграф	360-360	0,01	24	Z 1.29037*10 ¹⁰ N 1.18224*10 ¹⁰ E 1.15674*10 ¹⁰									
		FBA-23		HL(Z,N,E) Акселерограф	0.04 – ∞	80	24	Z 53687.1 N 53687.1 E 53687.1									
				LL(Z,N,E) Акселерограф	4 – ∞	1	24	Z 53435.4 N 53435.4 E 53435.4									
		GS-13		SH(Z,N,E) Велосигграф	0.1– 1	40	24	Z 4.3406*10 ⁹ N 4.79426*10 ⁹ E 4.25739*10 ⁹									
				EH(Z,N,E) Велосигграф	0.05– 1	80	24	Z 4.3406*10 ⁹ N 4.79426*10 ⁹ E 4.25739*10 ⁹									
		Каменское КАМ		24/10/1994	STS-1V/VBB	≤1 ms	BH(Z,N,E) Велосигграф	0.4 -360				20	24	Z 9.90099*10 ⁸ N 8.84956*10 ⁸ E 9.09091*10 ⁸	POSEIDON BINARY FILES	MO DISK	POSEIDON

Таблица 2. Продолжение.

Карымшина KRM	17/ 01/ 2000	CM3-KB		SH(Z,N,E) Велосиграф	0.025 - 2	150	22	Z 3.37222*10 ⁹ N 3.37222*10 ⁹ E 3.37222*10 ⁹	BINARY FILES	MO DISK	ISTC 1121
Беринг BKI	23/ 12/ 2003	CM3-OC	≤1 ms	BL(Z,N,E) Велосиграф	0.1 - 50	20	16	Z 1.8747*10 ⁷ N 1.7779*10 ⁷ E 1.8176*10 ⁷	DASS	CD-R	
Крутоберегово KGB	01/ 11/ 2004	CM3-OC	≤1 ms	BL(Z,N,E) Велосиграф	0.1 - 50	20	16	Z 1.67*10 ⁷ N 1.43*10 ⁷ E 1.66*10 ⁷	DASS	CD-R	
		C5C-OC		EL(Z,N,E) Акселер-ф	0.05 - 100	200	16				
Апача APC	14/ 07/ 2004	CM3-OC	≤1 ms	BH(Z,N,E) Велосиграф	0.1 - 50	100	18	Z 3.71448*10 ⁹ N 3.42758*10 ⁹ E 3.59871*10 ⁹	MINISEED	CD-R, DVD	
		CM3-KB		SH(Z) Велосиграф	0.04 - 2	100	18	Z 1.81932*10 ⁹			
Эссо ESO	16/ 12/ 2004	CM3-OC	≤1 ms	BH(Z,N,E) Велосиграф	0.1 - 50	100	18	Z 3.81413*10 ⁹ N 3.29370*10 ⁹ E 3.20914*10 ⁹	MINISEED	CD-R, DVD	
		CM3-KB		SH(Z) Велосиграф	0.04 - 2	100	18	Z 1.81932*10 ⁹			
Паужетка PAU	10/ 04/ 2005	CM3-OC	≤1 ms	BH(Z,N,E) Велосиграф	0.2 - 50	100	18	Z 3.50208*10 ⁹ N 3.77588*10 ⁹ E 3.80205*10 ⁹	MINISEED	CD-R, DVD	
		CM3-KB		SH(Z) Велосиграф	0.04 - 2	100	18	Z 1.81932*10 ⁹			
Ключи KLY	15/ 11/ 2004	KS-2000	≤1 ms	BH(Z,N,E) Велосиграф	0.1 - 100	50	22	Z 1.82452*10 ⁹ N 1.75322*10 ⁹ E 1.75741*10 ⁹	MINISEED	CD-R, DVD	Эксперим-е Работы