

УДК 550.34

## **СБОР, ОБРАБОТКА И ХРАНЕНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**Е. И. Гордеев, В. Н. Чебров, Д. В. Дрознин, Н. П. Козырева, В. И. Левина,  
В. А. Сергеев, С. Л. Сенюков, В. В. Ящук**

*Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН,  
683006, г. Петропавловск-Камчатский, бул. Пуйна, 9, e-mail: chebr@emsd.iks.ru*

*Аннотация.* В статье приведено описание систем сбора, обработки и хранения сейсмологической информации по состоянию на 2004 г. Дано описание системы сбора сейсмологической информации с информационно-коммуникационной системой, созданной в 90-х гг. на базе компьютерных технологий. Внедрение цифровой регистрации сейсмических сигналов на приемных центрах радиотелеметрических сетей сейсмических станций обеспечило доступ операторов к данным в реальном масштабе времени. Описаны система обработки сейсмологической информации на ПЭВМ, методические и программные средства для обработки землетрясений в автоматическом и автоматизированном режимах. Рассмотрены вопросы работы системы в режимах повседневной деятельности, повышенной сейсмической опасности и чрезвычайном режиме, после сильного землетрясения. Представлен банк сейсмологических данных КОМСП с описанием его структуры и содержания. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов доступен на Internet-странице КОМСП ГС РАН ([www.emsd.iks.ru](http://www.emsd.iks.ru)). Внедрение современных технологий сбора, обработки и хранения сейсмологической информации позволило создать высокоэффективную систему оперативного контроля за сейсмической и вулканической активностью на территории Камчатки.

## **THE ACQUISITION, PROCESSING AND ARCHIVE OF THE SEISMIC DATA**

**E. I. Gordeev, V. N. Chebrov, D. V. Droznin, N. P. Kozyreva, V. I. Levina,  
V. A. Sergeev, S. L. Senyukov, V. V. Jaschuk**

*Kamchatkan Experimental and Methodical Seismological Department, Geophysical Service, RAS,  
683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9, e-mail: chebr@emsd.ru*

*Reference.* In paper presented the acquisition, processing and archive of the seismic data in 2004. The acquisition system was created at beginning of 90<sup>th</sup> with the using of computer network. The digital records on radiotelemetry station give possibility to process seismic data in real time. In paper described the processing system, hardware and software for automatic hypocenter calculation. It are shown different level of data processing: routine and fast estimation of earthquakes position in aftershock swarm. The Database of earthquake are presented. The catalogue of the earthquakes on Kamchatka and Komandor islands can be found on webpage ([www.emsd.iks.ru](http://www.emsd.iks.ru)). The using of modern technology for collecting, processing and archive seismic data gave possibility to create the effective system for seismic and volcanic activity monitoring in Kamchatka.

## Введение

Работы по организации сбора, обработки и хранения сейсмологической информации проводились одновременно с созданием сети сейсмических станций в начале 60-х гг. прошлого столетия. С первых дней работы сети предусматривалась оперативная обработка землетрясений на сейсмических станциях и сбор результатов обработки по радиосвязи. Сейсмограммы пересылались почтой и с оказией. Первоначально использовались методики обработки землетрясений, принятые для Южно-Курильской зоны [8, 11, 12]. В 1968 г. была создана номограмма для энергетической классификации камчатских землетрясений по величине  $A_{max}/T$  в поперечных волнах [9]. Тогда же в 60-х гг. был изучен скоростной разрез коры и верхней мантии в районе Восточной Камчатки [5, 10]. Определение широты и долготы эпицентров и глубин землетрясений проводилось по методике палеток изохрон Ю. В. Ризниченко [7].

Развитие систем сбора, обработки и хранения сейсмологической информации с 70-х гг. определялось внедрением в сейсмологические исследования ЭВМ.

В 70-х гг. Гусевым А. А. была разработана программа для расчетов координат гипоцентров камчатских землетрясений на ЭВМ [3], внедрена в обработку в 1978 г. Каталоги землетрясений с бумажных носителей были переведены в файлы данных на машинные носители.

В конце 80-х годов началось массовое внедрение персональных компьютеров, что привело к активизации работ по автоматизации сейсмологических наблюдений. В первую очередь были разработаны и созданы базы данных, куда были переведены все каталоги и станционные бюллетени.

С 1996 года в системе сбора и обработки сейсмологической информации радиотелеметрическими сетями (РТСС) была внедрена регистрация сейсмических сигналов в цифровом виде и с этого времени обработка сейсмологических данных стала возможной почти в реальном времени. Разработка и внедрение методических и программных средств обработки сейсмических сигналов в автоматизированном режиме с экрана компьютера позволили создать систему контроля сейсмичности территории Камчатки в оперативном режиме.

Создание компьютерной сети КОМСП и подключение к всемирной сети Internet позволило организовать обмен данными наблюдений и обработки практически без ограничения пользователей.

### Система сбора сейсмологической информации

Система постоянных сейсмологических наблюдений на Камчатке включает в себя:

- сеть стационарных сейсмических станций;
- сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС);
- сеть станций сильных движений (ССД);

*Работа на стационарной сейсмической станции с гальванометрической регистрацией* регламентируется инструкцией для оператора [1, 4] и включает в себя: определение параметров всех землетрясений зарегистрированных на станции согласно инструкции с задержкой не более 24 часов; передачу данных станции по радиосвязи или телефону один раз в сутки; внеочередную смену сейсмограммы при регистрации ощутимых на станции землетрясений, определение их параметров с задержкой не более 1-го часа, готовность к передаче данных по запросу; проведение визуальных наблюдений за активными вулканами, если они находятся в зоне видимости, и передача данных этих наблюдений один раз в сутки по радиосвязи или телефону; еженедельный контроль и обслуживание приборов сильных движений, передача сведений о их работоспособности; сбор макросейсмических сведений по ощутимым землетрясениям и их передача по телефону или радиосвязи; отправка сейсмограммного материала в КОМСП почтой.

Работа цифровых станций “Беринг”, “Каменское” контролируется дистанционно через коммутируемые телефонные линии, “Петропавловск” и “Карымшина” - оператором. Данные цифровых станций накапливаются на CD и MO дисках, которые пересылаются в КОМСП почтой, со станции “Карымшина” доставляются автотранспортом.

Данные стационарных станций по результатам первичной обработки землетрясений и макросейсмического обследования ощутимых землетрясений, а также первичный сейсмограммный материал собираются и систематизируются в лаборатории сводной обработки КОМСП.

*Приборы для регистрации сильных землетрясений* работают в ждущем режиме. Работа обслуживающего персонала, согласно инструкции, заключается в следующем: Контроль работоспособности приборов путем пробных запусков; контроль системы электропитания и ее обслуживание; перезарядка фотопленки после сильного землетрясения; сбор макросейсмических данных по каждому ощутимому землетрясению; передача материалов наблюдений и макросейсмических данных в КОМСП.

Материалы регистрации сильных землетрясений собираются, обрабатываются, систематизируются и архивируются в лаборатории экспериментальных наблюдений КОМСП.

*Информация с радиотелеметрических сейсмических станций* собирается на 3-х приемных центрах РТСС, расположенных в г. Петропавловск-Камчатский, г. Ключи и п. Козыревск, в реальном масштабе времени. Система цифровой регистрации сигналов на приемных центрах РТСС, разработанная в КОМСП в 90-х гг., выполнена на базе стандартных технических и технологических решений [2, 13]. Система легко масштабируется и настраивается. Она выполнена на базе стандартных персональных компьютерах работающих под управлением операционной системы Windows. В состав системы входят: приемник сигналов времени GPS и аналого-цифровой преобразователь L1250 фирмы L-card .

Основные функции системы: аналого-цифровое преобразование аналоговых сигналов сейсмометрических каналов РТС в непрерывный цифровой поток данных в режиме реального времени; организация кольцевого буфера текущих сейсмических данных на жестком диске персонального компьютера в формате SEED, размер буфера 1 Гб позволяет хранить около 18 часов непрерывных данных по 64 каналам с частотой дискретизации 128 Гц; оперативный доступ к текущим данным через локальную компьютерную сеть для анализа и обработки; создание архива текущих данных и организация доступа к нему внешних пользователей; организация архива данных на дисках CD-R и DVD.

Приемные центры РТСС соединены выделенными телефонными каналами, что позволяет иметь доступ ко всем станциям РТСС на каждом рабочем месте. На жестких дисках сервера Петропавловского приемного центра сохраняются непрерывные данные всех станций РТСС глубиной не менее 15 суток. На Петропавловском приемном центре непрерывные данные всех станций РТСС сохраняются на CD-R и DVD, которые далее передаются в архив КОМСП.

### *Корпоративная компьютерная сеть КОМСП*

В основе организации всех работ по сбору, обработке и хранению сейсмологической информации и данных других геофизических наблюдений лежит компьютерная сеть КОМСП. Сеть КОМСП создана в первой половине 90-х гг. [2, 13] и к 2004 г. существенно модернизирована. Структурная схема сети по состоянию на 2004 г. показана на рис. 1.

*Структура сети.* Основная базовая концепция построения сети определена рекомендациями ISO соединения открытых систем. Основной базовый протокол TCP-IP. При создании сети использовались различные сетевые и каналобразующие технологии.

Каналы – xDSL, асимметричный DVB, асинхронные (ТЧ), PPP, Multilink PPP, тоннели через транспортные сети операторов связи.

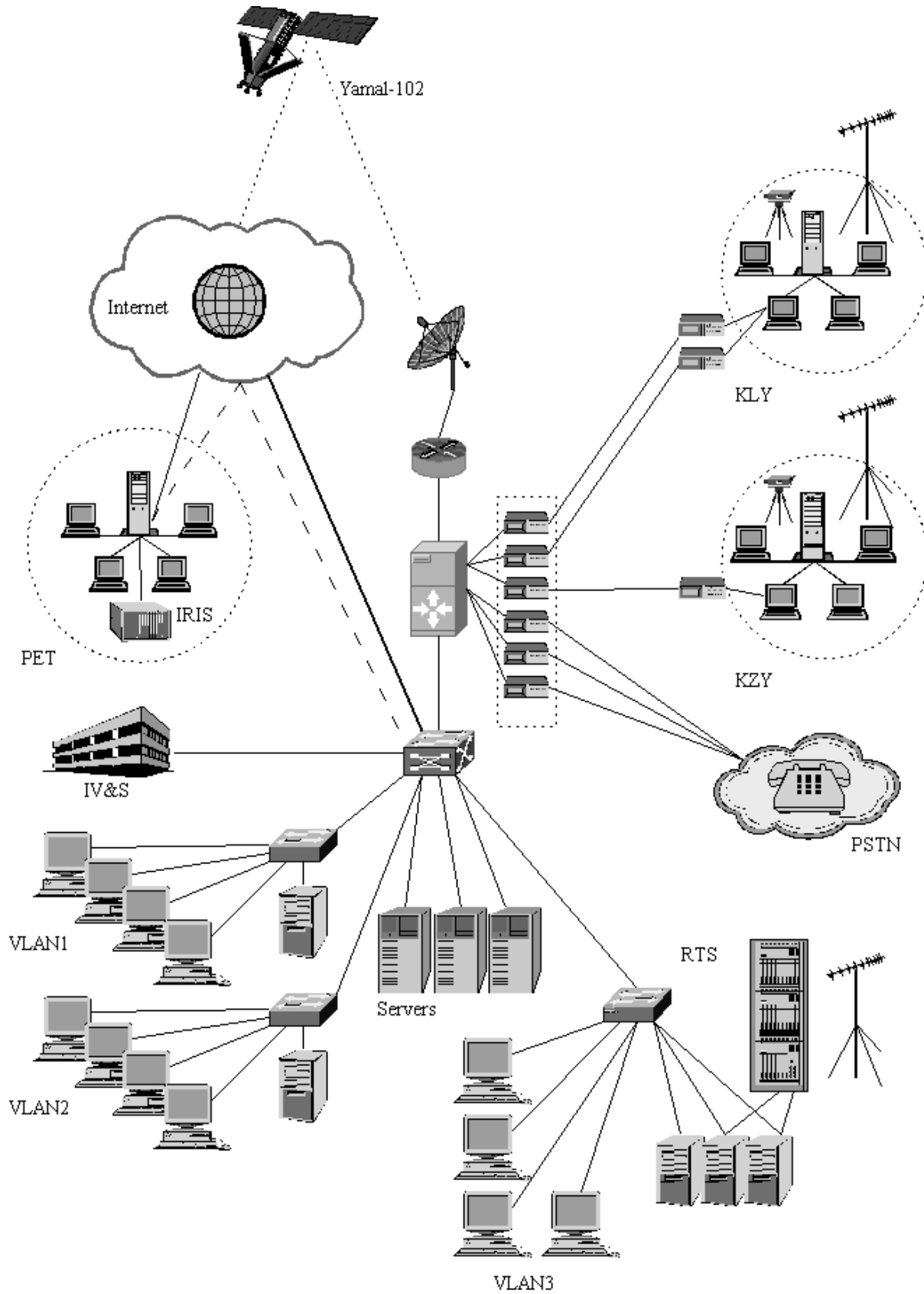


Рис. 1. Структурная схема локальной сети КОМСП ГС РАХ.  
Fig. 1. The structure of data collection network in KEMSD GS RAS.

Локальные сети – Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, коммутация 2 и 3 уровня, VLAN.

Протоколы – TCP-IP, Netbios поверх TCP-IP.

Локальная сеть КОМСП является гибридной и на разных участках поддерживает разные скорости передачи данных 10 Mbit, 100 Mbit, 200 Mbit. В основу сети заложена технология VLAN, позволяющая организовать широковещательные домены, сегментировать потоки данных, улучшить производительность и безопасность сети. Все сервера подключены к коммутатору сети на скорости 200Mbit. Для подключения пользователей используются одно и двухскоростные концентраторы (hub). Сеть сегментирована с учетом реально существующего трафика с целью оптимизации ее пропускной способности.

Объединение локальных сетей осуществляется при помощи маршрутизаторов.

*Маршрутизаторы сети.* Центральным маршрутизатором сети является специально сконфигурированный IBM PC совместимый компьютер, работающий под управлением OS UNIX (FreeBSD), содержащий в своем составе 2 ethernet (full duplex) порта, 8 VLAN портов и 16 асинхронных портов. Маршрутизатор подключен (100Mbit/full duplex) к локальной сети КОМСП, поддерживает 2Mbit xDSL канал к Internet провайдеру, 100Mbit Ethernet шлюз к сети Института вулканологии и сейсмологии, три асинхронных канала к удаленным подсетям по протоколам PPP и multilink PPP, IP – тоннель к удаленной подсети сейсмостанции “Петропавловск”. Для поддержки удаленных пользователей к маршрутизатору подключен модемный пул на три коммутируемые телефонные линии, с возможностью расширения в будущем до восьми и более линий.

В каждой удаленной подсети используется свой маршрутизатор, который обеспечивает работу канала, поддерживает работу удаленной локальной сети и является secondary DNS, DHCP, NTP (stratum2), FTP, RAS сервером.

Для обеспечения безопасности корпоративной сети все маршрутизаторы содержат в своем составе сетевой пакетный фильтр (IP FireWall), поддерживают протоколы PPTP для организации закрытых виртуальных соединений и SSH для безопасного сетевого администрирования. Для управления обменом с внешними Internet и внутренними Intranet сетями на каналах передачи данных с ограниченной пропускной способностью используется для различных сервисов WF2Q система приоритетов трафика и виртуальные каналы с заданной пропускной способностью для различных групп пользователей сети.

Кроме этого в сети расположен DVB маршрутизатор, подключенный к спутниковой антенне диаметром 2.4 метра и позволяющий принимать асимметричный инкапсулированный в DVB unicast и multicast поток данных с геостационарных спутников со скоростью потока данных до 45Mbit. С помощью DVB маршрутизатора возможна организация высокоскоростного асимметричного канала доступа к Internet, прием потоковых рассылок, прием multicast трафика. Для конфигурирования рабочих станций сети маршрутизаторы поддерживают протокол DHCP и позволяют жестко описать и контролировать установки всех сетевых интерфейсов.

*Синхронизация времени.* Первый уровень (stratum1) обеспечивает сервер NTP (компьютер) который является источником опорного времени в сети. Синхронизация времени осуществляется при помощи GPS приемника SvecSix производства Trimble. Сервера второго уровня (stratum2) находятся в удаленных подсетях сейсмических станций. Для клиентов сетей Microsoft поддерживается синхронизация времени средствами протокола NETBIOS.

*Доменная служба имен DNS.* Основной службой любой TCP-IP сети является DNS. Для обеспечения независимости от провайдеров при конфигурировании сети и в случае смены IP адресов сети, был зарегистрирован домен “emsd.ru”. Первичный “Primary DNS” сервер сети обеспечивает работу службы имен прямой и обратной зон доменов “emsd.ru” и “emsd.iks.ru”. В сети также расположен “secondary” DNS сервер. Кроме того функции “secondary” DNS для этих зон выполняют сервера расположенные в удаленных подсетях и сервера Internet провайдера.

**Почтовая служба.** Для обмена электронной почтой используется SMTP протокол. Вся входящая и исходящая почта поступает на почтовый концентратор MAIL-HUB. Для обеспечения надежности работы электронной почты в сети дополнительно работает почтовый релей. Почтовый сервер обеспечивает антивирусную проверку всей электронной почты и защиту пользователей от спама. Доставка почты внутри сети обеспечивается как открытыми (POP3, IMAP4) так и закрытыми (POP3S, IMAPS) почтовыми протоколами.

**FTP сервера.** В сети расположены FTP сервера с поддержкой анонимных, реальных и гостевых подключений. Сервера FTP есть в каждой удаленной подсети. Они используются для файлового обмена результатами обработки информации операторами центрального и удаленных офисов. В сети FTP серверов запущена служба автоматической синхронизации специализированных файловых ресурсов. Для пользователей центральной сети организован доступ к FTP и WWW серверам средствами сети Microsoft.

**Сервера баз данных.** В сети работают два UNIX SQL сервера баз данных. Они обеспечивают работу различных информационных баз данных. Один из серверов выполняет в сети функции Web сервера с возможностью обработки и визуализации данных по запросам клиентов.

**Передача данных.** Для оперативной обработки землетрясений в сети организована непрерывная передача сейсмической информации с удаленных сейсмических станций радиотелеметрической сети. Кроме передачи сейсмической информации сеть обеспечивает передачу низкоскоростных видео потоков с систем наблюдения за вулканами расположенных в г. Ключи и п. Козыревск.

### **Система обработки сейсмологической информации**

Система обработки сейсмологической информации, в зависимости от времени задержки выходных данных, имеет 3 уровня: служба срочных донесений с задержкой до 30 минут; оперативная обработка с задержкой до 24 часов; окончательная (сводная) обработка с задержкой до одного года.

Служба срочных донесений обеспечивается сейсмической станцией “Петропавловск” и лабораторией исследований сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА) для всех Камчатских землетрясений с  $M > 4.5$ , для района Авачинского залива с  $M > 4.0$ . Кроме этого по данным РТСС производится оценка параметров землетрясений с  $M > 4.0$  в автоматическом режиме (программа Auto SSD). Алгоритм автоматического определения параметров очага по данным радиотелеметрических сейсмических станций включает в себя следующие операции:

- фильтрация потока сейсмических данных в полосе 1 – 6 Гц для оптимального подавления микросейсм и локальных шумов;
- выделение моментов первых вступлений, расчет параметра  $STA/LTA$  ( $T_{STA} = 0.5$  с,  $T_{LTA} = 60$  с) по профильтрованным данным, выделение участков записи, где  $STA/LTA$  превышает значение 1.5 в течение более 15 секунд, время первого вступления определяется как момент первого превышения порога;
- наличие сейсмического события идентифицируется в том случае, когда имеется превышение порога более чем на 6 станциях в течение одной минуты;
- расчет гипоцентра ведется методом перебора по сетке (время в очаге, глубина), путем решения системы линейных уравнений и последовательной отбраковки станций с ложными срабатываниями детектора;
- определение энергетического класса производится по коду волн (Кс) с использованием калибровочной кривой.

Результаты обработки рассылаются по электронной почте (телефону) в ГС РАН, МЧС, ФЦПЗ и в Администрацию Камчатской области, доступны через Internet страницу КОМСП. С 2004 г. оценки параметров землетрясений в рамках службы срочных донесений рассылаются также в виде SMS сообщений.

Станция “Петропавловск” входит также в систему предупреждения о цунами (СПЦ) на Дальнем Востоке и при возникновении сильного близкого землетрясения у берегов Камчатки и возможной угрозе цунами она объявляет тревогу.

В режиме оперативной обработки работают все стационарные сейсмические станции, приемный центр РТСС в г. Ключи и лаборатория исследований сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА). Основная работа в режиме оперативной обработки выполняется в ЛИСВА. Кроме мониторинга тектонической сейсмичности, здесь ведется мониторинг вулканической активности. Данные обработки стационарных станций собираются по радиосвязи в лаборатории сводной обработки. Результаты оперативной обработки землетрясений, зарегистрированных РТСС, концентрируются и организуются в базы данных в ЛИСВА. Оперативный каталог содержит координаты землетрясения, его глубину и энергию по С. А. Федотову [9]. Для сильных землетрясений дается оценка магнитуды по коде. Для расчетов координат гипоцентров тектонических землетрясений в оперативной обработке на приемных центрах РТСС используется программа Ю. Ю. Мельникова [6], годограф Кузина И. П. [5]. Для вулканических – программа Ю. Ю. Мельникова, скоростные разрезы, уточненные в ЛИСВА, отдельно для Авачинской группы вулканов, для вулкана Карымский, для вулкана Ключевской. Уточненные скоростные разрезы и методика их получения представлены в настоящем сборнике в статье Сенюкова С. Л. «Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений».

В работе подразделений КОМСП, занятых сбором и оперативной обработкой сейсмологической информации, в зависимости от уровня сейсмической и вулканической опасности, выделяются три режима:

- режим повседневной деятельности;
- режим повышенной опасности;
- чрезвычайный режим.

Режим повышенной опасности вводится приказом по КОМСП на основании заключений о состоянии сейсмической и вулканической опасности на территории Камчатской области Российского экспертного совета, ФЦПЗ и Кам.О ФЦПЗ.

Чрезвычайный режим работы вводится приказом по КОМСП по факту прошедшего сильного землетрясения или извержения вулкана.

*Режим повседневной деятельности*, задержка обработки не более суток, включает в себя: получение стандартных параметров всех землетрясений по всем станциям РТСС Камчатки; определение гипоцентров землетрясений по сети; сохранение результатов обработки в базах данных, ведение оперативных каталогов региональных землетрясений, землетрясений Авачинской и Ключевской групп вулканов; оценку параметров землетрясений, начиная с  $M > 4$  для Авачинского залива и с  $M > 4,5$  для всей Камчатки с задержкой не более 30 минут; передачу результатов оперативной обработки в ГС РАН, МЧС, ГУ ГО и ЧС по Камчатской области, ФЦПЗ и другие адреса, определенные регламентами; работу технического персонала, включая при необходимости выходные, праздничные дни и ночное время, по ликвидации неисправностей технических средств приемного центра;

*Режим повышенной опасности*, в период повышенной вероятности сильного землетрясения или извержения вулкана включает в себя: работу в режиме повседневной деятельности; проведение организационных и технических мероприятий по проверке готовности службы к работе в экстремальной ситуации.

*Работа в чрезвычайном режиме* включает в себя: круглосуточную сменную работу, с привлечением при необходимости дополнительного числа сотрудников, по всем землетрясениям с  $K_{\max} - 3 < K < K_{\max}$ ; отложенную обработку всех других землетрясений из эпицентральной зоны в течение срока не более 3-х месяцев.

Окончательная обработка всех землетрясений совместно по всем наблюдательным сетям производится лабораторией сводной обработки. Для расчетов координат гипоцентров землетрясений с 1978 г. применяется программа Гусева А. А. [ ]. Окончательный

каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов является основным результатом деятельности КОМСП. Подробно описан ниже.

Результаты оперативной и окончательной обработки сейсмологической информации хранятся в базах данных. Доступ к данным для пользователей КОМСП и ИВиС ДВО РАН обеспечивается по локальной сети. Для других организаций и пользователей сейсмологической информацией данные обработки доступны через Internet страницу КОМСП или по запросу на машинных носителях.

Для автоматизированной обработки сейсмических сигналов используется, разработанный в КОМСП Дрозниным Д. В., пакет программного обеспечения DATAAN [2, 14].

Программа обработки DATAAN предназначена для визуализации и детального анализа цифровых сейсмических сигналов в операционных системах Windows и Windows NT. Программа обработки способна отображать зарегистрированные данные в виде графиков на экране. Позволяет сейсмологу выполнять анализ исходных данных во временной, частотной, частотно-временной и пространственной областях. Она дает возможность производить фильтрацию, сглаживание и межканальную обработку сейсмических данных, осуществлять замеры времен вступлений и амплитуд сейсмических волн и сохранять результаты обработки в файлах. Программа специально спроектирована для пользователей, задача которых сводится к оперативному определению параметров землетрясений и поиску предвестников землетрясений по специфическим характеристикам сейсмических сигналов.

Программа не имеет практических ограничений на количество каналов регистрации сейсмических сигналов и число отсчетов по каждому из каналов, снабжена стандартным интерфейсом взаимодействия с пользователем, имеет простое функциональное меню.

Сейсмические сигналы для программы обработки представляются в виде дисковых файлов.

Каждый дисковый файл может содержать в себе массивы данных как одного, так и нескольких сейсмических каналов. Файл с данными в своем заголовке должен содержать имя сейсмической станции, код сети сейсмических станций, код сейсмического канала, время первого отсчета сейсмического сигнала, частоту дискретизации, число отсчетов в файле.

Для использования всех функциональных возможностей программы, необходима следующая дополнительная информация по каждому из сейсмических каналов:

- характеристики регистрирующей аппаратуры, включающие в себя передаточную функцию сейсмометра (в виде полюсов и нулей), коэффициенты цифровых фильтров, чувствительность сейсмометрического канала (для перевода цифровых отсчетов к реальным движениям грунта);
- географические координаты пункта наблюдений — широта, долгота, высота над уровнем моря;
- ориентация сейсмометра по отношению к сторонам света и вертикали.

Эта информация может непосредственно находиться в файлах с исходными данными или автоматически заполняется программой из специально предназначенной метрологической базы данных. Составной частью этой базы являются данные результатов расчета характеристик регистрирующей аппаратуры по калибровочным импульсам.

Дополнительной информацией для каждого канала могут быть результаты предшествующей обработки:

- время в очаге землетрясения, географическое положение гипоцентра, энергетические оценки события (класс, магнитуда);
- Времена вступлений и типы сейсмических волн, а также их периоды и амплитуды.

Программа ориентирована на стандартный формат данных SEED (Standard for the Exchange of Earthquake Data). Этот формат широко применяется на процессорах сбора глобальной сети GSN, а так же используется в цифровых системах регистрации сигналов радиотелеметрических сейсмических станций КОМСП ГС РАН. Специально



разработанный для хранения цифровых сейсмометрических данных он обладает возможностью представления всех исходных параметров необходимых для последующего анализа.

Наличие потоков данных в других форматах, с других цифровых систем регистрации сейсмических сигналов, и желание обрабатывать эти данные в одном программном комплексе привело к расширению возможностей ввода данных в программе. Программа обработки DATAAN может работать со следующими форматами представления цифровых сейсмометрических данных: SEED, SEG-Y, DATAMARK, POSEIDON, WAV, SAC, GSE, VISEIS, ASCII, BINARY.

### **Организация сбора и обработки сейсмологической информации в условиях чрезвычайной ситуации**

Важнейшим показателем эффективности наблюдательных сетей и системы обработки сейсмологической информации является решение задачи контроля сейсмичности территории в условиях катастрофического землетрясения, когда выводятся из строя часть станций и каналы связи.

Система оперативного контроля сейсмичности территории Камчатской области в настоящее время основывается на радиотелеметрических сейсмических станциях (РТСС). Задача оповещения о цунами возложена на сейсмическую станцию «Петропавловск». Служба срочных донесений и оперативная обработка ведется главным образом в г. Петропавловске-Камчатском.

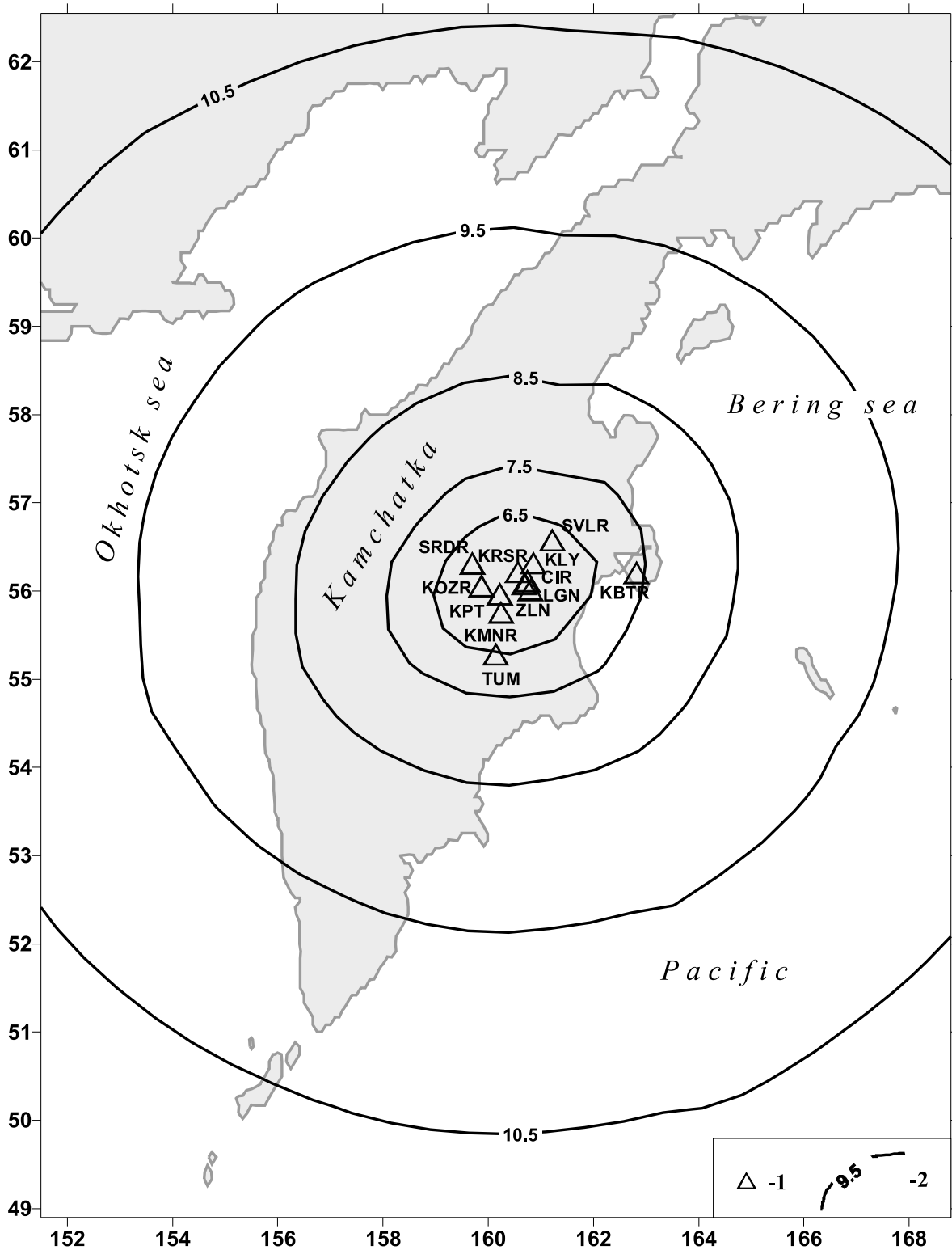
В случае катастрофического землетрясения в г. Петропавловске-Камчатском наиболее ненадежными элементами этой системы контроля и оповещения будут Петропавловский приемный центр РТСС, который может подвергнуться разрушению, а также телефонные выделенные каналы связи, устойчивость которых из-за катастрофы не может быть гарантирована. Здание сейсмостанции «Петропавловск» стоит на скальных грунтах. По оценкам сейсмического микрорайонирования и результатам макросейсмических обследований сотрясения на станции «Петропавловск» будут не менее, чем на 1 балл меньше по сравнению с сотрясениями на средних грунтах города. Для обеспечения передачи данных обработки станции в условиях чрезвычайной ситуации ее необходимо оборудовать спутниковыми средствами связи.

Для обеспечения надежности оперативного контроля сейсмичности и оповещения о цунами на территории Камчатской области в случае катастрофического землетрясения в г. Петропавловске-Камчатском необходимо создание резервного (дублирующего) центра контроля в удаленном безопасном районе.

В качестве резервного центра контроля может рассматриваться приемный центр РТСС в г. Ключи. Уже сейчас он работает в оперативном режиме, но только по контролю сейсмичности Ключевской группы вулканов. Для создания условий по выполнению функций резервного центра в полном объеме необходимо:

- связать выделенными телефонными каналами приемные центры РТСС в г. Ключи и п. Козыревск;
- обеспечить накопление данных на приемном центре в г. Ключи данных приемного центра в п. Козыревск;
- оснастить приемный центр РТСС в г. Ключи цифровыми широкополосными сейсмометрическими каналами для регистрации сильных камчатских и телесеизмических событий;
- внедрить на приемном центре в г. Ключи оборудование и методики для обеспечения работ по цунами предупреждению;
- оснастить приемный центр РТСС в г. Ключи спутниковыми средствами связи для передачи данных и результатов обработки в ГС РАН.

На рис. 2 показаны контуры надежной регистрации землетрясений Камчатки станциями РТСС, данные которых будут доступны операторам приемного центра г. Ключи.



**Рис. 2.** Контуры надежной регистрации землетрясений Камчатки станциями РТСС, данные которых доступны операторам приемного центра г. Ключи.

1 – станции, 2 – контуры надежной регистрации землетрясений.

**Fig. 2.** The isolines in the energy class level for the earthquakes recorded on Klyuchi network.

1- seismic station, 2 - the isolines in the energy class level for the earthquakes.

Создание резервного центра оперативного контроля сейсмичности и оповещения о цунами на территории Камчатской области в случае катастрофического землетрясения в г. Петропавловске-Камчатском требует существенных затрат и намечено на 2005-2006 гг.

### Банк сейсмологических данных КОМСП ГС РАН

Банк региональных сейсмологических данных [15, 16] о землетрясениях Камчатки, Командорских островов и Северных Курил (рис. 3) включает в себя:

- каталоги оперативных данных;
- сводные каталоги параметров очагов землетрясений;
- архив первичных данных;
- цифровой архив волновых форм землетрясений;
- архив записей сильных движений Камчатки.

#### *Каталоги оперативных данных*

Результаты оперативной обработки землетрясений по данным радиотелеметрических сетей КОМСП хранятся в базе оперативных данных. База данных создана под СУБД FOXPRO2 и имеет следующую структуру.

*Каталог тектонических землетрясений Камчатского региона.* В каталоге содержатся оперативные определения основных параметров очагов землетрясений с 1 января 1995 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 33405. Каталог содержит следующую информацию:

- шифр землетрясения (поле связи в базе данных);
- дата,  $T_0$  землетрясения, точность определения  $T_0$ ;
- координаты эпицентра, град., точность определения координат, км;
- глубина очага, км, точность определения глубины, км;
- энергетический класс  $K_s$  по S-волне (по номограмме С.А.Федотова);
- магнитуда  $M_c$ , определяемая по кода-волнам для сильных землетрясений по записям аппаратуры СКД.

*Каталог землетрясений Авачинско-Корякской группы вулканов.* В каталоге содержатся основные данные о землетрясениях с  $K_s > 4.0$  для района Авачинско-Корякской группы вулканов с 18 ноября 1992 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 1892. Структура файла такая же, как для тектонических землетрясений.

*Каталог вулканических землетрясений для района Северной группы вулканов.* В каталоге содержатся основные данные о землетрясениях Северной группы вулканов с 18 апреля 1994 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 29484. Структура файла такая же, как для тектонических землетрясений.

Кроме этого имеется каталог землетрясений Северной группы вулканов, составленный под руководством В.И. Горельчик, в котором содержатся данные за периоды времени 2-5.10.1966 и 01.01.1971 г. — 31.12.1994.

*Бюллетень сейсмических станций тектонических землетрясений Камчатского региона.* В бюллетене содержатся станционные данные РТСС (исходные и полученные в результате счета гипоцентров, включенных в соответствующий каталог) с 1 января 1995 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 307363.

Содержание файла:

- шифр землетрясения;
- код станции;
- времена вступлений Р и S волн на каждой станции;
- отношение А/Т в S — волне;
- амплитуда и время прихода кода-волн;
- $K_s$  — станционный энергетический класс;



**Рис. 3.** Структурная схема банка сейсмологических данных КОМСП ГС РАН.

**Fig. 3.** The structure of the database in KEMSD GS RAS.

- невязки времен прихода Р- и S-волн;

*Бюллетень землетрясений Авачинско-Корякской группы вулканов.* В бюллетене содержатся станционные данные РТСС (исходные и полученные в результате счета гипоцентров, включенных в соответствующий каталог) с 18 ноября 1992 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 7618. Структура файла та же.

*Бюллетень землетрясений для района Северной группы вулканов.* В бюллетене содержатся станционные данные РТСС (исходные и полученные в результате счета гипоцентров, включенных в соответствующий каталог) с 18 апреля 1994 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 209550. Структура файла та же.

Оперативные каталоги вулканических землетрясений являются по существу и окончательными.

*Бюллетень сейсмической станции "Петропавловск".* Бюллетень содержит данные о временах вступлений сейсмических волн землетрясений, зарегистрированных опорной станцией "Петропавловск", их амплитудах и периодах, оперативные определения координат, если это возможно, и данные о макросейсмических проявлениях землетрясений с 19 октября 1999 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 60333.

Содержит данные:

- дата землетрясения;
- код станции;
- четкость и время вступления различных фаз сейсмических волн;
- время достижения максимальных амплитуд, значения амплитуд и их период;
- сведения о гипоцентре и энергетические оценки.

*Бюллетень стационарных сейсмических станций.* Содержит оперативные данные, полученные со стационарных сейсмических станций по радиосвязи. В машинном виде имеются данные, начиная со 2 февраля 1998 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 9027.

Содержит данные:

- код станции;
- дата;
- номер события в текущем месяце;
- четкость вступления;
- время вступления (час, минута, секунда);
- значение S-P;
- отношение A/T;
- энергетический класс;
- комментарий к событию.

*Уточненный оперативный каталог землетрясений.* Содержит уточненные данные оперативного каталога за период с 1 января 1993 г. по настоящее время. Число записей на 31 декабря 2003 - 36830.

Включает в себя данные:

- дата,  $T_0$  землетрясения;
- координаты землетрясения (широта, долгота, глубина);
- энергетические оценки ( $K_s$ ,  $M_c$ ,  $M_l$ );
- макросейсмические сведения о землетрясении.

Все перечисленные выше каталоги и бюллетени обновляются ежедневно.

*Каталог землетрясений Службы Срочных Донесений ЦОМЭ.* Содержит оперативные данные Службы Срочных донесений ЦОМЭ (Обнинск). По состоянию на 31 декабря 2003 года содержатся данные с 9 сентября 1996 года по 30 декабря 2003 года. Число записей - 1240.

Содержит данные:

- номер события в текущем году;
- дата, время;
- координаты, глубина;

- тип и значение магнитуды;
- ощущения в регионе.

### Сводные каталоги землетрясений

Оперативные каталоги составляются по данным радиотелеметрической сети КОМСП. При получении сейсмограмм со стационарных сейсмических станций с цифровой и регистрацией на фотобумагу, параметры землетрясений переопределяются, определяются дополнительные параметры, и все данные о землетрясениях помещаются в базу сейсмологических данных о землетрясениях Камчатки, Командорских островов и Северных Курил. Управление базой осуществляется при помощи СУБД FOXPRO2.

База данных имеет следующую структуру.

*Каталог основных параметров землетрясений.* В каталоге содержатся переопределенные основные данные о землетрясениях, произошедших в регионе. По состоянию на 31 декабря 2003 в файле находятся данные, начиная с 1 января 1962 г. по 30 июня 2003 г. Число записей - 84324.

Каталог содержит:

- дата землетрясения;
- время в очаге ( $T_0$ );
- точность определения  $T_0$  (сек);
- широта (градусы);
- долгота (градусы);
- точность определения эпицентра (км);
- глубина (км);
- точность определения глубины (км);
- энергетический класс по S-волне по классификации С.А.Федотова;
- энергетический класс по Р-волне по классификации С.А.Федотова;
- число станций, участвующих в определении  $T_0$  ;
- число станций, участвующих в определении  $K_s$ ;
- число станций, участвующих в определении  $K_p$ ;
- число станций, участвующих в определении координат гипоцентра;
- шифр землетрясения (ггггммддп - год, месяц, день, номер), параметр, необходимый для связи файлов базы данных;
- $K_c$ , класс, определяемый по кода-волнам;
- число станций, участвующих в определении  $K_c$ ;
- магнитуда по коде (берется из оперативного каталога).

На основе оперативного и окончательного каталогов формируется объединенный каталог оперативных и окончательных определений основных параметров землетрясений с  $K_s \geq 8.5$ , который доступен по адресу в ИНТЕРНЕТЕ: <http://data.emsd.iks.ru> В этом каталоге символом "f" обозначены окончательные определения, "o" - оперативные.

*Подробные станционные данные.* В файле находятся станционные данные (как исходные, так и расчетные) о землетрясениях, занесенных в каталог основных параметров. По состоянию на 31 декабря 2003 в файле находятся данные, начиная с 1 января 1971 года по 30 июня 2003 года. Число записей - 743230.

Файл содержит данные:

- шифр землетрясения (поле связи);
- трехсимвольный латинский код станции;
- знак, четкость, время вступления Р-волны;
- четкость, время вступления S -волны;
- амплитуда и период Р- и S -волн (для записей смещения), либо соотношение А/Т (для записей скорости);
- эпицентральное расстояние (км), (град);

- азимут на эпицентр;
- класс на станции по Р- и S-волнам;
- невязки времен прихода Р- и S-волн (сек);
- вес вступлений Р- и S-волн;
- станционный класс по коде;
- время прихода (снятия) коды;
- амплитуда коды.

*Исходные станционные данные.* Исходные станционные данные содержатся в двух файлах базы данных.

В файле входных данных гипоцентрии, в котором содержатся данные о землетрясении, получаемые во время обработки сейсмограмм. Количество данных этого файла не обязано соответствовать файлу подробных данных. По состоянию на 31 декабря 2003 в файле находятся данные с 1 января 1971 года по 30 июня 2003 года. Число записей – 758600.

Файл включает в данные:

- шифр землетрясения (поле связи);
- "шапка" землетрясения (Ygggmddch);
- трехсимвольный латинский код станции;
- знак, четкость, время вступления Р-волны;
- четкость, время вступления S -волны;
- амплитуда и период Р- и S -волн (для записей смещения), либо соотношение А/Т (для записей скорости);
- время прихода (снятия) коды;
- амплитуда коды.

В файле результатов обработки цифровой сейсмограммы землетрясения содержатся все данные, полученные во время обработки цифровой сейсмограммы при помощи пакета программ DATAAN. По состоянию на 31 декабря 2003 в файле находятся данные с 14 января 1997 г. по 30 июня 2003 г. Число записей – 867460.

Файл содержит строки, включающие в себя данные о замерах времени и амплитуд:

- шифр соответствующего землетрясения из каталога основных параметров;
- код записи каталога (время вступления волны или амплитуда волны);
- код станции;
- канал;
- код сети;
- код волны;
- знак первого вступления;
- четкость вступления;
- дата;
- время вступления;
- амплитуда;
- период;
- увеличение при замерах параметров;
- комментарий.

*Каталог механизмов очагов землетрясений* составляется для событий энергетического класса  $K_f > 11.4$ , определенных по знакам первых вступлений Р-волн на станциях региональной сети КОМСП с привлечением данных мировых сетей. По состоянию на 31 декабря 2003 года в каталоге содержатся данные с 1 января 1964 г. по 31 декабря 2000 г. Число записей - 839.

Каталог включает в себя следующие данные:

- шифр землетрясения (поле связи);
- углы и азимуты осей растяжения (Т), промежуточной (N), сжатия (Р);
- азимуты простирания (STRIKE), углы падения (DIP), углы скольжения (STRIKE) нодальных плоскостей;

- число станций, участвовавших в определении механизма.

*Каталог макросейсмических проявлений землетрясений* содержит сведения о макросейсмических проявлениях землетрясений на территории Камчатки и прилегающих областей. По состоянию на 31 декабря 2003 года в каталоге содержатся данные с 1 января 1962 года по 30 июня 2003 года. Число записей - 2748.

Файл содержит данные:

- шифр землетрясения (поле связи);
- название пункта наблюдения;
- эпицентральное расстояние (км);
- интенсивность в баллах;
- описание ощущений.

*Данные о пунктах сбора макросейсмической информации.* По состоянию на 31 декабря 2003 года файл содержит сведения о 261 пункте (координаты). Связь с файлом макросейсмических данных осуществляется по имени пункта.

*Данные о сейсмических станциях* содержит сведения о станциях, использованных при обработке землетрясений за 1962-2003 гг. Число записей 113.

Файл содержит данные:

- код станции;
- долгота, широта (град), высота (м);
- принадлежность сети
- период работы;
- увеличение.

#### *Архив первичных материалов наблюдений*

В архиве первичных материалов наблюдений хранятся сейсмограммы сейсмических станций КОМСП с регистрацией на фотобумагу, данные радиотелеметрических сетей, данные широкополосных цифровых станций, а также волновые формы землетрясений. В состав архива входят:

- сейсмограммы региональных стационарных и временных сейсмических станций с 1961 г. по настоящее время:  
("Авача", "Апача", "Апахончич", "Березовая", "Беринг", "Водопадная", "Зеленая", "Каменистая", "Ключи", "Козыревск", "Крестовский", "Кроноки", "Крутоберегово", "Логинов", "Медный", "Мильково", "Начики", "Оссора", "Палана", "Паужетка", "Пахачи", "Петропавловск", "Подкова", "Срединный", "Тилички", "Тополово", "Шивелуч-Байдарная", "Шипунский", "Цирк", "Эссо");
- сейсмограммы опорной станции "Петропавловск" с 1951г. по настоящее время;
- цифровые сейсмограммы на CD-дисках данных телеметрических сетей "Петропавловск", "Ключи" и "Козыревск" с января 1996 г. по настоящее время;
- цифровые сейсмограммы широкополосной сейсмической станции "Петропавловск" с сентября 1993 г. по настоящее время;
- волновые формы выборочных событий (EVENTS) за 1998 и 1999 гг. по данным РТСС и цифровой станции "Петропавловск";
- волновые формы землетрясений Камчатки, Командорских островов, Северных Курил и Северо-Западной окраины Тихого океана по данным РТСС, широкополосных цифровых станций "Петропавловск", "Каменское", "Карымшина" с декабря 2000 г. по июнь 2003г.;
- данные цифровой станции "Карымшина" с апреля 2001г. по настоящее время;
- данные цифровой станции IRIS с сентября 1993г. по настоящее время;
- магнитооптические диски с цифровой сейсмостанции "Каменское" с 1994 г. по 1998 и с сентября 2001 г. по настоящее время;
- данные станций PASSCAL на CD-дисках, полученные на различных пунктах в 1998 и 1999 гг.;
- бюллетени стационарных сейсмических станций.



*Цифровой архив волновых форм землетрясений*

Цифровой архив волновых форм землетрясений создается с декабря 2000 года. На 31 декабря 2003 года в архиве имелись 33383 записи волновых форм землетрясений Камчатки и Командорских островов и Северо-Западной окраины Тихого океана.

Цифровой Архив Региональных Станций (ЦАРС) создан для хранения волновых форм землетрясений Камчатки и Командорских островов, северо-западной части Тихого океана и более удалённых землетрясений, записанных сетью Камчатских региональных станций.

Цифровой архив волновых форм землетрясений формируется по данным трёх источников:

- оперативный каталог землетрясений Камчатки;
- каталоги вулканических землетрясений;
- ежедневный бюллетень сейсмической станции “Петропавловск”.

Эти данные соединяются в один файл с указанием типа события, времени начала и продолжительности выборки волновых форм.

Типы событий:

“R” - региональное (оперативный каталог Камчатки)

“V” - вулканическое (каталоги вулканических землетрясений)

“NWP” - северо-запад Тихого океана, т.е. событие из бюллетеня сейсмической станции “Петропавловск”, которое отсутствует в оперативном региональном каталоге и для которого имеется  $S-P < 150$  с

“T” - телесеизмическое, т.е. событие из бюллетеня сейсмической станции “Петропавловск”, для которого имеется  $S-P > 150$  с

Цифровой архив волновых форм землетрясений создается с декабря 2000 года. На 31 декабря 2003 года в архиве имелись 33383 записи волновых форм землетрясений Камчатки и Командорских островов и Северо-Западной окраины Тихого океана.

Файлы цифрового архива и каталоги событий хранятся на сервере и на CD, разложены по годам и месяцам.

*Архив записей сильных движений Камчатки*

В архиве записей сильных движений Камчатской ОМСП собираются и систематизируются аналоговые записи сильных землетрясений (приборы С5С-ИСО-II, ССРЗ, SMAC-Q, ССРЗ-М, АСЗ-2 и АСРЗ-1,2) и цифровые (каналы акселерометра FBA станции IRIS). Большая часть аналоговых фото записей сильных землетрясений оцифрованы с помощью специальной программы и сканера.

Каждая запись архива сопровождается этикеткой на которой занесена информация о дате и времени землетрясения, код станции и тип прибора. Такая же информация нанесена непосредственно на носители. Таким образом создан архив аналоговых записей сильных движений Камчатской ОМСП. Архив состоит из трех разделов А, В и С: соответственно записи на узких носителях, полученные приборами С5С-ИСО-II, ССРЗ и SMAC-Q; записи на широких носителях полученные приборами УАР, ССРЗ-М, АСЗ-2 и АСРЗ-1,2; цифровые сейсмограммы станции IRIS. Всего в архиве к настоящему времени собраны 1656 записей, из них с 1993 года 1254 записи по станции IRIS.

Одновременно с архивизацией создан каталог записей. Каталог имеет следующие параметры:

- порядковый номер записи с указанием раздела;
- дата землетрясения;
- время землетрясения;
- широта эпицентра;
- долгота эпицентра;
- глубина;

- класс  $K^{\Phi 68}$ ;
- магнитуа с указанием типа;
- видимая амплитуда записи в миллиметрах с указанием канала;
- бальность (если есть);
- код станции;
- тип и номер прибора;
- код записи качества специально разработанный с учетом нужд дальнейшей цифровой и обработки.

Дата, время землетрясения, координаты гипоцентра, класс и магнитуды берутся из регионального каталога ОМСП. Балл и номер прибора приводятся на основе информации, сопровождавшей записи.

*Представительность сильнейших Камчатских землетрясений в архиве.* Сеть станций сильных движений существует на Камчатке с середины 60-х годов. За это время на Камчатке произошло несколько сильных землетрясений, три из которых с магнитудой 7.5-8 произошли в самом начале работы сети. Это Озерновское землетрясение 22.11.69 года,  $M_{LH} = 7.7$ ; Петропавловское - 24.11.71 года  $M_W = 7.7$ ,  $M_S = 7.2$ , ( $H=100$ км); Усть-Камчатское - 15.12.71г.,  $M_{LH} = 7.8$ . Несмотря на техническое несовершенство приборов и трудности в обслуживании, были получены одиночные записи каждого из этих трех сильнейших землетрясений. Петропавловское землетрясение 24.11.71 года имело интенсивность 7 баллов в Петропавловске, однако, в пункте установки прибора сотрясения оцениваются в 5-6 баллов. Усть-Камчатское землетрясение 15.12.71 года имело интенсивность 7 баллов в Усть-Камчатске, включая пункт установки прибора.

В период 1972-91 года сильнейшими на Камчатке были три землетрясения с магнитудой около 7: 17.08.1983, записанное двумя станциями Крутоберегово и Кроноки; 28.12.1984, записанное станциями Африка и Кроноки и 29.02.88 года, записанное на станции Беринг.

В 1992-93 г. в районе Авачинского залива, вблизи г. Петропавловска-Камчатского произошло четыре сильных землетрясения с магнитудами 6.2-7.4  $M_{LH}$ ; 2 и 5 марта 1992 г. [Зобин и др., 1996], 8 июня и 13 ноября 1993г. Большая плотность станций в этом районе и качественное их обслуживание позволили получить большое количество записей от каждого землетрясения.

5 декабря 1997 г. в Кроноцком заливе произошло сильнейшее за весь период наблюдений землетрясение с магнитудой  $M_W = 7.9$ . Недостаток финансирования на обслуживание станций в 90-е годы привело к тому, что не были получены записи на ближайших к очагу станциях. Тем не менее были получены записи на станции "Мыс Шипунский" и на станциях городской сети.

### Заключение

1. На базе компьютерных технологий создана система сбора сейсмологической информации с информационно-коммуникационной системой. Разработана и внедрена система цифровой регистрации сейсмических сигналов на приемных центрах РТСС. Данные радиотелеметрических сетей сейсмических станций доступны операторам в реальном масштабе времени.

2. Создана система обработки сейсмологической информации на ПЭВМ. Разработаны и внедрены методические и программные средства для обработки землетрясений в автоматическом и автоматизированном режимах. В обработке тектонических землетрясений используются: энергетическая классификация по величине  $A_{max}/T$  в поперечных волнах в соответствии с номограммой С. А. Федотова [9]; годограф по И. П. Кузину [5]; для расчетов координат гипоцентров камчатских землетрясений на ЭВМ — программы А. А. Гусева [3] и Ю. Ю. Мельникова [6].

3. Создан банк сейсмологических данных с системой представления и доступа к нему пользователей. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов доступен на Internet-странице КОМСП ГС РАН ([www.emsd.iks.ru](http://www.emsd.iks.ru)).

4. Внедрение современных технологий сбора, обработки и хранения сейсмологической информации позволило создать высокоэффективную систему оперативного контроля за сейсмической и вулканической активностью на территории Камчатки. Эффективность системы проверена на примерах обработки, практически в реальном времени, афтершоковых роев сильных землетрясений, ее работой по программе обеспечения безопасности авиа полетов.

*Список литературы*

1. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР, М., Наука, 1974, с. 245
2. Гордеев, Е.И., В.Н. Чебров, А.В. Викулин, В.И. Левина, В.И. Сеницын, В.В. Ящук. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке (состояние, развитие, перспективы), Сб. Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г.: Предвестники, особенности, последствия, Петропавловск-Камчатский, 1998, с. 12-24.
3. Гусев А. А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1979, № 1, с. 74-81.
4. Инструкция обслуживающему персоналу сейсмических станций Института вулканологии ДВНЦ АН СССР //Петропавловск-Камчатский, 1973, 82 с.
5. Кузин И. П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки // М., Наука, 1974, 145 с.
6. Мельников Ю.Ю. Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1990. № 5, с. 103-112.
7. Ризниченко Ю. В. Методы массового определения координат очагов землетрясений // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1958, № 4, с. 425-437.
8. Федотов С. А., Кузин И. П., Бобков М. Ф. Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961-1962 гг. // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1964, № 9, с. 1360-1375.
9. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972, 116 с.
10. Федотов С. А., Славина Л. Б. Оценка скоростей продольных волн в верхней мантии под северо-западной частью Тихого океана и Камчаткой // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1968., № 2, с. 9-31.
11. Федотов С. А., Шумилина Л. С. Развитие сейсмологических наблюдений на Камчатке // Проблемы современной сейсмологии: Голицынские чтения, 1981 г. М.: Наука, 1985, с 71-86.
12. Федотов, С.А., В.Д. Феофилактов, Е.И. Гордеев, В.А. Гаврилов, В.Н. Чебров. Развитие сейсмометрических наблюдений на Камчатке, Вулк. Сейсмол., № 6, 1987, с. 11-28.
13. Детальные сейсмологические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.97 - 31.12.97) // Отчет КОМСП ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 1998, 237 с.
14. Детальные сейсмологические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.00 - 31.12.00) // Отчет КОМСП ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 2001, 350 с.
15. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.2002 - 31.12.2002), Отчет КОМСП ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 2003, 476 с.
16. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.2003 - 31.12.2003), Отчет КОМСП ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 2004, 413 с.