

УДК 550.034.03

КИРГИЗСКАЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ KNET

Н.А. Сычева

Приведено описание киргизской сейсмологической сети KNET. Дана историческая справка, приведены сведения о местоположении и техническом обеспечении станции. Кратко описан процесс RTEХЕС, управляющий отдельными узлами сети.

Ключевые слова: станция; сеть; сейсмометр; землетрясение; система реального времени; программа.

KYRGYZ SEISMIC NETWORK KNET

N.A. Sycheva

The article presents description of the Kyrgyz seismological KNET network. Historical information is given, date on location and technical equipment station are provided. The process of RTEХЕС operating separate nodes of the network is briefly described.

Keywords: station, net, seismometer, earthquake, real time system, program.

Историческая справка. Киргизская широкополосная сейсмическая сеть (Kyrgyz net – KNET) была установлена в августе-сентябре 1991 г. как часть совместной Сейсмической программы США–СССР. Она явилась результатом совместных усилий ряда институтов, в частности Института геофизики и планетарной физики при Калифорнийском университете в г. Сан-Диего (IGPP-UCSD), Киргизского Института сейсмологии (КИС), Российского Института высоких температур (ИВТАН), российского Института физики Земли (ИФЗ), и университета штата Индианы.

Работа сети направлена на решение двух задач: определения сейсмической опасности; контроля над испытанием ядерного оружия [1, 2].

На момент создания сеть KNET являлась одной из важнейших в мире. Десять станций были оборудованы широкополосными сейсмометрами с 16-битными цифровыми преобразователями, которые предусматривают 90 db регистрируемого динамического диапазона. Важной особенностью сети является расположение станций на скальных породах, и принадлежность некоторых из них к самым бесшумным в мире. До установления сети KNET большинство станций в Центральной Азии работало на аналоговом оборудовании с ограниченными частотными характеристиками. Это позволяло решать небольшой круг задач: локализация сейсмических событий и составление каталога землетрясений, определение фокальных механизмов

очагов и других задач, не требующих сложных технологий.

Сеть была установлена вокруг г. Бишкек с целью обеспечения оперативной досягаемости станций при их обслуживании. Семь станций установлены в предгорьях Киргизского хребта (северная часть) и Чуйской долине, а три – в труднодоступных районах: Джумгальский хребет и юго-западная часть Суусамырской впадины. Расположение станций сети представлено на рисунке 1.

На первом этапе эксплуатации сети решалась технологическая задача – мониторинг поведения станций в местных климатических и географических условиях, отладка системы энергопитания станций и ретрансляторов, и определение надежности этих станций.

Согласно [3, 4], первый и второй год эксплуатации станций сети выявили много проблем технического и программного обеспечения, некоторые из них значительно снижали надежность работы системы, особенно в зимнее время года. Например, в 1993 г. надежность системы летом составляла около 80 % и падала до 50 % в холодное время года. Как выяснилось, основными причинами снижения этого показателя были:

- плохие погодные условия, при которых из-за малой мощности цифровых радиопередающих устройств резко ухудшалось прохождение радиосигналов вдоль выделенных трасс

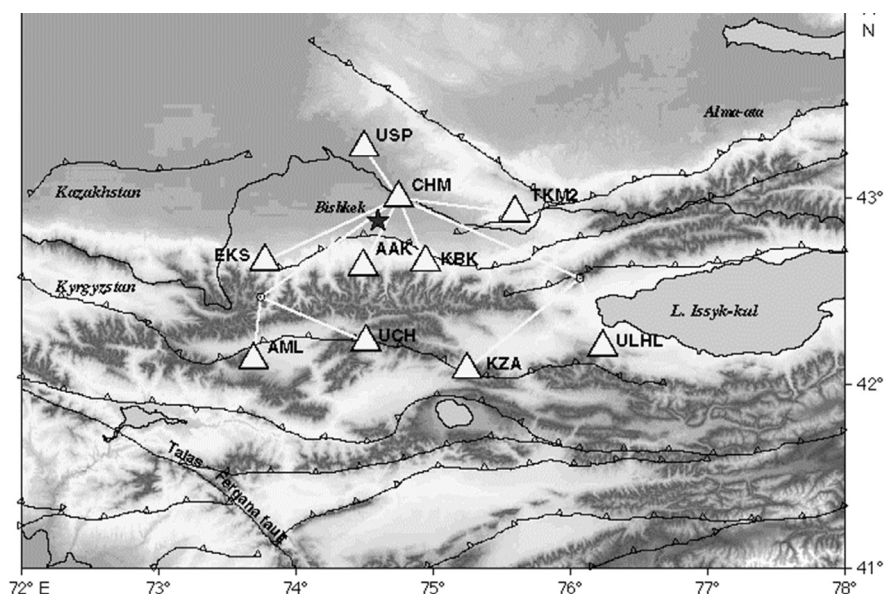


Рисунок 1 – Киргизская сейсмологическая сеть:
 Δ – станции сети. Черные линии – региональные разломы

что приводило к возрастанию телеметрических ошибок;

- понижение температуры, которое приводило к сбою и даже к прекращению работы центральной машины узла сбора сейсмических данных, расположенного на отрогах гор Кындыктас.

Также были установлены сбои в работе аппаратных средств системы, связанные с недоработкой программного обеспечения как в системе регистрации сейсмических данных на рядовых пунктах, так и в центре сбора данных. Такие сбои возникали в момент отключения электропитания. Для восстановления работоспособности системы необходимо было перезапускать ее вручную на станции или в центре сбора данных. Большие затраты были связаны с запуском системы, вызванные отключением ретрансляторов или высокогорных станций в связи с их труднодоступностью и экстремальными климатическими условиями их размещения.

Для решения накопившихся проблем был разработан ряд технических мероприятий, которые были реализованы в 1994 году. На всех легкодоступных станциях были переоборудованы антенные мачты, и подняты на высоту более шести метров все внешние устройства. На станциях, которые в силу климатических условий имели частые сбои по питанию, была усилена система энергообеспечения, в частности, установлены дополнительные солнечные панели и увеличен аккумуляторный буфер до 35 Ампер-часов. К двум станциям дополнительно подведена электрическая сеть.

Была модернизирована система энергопитания центра сбора данных, установлен резервный дизель-генератор с автоматическим запуском в случае отключения электросети, утеплено помещение, в котором располагается аппаратура, доработано программное обеспечение, обслуживающее центральную машину и СВЧ (сверхвысокочастотный) канал передачи данных в центр обработки. Все эти мероприятия позволили повысить надежность работы сети до 92–98 %.

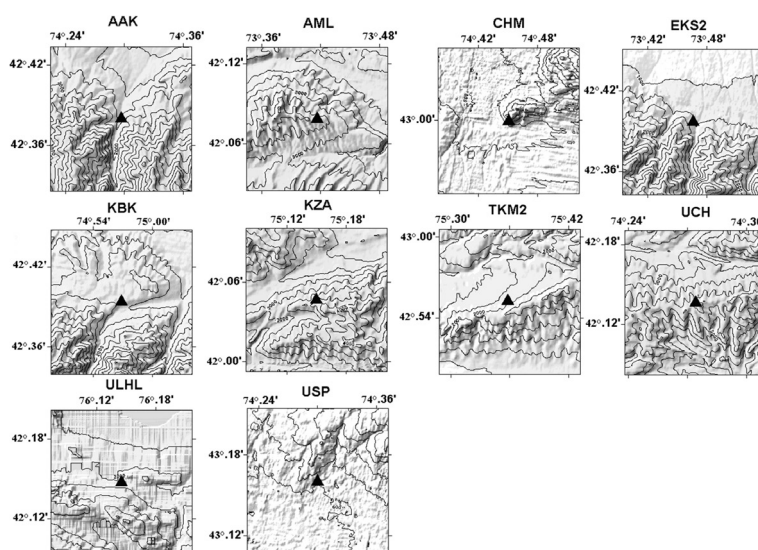
В 1994 г. в ИВТРАН от Калифорнийского университета была передана вычислительная машина типа *SUN SPARK LX* с программным пакетом *COLORADO* для обработки данных сети, которая позволила совместно со специалистами из ИФЗ приступить к полномасштабной обработке сейсмологических данных и детальному анализу сейсмического поля.

В 1995 г. проведена большая работа по модернизации станций сети, направленная на повышение их чувствительности. На всех станциях сети была установлена новая 24-разрядная аппаратура, позволявшая значительно расширить динамический диапазон регистрируемых сейсмических процессов (с 90 до 140 Дб). Это значительно повысило качество регистрации землетрясений и их обработку на ЭВМ, в том числе и слабых событий с $K < 5$. К концу 1995 г. в основном были закончены работы, связанные с отладкой телеметрической системы.

С июля 1998 г. сейсмологическая сеть *KNET* получила новое развитие, и начала работать в ре-

Таблица 1 – Станции сети *KNET* и некоторые их характеристики

Название	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Высота (км)	Населенный пункт, страна
<i>AAK</i>	42.6333	74.4944	1.6800	Ала-Арча, Кыргызстан
<i>AML</i>	42.1311	73.6941	3.4000	Алмаушу, Кыргызстан
<i>CHM</i>	42.9986	74.7513	0.6550	Чумыш, Казахстан
<i>EKS2</i>	42.6615	73.7772	1.3600	Еркин-Сай, Кыргызстан
<i>KBK</i>	42.6564	74.9478	1.7600	Карагай-Булак, Кыргызстан
<i>KZA</i>	42.0778	75.2496	3.5200	Кызарт, Кыргызстан
<i>TKM2</i>	42.9208	75.5966	2.0200	Токмак, Казахстан
<i>UCH</i>	42.2275	74.5134	3.8500	Учтор, Кыргызстан
<i>ULHL</i>	42.2456	76.2417	2.0400	Улахол, Кыргызстан
<i>USP</i>	43.2669	74.4997	0.7400	Успенровка, Казахстан

Рисунок 2 – Топографические карты местности расположения станций *KNET*

жиме реального времени. Модернизация системы позволила одновременно организовать передачу сейсмологических данных по каналу *ETHERNET* в *KIC* и на *НС РАН* (Научную станцию РАН – бывший *ИВТАН*). До 2001 г. данные параллельно поступали в *IGPP-UCSD*, а позднее стали поступать в сейсмологический центр *IRIS*. Передача сейсмологических данных через океан стала возможной благодаря организации канала *INTERNET* при поддержке фонда *CRDF*.

С мая 2003 г. сейсмологические бюллетени, полученные на основе данных *KNET*, участвуют в составлении каталогов *ISC* (International Seismological Center, United Kindom).

В конце 2005 г. по проекту *CRDF* (руководитель Л.М. Богомолов) было приобретено два Сервера Sun Fire V240, и LCD монитора Sony SDM-HS75, которые позволили перевести обработку данных на новый качественный уровень. Один

из серверов был установлен на центральном узле *CHM*, второй – на узле *НС РАН*.

С 2008 г. была прекращена финансовая поддержка обслуживания станций сети *KNET* со стороны *IRIS* и вся нагрузка по поддержанию работоспособности сети легла на *НС РАН*.

В настоящее время на *НС РАН* накоплен архив сейсмических записей за 1994–2014 гг. До 1999 г. данные хранятся на кассетных магнитных лентах и с 1999 г. на CD дисках. Общий объем данных составляет более 2 ТрБ.

Описание местоположения станций. Название станций сети, их координаты и высота расположения представлены в таблице 1. Название каждой станции определяется ее близостью к ближайшему населенному пункту на территории Киргизии или Казахстана: семь из них находятся в Киргизии и три расположены через границу в Казахстане.

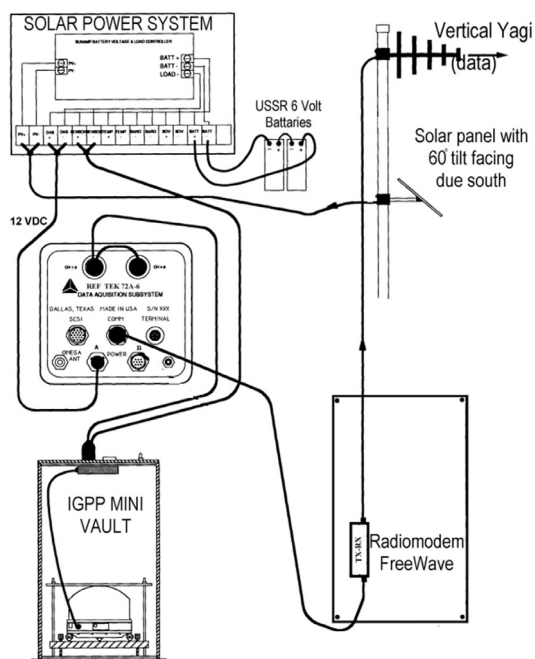


Рисунок 3 – Схема полевой станции и цифрового преобразователя REF TEK [5]

Топографические карты мест расположения станций представлены на рисунке 2 [5].

Техническое описание. Схема полевой станции, которая включает в себя: сейсмологический датчик STS-2 (Streckeisen), цифровую станцию REF TEK (Refraction Technology), солнечную энергетическую систему и радиомодем, представлена на рисунке 3. Эта система обеспечивает связь сейсмометра с центральным узлом сбора и хранения данных, расположенного на станции СНМ через цифровую радио-телеметрию.

Каждая станция расположена в пределах некоторого хранилища, содержащего большинство оборудования. Проект хранилища в пределах сети меняется, например, на станциях AML, UCH, KZA, ULHL, и TKM2 сейсмометры, цифровой преобразователь и радиооборудование находится в металлическом хранилище объемом приблизительно 2 м³, а на станциях EKS2, KBK, и USP находятся в яме, выкопанной на коренных породах. На станции СНМ сейсмометр находится в небольшом здании. На станции AAK сейсмометр расположен внутри штольни, длина которой составляет 75 м, причем там же на расстоянии 10 м расположена станция AAK мировой сети IRIS.

Из-за экстремальных погодных условий республики и расположения станций на большой высоте в горах (3500 м для UCH), температура в хранилищах может понижаться до -30°. Энергетиче-

ское питание станций осуществляется с помощью аккумуляторов (за исключением станций CHM), которые заряжаются от солнечных панелей.

Солнечные панели и радио-антенны для большинства станций установлены на вертикальных металлических креплениях, расположенных на высоте 10–20 метров от хранилища.

Сейсмологический датчик. Сейсмометры STS-2 генерируют выходное напряжение, пропорциональное скорости перемещения почвы и обладают широкополосной передачей, с диапазоном частот от 0.008 до 50 Гц. Внешний вид STS-2, его вид сверху (схематическое представление) и основные характеристики представлены на рисунке 4 [6].

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) датчика представлена на рисунке 5. Датчики внутри STS-2 организованы в четырехугольном порядке, и ортогональные компоненты электрически синтезируются от выходного сигнала датчика [7, 8]. Приборы STS-2 должны быть выровнены по уровню, т.к. они чувствительны к малейшему наклону.

Наклоненный прибор смещает массу датчика от центра, что передает смещение постоянным током на выходной сигнал, ухудшая и разрушая работу прибора. Можно повторно центрировать массу прибора вручную, нажав кнопку на сейсмометре, либо сделать это удаленно, используя терминал регистратора данных и телеметрическую связь.

Сейсмометры станций сети KNET вмонтированы внутри небольшого герметичного «мини-бункера», изготовленного из большой ПВХ (поливинилхлорид) трубы, который предназначен для минимизации колебаний движения воздуха и температурных колебаний. Он закреплен болтами и эпоксидным клеем к бетонному постаменту, установленному в коренной горной породе внешнего хранилища. Первоначальное выравнивание каждого «мини-бункера» производилось с помощью гироскопа, который был откалиброван с помощью визирной оптической трубы и ручного компаса Брайтона. Сверху «мини-бункера» находится устройство («host box»), поддерживающее связь с регистратором данных и подающее питание.

Цифровой преобразователь. Аналоговое выходное напряжение из сейсмометра преобразуется в цифровую форму с помощью модифицированного регистратора REF TEK72A-02 [9] с 24-битным цифровым преобразователем. Такие регистраторы были установлены на станциях сети в январе 1995 г. До 1995 г. данные регистрировались на двух уровнях усиления с помощью 16-битных цифровых преобразователей. До июня 1998 г. регистрировались два потока данных: ждущий поток при 100 отсчетах в секунду, и непрерывный поток при 40 отсчетах в секунду. Регистратор данных изначаль-

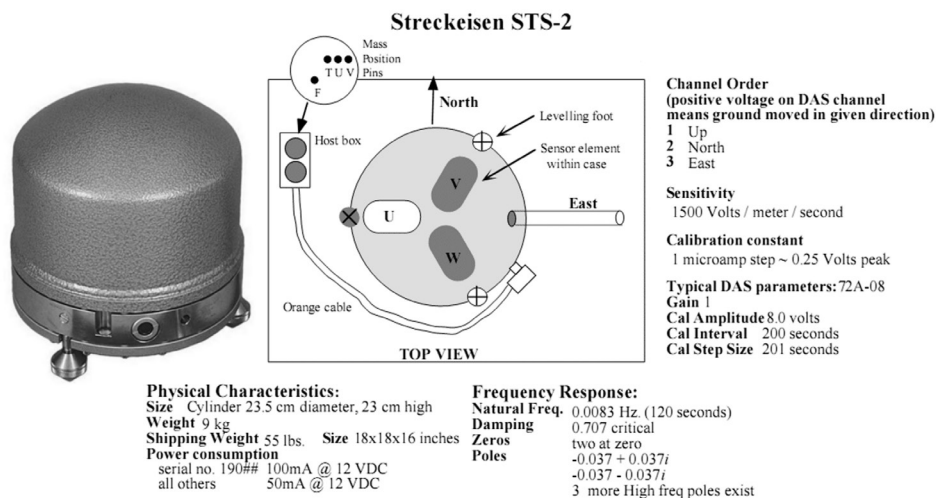


Рисунок 4 – Сейсмологический датчик STS-2 и его характеристики: слева – внешний вид; справа – вид сверху, схематическое представление

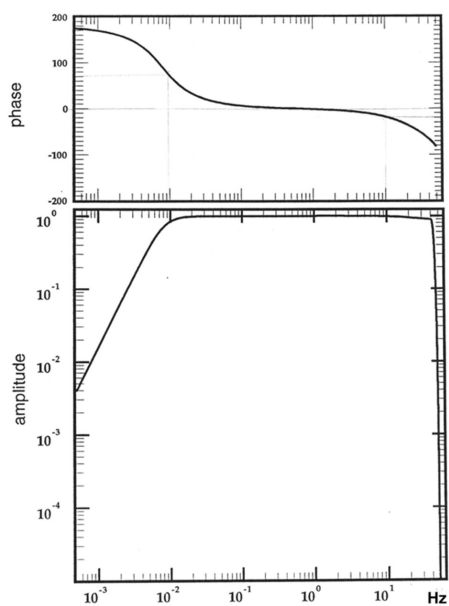


Рисунок 5 – АЧХ STS-2

но фильтрует поток данных с помощью фильтра защиты от наложения спектров, и отбирает данные с частотой 1000 отсчетов в секунду. Дополнительная цифровая фильтрация и децимация используется для уменьшения скорости выборки до наружной скорости 100 и 40 отсчетов в секунду. В настоящее время регистрируются три потока данных: с частотой 100, 40 и 1 Гц (с июня 1998 г.). Регистратор данных первоначально фильтрует поток данных низкочастотным фильтром сглаживания, и производит выборку данных с частотой 1000 Гц. Дополни-

тельная цифровая фильтрация и уменьшение частоты сигнала применяются для получения желательных частот 100, 40 и 1 Гц.

Регистраторы данных REF TEK сети KNET были существенно модифицированы. Кроме оцифровки сигнала регистратор данных также сжимает данные и делит их на пакеты с временными метками для радиотелеметрии и коммуникации маркеров с основным реле, расположенным на станции CHM. Каждый исходящий пакет данных также содержит информацию о параметрах состояния оборудования, например, уровень зарядки аккумуляторов, подсчет телеметрических ошибок и т.д. Регистратор данных также обрабатывает входные пакеты команд от сетевого центрального реле. Эти пакеты содержат информацию о синхронизации, а также любые команды для сейсмометра, такие как центровка масс и калибровка.

Передача данных. Данные из регистратора передаются на радиомодем и передатчик и затем отсылаются на центральное реле сети – станцию CHM, используя цифровую радиорелейную линию. Станция CHM не использует радиосвязь, т. к. она имеет кабельное соединение с центральным реле. В радиосвязи используются частоты между 160 и 170 МГц, а мощность передатчика составляет 1–5 Ватт. Связь является двунаправленной: станция отправляет данные на одном канале и принимает команды (включая время) на другом. Два канала используют ортогональную поляризацию (вертикальную и горизонтальную), а также различные частоты, чтобы минимизировать помехи между отсылаемыми данными и принимаемыми командами. Узкополосный режекторный фильтр позволяет

отделять маломощный входной сигнал от исходящего потока данных. Поскольку четыре из десяти станций лежат за высокими горами, что блокирует радиосвязь в пределах прямой видимости, то для передачи данных используются ретрансляторы. Ретрансляторы восстанавливают и ретранслируют сигналы. Сеть *KNET* использует те же ретрансляторы, что и система телевидения Киргизии. Станции *AML* и *UCH* подключены через «Северный» ретранслятор, а *KZA* и *ULHL* для передачи данных используют «Восточный». Местоположение ретрансляторов обозначено кружками на рисунке 1.

Как было отмечено выше, потеря сигналов телеметрии была проблемой в первые два года работы сети. Эти проблемы были решены модификациями радиоканала и ретрансляторов. Проблемы телеметрии характерно вызывают промежутки в данных длиной в одну секунду, и эти промежутки могут быть различными для каждой станции сети.

Система реального времени. Технология реального времени была разработана в 1997 году. Ее авторы: Дэни Харвей, Диниель Куилиан и Френк Вернон [10]. Программное обеспечение, разработанное для управления процессом реального времени называется *Antelope Real-Time System (ARTS)*, и носит имя самого быстрого млекопитающего Земли в Западном полушарии. Это животное может передвигаться со скоростью около 90 км/час в течение нескольких часов и имеет чрезвычайно острое зрение [<http://www.brtt.com/about.html>].

Antelope – интегрированная коллекция программ для сбора и сейсмического анализа данных, и типично выполняется на машине в среде *UNIX* под операционными системами *Solaris*, *Linux*, *X86* и др. Она имеет открытую архитектуру с обширной документацией внутренних интерфейсов. Система реального времени *Antelope* построена вокруг гибкого, неразрушающегося кольцевого буфера. Модули сбора данных общаются с регистрирующими устройствами и с выходными данными через кольцевой буфер. Протокол кольцевого буфера обеспечивает удобный подход для импортирования и экспортирования данных. В режиме реального времени программы читают входные данные из него и пишут в него результаты работы. Например, дискриминатор читает данные из буфера и регистрирует время скачков в сейсмической записи. Ассоциатор читает эти данные и обеспечивает предварительное определение местоположения события.

В основе *ARTS* лежит обработка реляционной базы данных. Волновые формы, данные локаций событий и другая информация сохраняются из кольцевого буфера в базу данных. Аналитик, просматривая базу данных, может запускать соответ-

ствующие задачи для дальнейшей обработки в режиме реального времени.

Пакет *Antelope* представляет собой не только комплекс программ, но также является средой проектирования, которая содержит обширную документацию (богатый набор библиотек; компиляторы *C*, *tcl/tk*, и язык *Perl*, общие интерфейсы для кольцевого буфера и базы данных, обширные библиотеки форматирования/восстановления пакета данных, написанные на языке высокого уровня). Это позволяет разрабатывать специализированное программное обеспечение. К примеру, часть программ *Antelope* была разработана ее пользователями.

На рисунке 6 представлена блок-схема сбора и передачи данных от станций сети до конечного пользователя, работающая в режиме реального времени. На схеме обозначены названия пунктов установки сейсмографов, данные с которых по радиоканалу поступают на ретрансляторы, а далее на концентратор *DC* (*Data Concentrator*), который отправляет полученные пакеты на центральную машину сбора данных, установленную на станции *CHM*. Далее эти пакеты записываются в буфер, организованный в виде кольцевой очереди. Замкнутость буфера обеспечивает непрерывное хранение информации в течение некоторого времени. Размерность кольцевого буфера устанавливается пользователем, и его размер зависит только от ресурсов компьютера. На станции *CHM* размерность буфера составляет 1Гб, что достаточно для хранения сейсмологической информации, полученной с десяти станций за время, приблизительно равное трем суткам. Ряд процессов, работающих на рабочих станциях *CHUMYSH* (*CHM*) и *RS RAS* (*HC PAH*) под управлением операционной системы *SOLARIS 2.8*, составляют основу комплекса по автоматической передаче, обработке и записи данных в формате *rtl.0*. Программы, реализующие управление этими процессами, входят в состав лицензионного пакета *Antelope*.

Диаграмма, представленная на рисунке 7, показывает типичную реализацию системы реального времени, которая демонстрирует связи, начиная от потоков данных с отдаленных полевых станций через *ARTS* до архивирования информации. Потоки данных инициализированы в пределах полей от индивидуальных полевых цифровых преобразователей. Типичный пример конфигурации сейсмического полевого места представлен на рисунке 3, где цифровой преобразователь является источником цифровых сейсмических данных. Полевые станции общаются с одним или более программными модулями интерфейса поля *ARTS*, работающими на центральном узле обработки. Модуль полевого интерфейса управляет одним или более полевых циф-

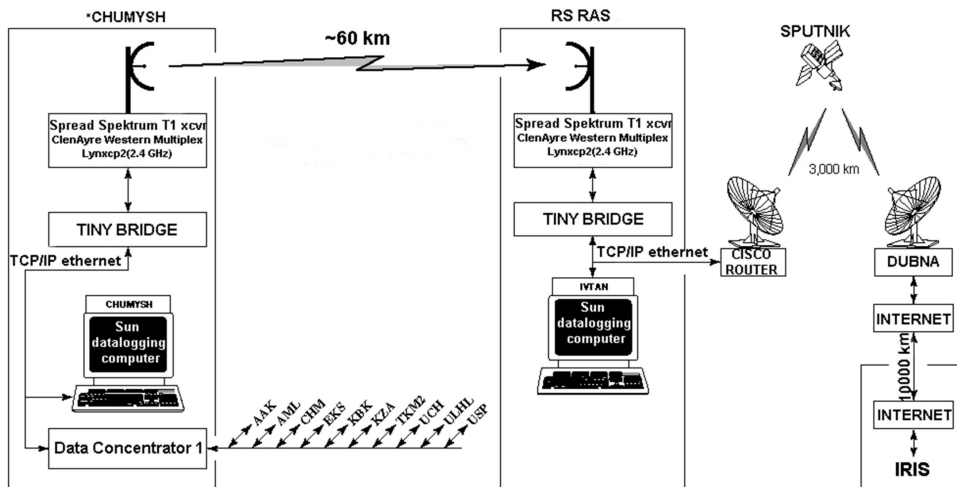


Рисунок 6 – KNET система реального времени

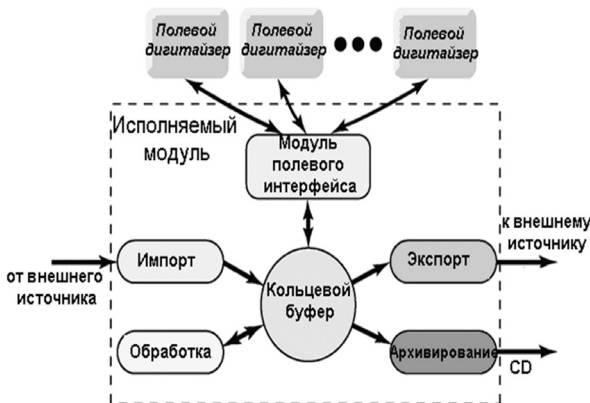


Рисунок 7 – Система Antelope передачи потока данных в режиме реального времени

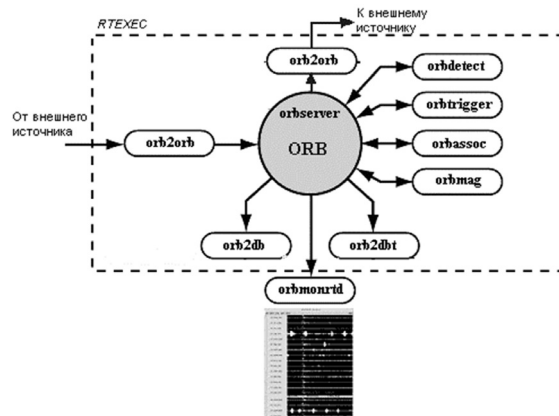


Рисунок 8 – Структура процесса RTEXC на Научной станции РАН

ровых преобразователей через множество физических связей. Кольцевой буфер, представленный в центре диаграммы, характеризуется следующими свойствами:

- клиент-серверный подход управления;
- параллельность процессов чтения и записи;
- клиентами могут быть те, кому доступна сеть;
- пакеты данных могут иметь любой размер, формат, информационное наполнение;
- очень устойчивый и безошибочный.

На каждом узле системы (рисунок 6) работает процесс RTEXC [10], который представляет собой ряд параллельных подпроцессов, управляемых программами пакета Antelope. Диаграмма взаимодействия программ с кольцевым буфером, работающих в процессе RTEXC на сервере НС РАН, представлена на рисунке 8. Информация от сейс-

мических станций передается пакетами, и каждый пакет включает заголовок, который содержит название узла, время и т. д.

Программа orbserver выполняет процесс взаимодействия с кольцевым буфером, который располагается в центре. Связь между двумя серверами (узлами) обеспечивает подпроцесс orb2orb (транспортирует данные из одного кольцевого буфера до другого). Программа orb2db читает данные из кольцевого буфера и создает непрерывную базу данных, orbdetect представляет собой многочастотный датчик STA/LTA (Short Time Average over Long Time Average), orbtrigger реализует триггерный алгоритм системы, orbassoc – ассоциатор/локатор, определяющий местоположение сейсмического события и поиск его регистрации в других источниках, orbmag вычисляет магнитуду события в режиме реального времени.

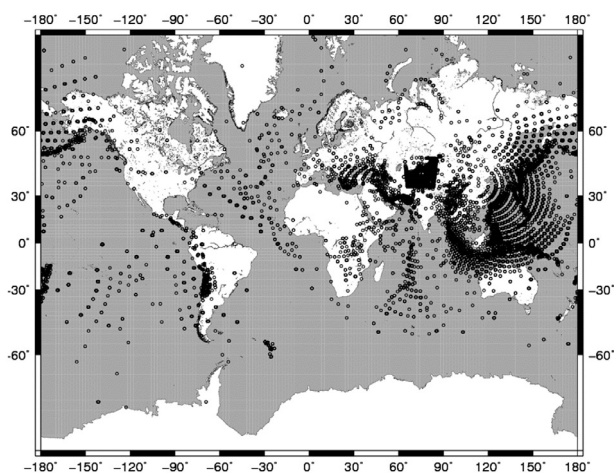


Рисунок 9 – Эпицентральное расположение землетрясений, зарегистрированных сетью KNET за 1998–2007 гг.

Все клиенты сервера разделены на информационные (которые предоставляют информацию), и клиентов, которые читают эту информацию и проводят сейсмологическую обработку. Каждая работающая программа создает файл системного журнала, в котором записывается информация о запуске и качестве управления программой. Программы процесса *RTEXEC* при запуске используют *pf*-файлы с априорно установленными параметрами, которые может настраивать пользователь.

Автоматическое определение параметров гипоцентров. При обработке сейсмограмм процесс реального времени *RTEXEC* позволяет автоматически определять параметры землетрясений, которые регистрируются станциями сети. Время прихода *P*-волны на станцию определяет программа *orbdetect*, которая пишет в *arrival* (прибытие) таблицу базы данных. Эти записи из таблицы в дальнейшем используются при автоматической локализации события. При расчете гипоцентров землетрясений используется простой двухслойный годограф, описывающий среду прохождения сейсмических лучей. Результаты локализации пишутся в таблицу *origin* (источник) базы данных.

Станции сети KNET позволяют регистрировать не только локальную сейсмичность, но и далекие сильные события. На рисунке 9 представлено эпицентральное расположение всех сейсмических событий, зарегистрированных сетью за 1998–2007 гг. Обращают на себя внимание расположение некоторых сейсмических событий вдоль радиальных линий, что указывает на систематическую ошибку определения их положения, поэтому, для далеких землетрясений автоматическую обработку можно использовать только как факт фиксации события и его приблизительное местоположение.

В районе расположения сети на рисунке 9 наблюдается плотная область локальных землетрясений. В дальнейшем эти события обрабатываются дополнительно в интерактивном режиме для уточнения их параметров.

Уточнение гипоцентров локальных событий. Чем больше фаз (*P*- и *S*-волны) участвует в определении гипоцентра, и чем точнее скоростная модель литосферы, используемая при расчетах, тем точнее определяются параметры гипоцентра землетрясения.

В интерактивном режиме уточнение параметров гипоцентров включает в себя два этапа: первый – уточняется время прихода *P*-волны и определяется время прихода *S*-волны на станцию, которые не фиксируются при автоматической обработке; второй – пересчет параметров гипоцентра на основе полученных данных. На первом этапе используется программа *Dbpick*, на втором – *Dbloc2*, входящие в пакет *Antelope*.

В качестве входных данных программа *Dbpick* используются волновые формы (*SEED* формат) и таблицы базы данных (*wfdisc*, *arrival*, и др.), формируемые автоматическим режимом обработки. *Dbpick* позволяет отображать волновые формы и время прихода *P*-волны на станцию, полученные автоматическим режимом обработки, и позволяет аналитику устанавливать метки прихода *S*-волны на станцию и определять ее параметры: амплитуду и фазу. Сложность построения дискриминатора определения прихода *S*-волны не позволяет определять ее прибытие автоматически, человеческий глаз с этой задачей справляется быстрее и надежнее. При выходе программа редактирует существующие и добавляет новые записи о временах прихода *S*-волны в таблицу *arrival* базы данных. При редактировании программа меняет автора записи в поле *автор*: если после автоматической обработки в таблице *arrival* автором записи была программа *orbassoc*, то после ручной обработки автор меняется на *dbp:rt*.

Программа *Dbloc2* в качестве входных данных использует отредактированную *arrival* таблицу, вычисляет новые значения параметров гипоцентра события и также редактирует записи в таблице *origin*. Если автором автоматической обработки является *orbassoc*, то после ручной обработки он меняется на *IVTAN:rt*. Программа *Dbloc2* при расчете параметров гипоцентра позволяет подключать годограф, описывающий локальную среду, поэтому при редактировании таблицы *origin* меняется не только автор записи, но и тип модели с *gridassoc* на *locsat:kyrhgyz*.

В процессе обработки сейсмических данных сети KNET было установлено, что данная система

позволяет хорошо регистрировать не только локальную сейсмичность (в режиме непрерывных записей с класса 5 и выше), но и удаленные большие сейсмические события. Сопоставление результатов обработки сейсмических событий, зарегистрированных этой системой, с данными мировой сейсмической сети показало их хорошую совместимость. Полученные результаты позволили сделать вывод, что данная сеть является уникальным инструментом для проведения различных сейсмологических исследований.

В настоящее время сейсмические данные с сети KNET активно используются многими исследователями из разных стран. Темы исследований включают: распределение сейсмической скорости и строение структур Тянь-Шаня и Центральной Азии [11, 12]; градуировочные записи для изучения распространения сейсмических волн [13, 14]; исследования, связанные с возможностью контроля ядерных взрывов и изучения порога обнаружения [15, 16]; исследования глубинных структур Земли; изучение механизмов очагов и многое другое.

В исследованиях по геодинамике, проводимых Научной станцией РАН, сейсмические данные принимались во внимание при интерпретации результатов электромагнитного мониторинга, измерений движений земной поверхности методом космической геодезии, анализе геоэлектрической структуры на основе магнитотеллурического зондирования и т. д.

Литература

1. *Vernon F.* Kyrgyzstan seismic telemetry network, IRIS newsletter / F. Vernon. 1992. XI. 1. P. 7–9.
2. *Vernon F.* The Kyrgyz seismic network. IRIS newsletter. 1994. XIII. 2 / F. Vernon. P. 7–8.
3. *Зейгарник В.А., Трапезников Ю.А., Брагин В.Д.* Отчет за 1994 г. по теме: «Научное и техническое обслуживание Кыргызской сейсмической телеметрической сети» / В.А. Зейгарник, Ю.А. Трапезников, В.Д. Брагин. Научная станция РАН в г. Бишкеке, Объединенный институт высоких температур. 7 с.
4. *Трапезников Ю.А.* Отчет о проведенных научно-исследовательских работах в пределах Бишкекского прогностического полигона на базе автономной сети цифровых телеметрических сейсмологических станций в 1995 г. / Ю.А. Трапезников. Бишкек, 1995. Научная станция РАН в г. Бишкеке, Объединенный ин-т высоких температур. 4 с.
5. *Mellors R. John.* Two studies in Central Asian seismology: a teleseismic study of the Pamir / HinduKush seismic zone and analysis of data from the Kyrgyzstan broadband seismic network / R. John Mellors // Submitted to the faculty of the Graduate School in partial fulfillment of the requirements for the degree Doctor of Philosophy in the Department of Geological Sciences Indiana University June, 1995.
6. <http://www.passcal.nmt.edu/>
7. *Streckeisen (STS-2) manual, Portable very broad-band triaxial seismometer*, G. Streckeisen, Pfungen, Switzerland, 1990.
8. *Wielandt E. and Streckeisen G.* The leaf-spring seismometer: design and performance / E. Wielandt and G. Streckeisen // Bull. Seismo. Soc. Amer., 72. 1982. P. 2349–2367.
9. <http://www.reftek.com>
10. <http://www.brtt.com>
11. *Mellors R.J., Vernon F.L., Pavlis G.L., Abers G.A., Hamburger M.W., Ghose S., and Iliasov B.* An evolutionary programming method for estimating layered velocity structure / R.J. Mellors, F.L. Vernon, G.L. Pavlis., G.A. Abers, M.W. Hamburger, S. Ghose and B. Iliasov // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1997. V.87. No.1. P. 11–22.
12. *Ghose S., Hamburger M.W., Virieux J.* Three-dimensional velocity structure and earthquake locations beneath the northern Tien Shan of Kyrgyzstan / S. Ghose, M.W. Hamburger, J. Virieux // J. Geophys. Res. 1998. V.103. P. 2725–2748.
13. *Pavlis G.L., H. Mahdi, F.L., Vernon F.L.* Surface Wave Propagation in Central Asia: Observations of Scattering and Multipathing with the Kyrgyz Broadband Array / G.L. Pavlis, H. Mahdi, F.L. Vernon // Proceedings 16th Annual Seismic Research Symposium. 1994. P. 291–297.
14. *Levshin A.L. and Ritzwoller M.H.* Characteristics of surface waves generated by events on and near the Chinese nuclear test site / A.L. Levshin, and M.H. Ritzwoller // Geophys. Journal. 1995. 123. P.131–148.
15. *Vernon F.L., Mellors R., Thomson D.* Broadband Signal Enhancement of Seismic Array Data: Applications to Long-period Surface Waves and High-frequency Wavefields / F.L. Vernon., R. Mellors, D. Thomson // Proceedings 17 Annual Seismic Research Symposium 1995. 17. P. 807–814.
16. *Mahdi H. and Pavlis G.L.* Velocity variations in the crust and upper mantle beneath the Tien Shan inferred from Rayleigh wave dispersion: Implications for tectonic and dynamic processes / H. Mahdi and G.L. Pavlis // J. Geophys. Res. 1998. V.103. No.2. P. 2693–2703.