



К.ф.-м.н.,
директор Геофизической
службы РАН
О.Е. Старовойт

Инструментальные сейсмические наблюдения в России*

О.Е. Старовойт

Приведена краткая история развития инструментальных сейсмических наблюдений в СССР и России. Рассматриваются современное состояние сейсмических наблюдений и обработки данных в Российской академии наук и направления развития телесеизмических и региональных сетей. Описана схема функционирования службы срочных донесений о сильных и разрушительных землетрясениях.

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РАН

При организации Геофизической службы в основу были положены следующие принципы:

- служба должна объединить и координировать работу всех опытно-методических экспедиций и партий Российской академии наук, т.е. должна быть создана единая система сейсмических наблюдений страны;
- служба, решая задачи служебного характера (непрерывное производство наблюдений, регулярная обработка данных, издание каталогов и бюллетеней и функционирование службы срочных донесений и прочее), обеспечивает фундаментальные исследования в области наук о Земле экспериментальными данными и работает по планам, согласованным с научно-исследовательскими институтами РАН;
- служба взаимодействует с международными и национальными сейсмологическими центрами с целью обмена данными и интегрирования в мировую систему сейсмических наблюдений;
- служба имеет статус самостоятельной юридической организации.

На Геофизическую службу были возложены следующие основные задачи:

- научные исследования в области сейсмического мониторинга твердой Земли, включая разработку и развитие методов и средств производства, сбора и обработки сейсмологических данных;
- обеспечение непрерывного сейсмического мониторинга территории России и отдельных ее регионов для сейсмического районирования и прогноза землетрясений с оперативным оповещением центральных и местных органов исполнительной власти и заинтересованных ведомств и организаций о

землетрясениях и возможных последствиях прогнозируемых землетрясений;

- организация и проведение наблюдений за подводными землетрясениями в районах Тихого океана и своевременное определение вероятности возникновения цунами в результате этих землетрясений;
- обеспечение исследований, проводимых в научно-исследовательских институтах РАН, данными сейсмологических и геофизических наблюдений для решения фундаментальных задач науки о Земле;
- обеспечение участия Российской академии наук в международных сейсмологических проектах и в глобальной системе сейсмологических наблюдений;
- организация банка сейсмологических данных, обеспечение межрегионального и международного обмена геофизической информацией;
- оперативное взаимодействие с организациями Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий и ведомственными службами, входящими в состав Федеральной службы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений.

Существующая структура Геофизической службы представлена на *рис. 1*.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ СЕТЬ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

В состав сейсмической сети Российской академии наук входит более 150 сейсмических станций и 10 центров сбора и обработки данных (*рис. 2*). Сеть имеет трехуровневую структуру: телесеиз-

* Окончание. Начало см. в журнале «Вестник ВНИЦ» в № 4, 2004 г.



Рис. 1. Структура Геофизической службы РАН (ГС РАН).

мический, региональный и локальный уровни [Старовойт, 1994].

В состав сейсмической сети любого уровня входят сейсмические станции, каналы передачи данных и центр сбора и обработки информации.

Локальные наблюдения проводятся на территориях порядка 100×100 кв. км, чаще всего охватывают прогностические полигоны и должны обеспечивать изучение сейсмичности с магнитудой $M=1.0-2.0$ и более.

Региональные сети расположены в сейсмоактивных регионах типа Камчатки, Сахалина, Северного Кавказа, Байкала и т.п. Они охватывают территории порядка миллиона квадратных километров и должны регистрировать землетрясения с магнитудами $M=2.0-3.0$ и более.

Телесеismicкая сеть РАН покрывает всю территорию России, контролирует ее сейсмичность с магнитудного уровня $M=3.0-4.0$ и более и является важным компонентом глобальных сейсмических наблюдений на земном шаре. Однако существующие сети РАН еще не обеспечивают в полном объеме регистрацию землетрясений с соответствующими магнитудными уровнями.

Сети всех трех уровней тесно увязаны между собой и дополняют друг друга, и для эффективной их работы необходима надежная информационная связь между ними.

Телесеismicкая сеть

Телесеismicкая сеть является базовой сетью для контроля над сейсмичностью России в оперативном и текущем режимах.

Наблюдения на станциях телесеismicкой сети должны проводиться с помощью цифровой широкополосной сейсмической аппаратуры, с достаточными частотным и динамическим диапазонами регистрации, чтобы обеспечить регистрацию землетрясений в широком диапазоне магнитуд на телесеismicких расстояниях от очага.

Станции связаны с центром сбора и обработки данных межкомпьютерными каналами, по которым непрерывные наблюдения передаются непосредственно в этот центр в режиме, близком к реальному времени. Станции телесеismicкой сети должны равномерно покрывать территорию России со средним расстоянием между ними от 500 до 1000 км.

Как было сказано выше, работы по оснащению сейсмических станций России цифровой аппаратурой были начаты в 1988 г. в рамках международного соглашения с Корпорацией научно-исследовательских институтов США по сейсмологии (IRIS) [Старовойт, Чернобай, 1994].

За прошедшие десять лет эти работы получили развитие и в настоящее время проводятся в соответствии с соглашением между Правительствами

Российской Федерации и США о научно-техническом сотрудничестве.

Совместными усилиями российских и американских сейсмологов на 12 российских станциях (Обнинск, Кисловодск, Ловозеро, Аркти, Норильск, Талая, Южно-Сахалинск, Якутск, Тикси Петропавловск-Камчатский, Магадан, Билибино) в режиме непрерывной эксплуатации работает современная цифровая сейсмическая аппаратура, составляющая основу российской телесеismicической сети (рис. 3). Одновременно эти станции являются станциями глобальной цифровой сейсмической сети и участвуют в сейсмическом мониторинге всего земного шара.

Это широкополосные сейсмометры, обеспечивающие регистрацию сейсмических волн в частотном диапазоне от 0,003 до 5,0 Гц. Большая часть станций оснащена, кроме того, короткопериодными датчиками, расширяющими частотный диапазон регистрации в сторону высоких частот, до 40 Гц. Регистрация сейсмических колебаний производится на магнитный носитель в цифровом виде. Динамический диапазон регистрации 120–140 дБ позволяет записывать в ближней зоне без искажений колебания почвы при землетрясениях с магнитудами от 1–2 до 7–8. Оборудование станций позволяет передавать данные в режиме, близком к реальному времени, в центр сбора и обработки, который должен быть оснащен современными средствами анализа сейсмических данных и передачи-приема информации.

В последнее время это сотрудничество расширилось, и в 1999 г. в межправительственное российско-американское соглашение включены работы по созданию в России сети наблюдений деформаций земной коры методами спутниковой геодезии. На сейсмических станциях планируется установка приборов GPS, обеспечивающих непрерывный мониторинг координат земной поверхности в месте установки приборов. Таким образом, на сейсмической сети будут синхронно проводиться геодезические измерения, что позволит создать единую сеть мониторинга геодинамических процессов.

Результаты внедрения цифровой технологии сейсмических наблюдений и обработки данных наиболее ярко видны в повышении эффективности работы службы срочных донесений.

Служба срочных донесений

Напомним, что задача службы срочных донесений (ССД) о сильных и ощутимых землетрясениях прежде всего состоит в том, чтобы обеспечить правительственные организации страны и другие за-

интересованные учреждения информацией об основных параметрах происшедших землетрясений (время возникновения, координаты эпицентра, глубина очага, ощутимость в баллах, разрушительные последствия) для принятия, в случае необходимости, срочных мер по оказанию помощи пострадавшим районам, спасению жизни людей, ликвидации последствий стихийного бедствия. Поэтому быстрота сбора и обработки данных наблюдений имеет приоритетное значение в этой работе.

Вначале в работе ССД использовались до 10 сейсмических станций с аналоговой системой регистрации. Сбор станционных данных осуществлялся по телефонным каналам с правом их приоритетного использования для передачи сейсмической информации. Обработка данных и определение основных параметров землетрясения занимала несколько часов.

Внедрение в телесеismicическую сеть цифровой технологии коренным образом изменило работу ССД. На рис. 4 приведена схема обработки сейсмических данных в информационно-обрабатывающем центре (ИОЦ) Геофизической службы РАН в г. Обнинске. Технические средства ССД входят в локальную компьютерную сеть информационно-обрабатывающего центра.

Станции цифровой телесеismicической сети передают данные в центр в режиме, близком к реальному времени. Эти данные поступают в течение первых 10–25 минут после начала землетрясения с 17 станций, в том числе с 8 станций на пульт ССД поступают непрерывные записи, которые оператор постоянно наблюдает на мониторе, и с 9 – фрагменты записи (волновые формы), поступающие к оператору по системе автоматического запроса данных со станций.

Непрерывные данные в постоянном режиме поступают с российских и зарубежных станций по выделенным телефонным каналам связи и по каналам Интернета. Для получения волновых форм в режиме автоматического запроса используются каналы Интернета.

Наличие цифровых и ряда аналоговых данных позволяет оператору ССД произвести их совместную сводную обработку и в течение первых 10–30 минут после начала землетрясения предварительно определить гипоцентр землетрясения и в случае необходимости объявить тревогу, немедленно передав сообщение в оперативную службу и в Агентство по мониторингу МЧС РФ.

В дальнейшем процесс сбора и обработки станционных данных продолжается.

Кроме данных российских станций, в обработку включаются данные дополнительных зарубежных станций, распространяемые по каналам Интернета или имеющие адресную рассылку.

Наиболее полный объем станционных данных содержится в сообщениях национального центра информации о землетрясениях США (NEIC). Этот центр собирает и обрабатывает данные глобальной цифровой сети (более 100 сейсмических станций) сначала в автоматическом, а затем в интерактивном режиме и одновременно публикует основные параметры очагов землетрясений.

В первые часы после землетрясения начинают приходить результаты определения местоположения землетрясения, полученные другими зарубежными региональными и национальными сетями.

На основе информации, собранной и обработанной в течение первых 2–3 ч после землетрясения, ССД формирует срочное донесение, в котором приводятся более точные данные о параметрах очага и дополнительные сведения о макросейсмических последствиях.

Полученное в результате этого этапа обработки срочное донесение адресно направляется по электронной почте в организации МЧС РФ, в региональные сейсмологические центры в России (опытно-методические экспедиции и партии Геофизической службы РАН) и в странах СНГ, в заинтересованные государственные организации России и в международные центры.

Кроме того, ССД накапливает информацию о землетрясениях в базе данных и помещает ее в режиме постоянного обновления на странице информационной службы WWW (<http://www.ceme.gsras.ru>).

Последующий этап обработки в режиме ССД осуществляется в течение первых суток после сильного, разрушительного землетрясения. Более глубокая обработка всей совокупности собранных станционных данных, включая спектральный анализ первых вступлений, позволяет уточнить положение гипоцентра, время в очаге, рассчитать механизм очага и оценить сейсмический момент землетрясения. Кроме того, приводятся данные об исторической сейсмичности в районе происшедшего землетрясения, помещаются более полные и уточненные данные о макросейсмических последствиях, приводятся первые каталоги афтершоковой активности. Все эти данные представляются в виде «Информационного сообщения о землетрясении», рассылаются в организации МЧС РФ, в Федеральный центр прогноза землетрясений ГС РАН и помещаются на странице информационной службы WWW (<http://www.ceme.gsras.ru/1251/Main.htm>).

Региональная и локальная сети

Развитие региональных сейсмических сетей происходит по двум основным направлениям.

Первое направление состоит в простом увеличении числа станций на территории, контролируемой региональной сетью с передачей информации с каждой станции в региональный центр сбора и обработки информации. Каждая региональная станция оснащается широкополосной цифровой аппаратурой, которая аналогична аппаратуре, устанавливаемой на станциях телесеismicкой сети.

Второе направление состоит в том, что региональная сейсмическая сеть формируется путем объединения ряда локальных сетей, покрывающих всю территорию, контролируемую региональной сетью. При этом создается единая компьютерная сеть, соединяющая каждый центр локальных сетей с центром региональной сети. Сейсмические станции, расположенные в центрах локальной сети, должны быть оснащены аппаратурой, аналогичной аппаратуре, устанавливаемой на станциях телесеismicкой сети. Станции или пункты наблюдений локальной сети могут быть оснащены более простой и экономичной короткопериодной аппаратурой (возможно, только вертикальными компонентами). Последняя форма организации региональной сети в значительной степени реализована на Камчатке.

На Камчатке уже созданы три локальные сети с радиотелеметрической системой сбора станционных данных (Петропавловская, Козыревская и Ключевская), создающие основу региональной сети Камчатки [Гордеев..., 1998]. В состав Петропавловской сети входит 15 станций, Козыревской сети – 4 станции и Ключевской – 6 станций. На всех станциях установлены трехкомпонентные короткопериодные сейсмометры. В каждом центре локальной сети ведется сбор станционных данных, осуществляется контроль за работой станций, регулярно калибруются сейсмические каналы. Оперативный доступ к текущим данным осуществляется через локальную сеть или сеть Интернет. Все три локальных центра связаны по межкомпьютерным каналам с региональным центром в г. Петропавловск-Камчатский (рис. 5).

В региональном центре ежедневно производится определение местоположения гипоцентров землетрясений и выпускается оперативный сейсмологический бюллетень по району Камчатки и Командорских островов. Бюллетень помещается в базу данных и доступен всем сейсмологам.

Таким образом, впервые в России создана автоматическая региональная сеть сейсмических наблюдений и оперативной обработки данных, базирующаяся на трех локальных сетях. Принципиально важно то, что созданная система обеспечивает три уровня доступа к материалам наблюдений и обработки данных:

- цифровые записи землетрясений и результаты сводной обработки (бюллетени и каталоги) постоянно поступают в созданную в региональном центре оперативную базу данных, к которой организован свободный доступ пользователей через локальную вычислительную сеть;
- бюллетени и каталоги оперативно поступают на Web-сервер глобальной сети Интернет, что делает эти данные доступными широкой сейсмологической общественности;
- срочные донесения о сильных землетрясениях на Камчатке в режиме, близком к реальному времени, и передача информации в органы местной администрации, МЧС РФ и Роскомгидроме-

та РФ позволяет существенно повысить эффективность цунами-службы и оперативность оказания помощи районам, пострадавшим от землетрясений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Российской академии наук создана и функционирует в служебном режиме современная система сейсмических наблюдений. Установлено ее взаимодействие с международными и национальными сейсмическими центрами для глобального сейсмического мониторинга и повышения эффективности мониторинга территории России.

Развитие сейсмических сетей в России направлено на создание дополнительных станций и оснащение их современными цифровыми средствами регистрации и обмена данными; на развитие информационно-обрабатывающих центров; на широкое использование телекоммуникационных средств передачи данных и доступа к ним с целью повышения оперативности обработки наблюдений и издания сейсмологических каталогов и бюллетеней.

Литература

1. **Кирнос Д.П., Харин Д.А., Шебалин Н.В.** История развития инструментальных наблюдений в СССР // *Землетрясения в СССР*. – М.: Издательство АН СССР, 1961. С. 9–66.

2. **Кондорская Н.В.** Развитие сейсмических наблюдений и их интерпретация в СССР // *Проблемы современной сейсмологии. Голицынские чтения. 1981 г.* – М.: Наука, 1985. С. 28–47.

3. **Старовойт О.Е.** Сейсмическая сеть Российской Академии наук // *Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (Информационно-аналитический бюллетень)*. – М.: МЧС РФ и РАН. №1. 1994. С. 25–33.

4. **Galitzin B.V.** Die neue Organisation des seismischen Dienstes in Russland. *Изв.ИЦСК*, 4, вып. 3, 1912.

5. **Старовойт О.Е., Чернобай И.П.** Участие России

в международных проектах по сейсмическим наблюдениям // *Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (Информационно-аналитический бюллетень)*. – М.: МЧС РФ и РАН. № 2. 1994. С. 33–40.

6. **Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (Информационно-аналитический бюллетень)**. – М.: МЧС РФ и РАН. № 1. 1994. 56 с., № 2. 1994. 84 с.

7. **Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Викулин А.В., Левина В.И., Симицын В.И., Яцук В.В.** Система сейсмологических наблюдений на Камчатке (состояние, развитие, перспективы) // *Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г.* – Петропавловск-Камчатский: РАН и др., 1998. С. 12–24.

