

УДК 550.34

А.И.ХАНЧУК, А.В.КОНОВАЛОВ, А.А.СОРОКИН, С.П.КОРОЛЁВ,
А.В.ГАВРИЛОВ, В.А.БОРМОТОВ, М.А.СЕРОВ

Инструментальное и информационно-технологическое обеспечение сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России

Для непрерывных сейсмологических наблюдений в семи населенных пунктах Дальнего Востока России (ДВР) установлены современные широкополосные сейсмические станции. Анализ первых результатов, в частности фоновых микросейсмических колебаний, позволил оценить регистрационные возможности каждой станции. Создаваемая инструментальная сеть ДВО РАН дополняет региональную сеть Сахалинского филиала геофизической службы РАН, а плотность наблюдательных пунктов повышает достоверность исследований. Благодаря автоматизированной информационной системе «Сигнал-С» можно получить доступ к инструментальным данным через Интернет в режиме, близком к реальному времени. Сформирована основа для создания геоинформационной системы по катастрофическим природным явлениям региона (сейсмология, вулканология и т.д.). Новые технологии позволяют решать как фундаментальные, так и прикладные научные задачи в области современной геодинамики, активных геоструктур и природных опасностей ДВР.

Ключевые слова: современная геодинамика, сейсмологические наблюдения, широкополосные сейсмические станции, автоматизированная информационная система.

Instrumentation and Information Technology for Seismological Research in the Far East of Russia.

A.I.KHANCHUK (Far Eastern Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok), A.V.KONOVALOV (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk), A.A.SOROKIN, S.P.KOROLYOV (Computer Centre, FEB RAS, Khabarovsk), A.V.GAVRILOV (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk), V.A.BORMOTOV (Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk), M.A.SEROV (Institute of Geology and Nature Management, FEB RAS, Blagoveshchensk).

Seismic stations equipped with modern broadband seismometers are mounted in seven townships in the Far East of Russia for continuous seismological observations. Analysis of the first results in particular, spectral analysis of background microseismic vibrations, allows to estimate the sensitivity of each seismic station. The developed instrumental network of FEB RAS complements the regional seismic network of Sakhalin Branch of Geophysical Survey, RAS. The current density of observation sites enhances the reliability of research. The automated information system «Signal-S» allows an access in the near real-time scale to the instrumental data via the Internet. The basis of the geographic information system for catastrophic natural events monitoring (seismology, volcanology, etc.) in the region is developed.

ХАНЧУК Александр Иванович – академик, директор (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток), *КОНОВАЛОВ Алексей Валерьевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, ГАВРИЛОВ Александр Викторович – аспирант, младший научный сотрудник (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск), СОРОКИН Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, КОРОЛЁВ Сергей Павлович – аспирант, младший научный сотрудник (Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск), БОРМОТОВ Владимир Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией (Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск), СЕРОВ Михаил Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник (Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск). *E-mail: konovalov@imgg.ru

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ДВО РАН (Комплексная программа фундаментальных научных исследований «Современная геодинамика, активные геоструктуры и природные опасности Дальнего Востока России») и РФФИ (проект № 10-07-98000-р_сибирь_а).

Изучение современной геодинамики в регионах с высокой сейсмической активностью позволяет выявлять связь сейсмичности с физическими процессами в земной коре и мантии, а также давать количественную оценку природной опасности данных явлений. Пространственное распределение сейсмичности отражает современную тектоническую активность региона, для которого характерна сложная иерархическая система разноранговых, различных по глубине и генезису структурных неоднородностей в поле постоянно действующих сил, связанных с перемещением крупных тектонических блоков и с глубинными процессами в мантии [6]. Материал для исследования подобных процессов в разломно-блоковых структурах в локальном и региональном масштабах берется из электронных каталогов, данных о механизмах очагов землетрясений, о глубинном строении и деформациях земной коры, а также из результатов картирования геологических структур, в том числе активных тектонических разломов, и т.д. Так, банк цифровых записей глубоких и широкофокусных землетрясений позволит выполнить инверсию времени пробега объемных сейсмических волн для уточнения скоростных особенностей и глубинного строения земной коры и верхней мантии в зоне перехода от континента к океану [7]. Выявляя физические процессы в этой зоне, можно подойти к механизму геодинамической модели как отдельного, так и целостного блока геологической среды [3].

Решить эти задачи можно с помощью системы цифровой регистрации сейсмических сигналов на базе современных широкополосных сейсмических станций. Для этого необходимы стабильная непрерывная работа оборудования для составления кондиционного архива данных и автоматизация процесса их сбора, передачи и хранения.

В 2008 г. в ДВО РАН утверждена Комплексная программа фундаментальных научных исследований «Современная геодинамика, активные геоструктуры и природные опасности Дальнего Востока России», главной целью которой являются разработка и применение современных методов исследований движений блоков земной коры, глубинных структур и т.д. на основе мониторинга разномасштабных деформаций и сейсмичности в области сочленения Североамериканской, Тихоокеанской, Амурской и Охотской литосферных плит. В рамках запланированных мероприятий в Дальневосточном регионе развивается инструментальная сеть непрерывных сейсмологических наблюдений на базе широкополосных сейсмических датчиков [4].

Инструментальная база и информационно-технологическое обеспечение наблюдений

Структура сейсмических сетей, как правило, имеет три уровня: телесеismicкий, региональный и локальный – в зависимости от площади контролируемой территории и пороговой магнитуды регистрируемых землетрясений.

Телесеismicкая сеть (например, Incorporated Research Institutions for Seismology – IRIS) ведет наблюдения по всему земному шару. Магнитудный уровень регистрации – от 4,5 и выше. Станции оборудуются сверхширокополосными сейсмометрами STS-1, способными регистрировать удаленные землетрясения, полоса их пропускной характеристики по частоте составляет около 0,003–20 Гц. Инструментальные данные со станций, а также обработанные данные в виде каталога землетрясений доступны на официальном сайте IRIS¹. На территории Дальнего Востока и Восточной Сибири оборудование IRIS установлено в шести населенных пунктах (рис. 1). При анализе землетрясений весьма

¹ Incorporated Research Institutions for Seismology (<http://www.iris.edu/dms/wilber.htm>).

полезными могут оказаться данные со станций в Японии, Китае и Корее.

Региональные сети в сейсмоактивных районах охватывают территории порядка 1 млн км² и регистрируют землетрясения с $M \geq 3$. Полоса пропускания региональных станций составляет 0,01–50 Гц. Каждая сеть включает в себя опорную станцию, центр сбора и обработки данных и ряд региональных станций. В настоящее время в России действуют около 10 региональных сетей, в том числе Сахалинская [1].

На юге Дальневосточного региона (Сахалинская и Амурская области, Хабаровский и Приморский края) функционируют около 17 стационарных сейсмических станций региональной сети Сахалинского филиала Геофизической службы (СФ ГС) РАН, 8 из них (рис. 1) оснащены 3-компонентными широкополосными сейсмометрами STS-2 (собственная частота колебаний 0,0083 Гц) на базе цифровых регистраторов Datamark LS7000XT, установленных в 2006–2007 гг. в рамках международного сотрудничества ГС РАН и институтов ДВО РАН с университетами Японии. Оборудование работает в режиме автономного накопления сведений, а инструментальные данные с этих станций используются в отложенном режиме в задачах фундаментальной сейсмологии.

Для повышения надежности и обоснованности оперативных прогнозов цунами по данным сейсмологических наблюдений Камчатским филиалом (КФ) ГС РАН разработана сейсмическая подсистема сверхоперативного (автоматического и автоматизированного) предупреждения цунами в реальном времени [1]. Данная система успешно внедряется и функционирует в КФ и СФ ГС РАН.

Стоит также упомянуть плотную сеть сейсмических станций японского Национального исследовательского института наук о Земле и предотвращения катастрофических явлений (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention – NIED), в работе которой используются те же широкополосные сейсмометры STS-1 и STS-2. Инструментальные данные с этих станций и результаты их обработки доступны на официальном сайте NIED².

Локальные сети охватывают территории порядка 10 тыс. км² и обеспечивают регистрацию сейсмических событий с магнитудами 1,0–2,0 и более. Они предназначены для решения конкретных научных либо прикладных задач, в том числе мониторинга сейсмического режима в эпицентральной зоне сильнейших землетрясений и техногенной сейсмичности в промышленных районах, микросейсмрайонирования территорий и т.д. Локальные сейсмические сети оборудуются в основном высокочувствительной короткопериодной



Рис. 1. Сеть цифровой регистрирующей аппаратуры с широкополосными сейсмометрами STS-1 (1), STS-2 (2) и RefTek 151-120 (3) на юге Дальнего Востока России на начало 2011 г. Карта построена в программе GMT [9]

² National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (<http://www.bosai.go.jp>).

аппаратурой с полосами пропускания от 1 Гц, обеспечивающей уверенную регистрацию слабых сейсмических событий, в том числе микроземлетрясений. Информация с локальных сетей может поступать в региональные центры сбора и обработки данных.

На Сахалине функционируют две локальные сейсмические сети: на юге и на севере острова. Южная сеть состоит из 10 станций СФ ГС РАН. На северном Сахалине детальные сейсмологические наблюдения проводятся с 2006 г. под патронажем ИМГиГ ДВО РАН. Цель исследований – регистрация сейсмичности, спровоцированной разработкой и эксплуатацией нефтегазовых месторождений.

Поскольку оперативный доступ к данным действующих национальных региональных и локальных сетей сейсмологических наблюдений практически отсутствует и информацию по сейсмологическим наблюдениям на юге Дальнего Востока России поставляют в основном зарубежные центры, необходимо развивать отечественную инструментальную базу и современные информационные технологии, обеспечивающие обработку данных и доступ к ним.

Инструментальная сеть сейсмологических наблюдений ДВО РАН

В рамках запланированных мероприятий Программы в семи населенных пунктах Дальнего Востока России (Чегдомын, Углегорск, Ванино, Южно-Сахалинск, Благовещенск, Хабаровск, Николаевск-на-Амуре) (рис. 1) в 2009–2010 гг. установлено оборудование компании Refraction Technology³ (США). Аппаратная часть измерительного оборудования представлена современными наземными сейсмическими станциями, каждая из которых укомплектована 3-компонентным широкополосным сейсмометром RefTek 151-120 (собственная частота колебаний 0,0083 Гц), цифровым регистратором RefTek 130-01 и GPS-приемником.

При проектировании инструментальной сети сейсмологических наблюдений ДВО РАН учитывались возможность оптимального покрытия территории, а также географическое положение, технические характеристики, режим работы и особенности функционирования цифровых сейсмических станций в Дальневосточном регионе, в том числе региональной сети СФ ГС РАН. Согласно паспортным данным, передаточные функции сейсмометров RefTek 151-120 и STS-2 практически идентичны. То есть развиваемая сеть наблюдений на базе RefTek существенно дополняет разреженную региональную сеть, а плотность пунктов инструментальных наблюдений открывает качественно новый уровень в обработке и интерпретации сейсмической информации с использованием данных со всех станций, в том числе международных.

Комплекс оборудования RefTek с элементами телекоммуникационной и инженерной инфраструктуры составляет локальный пункт сбора инструментальных данных. Пункты объединены каналами связи в единую сеть сейсмологических наблюдений и работают в режиме непрерывной регистрации. При передаче инструментальных данных со станций на главный сервер, расположенный в Центре хранения и обработки данных Вычислительного центра (ВЦ) ДВО РАН, используется протокол RefTek Protocol (RTP)⁴. Сейсмостанция находит сервер сбора данных и инициирует передачу информационных пакетов по инкапсулированному в UDP протоколу (рис. 2а). В случае обрыва канала связи данные направляются на встроенное запоминающее устройство цифрового регистратора. Этот режим обеспечивает непрерывность наблюдений и сохранность информации, однако он не предоставляет удаленный доступ к ней даже при восстановлении связи. Для выгрузки данных с регистратора необходим физический доступ к станции.

³ Refraction Technology (<http://www.reftek.com>).

⁴ RTPD Installation and Users Guide. RefTek manual. Rev. 2.1.7.0. Refrac. Technol. 2009. P. 19–25; RTPD Protocols: RTP and Client. RefTek manual. Rev. A. Refrac. Technol. 2008. P. 1–11.

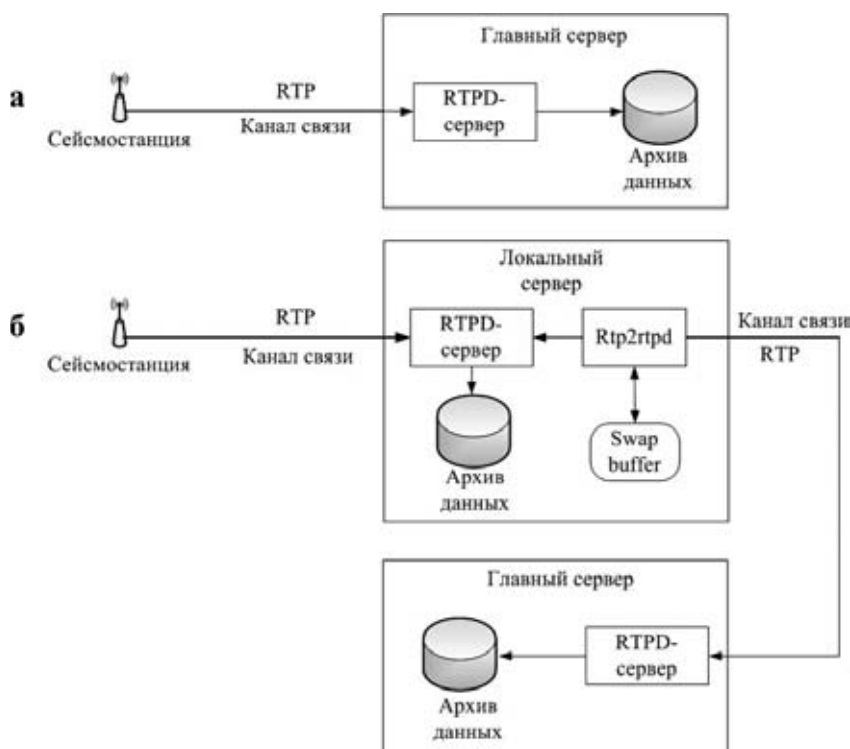


Рис. 2. Схемы передачи данных от сейсмической станции к главному серверу: текущая (а); планируемая (б)

Наполняемость графиков температуры воздуха, измеряемой цифровым регистратором внутри каждого инженерного сооружения (рис. 3), показывает непрерывность работы сейсмических станций, устойчивость телекоммуникационных каналов связи и кондиционность архива накопленных данных. Для минимизации негативного влияния факторов, выявленных в ходе эксплуатации сейсмологического оборудования, в 2010 г. в каждом пункте наблюдений начали создаваться локальные архивы с функцией автоматической синхронизации данных. В случае выхода из строя каналов связи между сейсмической станцией и главным сервером информация со станции будет поступать в локальный программно-аппаратный буфер (рис. 2б). После восстановления работоспособности системы накопленные записи из буфера будут передаваться на главный сервер. В настоящее время такие системы развернуты на базе станций «Благовещенск» и «Южно-Сахалинск».

Технические разработки позволили минимизировать потери данных при передаче на главный сервер в ВЦ ДВО РАН, тем самым удалось реализовать квазиреальный режим поступления зарегистрированной информации с пяти сейсмических станций сети («Чегдомын», «Углегорск», «Ванино», «Южно-Сахалинск», «Благовещенск»). В настоящее время их работа стабильна. Запланированная на 2011 г. установка унифицированных программно-аппаратных локальных центров сбора информации позволит оптимизировать работу всей сети сейсмологических наблюдений ДВО РАН.

Анализ регистрационных возможностей

Регистрационные возможности как отдельной станции, так и всей сети в целом зависят от чувствительности измерительной аппаратуры и уровня микросейсмического фона в пункте регистрации. При этом в большинстве случаев микросейсмические шумы, определяющие нижний порог регистрации событий, имеют техногенную природу

и характеризуются максимальной интенсивностью в диапазоне частот примерно от 1 до 10–15 Гц, тогда как шумы естественного происхождения (приливные помехи) сосредоточены на более низких частотах. Исследование спектров шумов позволяет оценить качество постановок сейсмических станций. В практике региональных сейсмологических наблюдений наибольший интерес представляют землетрясения магнитудой $M \geq 4,0$, которые, как правило, регистрируются без пропусков несколькими станциями. Землетрясения $M \geq 5,5-6,0$ регистрируются почти всеми региональными станциями. Центральная частота сейсмических сигналов от таких землетрясений соответствует приблизительно 0,1 Гц, а количественная оценка динамических параметров очагов сильных землетрясений, а также дисперсионного соотношения групповых скоростей поверхностных волн и т.д. выполняется в диапазоне 0,01–0,1 Гц.

Широкополосные сейсмометры требуют стабильных температурных условий: даже небольшие изменения могут приводить к механическим и электронным дрейфам, которые значительно ухудшают качество записи на очень низких частотах. Датчик должен устанавливаться в местах с минимальным сейсмическим шумом и стабильной температурой, суточные вариации которой не должны превышать $0,1^\circ\text{C}$. Аналого-цифровые преобразователи допускают суточные температурные изменения до нескольких градусов Цельсия.

В данной работе исследовались спектры шумов в диапазоне частот 0,01–0,1 Гц, т.е. вблизи собственной частоты колебаний сейсмометра, чувствительной к температурным изменениям. Использовалась выборка записей, зарегистрированных в разное время суток и года. В расчетах применялось 300-секундное временное окно, а затем выполнялось усреднение спектров. Таким образом, дана интегральная оценка уровня микросейсмического фона и среднеквадратичного отклонения.

Спектр мощности стационарного случайного процесса, каким в известном приближении можно считать микросейсм, показывает, как дисперсия, или средняя мощность сигнала, распределена по частотам [2]. Уровень микросейсмических колебаний (Noise Level), как правило, определяется в децибелах (дБ):

$$\text{Noise Level} = 10 \cdot \log P_a,$$

где P_a – спектральная плотность мощности микросейсмического фона, $(\text{м/с}^2)^2/\text{Гц}$.

На рис. 4 приведены примеры спектров микросейсмического фона для каждого пункта наблюдения сети ДВО РАН, а также спектральные кривые высокого и низкого уровней помеховых сигналов [8], служащие эталоном для оценки шумовых условий.

Сравнительный анализ микросейсмических колебаний на примере вертикальных компонент в частотном диапазоне 0,01–0,1 Гц позволяет сделать следующие выводы. Наиболее благоприятной фоновой обстановкой (порядка -170 дБ) характеризуются пункты наблюдений в г. Николаевск-на-Амуре (в павильоне сейсмической станции СФ ГС РАН) и в г. Благовещенск (в специально оборудованном подвальном помещении на территории Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН). Последний значительно удален от побережья, поэтому находится под слабым влиянием штормовых микросейсм. Благодаря заглублению сейсмологическое оборудование здесь максимально изолировано от поверхностных воздействий окружающей среды, поэтому для данного пункта характерны только сезонные (зима–лето) вариации температуры (рис. 3). Сейсмическая станция «Чегдомын» (в подвале административного здания) также находится на значительном удалении от побережья, однако здесь уровень фона немного выше (-155 дБ), чем для станции «Благовещенск», что, вероятно, вызвано вариациями температуры. Станция в г. Ванино (в подвале административного здания) расположена в черте города, близко к побережью, среднее значение микросейсмического фона здесь -150 дБ. Станции в городах Углегорск (в павильоне сейсмической станции СФ ГС РАН) и Южно-Сахалинск (в подвальном помещении ИМГиГ ДВО РАН) характеризуются средними сейсмогеологическими условиями,

уровень фона –160 дБ. В г. Хабаровск станция расположена в черте города (в подвале административного здания) и находится близко к р. Амур, что в совокупности оказывает влияние интегрального типа на формирование микросейсмического фона в широком диапазоне частот, который характеризуется наиболее высоким (–140 дБ) уровнем среди наблюдательных пунктов сети, поэтому данная станция эффективна только для регистрации очень сильных землетрясений.

Анализ спектров ускорений показал, что мощности микросейсмического фона пунктов наблюдений сети ДВО РАН, согласно модели Петерсона [8], не выходят за пределы высокого уровня шума, а уровень фона имеет суточные, сезонные и другие вариации.

Для оценки качества постановок сейсмических станций выполнен анализ суточной вариации температуры с октября 2009 г. по январь 2011 г. (рис. 3), который сопоставлен с результатами анализа шумовых условий в каждом пункте наблюдений. Как видно из рис. 3, наименьший суточный дрейф наблюдается на станциях «Углегорск» и «Благовещенск». Следует отметить, что в действующих павильонах сейсмических станций СФ ГС РАН («Углегорск», «Николаевск-на-Амуре») выполнены все технико-эксплуатационные и инженерно-геологические требования для установки широкополосных сейсмометров, поэтому перепады температуры здесь минимальны, а уровень микросейсмического фона относительно низок (рис. 3, 4).

Для пунктов «Чегдомын», «Ванино» и «Южно-Сахалинск» помимо сезонных дрейфов характерны и более высокочастотные флуктуации температуры (рис. 3). Для улучшения качества данных необходима более эффективная термоизоляция инженерных сооружений. В среднем вариации среднесуточной температуры, измеренной аналого-цифровыми преобразователями, не превышают нескольких градусов и являются допустимыми. Для дополнительной теплоизоляции сейсмометры защищены коробами из пенополистирола.

Создание автоматизированной информационной системы

Рост объема первичной информации, отсутствие технологий агрегации и унификации данных различных сетей сейсмологических наблюдений требуют разработки комплексных информационных систем нового уровня. Исходные условия функционирования сети наблюдений ДВО РАН предопределили распределенный принцип функционирования информационной системы, которая включает локальный пункт сбора данных (с подключенными к ним сейсмическими станциями); каналы связи; хранилище исходной информации; системное и прикладное программное обеспечение.

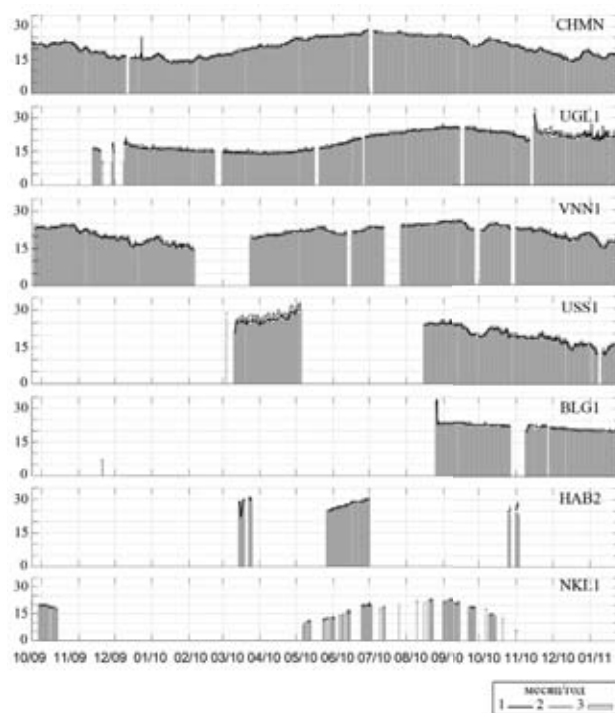


Рис. 3. График временного хода средней (1), максимальной (2) и минимальной (3) за сутки температур в каждом пункте наблюдений с октября 2009 г. по январь 2011 г.

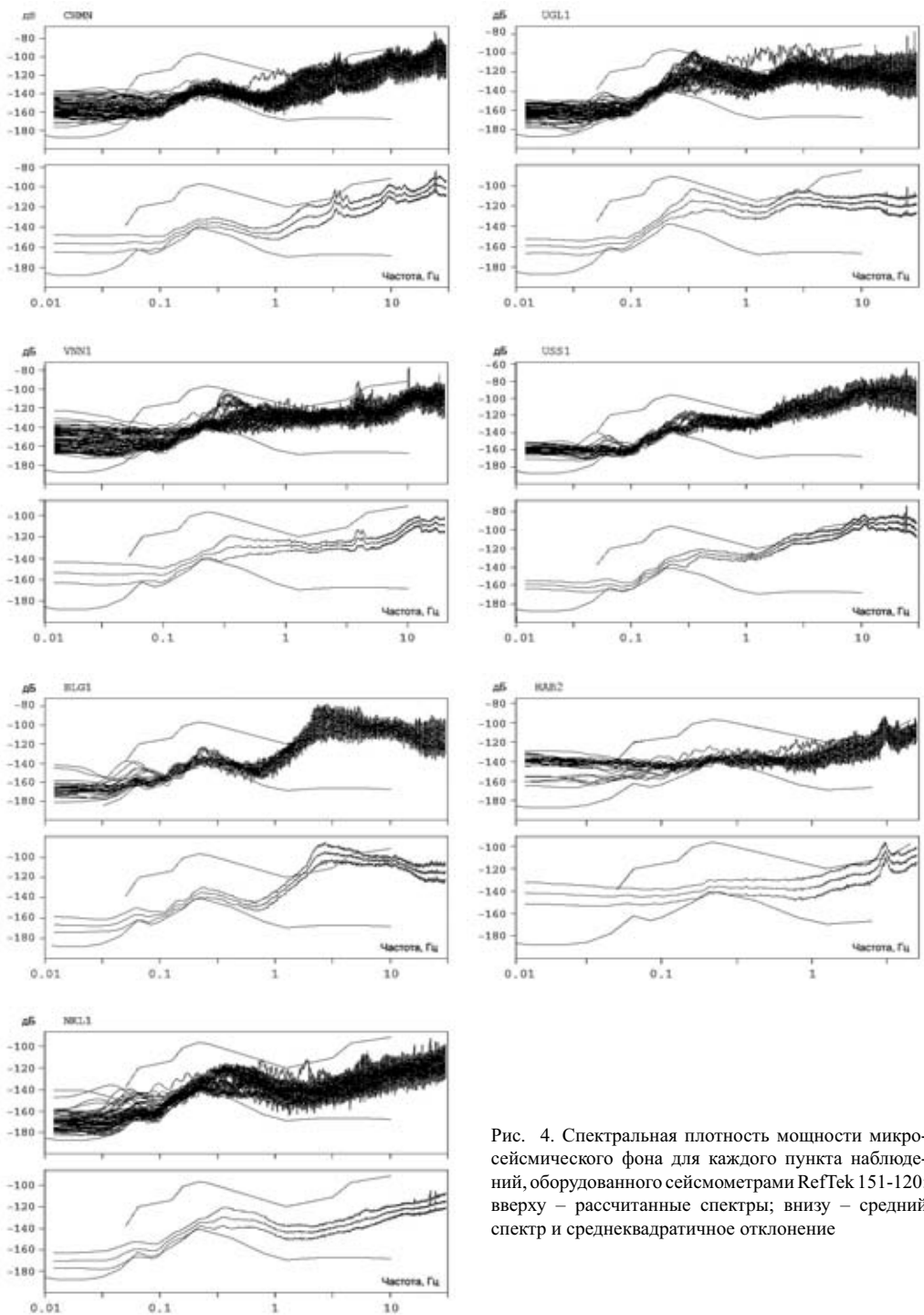


Рис. 4. Спектральная плотность мощности микро-сейсмического фона для каждого пункта наблюдений, оборудованного сейсмометрами RefTek 151-120: вверху – рассчитанные спектры; внизу – средний спектр и среднеквадратичное отклонение

К системе предъявляются следующие базовые требования: централизованное хранение информации по всему спектру исследований и работ (сейсмологические наблюдения, данные о состоянии технологических компонент системы и т.п.); прозрачное взаимодействие программно-аппаратных модулей с обеспечением необходимого уровня их резервирования; исключение повторяющихся операций с данными на разных уровнях; наличие

универсального интерфейса пользователя с единым центром аутентификации; понятный и правильно структурированный интерфейс пользователя, позволяющий получить результат при минимальных временных и трудовых затратах.

В 2010 г. сотрудники ВЦ ДВО РАН и ИМГиГ ДВО РАН начали создавать автоматизированную информационную систему (АИС) «Сигнал-с», реализующую технологию интеграции и взаимодействия системных средств управления сетями сейсмологических наблюдений и разработанных прикладных программ для решения научных задач в области геофизических исследований⁵. Бизнес-логика системы выделена в отдельный уровень и реализована в виде трех функционально-логических блоков (модулей), связанных с клиентским приложением и базой данных через сетевую инфраструктуру.

Модуль сбора исходных данных. Основная задача модуля состоит в том, чтобы обеспечить подключение сейсмических станций, принять передаваемые ими данные и сохранить их в архиве, для этого на базе ВЦ ДВО РАН созданы сегменты сетей с применением протоколов IP и Fibre Channel (FC). По IP-каналам обеспечивается связь между модулем, станциями (протокол UDP) и локальными архивами (протокол TCP), а FC используется как способ подключения к инфраструктуре сети хранения данных Storage Area Network. Технология передачи данных базируется на использовании протоколов сетевого уровня, в частности RTP и системного программного обеспечения, разработанного компанией Refraction Technology. RTP представляет собой полнодуплексный пакетно-ориентированный способ передачи данных, инкапсулированных в UDP-датаграммы. Между передающей и принимающей сторонами инициализируется соединение, при котором клиент посылает серверу запрос на начало работы. При подтверждении синхронизируются номера блоков данных, с которых начинается передача информации. Сервер генерирует сообщения, уведомляющие клиента о получении блока данных с определенным номером. В сочетании с синхронизацией такой подход формирует строгий порядок передачи пакетов данных и гарантирует, что следующая операция начнется только после корректного завершения предыдущей. Эти характеристики протокола RTP обеспечивают надежную доставку данных, адаптируемую под условия работы каналов связи, с сейсмических станций в архив исходной информации в формате данных PASSCAL. Модуль фиксирует параметры и значения характеристик подсистемы сбора данных и передает их для анализа в другие программные блоки АИС.

Модуль первичной обработки данных. Исходные материалы до использования в специализированных системах обработки должны пройти предварительную проверку. Работа модуля обеспечивает анализ исходного архива на предмет его целостности (обнаружение отсутствующих блоков данных, наличие поврежденной информации и т.п.); преобразование данных в различные форматы файлов по требуемым параметрам (каналы, станции, временные интервалы); визуализацию волновых форм. Отсутствие записей со станций или наличие в них ошибок может быть вызвано перерывами в работе каналов связи, сбоями программно-аппаратных подсистем сбора информации и самих инструментальных средств наблюдений. При выявлении таких фактов модуль формирует соответствующую отчетную информацию, помещает в архив и предоставляет доступ к ней для всех элементов АИС. После проверки данные можно использовать для последующей обработки непосредственно в системе или выгружать из нее в требуемом формате (MiniSEED, SEISAN) для работы с ними в других программных приложениях.

Модуль представления данных обеспечивает интерактивное взаимодействие пользователя со всеми элементами системы, а также доступ к архивам исходной и обработанной информации, инструментам для ее обработки, элементам управления сетью станций и статистике по ней (рис. 5). Его функционал зависит от статуса пользователя (администратор, оператор, пользователь), дающего права на выполнение как системных (добавление

⁵ Автоматизированная информационная система «Сигнал-с» (<http://signal.febras.net>).

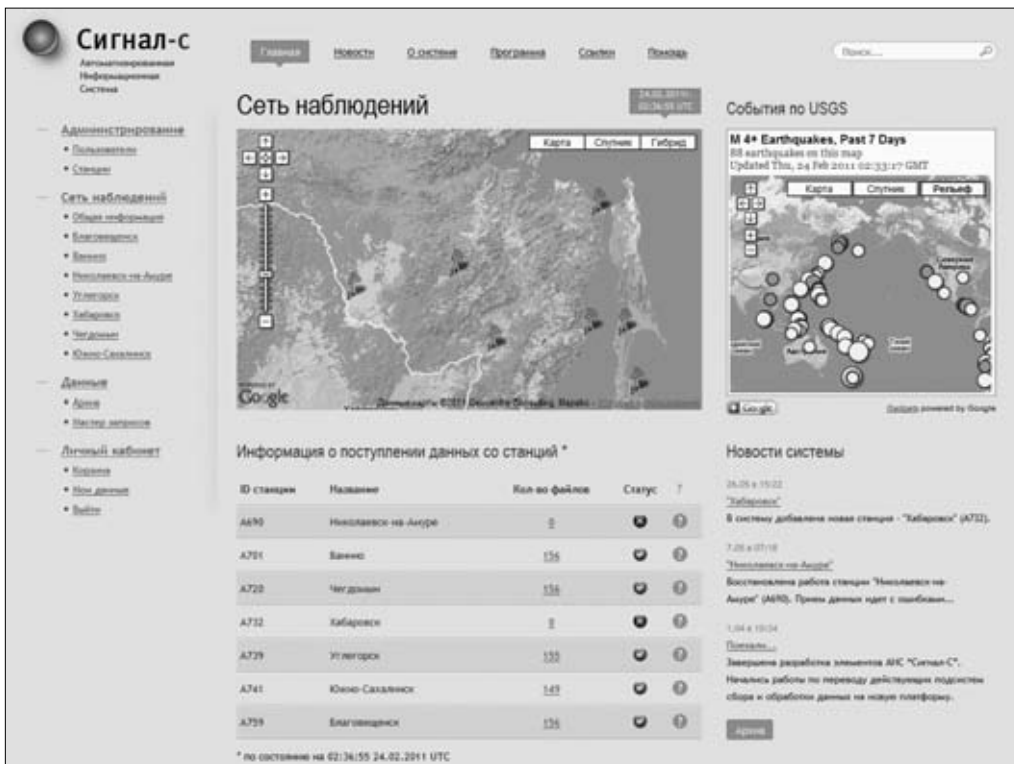


Рис. 5. Интерфейс главной страницы автоматизированной информационной системы «Сигнал-с»

станции, ведение паспортов и журналов), так и базовых (работа с архивами, конвертация и обработка данных) операций в системе. Для каждой учетной записи предусмотрено заполнение ряда персональных данных (ФИО, e-mail, организация, контактная информация), необходимых для формирования индивидуальных отчетов, статистики и настройки элементов интерфейса (widgets). Модуль разработан с помощью программного каркаса (framework) Symfony, позволяющего создавать приложения на основе шаблона модель–представление–контроллер (model–view–controller). Данная технология логически разделяет схему данных, бизнес-логику приложения и ее интерфейс. Такой подход полностью отвечает описанной выше структуре информационной системы, а также позволяет масштабировать приложение по каждому уровню. Пользовательский интерфейс приложения реализован в виде «тонкого» клиента, роль которого выполняет веб-браузер. Работа с системой возможна с любого компьютера, подключенного к сети Интернет. Модуль обеспечивает обработку запросов на выполнение различных системных и прикладных операций через интуитивно понятный интерфейс. Пользователь не выполняет низкоуровневые и разнородные операции, требующие специальных технических знаний и навыков.

Для обеспечения информационной безопасности Symfony в автоматическом режиме формирует защиту от большинства распространенных ошибок в веб-приложениях (SQL-injection, Cross Site Scripting, Cross Site Request Forgery).

Используя элементы АИС, сейсмологи могут оперативно получить доступ к данным наблюдений и на их основе провести первичный анализ событий по фрагменту волновой формы за нужный интервал времени, по формату данных и количеству станций.

Дальнейшее развитие АИС и наращивание ее возможностей будет происходить по следующим направлениям: создание и непрерывное пополнение регионального каталога землетрясений; графическое представление результатов детального анализа очаговых зон сильных землетрясений; разработка и применение методов автоматического

детектирования сейсмических сигналов от удаленных и местных землетрясений, а также вычислительных программ для автоматического определения координат гипоцентра и магнитуды землетрясения; создание интерфейса для выборки каталога землетрясений, в том числе с применением методов фильтрации афтершоковых последовательностей, что особенно важно для выделения зон возможных очагов землетрясений при оценке уровня сейсмической опасности и риска.

АИС «Сигнал-с» получила свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ [5].

Таким образом, по состоянию на начало 2011 г. сейсмологическое оборудование пяти из семи сейсмических станций работает стабильно. Авторы статьи разработали технические рекомендации по модернизации и улучшению схемы сбора и передачи инструментальных данных, что позволит повысить надежность работы сети наблюдений.

Сформирована основа для создания геоинформационной системы по катастрофическим природным явлениям региона, обеспечивающая интеграцию данных и инструментов по широкому спектру направлений (сейсмология, GPS / ГЛОНАСС-наблюдения, наблюдения за вулканами и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев Е.И., Маловичко А.А., Чебров В.Н. и др. Развитие сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России. Результаты, проблемы, перспективы // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: тр. II регион. науч.-техн. конф., Петропавловск-Камчатский, 11–17 окт. 2009 г. / отв. ред. В.Н.Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. С. 29–33.
2. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1971. Т. 1. 316 с.
3. Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 95 с.
4. Сорокин А.А., Королев С.П., Михайлов К.В., Коновалов А.В. Автоматизированная информационная система оценки состояния сети инструментальных сейсмологических наблюдений «Сигнал-С» // Информатика и системы управления. 2010. № 4 (26). С. 161–167.
5. Сорокин А.А., Михайлов К.В., Коновалов А.В., Королев С.П. Автоматизированная информационная система оценки состояния сети инструментальных сейсмологических наблюдений «Сигнал-с». Свид-во Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ. М. № 2010614489; 08.07.2010.
6. Юнга С.Л. Методы и результаты определения сеймотектонической деформации. М.: Наука, 1990. 191 с.
7. Kissling E., Ellsworth W.L., Eberhart-Phillips D., Kradolfer U. Initial reference models in local earthquake tomography // J. Geophys. Res. 1994. Vol. 99, N B10. P. 635–646.
8. Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise. U.S., Albuquerque: Geol. Surv. Open-File Rep., 1993. 95 p.
9. Wessel P., Smith W.H.F. New, improved version of Generic Mapping Tools released // EOS Trans. Amer. Geophys. U. 1998. Vol. 79. P. 579.