

**КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАМЧАТКИ:
ПРОБЛЕМЫ ГОТОВНОСТИ К СИЛЬНОМУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ****Чебров В. Н.***Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский,
chebr@emsd.iks.ru*

Для обеспечения безопасности населения необходимо возможно более полное изучение будущего сильного землетрясения и его воздействия на территорию. Рассмотрены работа системы мониторинга сейсмической опасности на территории Камчатки при интенсивности сотрясений в г. Петропавловске-Камчатском 7 и 8 баллов, основные проблемы готовности системы к сильному землетрясению и пути их решения.

Введение

Геодинамические процессы – процессы в Земле, обуславливающие глубинные и поверхностные движения масс во времени и пространстве. К числу важнейших эндогенных геодинамических процессов относятся: землетрясения; активный вулканизм; тектонические деформации, современные движения земной коры. Наиболее масштабные и яркие проявления геодинамических процессов локализованы главным образом в местах взаимодействия тектонических плит, которые характеризуются интенсивными современными движениями земной коры и высоким уровнем сейсмической активности. Здесь происходят сильнейшие катастрофические землетрясения и извержения вулканов.

Курило-Камчатская островная дуга является одним из самых сейсмоактивных районов Земли. С 1737 г. до конца 19-го века на Камчатке по макросейсмическим данным произошли крупнейшие землетрясения с моментной магнитудой более 8.0, которые вызвали сотрясения на территории Камчатки силой до 9-10 баллов. Это землетрясения 1737, 1792 и 1841 гг.

В 20-м веке уже по инструментальным данным на Камчатке произошло несколько сильнейших землетрясений. Сотрясения силой 8 баллов по 12-балльной шкале MSK-64 отмечались только в Петропавловске 3 раза (1904, 1904, 1959 г). 9-10 балльные толчки почти разрушили поселок Жупаново в 1959 г. Мощные цунами обрушивались на восточное побережье Камчатки в 1923, 1952, 1969 гг.

Нет никаких сомнений в том, что сильные землетрясения на Камчатке будут возникать и впредь с высокой частотой. В соответствии с результатами работ по общему сейсмическому районированию (ОСР) территории России в 90-х гг. 20-го века г. Петропавловск-Камчатский находится в зоне возможных сотрясений 9 и более баллов по шкале MSK-64 [9]. По данным макросейсмического каталога Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) на территории г. Петропавловска-Камчатского периоды повторения сотрясений с интенсивностью 7 баллов и более составляют 12-55 лет, 8 баллов и более – 50-120 лет. Последний раз город испытывал сотрясения с интенсивностью 7 баллов в 1971 г., с интенсивностью 8 баллов в 1959 г.

Система мониторинга геодинамических процессов на территории Камчатки

Система комплексного мониторинга геодинамических процессов КФ ГС РАН в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг включает в себя:

- сети сейсмических станций;
- методические и программные средства обработки сейсмических сигналов в автоматическом и автоматизированном режимах;
- сети геофизических, геодезических, гидрогеохимических и др. наблюдений;
- технические и программные средства сбора, обработки и хранения данных, каналы связи;
- организационные и технические мероприятия по экспертной оценке текущего состояния сейсмической и вулканической опасности.

Сети сейсмических станций. В основе исследований геодинамических процессов и работ по оценке сейсмической опасности лежат сейсмологические наблюдения [1, 2].

Система сейсмологических наблюдений на Камчатке по состоянию на 2005 г. включает в себя: сеть стационарных сейсмических станций; сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС); сеть станций сильных движений (ССД).

Система сейсмологических наблюдений обеспечивает уверенную регистрацию землетрясений, начиная с 9.0 энергетического класса по классификации С.А.Федотова [1, 10] от Северных Курильских островов до поселка Оссора (50° - 59° с.ш., 153° - 165° в.д.). Для Авачинского залива - с 7.5 класса. Для Авачинской группы вулканов - с 4.0 класса. Для Ключевской группы вулканов - с 5.0 - 6.0 класса.

В 2003-2005 гг. сеть стационарных сейсмических станций переведена на цифровую регистрацию (кроме станции «Оссора»). Фактически на Камчатке реализован 1-й этап по созданию опорной сети цифровых широкополосных сейсмических станций, которая представляет собой специализированную сеть сбора (регистрации), хранения, передачи и обработки сейсмической и геофизической информации. В 2006 г. камчатская региональная сеть включает в себя уже 9 цифровых станций. Станции "Апача", «Паужетка» и "Эссо" оснащены оборудованием СЦСС, разработанным в КФ ГС РАН.

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.

Сеть РТСС Камчатки включает в себя три куста станций: Петропавловский (15 станций), Козыревский (5 станций), Ключевской (9 станций). 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.

Основные достоинства сети станций РТСС - это возможность доступа к данным всех сейсмометрических каналов всех станций в режиме реального времени и высокая точность синхронизации всех станций РТСС к единой шкале времени.

Сеть станций РТСС позволяет решать в оперативном режиме следующие задачи:

- автоматизированная служба срочных донесений;
- оперативный контроль сейсмичности всей территории Камчатской области с целью оценки сейсмической опасности;
- оперативный контроль сейсмической активности действующих вулканов;
- оценка развития афтершоковых последовательностей сильных землетрясений в реальном масштабе времени.

Сеть ССД [1] предназначена для регистрации сильных землетрясений, когда все другие сейсмометрические системы неработоспособны. Результаты работы сети ССД, кроме научно-исследовательского значения, имеют важные практические приложения при строительстве в сейсмоопасных зонах. По состоянию на 2005 г. сеть ССД состоит из 10 пунктов на восточном побережье Камчатки и 6 пунктов в районе г. Петропавловска-Камчатского. Оборудование пунктов - акселерографы ССРЗ-М, АСРЗ и АСЗ-2. Все пункты сети ССД находятся, согласно ОСР-97 [8], в зоне сотрясений 9 – 10 баллов по шкале MSK-64. Чувствительность приборов позволяет регистрировать землетрясения с проявлением в пункте установки силой более 3 баллов. В 2004 году начаты работы по переоснащению сети станций сильных движений: приобретены и проходили опытную эксплуатацию 5 цифровых акселерографов GSR-24 с трехкомпонентными форсбалансными акселерометрами АС-63 и CMG-5T (полная шкала 2g, частотный диапазон 0-100 Гц). В 2005 г. начата их расстановка на пунктах сети ССД.

Методические и программные средства обработки сейсмических сигналов в автоматическом и автоматизированном режимах. Система обработки [2] сейсмологических данных, 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.

Результаты обработки рассылаются по электронной почте (телефону) в ГС РАН, МЧС и в Администрацию Камчатской области, в виде SMS сообщений и доступны через Internet-страницу КФ ГС РАН.

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.

В работе подразделений КФ ГС РАН, занятых сбором и оперативной обработкой сейсмологической информации, в зависимости от уровня сейсмической и вулканической опасности, выделяются три режима: 1) режим повседневной деятельности; 2) режим повышенной опасности; 3) чрезвычайный режим.

Режим повышенной опасности вводится приказом по КФ ГС РАН на основании заключений о состоянии сейсмической и вулканической опасности на территории Камчатской области Российским экспертным советом и Камчатским отделением Федерального центра прогнозирования землетрясений (КамО ФЦПЗ) [3]. Чрезвычайный режим работы вводится приказом по КФ по факту происшедшего сильного землетрясения или извержения вулкана.

Окончательная обработка всех землетрясений совместно по всем наблюдательным сетям производится лабораторией сводной обработки. Окончательный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов является основным результатом деятельности КФ.

Результаты оперативной и окончательной обработки сейсмологической информации хранятся в базах данных. Доступ к данным для пользователей КФ и Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН обеспечивается по локальной сети. Для других организаций и пользователей сейсмологической информацией данные обработки доступны через Internet-страницу КФ или по специальным запросам. Для автоматизированной обработки сейсмических сигналов используется разработанный в КОМСП Д.В.Дрозным пакет программного обеспечения DATAAN¹ [2]. Программа обработки DATAAN предназначена для визуализации и детального анализа сейсмических сигналов в операционных системах Windows и Windows NT. Программа специально спроектирована для пользователей, задача которых сводится к оперативному определению параметров землетрясений и поиску предвестников землетрясений по специфическим характеристикам сейсмических сигналов.

Сети геофизических, геодезических, гидрогеохимических и др. наблюдений. Процессы подготовки и реализации сильных землетрясений проявляются в параметрах геофизических полей (сейсмометрические, гравиметрические, магнитометрические, геодезические и др. данные), в изменениях геохимических и гидрогеологических характеристик участков земной коры в зоне воздействия землетрясения и т.д. Система геофизических и гидрогеохимических наблюдений на Петропавловском геодинамическом полигоне включает в себя [4-8, 13, 16] пункты наблюдений за современными движениями земной коры с использованием GPS-технологии, пункты геофизических и гидрогеохимических наблюдений. Кроме КФ ГС РАН, наблюдения за предвестниками землетрясений на Камчатке ведут Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, ФГУП «Камчатгеология», Камчатский государственный университет.

Сеть пунктов GPS наблюдений [6]. Применение современных спутниковых технологий позволяет организовать непрерывный мониторинг медленных движений земной коры, которые связаны с такими геодинамическими природными явлениями как землетрясения и извержения вулканов. Результаты таких исследований важны для решения фундаментальных проблем тектоники. Анализ движений земной коры во время землетрясений, а также в период их подготовки, в сочетании с сейсмическими данными играет важнейшую роль в оценке сейсмического риска. Определяющим фактором применения GPS технологии в наблюдательных сетях для решения задач геодинамики является высокая точность определения координат (1-3 мм) пунктов наблюдения.

В КФ ГС РАН создана и развивается на базе стационарных сейсмических станций сеть пунктов геодинамических наблюдений KAMNET [6], состоящая из стационарных и мобильных GPS станций.

¹ Детальные сейсмологические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.00 - 31.12.00) // Отчет КОМСП ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 2001, 350 с.

Система геофизических и гидрогеохимических наблюдений [4, 5, 7, 8, 13, 16] на Петропавловском геодинамическом полигоне включает в себя пункты измерений электротеллурических потенциалов и вариаций электромагнитного поля Земли, пункты гидрогеохимических и гидрогеодинамических наблюдений, пункты регистрации высокочастотных сейсмических шумов, комплексную геофизическую обсерваторию (ПKN) «Карымшина» (рис. на задней странице обложки).

Комплексная геофизическая обсерватория (КГО) «Карымшина» [16] находится в южной части полуострова Камчатка, примерно в 30 км от побережья Тихого океана (52.80N, 158.150E). КГО начала работу в 1999 году в рамках Российско-Японского проекта (МНТЦ №1121, 1999-2004 гг.), основной целью которого является комплексный мониторинг различных геофизических полей, выявление и исследование предвестников землетрясений. Обсерватория расположена на значительном удалении от возможных источников антропогенных помех (населенных пунктов, автомобильных дорог и линий электропередач), что обеспечивает уникальные условия для изучения геофизических полей, в частности, земных токов. Низкий уровень промышленных помех позволяет реализовать максимальную чувствительность регистрирующей аппаратуры.

На КГО реализованы следующие виды наблюдений: трехкомпонентная регистрация сейсмических сигналов; регистрация вариаций электромагнитных полей с помощью трехкомпонентного индукционного магнитометра; регистрация сейсмоакустической эмиссии с помощью трехкомпонентного датчика на основе акселерометра ТАФ; регистрация сигналов высокочастотного сейсмического шума двухчастотным датчиком (30 Гц и 45 Гц); измерение электротеллурических потенциалов в двух взаимно перпендикулярных направлениях; регистрация метеорологических параметров цифровой метеостанцией.

На КГО также проводятся экспериментальные газодинамические наблюдения [5]. Измеряются: концентрации подпочвенного водорода, радона и торона в скважине глубиной 4 м; концентрации водорода, радона и торона в потоке термальной воды из самоизливающейся скважины глубиной 805 м; температура грунта на дне изолированной скважины и температура потока термальной воды; измерения интенсивности потока нейтронов в приземном слое атмосферы.

Технические и программные средства сбора, обработки и хранения данных, каналы связи. В основе организации всех работ по сбору, обработке и хранению сейсмологической информации и данных других геофизических наблюдений лежит компьютерная сеть КФ ГС РАН. По компьютерной сети организована непрерывная передача сейсмических данных и результатов обработки землетрясений с удаленных стационарных цифровых станций и станций радиотелеметрической сети. Кроме сейсмологической информации, сеть обеспечивает передачу низкоскоростных видео потоков с систем наблюдения за вулканами, расположенных в г. Ключи и п. Козыревск.

Организационные и технические мероприятия по экспертной оценке текущего состояния сейсмической и вулканической опасности. Экспертная оценка сейсмической и вулканической опасности на территории Камчатской области проводится Камчатским отделением Федерального центра прогнозирования землетрясений (КамО ФЦПЗ), которое было создано в 1998 г. Геофизической Службой РАН в рамках целевой программы «Развитие Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений на 1995-2000 гг.» [3].

Основная функция КамО ФЦПЗ – оперативная оценка сейсмической опасности, прогноз землетрясений и извержений вулканов, возможных последствий их воздействий. Заседания КамО ФЦПЗ проводятся еженедельно, по итогам которых составляются заключения и передаются: в администрацию Камчатской области; в городскую администрацию; в Агентство по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций МЧС России; в Геофизическую службу РАН; в ФЦПЗ; в Российский экспертный совет (РЭС); в СМИ Камчатской области (сокращенный вариант).

В декабре 2005 г. КамО ФЦПЗ проведена экспертная оценка сейсмической опасности на территории Камчатской области по совокупности независимых методов долгосрочного и среднесрочного прогнозирования сильных землетрясений. В соответствии с заключением КамО ФЦПЗ, в ближайшие 3-5 лет с вероятностью около 60% в районе полуострова Камчатка возможно возникновение землетрясения с магнитудой $M \geq 7.5$, которое может вызвать в районах восточного побережья Камчатки и на Курильских островах сотрясения с интенсивностью 7 и более баллов. В случае возникновения ожидаемого землетрясения высока вероятность сильного цунами.

Работа системы мониторинга геодинамических процессов на территории Камчатки в период сильного землетрясения

Работа системы в период сильного землетрясения определяется многими факторами. Среди которых можно выделить: устойчивость (сохранение работоспособности) элементов системы к интенсивным сейсмическим воздействиям; технические характеристики системы; организация работы персонала в соответствии с предварительно подготовленной системой документов; мероприятия по созданию условий для работы персонала.

Основные задачи системы мониторинга в период сильного землетрясения:

- 1) регистрация главного события и его афтершоков сетями сейсмических станций;
- 2) оперативная оценка параметров главного события и его сильнейших афтершоков;
- 3) непрерывная регистрация геофизических, гидрогеохимических и др. параметров;
- 4) оперативная оценка развития афтершокового процесса, экспертная оценка сейсмической опасности;
- 5) информирование органов власти, МЧС и населения об угрозе сильных афтершоков;
- 6) проведение специальных эпицентральных наблюдений;
- 7) обследование эпицентральной зоны сильного землетрясения, сбор макросейсмических данных.

Основные элементы системы мониторинга, центр сбора и обработки данных с наиболее квалифицированным персоналом, находятся в г. Петропавловске-Камчатском. Рассмотрим работу системы в зависимости от интенсивности сотрясений в г. Петропавловске-Камчатском.

Сильное землетрясение с интенсивностью сотрясений в г. Петропавловске-Камчатском до 7 баллов. Система с большой вероятностью в целом по всем компонентам сохранит работоспособность. Все подразделения КФ ГС РАН перейдут в чрезвычайный режим работы, который регламентирован действующим Положением об оперативном режиме.

Главное событие будет зарегистрировано без искажений приборами для регистрации сильных землетрясений. Стационарные станции Камчатской сети регистрируют главное событие без искажений, если интенсивность сотрясений в этих пунктах не будет превышать 2-3 балла по шкале MSK-64 (скорость смещения грунта менее 0.15 см/с [14, 15]. Сейсмометрические каналы радиотелеметрических станций не рассчитаны на регистрацию сильных землетрясений (максимальная регистрируемая скорость смещения грунта менее 0.02 см/с). Для оперативной оценки параметров главного события при условии обеспечения каналами связи могут быть доступны, кроме станций РТСС и Петропавловск, данные всех стационарных станций Эссо, Ключи, Беринг, Крутоберегово, Апача и др.

Выполнение первых 5-ти основных задач системы мониторинга в период сильного землетрясения регламентировано действующим Положением об оперативном режиме. Для выполнения задачи 6, в соответствии с установленным порядком, после возникновения на территории РФ сильного землетрясения в ГС РАН и ИФЗ РАН должна готовиться к вылету группа с оборудованием для эпицентральных наблюдений. КФ ГС РАН в настоящее время не располагает резервом соответствующего оборудования. Задача 7 (обследование эпицентральной зоны сильного землетрясения, сбор макросейсмических данных), в силу большого объема работ, должна выполняться КФ ГС РАН совместно с институтами РАН, учреждениями Росстроя, МЧС и др.

Сильное землетрясение с интенсивностью сотрясений в г. Петропавловске-Камчатском 8 и более баллов. Компоненты системы сбора и обработки данных, расположенные в г. Петропавловске-Камчатском, с большой вероятностью потеряют работоспособность: сначала центр сбора и обработки данных в здании Института вулканологии и сейсмологии, затем сейсмическая станция Петропавловск. Предупреждение о возможности цунами в этой ситуации будет дано сейсмической станцией Ю-Сахалинск и международным центром цунами на Гавайских островах. С большой вероятностью в г. Петропавловске-Камчатском также выйдут из строя или частично потеряют свои функции компоненты инфраструктуры: средства и каналы связи, кроме специальных спутниковых каналов; централизованное снабжение электроэнергией и теплом; транспортные средства и др.

Все подразделения КФ ГС РАН перейдут в чрезвычайный режим работы. Первоочередное значение при этом будет иметь готовность персонала к выполнению своих функциональных обязанностей. Главное событие и его сильнейшие афтершоки будут зарегистрированы без искажений стационарными станциями Камчатской сети, если интенсивность сотрясений в этих пунктах не будет превышать 2-3 баллов, а также имеющимися станциями сильных движений.

Все стационарные сейсмические станции, расположенные на территории Камчатки (Эссо, Беринг, Крутоберегово, Апача, Оссора, Паужетка и др.) будут продолжать работать и предоставлять свои данные для сводной обработки. Сохранят свою работоспособность практически все радиотелеметрические сейсмические станции (РТСС). Центр сбора и обработки данных РТСС в г. Ключи также сохранит свою работоспособность и может взять на себя функции оперативной обработки землетрясений Камчатки. Совместная обработка данных доступных радиотелеметрических и стационарных станций позволит контролировать сейсмичность всей Камчатки с 9-го энергетического класса по шкале С. А. Федотова [10]. Для полноценного выполнения этих функций резервный центр в г. Ключи должен быть обеспечен средствами и каналами связи (включая спутниковые) с региональными станциями, ГС РАН (Обнинск) и подразделениями МЧС. Кроме этого в г. Ключи должен быть доставлен дополнительный квалифицированный персонал.

В районе г. Петропавловска-Камчатского функции запасного (вспомогательного) центра сбора и обработки данных, при условии оснащения средствами связи с другими стационарными станциями КФ ГС РАН и выходом в Internet, может взять на себя комплексная геофизическая обсерватория «Карымшина». Работа КамО ФЦПЗ с целью анализа развития афтершокового процесса и оценки опасности повторных сильных землетрясений может быть организована также на базе комплексной геофизической обсерватории «Карымшина». Таким образом, будут обеспечены задачи системы мониторинга 1, 2, 4, 5. Задача 3 (непрерывная регистрация геофизических, гидрогеохимических и др. параметров) будет обеспечена только в той части, где накопление данных измерений производится непосредственно в пункте наблюдений и не требуется проведения дополнительных операций или химических анализов в стационарных лабораторных условиях. Организация специальных эпицентральных наблюдений, выполнение работ по макросейсмическому обследованию эпицентральной зоны сильного землетрясения и территории г. Петропавловска-Камчатского (задачи 6, 7) потребуют больших совместных усилий ГС РАН, ИВиС ДВО РАН, ИФЗ РАН, учреждений Росстроя и др., при обязательном содействии МЧС и органов власти.

Основные проблемы

Приведенное выше описание работы системы мониторинга сейсмической опасности на территории Камчатской области в период сильного землетрясения опирается главным образом на ее состояние в настоящее время и носит предположительный характер. Реальное развитие ситуации может сильно отличаться от умозрительных предположений. Очевидно, что успешность выполнения основных задач зависит не только от состояния технических средств, превентивных технических и организационных мероприятий, но и в первую очередь от готовности персонала к выполнению своих функциональных обязанностей в период сильного землетрясения. Ниже рассмотрены основные проблемы готовности системы к сильному землетрясению в г. Петропавловске-Камчатском и пути их решения.

Регистрация главного события и сильных афтершоков на территории г. Петропавловска-Камчатского и в эпицентральной зоне сильного землетрясения. Наиболее полные данные о сильном землетрясении и его очаге могут быть получены при организации наблюдательных сетей в его эпицентральной зоне. Это дает более глубокое понимание природы наблюдаемых событий и физических явлений, приводящих к их возникновению. В первую очередь необходима регистрация сейсмических сигналов от сильных землетрясений и деформаций земной коры. Уровень изученности параметров колебаний грунта (амплитуд, спектров, длительности) при сильных землетрясениях является основой сейсмостойкого строительства и обеспечения безопасности населения на Камчатке. Российские инженеры и проектировщики ведут расчет сооружений (на Камчатке и по России в целом) почти исключительно на основе данных о движениях грунта, полученных при землетрясениях в Калифорнии, в Японии и на других зарубежных территориях. При этом известно, что колебания грунта в разных регионах имеют свою специфику, которую необходимо учитывать в расчетах. Надежность расчетов сооружений, которые строятся на российской земле можно обеспечить, только проводя непрерывную регистрацию сильных колебаний грунта («сильных движений») при землетрясениях на территории России.

Сеть сильных движений на Камчатке в настоящее время состоит из 16 пунктов наблюдений (в начале 90-х годов прошлого века их было 26). Система в основном построена на приборах, которые уже не выпускаются промышленностью и не отвечают современным

требованиям к регистраторам такого назначения. Темпы начатого переоснащения недостаточны – за 2004-2005 гг. установлено всего 5 цифровых акселерографа. Для поддержки наблюдений хотя бы на уровне 90-х годов необходимо не менее 30-50 новых цифровых регистраторов. На Камчатке, в первую очередь на территории г. Петропавловска-Камчатского, необходимо создание цифровой сети регистрации сильных движений при землетрясениях. Это позволит получать данные о фактических колебаниях грунта и тем самым: оперативно давать оценки вероятного ущерба на основе прямых измерений; создать надежную основу для проектирования сейсмостойких зданий и сооружений; изучить характер затухания амплитуд с расстоянием, влияние грунтово-геологических условий площадок строительства, соотношение колебаний грунта с фактическими повреждениями зданий. Для проведения эпицентральных наблюдений должна быть создана и оснащена техническими средствами мобильная сейсмическая группа. Техническое оснащение мобильной сейсмической группы должно включать в себя: автономные цифровые регистраторы сейсмических сигналов с широким частотным и динамическим диапазоном; автономные GPS станции для измерений деформаций земной коры; средства связи. Данные специальных эпицентральных наблюдений дадут возможность детально изучить свойства очага землетрясения (источника колебаний).

Оперативный контроль сейсмичности, оценка сейсмической опасности. Центр сбора и обработки данных с приемным центром РТСС в г. Петропавловск-Камчатский расположен в пристройке к зданию ИВиС ДВО РАН, представляющей каркасное сооружение с навесными панелями. Реальная сейсмостойкость таких зданий не лучше 8 баллов. Т.е. при возможных сотрясениях до 9 баллов центр сбора и обработки данных потеряет свою работоспособность. Сейсмическая станция «Петропавловск» работает в непрерывном круглосуточном режиме и отвечает в настоящее время за службу срочных донесений о землетрясениях Камчатки и мира, на нее так же возложены обязанности по выдаче сигнала тревоги цунами для близких сильных землетрясений. Здание сейсмической станции «Петропавловск» построено в 50-х гг. прошлого столетия из мелких шлакоблоков. Срок эксплуатации таких зданий не более 50 лет. Расчетная сейсмостойкость здания 6-7 баллов. Возможные сотрясения на станции «Петропавловск» от сильного землетрясения в Авачинском заливе могут достигать 8 и более баллов, что может привести к потере ее работоспособности и невозможности выполнить свои задачи по службе предупреждения о цунами.

Для обеспечения непрерывного сейсмического мониторинга и оповещения о цунами на территории Камчатской области необходимо: (1) перенос центра сбора и обработки данных с приемным центром РТСС в здание с более высокой сейсмостойкостью (не менее 9 баллов) или создание его мобильного аналога; (2) создание резервного (дублирующего) центра контроля в удаленном безопасном районе. В качестве резервного центра контроля сейсмичности Камчатки выше рассматривался приемный центр РТСС в г. Ключи. Уже сейчас он работает в оперативном режиме, но только по контролю сейсмичности Ключевской группы вулканов. Для полного выполнения задач сейсмического мониторинга всей Камчатки на период сильного землетрясения в г. Петропавловске-Камчатском необходимо его дооснащение каналами спутниковой связи с ГС РАН, МЧС и выходом в Internet, техническими и программными средствами обработки данных, создание условий для дополнительного персонала.

Для оперативной оценки сейсмической опасности в условиях чрезвычайной ситуации экспертная группа КамО ФЦПЗ, вне зависимости от пункта нахождения, должна иметь доступ к телефонной связи и выходу в Internet. Это позволит иметь в реальном времени доступ к данным обработки резервного центра в г. Ключи, ГС РАН в Обнинске и международных сейсмологических центров. Работа КамО ФЦПЗ может быть организована на базе комплексной геофизической обсерватории «Карымшина» или оперативного штаба МЧС. Наибольшая опасность возникновения сильных афтершоков по С. А. Федотову и др. [11, 12], которые могут вызвать сотрясения в г. Петропавловске-Камчатском с интенсивностью более 7 баллов – сначала первые трое суток, затем первые десять суток.

Геофизические, гидрогеохимические и другие наблюдения в период сильного землетрясения. Геофизические и гидрогеохимические наблюдения в первую очередь направлены на поиск и исследования предвестников сильных землетрясений. Наблюдения режима подземных вод, их химического и газового состава на скважинах и источниках юго-востока полуострова Камчатка показывают, что подземная гидросфера является одним из наиболее чувствительных индикаторов процессов подготовки и реализации сильных землетрясений [4, 13]. На Камчатке получены уникальные комплексы данных, включающие в себя измерения:

современных движений земной коры, электротеллурических потенциалов, уровня и состава воды в скважинах (ГГД мониторинг), вариаций электромагнитного поля Земли, высокочастотных сейсмических шумов и акустических сигналов в скважине [6, 7, 8]. Анализ этих данных выявил ряд особенностей, которые свидетельствуют о связи вариаций измеряемых величин с геодинамическими процессами, в частности с процессами подготовки сильных землетрясений.

Обеспечение непрерывности GPS, геофизических, гидрогеохимических и других наблюдений в период сильного землетрясения не менее важная задача, как и регистрация главного события и его афтершоков сейсмическими станциями. Это имеет большое теоретическое и практическое значение для разработки моделей сейсмического процесса, для решения проблемы прогноза землетрясений.

Сейчас все геофизические и гидрогеохимические наблюдения практически сосредоточены в районе г. Петропавловска-Камчатского. Имеющаяся система сбора и обработки данных геофизических и гидрогеохимических наблюдений позволяет контролировать геодинамические процессы с периодом 7 дней. Необходимо развитие геофизических и гидрогеохимических наблюдений в других районах Камчатки, модернизация системы сбора и обработки данных с учетом обеспечения возможности работы после сильного землетрясения в г. Петропавловске-Камчатском и создания условий контроля геодинамических процессов в оперативном режиме. Необходимо техническое переоснащение и расширение сети GPS наблюдений, создание новых пунктов наблюдений с каналами связи, позволяющими получать данные в реальном режиме времени.

Заключение

1. В ближайшие 3-5 лет с вероятностью около 60% в районе полуострова Камчатка возможно возникновение землетрясения с магнитудой $M \geq 7.5$, которое может вызвать на территории города сотрясения с интенсивностью 7 и более баллов. В условиях неизбежности сильного землетрясения в г. Петропавловске-Камчатском кроме первоочередных работ по сейсмоусилению зданий, необходимо обеспечить возможно более полное изучение самого землетрясения и его воздействия на территорию для обеспечения безопасности населения в будущем.

2. Созданная система мониторинга сейсмической опасности территории Камчатки с 1996 г. апробирована на всех землетрясениях Камчатки с магнитудой более 6.0, среди которых и Кроноцкое 05.12.1997 г. с $M_w = 7.8$. Критерием ее эффективности и надежности будет сильное землетрясение, которое вызовет сотрясения в г. Петропавловске-Камчатском с интенсивностью более 7 баллов.

3. Показано, что при интенсивности сотрясений в г. Петропавловске-Камчатском 7 и 8 баллов система обладает достаточной потенциальной надежностью по обеспечению контроля сейсмичности Камчатки. Вместе с тем по состоянию на 2005 г. система не содержит необходимого количества приборов для регистрации сильных движений на территории города и, кроме того, не сможет обеспечить непрерывность геофизических, гидрогеохимических и других наблюдений в период сильного землетрясения. По состоянию на 2005 г., КФ ГС РАН не сможет также развернуть в необходимом объеме специальные наблюдения в эпицентральной зоне сильного землетрясения.

4. Первоочередные мероприятия для подготовки системы мониторинга к сильному землетрясению:

- создание цифровой сети регистрации сильных движений при землетрясениях на территории г. Петропавловска-Камчатского;
- создание и оснащение техническими средствами мобильной сейсмической группы для эпицентральных наблюдений;
- перенос центра сбора и обработки данных с приемным центром РТСС в г. Петропавловске-Камчатском в здание с более высокой сейсмостойкостью (не менее 9 баллов) или создание его мобильного аналога;
- создание резервного (дублирующего) центра контроля в г. Ключи и вспомогательного на базе КГО «Карымшина»;
- развитие геофизических, геодезических и гидрогеохимических наблюдений, модернизация системы сбора и обработки данных с учетом обеспечения возможности работы после сильного землетрясения в г. Петропавловске-Камчатском;
- развитие системы связи.

Список литературы

1. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Сеницын В.И., Шевченко Ю.В., Ящук В.В. Система сейсмологических наблюдений. //Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 2004. Изд-во Камчатский печатный двор. С.11-42
2. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Козырева Н.П., Левина В.И., Сергеев В.А., Сеньюков С.Л., Ящук В.В. Сбор, обработка и хранение сейсмологической информации. //Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 2004. Изд-во Камчатский печатный двор. С.43-61.
3. Гордеев Е. И., Салтыков В. А., Серафимова Ю. К. Камчатское отделение федерального центра прогнозирования землетрясений: опыт работы и результаты // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. К 25-летию Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН / Отв. ред. Е.И. Гордеев, В.Н. Чебров. - Петропавловск-Камчатский, 2004. с.202-215.
4. Копылова Г.Н., Любушин А.А. (мл.), Малугин В.А., Смирнов А.А., Таранова Л.Н. Гидродинамические наблюдения на Петропавловском полигоне, Камчатка // Вулканология и сейсмология, 2000, № 4. С. 69-79.
5. Кузьмин Ю. Д., Рябинин Г. В. Мониторинг газового состава и гидрохимических параметров гидротермально-магматических систем // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма. Петропавловск – Камчатский, 2005 г. С. 328 – 342.
6. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтиаров В.Ф., Павлов В.М., Прилепин М.Т., Титков Н.Н. Современные движения земной коры на Камчатке и их связь с сейсмической и вулканической активностью // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. К 25-летию Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 2004, С. 113-135.
7. Мороз Ю.Ф., Бахтиаров В.Ф., Воропаев В.Ф и др. О мониторинге электротеллурического поля для прогноза сильных землетрясений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 139-149.
8. Салтыков В.А., Чебров В.Н., Сеницын В.И., Касахара М., Кугаенко Ю.А. Сеть пунктов регистрации высокочастотных сейсмических шумов // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. К 25-летию Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН / Отв. ред. Е.И. Гордеев, В.Н. Чебров. - Петропавловск-Камчатский, 2004. с.136-151.
9. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сейсмостойкое строительство. 1998. № 4, с.30 -34.
10. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
11. Федотов С. А., Чернышева Г. В., Шумилина Л. С. Оценка сейсмической опасности с $M \geq 6$, сопровождающие сильнейшие ($M=8$) тихоокеанские землетрясения//Вулканология и сейсмология, 1993, № 6, С 3-12
12. Федотов С. А., Потапова О. В., Чернышева Г. В., Шумилина Л. С. Последовательность опасных афтершоков ($M \geq 6$) при сильнейших ($M > 7,7$) Курило-Камчатской дуги и сходных структур // Вулканология и сейсмология, 1998, № 6, С 54-61
13. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г. В.. Гидрогеохимические исследования на Камчатке. // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск – Камчатский, 2004. сс.96-112.
14. Шебалин Н. В., Аптикаев Ф. Ф. Развитие шкал типа MSK // Вычислительная сейсмология, Вып. 34, 2003, С 210-253
15. Штейнберг В. В., Сакс М. В., Аптикаев Ф. Ф., Алказ В. Г., Гусев А. А., Ерохин Л. Ю., Заградник И., Кендзера А. В., Коган Л. А., Лутиков А. И., Попова Е. В., Раутиан Т. Г., Чернов Ю. К. Методы оценки сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии, Вып. 34, 1993, С 5-94.
16. Uyeda, S., T. Nagao, K.Hattori, M. Hayakawa, K. Miyaki, O. Molchanov, V. Gladyshev, L. Baransky, A. Schekotov, E. Fedorov, O. Pokhotelov, S. Andreevsky, A. Rozhnoi, V. Khabazin, A. Gorbatiykov, E. Gordeev, V. Chebrov, V. Sinitsyn, A. Lutikov, S. Yunga, G. Kosarev, V. Surkov, and G. Belyaev. Geophysical Observatory in Kamchatka region for monitoring of phenomena connected with seismic activity Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol.1, N 1/2, pp. 3-7, 2001.