

УДК 550.34

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

© 2007 В. Н. Чебров

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бул. Пийпа, 9;
e-mail: chebr@emsd.iks.ru*

Изложены основные положения технических предложений по развитию системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России. Работа выполнена в рамках выполнения мероприятия 18 федеральной целевой программы (ФЦП) «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года».

ВВЕДЕНИЕ

Цунами - опасные природные явления, которые могут повлечь за собой массовую гибель людей, разрушение населенных пунктов, уничтожение экономического потенциала. Только в XX веке, мощные цунами неоднократно обрушивались на тихоокеанские побережья России. Особенно мощными были события 1923 (дважды), 1952, 1969 и 1994 гг. Высота волн достигала 10-20 м и более. Исторические сведения и геологические данные полностью подтверждают устойчиво высокий уровень опасности цунами и землетрясений на Дальнем Востоке России. Эти природные катастрофы несомненно будут повторяться здесь и в будущем (Левин, 2005; Соловьев, 1972).

На Дальнем Востоке России существует служба предупреждения о цунами (СПЦ). При создании СПЦ на Дальневосточном побережье СССР в 1958-59 гг. за основу был принят сейсмический метод прогноза, базирующийся на регистрации опережающих цунами сейсмических волн (Поплавский и др., 1997; Саваренский, 1956). Используя трехкомпонентные наблюдения в одной точке, можно найти координаты эпицентра и магнитуду, то есть определить место возникновения и силу землетрясения. Оценка по этим двум величинам вероятности возникновения цунами и составляет сущность магнитудно-географического критерия, использование которого лежит в основе работы СПЦ до настоящего времени.

Для того чтобы предупреждение о цунами оказалось своевременным, положение эпицентра и сила землетрясения должны быть определены с минимальными задержками после его начала. Для этого сейсмические станции службы были оборудованы специально разработанной аппаратурой, которая до последнего времени является основной на сейсмических станциях СПЦ (Кирнос, Рыков, 1961).

В 1980 году было принято Постановление Совета Министров СССР (№ 82I от 23.09.80) о мерах по дальнейшему совершенствованию организации своевременного предупреждения населения приморских районов Дальнего Востока о морских волнах, вызываемых подводными землетрясениями (цунами). Этим Постановлением предусматривалось создание в 1985-90 гг. на Дальнем Востоке единой автоматизированной системы наблюдения за возникновением и распространением цунами ЕАС «Цунами» (ЕАСЦ). В ходе работ по выполнению Постановления в начале 80-х годов XX века была разработана структура ЕАСЦ, включающая в себя сейсмическую и гидрофизическую подсистемы, подсистему связи и ряд центров сбора и обработки информации, в ходе работ были проработаны методы и алгоритмы автоматизированного прогноза цунами (Поплавский и др., 1988). В конце 80-х и 90-х гг. прошлого века по ряду объективных причин, проблема цунами в России отошла на второй план, и уже начатые работы были не завершены.

Характерные черты действующей сегодня СПЦ: отсутствие автоматической обработки сейсмических данных и невозможность обработки в реальном масштабе времени по сети станций приводят к низкой надежности и достоверности сигналов тревоги цунами. Число сейсмических станций несущих службу цунами на Дальнем Востоке РФ недопустимо мало. В связи с невозможностью своевременно довести сигнал тревоги цунами, вырабатываемый удаленными сейсмическими станциями, до населения не обеспечивается защита ряда населенных пунктов с высокой опасностью цунами. Датчики и методики, используемые сегодня в системе предупреждения о цунами, во многом принципиально устарели.

После сильнейшего Суматра-Андаманского землетрясения в декабре 2004 г., вызвавшего катастрофическое цунами, которое унесло жизни более 300 тысяч человек и нанесло значительный экономический ущерб, в соответствии с поручением Президента РФ работы по развитию действующей СПЦ включены в ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года».

Сейчас служба предупреждения о цунами на Дальнем Востоке Российской Федерации является функциональной подсистемой Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ФП РСЧС-ЦУНАМИ), которая представляет собой межведомственную организационную структуру. Сейсмологические наблюдения обеспечивает Геофизическая служба РАН (ГС РАН), наблюдения за уровнем моря - Росгидромет.

Ниже изложены основные положения технических предложений по развитию системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России, разработанных ГС РАН, Камчатским филиалом в 2006 г. в рамках Государственного контракта на выполнение НИОКР¹. Государственный заказчик - Росгидромет. В работе принимали участие специалисты ведущих институтов РАН (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Институт физики Земли РАН, Институт океанологии РАН, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ТРЕБОВАНИЯ К РАЗВИТИЮ СЕТИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Основной целью развития системы сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных для СПЦ является последовательное снижение рисков чрезвычайных ситуа-

ций, вызываемых цунами, максимальное снижение рисков гибели людей и материальных ценностей, повышение защищенности критически важных объектов от угрозы цунами для обеспечения безопасной жизнедеятельности и устойчивого развития дальневосточного региона России. Для реализации указанной цели необходимо обеспечить существенное повышение оперативности, надежности и достоверности обнаружения и распознавания цунамигенных землетрясений путем технического переоснащения и развития сети сейсмологических наблюдений.

Исходные данные и предпосылки развития сети сейсмологических наблюдений, средств обработки и передачи данных в целях повышения оперативности и надежности предупреждения о цунами.

1) Принципиальная возможность предупреждения о возможности цунами заключается в существенном различии скоростей распространения сейсмических волн в земной коре (4-7 км/с) и волн цунами в океане (0.1-0.2 км/с). Благодаря этому создается некоторый, в большинстве случаев весьма небольшой, запас времени между регистрацией подводного землетрясения и приходом волн цунами к ближайшему побережью.

2) В конкретных физико-географических условиях наиболее опасного на Дальнем Востоке России Курило-Камчатского региона при возникновении землетрясения в пределах континентального склона, время распространения головной волны цунами до ближайших участков побережья составляет не более 15-20 минут. Следовательно, сигнал предупреждения о цунами должен быть выработан за время не более 10 минут, что налагает определенные требования на конфигурацию системы наблюдений, систему связи и структуру технических и программных средств системы обработки.

3) Подавляющее большинство исторически наблюдавшихся цунами (99.5% от их общего числа и 95% всех разрушительных цунами) являются локальными и региональными событиями, при которых все жертвы и наибольший ущерб происходят в течение первого часа распространения волн (Gusiakov, et al., 2006).

4) Сегодня службу цунами на Дальнем Востоке России несут сейсмические станции «Петропавловск-Камчатский», «Южно-Сахалинск» и «Северо-Курильск», входящие в систему наблюдений ГС РАН.

Основные, характерные недостатки действующей на Дальнем Востоке России системы сейсмологических наблюдений СПЦ (СНСЦ)¹.

¹ Развитие сети сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами: Отчет о НИР / ВНИИЦ: Отв. Исполнитель к.т.н. В.Н. Чебров. № ГР 01.2.006 14018. Петропавловск-Камчатский - Обнинск, 2006. 285 с.

1. Оборудование сейсмических станций для целей СПЦ устарело и не соответствует современным требованиям:

2. Технология и методики принятия решения о возможности цунами не пересматривались по существу с момента организации СПЦ в 1959 г.

3. Низкая точность оценки основных параметров землетрясений (координаты, энергия), невозможность оценки глубины очага и использования дополнительных к магнитудному критерию цунамигенности землетрясений.

4. Ручная обработка сейсмограмм.

5. Решение о возможности возбуждения сильным землетрясением волны цунами принимается каждой сейсмической станцией автономно.

5) В зарубежных системах предупреждения о цунами на сегодняшний день перечисленные выше недостатки в большой мере преодолены.

Основные подходы при выработке решения о возможности цунами в СПЦ Японии, США и Франции (ITSU Master Plan, 1999; Koya et al., 2006; Sokolowski et al., 1990; Tatehata, 1997; TREMORS, 1995):

1. Сейсмические станции, входящие в СПЦ, как правило, оснащены широкополосными цифровыми сейсмометрическими каналами, средствами связи реального времени.

2. Оценки основных параметров землетрясений производится в автоматическом режиме по группе или сети станций, которые заверяются оператором.

3. Решение о возможности цунами с учетом рекомендаций, вырабатываемых автоматически, как правило, принимается оператором.

4. Итеративный подход в принятии решения по мере накопления (поступления) данных на каждой сейсмической станции и других сейсмических станций.

5. Широкое использование результатов предварительного моделирования очагов цунамигенных землетрясений.

6) Современные сейсмические датчики, в соединении с прогрессивными цифровыми технологиями сбора и анализа данных, позволяют регистрировать сейсмические волны в широкой полосе частот с высоким разрешением и динамическим диапазоном. Современные компьютерные аппаратные средства и развитое программное обеспечение обработки данных чрезвычайно облегчают задачу всестороннего и точного анализа сейсмограммы. Анализ цифровых сейсмических записей может быть проведен с высокой оперативностью, с небольшим отставанием от реального времени, в полностью автоматическом режиме, и обеспечить тем самым радикальное повышение надежности и обоснованности оперативных прогнозов цунами по сейсмическим данным.

7) Система должна иметь иерархическую структуру, в которой узлы низкого уровня могли бы решать задачи мониторинга, прогнозирования и предупреждения о цунами в неполном объеме, но при этом независимо от внешних линий связи. В ряде случаев только узлы нижнего уровня, локализованные вблизи очага землетрясения, смогут успеть подать тревогу с приемлемым уровнем заблаговременности.

8) Прямой выход сигнала тревоги в систему оповещения населения о возможности цунами на локальном уровне, взаимодействие с подразделениями СПЦ Росгидромет и МЧС – необходимые условия своевременного доведения сигналов предупреждения о цунами до населения.

ФУНКЦИИ И ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СПЦ

Основным назначением системы сейсмологических наблюдений в СПЦ (СНСПЦ) является оценка возможности возбуждения волны цунами сильным землетрясением на основе обработки кинематических и динамических характеристик сейсмических сигналов. При этом, основная проблема состоит в своевременной выработке сигнала предупреждения и тревоги о возможности волны цунами от землетрясений в ближней зоне (до 200 км от очага землетрясения до защищаемого СПЦ участка побережья или населенного пункта).

Основные функции сети сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России для СПЦ, оснащенной адекватными средствами, методами, алгоритмами обработки и передачи данных:

1. Обнаружение и регистрация землетрясений северо-западной части Тихого океана, включая Японское, Охотское и Берингово моря, в круглосуточном непрерывном режиме.

2. Обработка сейсмических сигналов в автоматическом и автоматизированном режиме с целью быстрой оценки параметров сильных землетрясений ($M > 6.0$) северо-западной части Тихого океана, включая Японское, Охотское, Берингово моря, по одной станции, по локальной группе станций, по сети станций.

3. Обеспечение результатами обработки сейсмологических данных (параметры очагов землетрясений) ФП РСЧС-ЦУНАМИ на локальном, региональном и федеральном уровнях.

4. Принятие решения о возможности цунами по одной станции, по локальной группе станций, по сети станций;

5. Передача сигналов предупреждения о цунами на локальном, региональном и федеральном уровне по схеме оповещения ФП РСЧС-ЦУНАМИ.

6. Обмен данными наблюдений с российскими и международными сейсмологическими центрами и центрами предупреждения о цунами.

7. Взаимодействие с Росгидромет.

8. Сбор, накопление и систематизация данных сейсмологических наблюдений, обобщение и анализ записей цунамигенных землетрясений.

Задачи развития сети сейсмологических наблюдений, средств обработки и передачи данных для СПЦ.

1) Повышение эффективности оперативного прогноза цунами по сейсмологическим данным на Дальнем востоке Российской Федерации - основная задача.

2) Непрерывный сейсмический мониторинг территории Дальнего Востока Российской Федерации и мира.

3) Научно-исследовательские работы в области создания информационного и методического обеспечения развития системы сейсмологических наблюдений, средств обработки и передачи данных для СПЦ с целью повышение оперативности, надежности и достоверности обнаружения и распознавания цунамигенных землетрясений.

СТРУКТУРА СЕТИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Сеть сейсмологических наблюдений (рис. 1) для СПЦ должна включать в себя: сейсмические станции, систему связи для передачи данных, информационно-обрабатывающие центры данных сети сейсмических станций, оконечные устройства системы оповещения о возможности цунами.

Сейсмические станции. Основу системы сейсмологических наблюдений для СПЦ должны составлять сейсмические станции, созданные специально для решения задач обнаружения землетрясений, оценки их цунамигенности и выработки решения о возможности цунами.

К специализированным сейсмическим станциям СПЦ предъявляются повышенные требования по непрерывности работы (горячее резервирование, дублирование основных узлов оборудования), по качеству и достоверности исходных сейсмических данных и результатов их обработки (качество и надежность датчиков сейсмических сигналов и их адекватная установка), по квалификации персонала, по устойчивости к сильным сейсмическим воздействиям.

Кроме данных специализированных сейсмических станций СПЦ в решении задачи оперативного прогноза цунами могут и должны использоваться данные доступных в реальном времени станций имеющихся региональных и локальных сетей сейсмологических наблюдений

(СН) ГС РАН и (или) результатов их обработки. Все специализированные сейсмические станции СПЦ должны быть оснащены:

- однотипными широкополосными датчиками сейсмических сигналов;

- оборудованием, методами, алгоритмами и программным обеспечением цифровой регистрации и обработки сейсмических данных в автоматическом и автоматизированном режимах;

- оконечными устройствами системы связи для передачи исходных сейсмических данных и результатов их обработки в региональные информационно-обрабатывающие центры;

- оконечными устройствами локальной системы оповещения населенного пункта о возможном цунами;

- системой бесперебойного энергопитания.

В зависимости от предъявляемых функциональных требований специализированные сейсмические станции для СПЦ можно разделить на региональные (вспомогательные) и базовые (опорные).

Характерные особенности региональных (вспомогательных) и базовых (опорных) сейсмических станций.

По назначению. Вспомогательная сейсмическая станция СНСПЦ в основном предназначена для защиты населенных пунктов или участков побережья от локальных цунами с относительно низкой цунами опасностью, для дополнения СНСПЦ с целью ее оптимизации.

Базовая сейсмическая станция СНСПЦ предназначена для защиты населенных пунктов, ответственных объектов или участков побережья от локальных цунами с высокой цунами опасностью, составляет основу СНСПЦ.

По комплекту оборудования. Вспомогательная сейсмическая станция СНСПЦ должна быть оснащена 2-мя широкополосными трехкомпонентными датчиками сейсмических сигналов (велосиметр, акселерометр).

Базовая сейсмическая станция СНСПЦ должна представлять собой сейсмическую группу с апертурой 10-25 км. Центральный пункт оснащен велосиметром и акселерометром, выносные пункты - только акселерометром. Центральный пункт должен быть оснащен системой сбора и обработки сейсмологических данных в автоматическом и автоматизированном режимах, а также системой технологической связи с выносными пунктами.

По выполняемым функциям. Вспомогательная сейсмическая станция СНСПЦ должна обеспечивать сейсмическими данными СПЦ на уровне принятия решения о возможности цунами по сети станций, должна обеспечивать распознавание сильных землетрясений в автоматическом режиме и давать предупреждение в

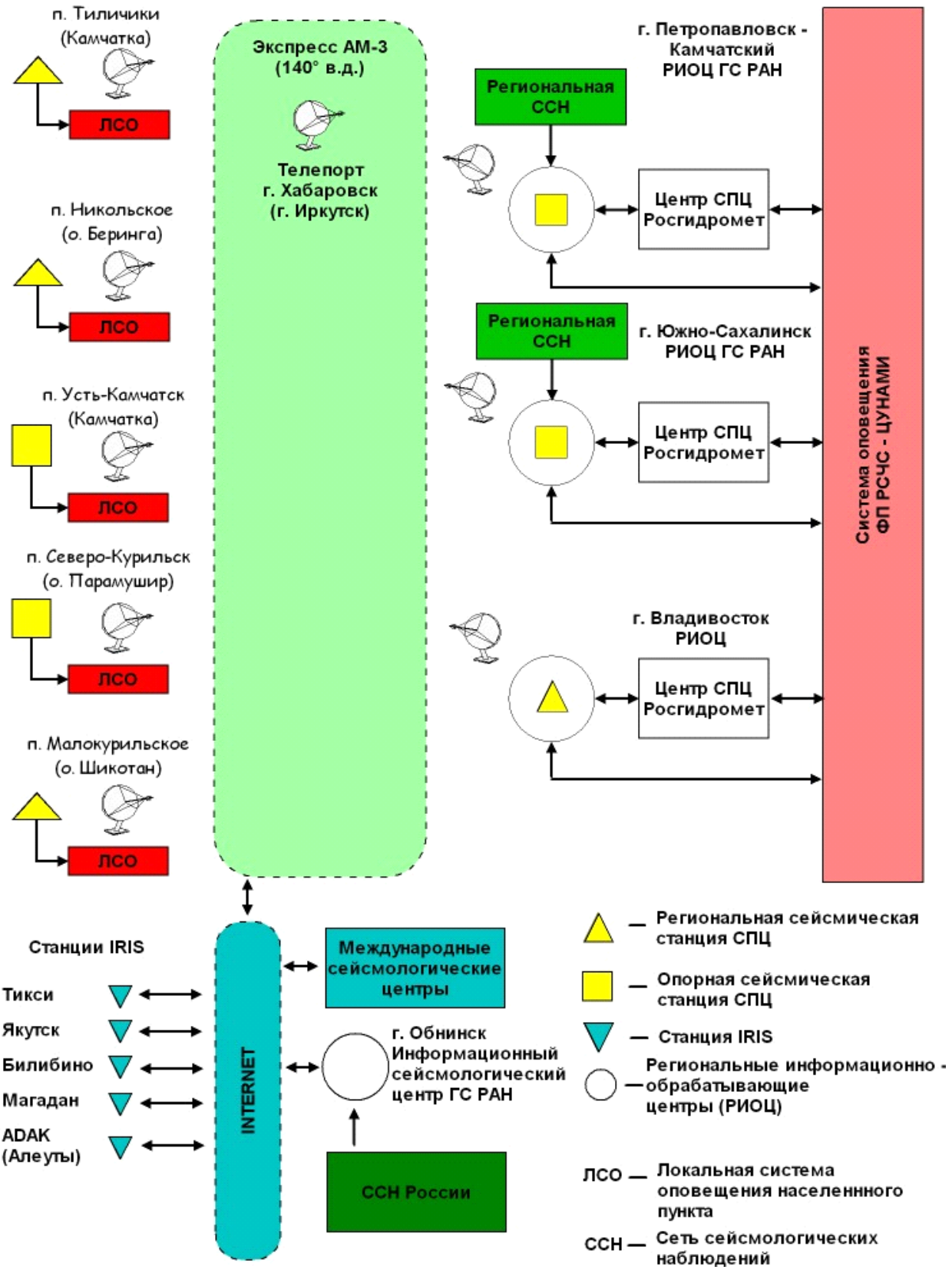


Рис. 1. Структура системы сейсмологических наблюдений для СПЦ (1 этап).

локальную систему оповещения населенного пункта о происходящем сильном землетрясении.

Базовая сейсмическая станция СНСПЦ только по своим данным должна обеспечивать принятие решения о возможности локального цунами от землетрясений в ближней зоне (до 200 км) в автоматическом и автоматизированном режимах, давать предупреждение в локальную систему оповещения населенного пункта о происходящем сильном землетрясении и возможности цунами. Она должна обеспечивать сейсмическими данными СПЦ на уровне принятия решения о возможности цунами по сети станций.

По режиму работы. Вспомогательная сейсмическая станция СНСПЦ должна работать в непрерывном автоматическом режиме, постоянное присутствие персонала не требуется.

Базовая сейсмическая станция СНСПЦ должна работать в непрерывном автоматическом и автоматизированном режимах с постоянным круглосуточным присутствием высококвалифицированного персонала.

Основными параметрами систем наблюдений в сейсмологии являются: количество станций, геометрическая конфигурация их сети, частотные характеристики сейсмометрических каналов, их динамический диапазон и коэффициент преобразования.

Планирование сети сейсмологических наблюдений для СПЦ должно определяться в первую очередь существом тех задач, для решения которых она предназначена. В силу причин экономического характера число станций в СНСПЦ ограничено, что, в свою очередь, требует решения задачи оптимального планирования такой сети.

Число сейсмических станций СНСПЦ, необходимых для надежного принятия решения о возможности цунами, определяется требованиями к решению обратной задачи в полном объеме – оценка основных параметров землетрясений по записям сейсмических сигналов сетью сейсмических станций. В отложенном режиме обратная задача обычно решается по записям 15-40 станций на большом удалении от очага. Но этот подход неприемлем в задаче предупреждения о цунами по причине малого резерва времени – менее 10 минут. Поэтому приходится рассчитывать на использование только близких станций. Хотя принципиально использование нескольких десятков станций вблизи очага землетрясения могло бы дать относительно более надежные результаты, такой подход с экономической точки зрения не реален. В качестве разумного компромисса можно говорить о расположении в пределах Дальнего Востока России 15-25 станций, из которых 10-12 должны быть вблизи возможных эпицентральных зон цунамигенных землетрясений и иметь

высокую живучесть, а остальные могут быть обычного обсерваторского типа. При этом в непосредственной окрестности очага конкретного землетрясения обычно будут оказываться 3-5 станций. На рис. 2 показана планируемая схема размещения специализированных сейсмических станций СПЦ на территории Дальнего Востока России и станций глобальной цифровой сети IRIS, привлечение которых необходимо для уточнения решения о возможности цунами.

Общие требования к сейсмометрическим каналам. После определения числа и мест расположения сейсмических станций, входящих в СНСПЦ, вторым важнейшим вопросом является выбор типа сейсмометрического канала (регистрируемые сейсмические сигналы - смещение грунта, скорость движения грунта, ускорение движения грунта; частотный диапазон; динамический диапазон), датчика сейсмических сигналов, коэффициента преобразования сейсмометрического канала. Способ регистрации сейсмических сигналов – накопление цифровых данных на машинных носителях. Геометрия сети, коэффициент преобразования и частотный диапазон сейсмометрических каналов определяют пороговую чувствительность системы наблюдений, то есть минимальную магнитуду (энергетический класс) событий, регистрируемых системой наблюдений в различных частях района наблюдений. В свою очередь, от уровня энергетической представительности напрямую зависит число событий, регистрируемых системой наблюдений, то есть загрузка системы обработки данных.

Базовые и вспомогательные сейсмические станции СНСПЦ должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Обеспечивать регистрацию сейсмических сигналов, вызывающих интенсивность сотрясений до 9-10 баллов по шкале MSK-64, что соответствует ускорениям движения грунта до 10-20 м/с².
2. Обеспечивать регистрацию сейсмических сигналов в полосе частот 0.0083 – 20 Гц с динамическим диапазоном не менее 130 дБ.
3. Оборудование сейсмических станций должно обладать высокой надежностью и виброустойчивостью.
4. Сейсмическая станция должна быть обеспечена надежными средствами связи и аварийным энергоснабжением, а основные узлы станции должны быть дублированы.
5. Сейсмические станции для СНСПЦ должны размещаться в первую очередь на имеющихся стационарах Геофизической службы РАН и в тех населенных пунктах, где потенциальные очаги цунамигенных землетрясений находятся в непосредственной близости от данного населенного пункта. К таким пунктам первую очередь

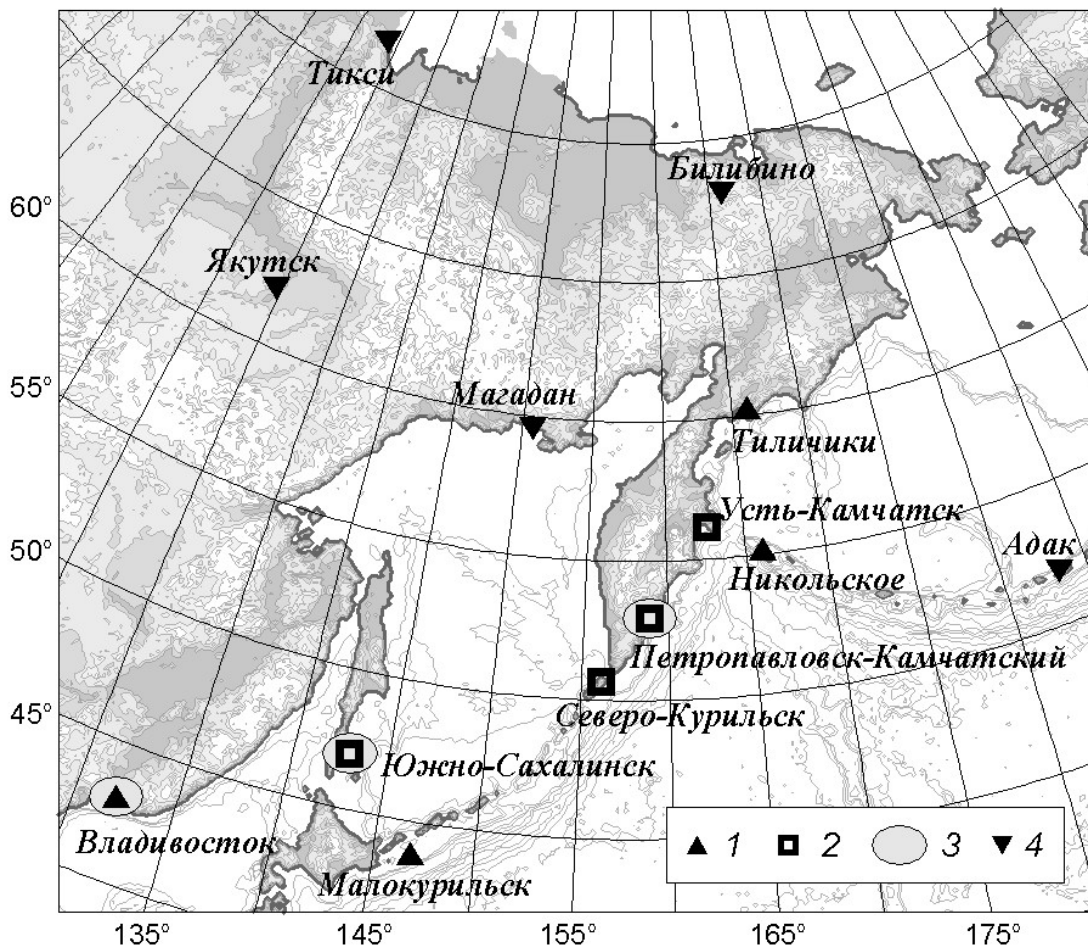


Рис. 2. Система сейсмологических наблюдений для СПЦ с привлечением станций глобальной сети IRIS для уточнения решений о возможности цунами. 1 – вспомогательные сейсмические станции; 2 – базовые (опорные) сейсмические станции; 3 – Региональные центры сбора и обработки данных; 4 – станции глобальной сети IRIS.

относятся поселки Северо-Курильск, Малокурильское (Курильские острова), Усть-Камчатка (Камчатка), Никольское (Командорские о-ва, о. Беринга).

6. Базовые сейсмические станции СНСПЦ должны размещаться в больших населенных пунктах с высокой цунамиопасностью, а также совмещаться с региональными информационно-обрабатывающими центрами Геофизической службы РАН и центрами СПЦ Росгидромета на Дальнем Востоке России.

Система связи для передачи данных. Особенностью сейсмической обработки является то, что данные многих станций должны обрабатываться совместно для получения параметров очагов землетрясений (координат эпицентра, глубины, магнитуды и др.). Это приводит к необходимости организации передачи данных сейсмических станций в региональные информационно-обрабатывающие центры в масштабе реального времени. Режимы передачи и объем передаваемых данных определяются в первую очередь задачами системы наблюдений (является ли она специализированной сетью для прогноза цунами или выполняет также другие функции

сейсмического мониторинга), однако в сильной степени зависят также от технических возможностей, существующих в данной стране или регионе. В конкретных экономико-географических условиях Дальнего Востока полномасштабная система передачи данных, обеспечивающая непрерывный режим передачи полной трехкомпонентной сейсмограммы от сейсмостанций к центру обработки, может быть построена лишь на основе спутниковых каналов связи.

Требуемая пропускная способность канала связи для передачи полного объема данных: для вспомогательной станции не менее 32,0 кбит/с; для базовой станции не менее 64,0 кбит/с.

Для повышения системной надежности целесообразно предусматривать резервные каналы связи (телефонные, телеграфные, телексы, радиоканалы в УКВ- и КВ-диапазонах), удовлетворяющие требованиям по надежности, коэффициенту готовности и времени доступа к каналу для передачи основных параметров сейсмического сигнала (времена вступления продольной и поперечной волн, максимальные амплитуды и периоды записи). В этом варианте объем передаваемых данных снижается на 4-5

порядков, составляя не более 50-100 байт на событие, с сохранением, однако, повышенных требований по срочности (задержки не более 1-2 мин) и коэффициенту готовности канала (не менее 0.99).

Информационно-обрабатывающие центры данных по сети сейсмических станций. С точки зрения решения главной задачи СПЦ – оперативного прогноза цунами – для обработки в реальном масштабе времени автоматически должны выбираться только сильные события ($M > M_{\text{пор}}$). С другой стороны, быстрое получение данных по возможно большему числу региональных событий обеспечит эффективное решение вторичных задач СНСПЦ. Очевидно, что оптимальное сочетание обеих задач в рамках одной системы является далеко не простым делом. На первом этапе следует ограничиться обеспечением наилучших условий для решения главной задачи СПЦ и по мере ее реализации переходить к решению других задач.

В настоящее время пороговое значение магнитуды ($M_{\text{пор}}$) для выпуска тревоги цунами по Курило-Камчатской зоне принято равным 7.0. Такие землетрясения являются достаточно редкими событиями и в этой зоне происходят в среднем 1-2 раза в год (по данным за 1950-2005 гг.). По службе срочных донесений в обработку вовлекается значительное число более слабых землетрясений ($M > 4.0$).

Система обработки СНСПЦ может быть централизованной и распределенной. В условиях Дальнего Востока РФ система обработки сейсмологических данных должна строиться на основе региональных информационно-обрабатывающих центров (ИОЦ) Геофизической службы РАН. Региональные ИОЦ в гг. Петропавловск-Камчатский и Южно-Сахалинск должны одновременно (параллельно) решать задачу о возможности возникновения цунами по данным всех сейсмических станций вовлеченных в службу предупреждения о цунами. На данном этапе развития системы сейсмологических наблюдений для СПЦ целесообразно в г. Владивосток организовать прием и обработку данных в автоматическом режиме на базе центра СПЦ Росгидромета. В г. Владивосток сейчас ИОЦ ГС РАН нет. Результаты обработки всех ИОЦ должны автоматически отражаться на ситуационной панели каждого ИОЦ и использоваться для контроля на этапе принятия решения. Реализация такого алгоритма обработки данных и принятия решения о возможности цунами может быть обеспечена при условиях создания равного и полного доступа всех ИОЦ к данным всех сейсмических станций и результатам обработки других ИОЦ. По существу речь идет о создании в реальном времени на базе спутниковых каналов

связи единого информационного пространства. Роль ведущего ИОЦ для каждого конкретного землетрясения выполняет ИОЦ в г. Петропавловске-Камчатском или в г. Южно-Сахалинске, в регионе которого оно происходит. Вторым ИОЦ страхует ведущего. В региональных ИОЦ ГС РАН будут собираться наиболее полные данные о землетрясении, что позволит применять более сложные, но и более эффективные алгоритмы определения координат, глубины и магнитуды сильного землетрясения. Полные данные о землетрясении от всех сейсмических станций Дальневосточного региона в ИОЦ будут получены на 3-5 минут позже, чем оно будет зарегистрировано на ближайшей к его гипоцентру станции. Более сложные алгоритмы также потребуют и больших затрат времени. Таким образом, наиболее достоверное решение о возможности возникновения цунами будет получено с задержкой не менее 5-10 минут по сравнению с моментом принятия решений на ближайших к гипоцентру землетрясения вспомогательных и базовых станциях СНСПЦ.

Необходимым условием эффективной работы региональных ИОЦ является однородность данных всех станций по частотному и динамическому диапазонам, что определяется в первую очередь характеристиками датчиков сейсмических сигналов и аналого-цифровых преобразователей.

В связи с крайне неравномерным распределением во времени числа событий, поступающих на вход системы, необходимо выделять пять основных уровней обработки, различающихся по режиму, времени и частоте выполнения, набору используемых данных, программных средств и необходимых вычислительных ресурсов, степени необходимого участия операторов.

1) Предварительная обработка сейсмических сигналов (адаптивная оптимальная фильтрация с целью увеличения соотношения сигнал/шум, поляризационный анализ и др.). Контроль работоспособности сейсмометрических каналов. Уровень 1 должен выполняться автоматически в режиме *полного реального времени*.

2) Выделение сигналов о сейсмическом событии по каждому из поступающих в ИОЦ каналу сейсмических данных и определение некоторого набора параметров выделенных сигналов (время вступления, преобладающий период, амплитуда и др.). Уровень 2 должен выполняться автоматически в режиме *полного реального времени*.

3) Ассоциация выделенных сейсмических фаз, декларация события, первое определение его основных параметров (время, координаты очага, магнитуда), проверка географического и магнитудного критериев с целью выделения

потенциально цунами опасных событий. Этот уровень также выполняется автоматически в режиме *квази-реального времени* (допустимы задержки на время не более 1-2 мин, при этом недопустимым является образование в системе очередей необработанных событий).

4) Уточнение основного набора параметров (в частности, глубины очага и магнитуды) для всех достаточно сильных (с магнитудой $M > M_{mp}$ - тревоги) региональных землетрясений, определение дополнительных критериев (механизм, сейсмический момент) и признаков цунамигенности. Оценка по совокупности сейсмологических критериев (в первую очередь критерия $M > M_{пор}$) и признаков цунами опасности землетрясения. Принятие решения в интерактивном срочном режиме о выдаче сигнала «Тревога цунами». Допустимое время на выполнение всех операций - не более 5 мин. Основной режим обработки - автоматизированный (при участии оператора).

5) Уточнение всех параметров землетрясения с привлечением данных станций мировой сети. Передача результатов обработки в ТЦПЦ и в центры СПЦ Японии, США и др. Уровень обработки 5 должен выполняться в автоматизированном режиме.

Принципы построения и функционирования СПЦ предполагают два режима ее работы - *типовой* и *тревожный*. Очевидно, что первый, второй и третий уровни соответствуют типовому режиму. Переход к четвертому (и далее, к пятому уровню) означает переход к тревожному режиму. Требование быстрого определения параметров событий, происходящих в случайные моменты времени, влечет за собой необходимость организации обработки 1-3 уровней в режиме реального времени. События, возникающие в случайные моменты времени, должны обрабатываться последовательно, один за другим, в порядке их поступления на вход системы. Время выполнения обработки должно быть сопоставимо с максимально возможной частотой событий. Последнее условие налагает весьма жесткие требования на быстродействие алгоритмов, используемых для первоначальной оценки параметров происходящих событий, невыполнение которых может приводить к созданию очередей необработанных событий, что применительно к задачам СПЦ является недопустимым.

ВЫВОДЫ

На основе рассмотрения исходных данных и требований к развитию системы сейсмологических наблюдений, ее функций и задач для службы предупреждения о цунами предложена структура СНСПЦ.

Проведена проработка общих технических и методических решений и средств, обеспечивающих повышение эффективности оперативного прогноза цунами по сейсмологическим данным на Дальнем востоке Российской Федерации и непрерывный сейсмический мониторинг территории Дальнего Востока Российской Федерации и мира.

Реализация разработанных в рамках выполнения мероприятия 18 ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года» технических предложений должна обеспечить повышение эффективности оперативного прогноза цунами по сейсмологическим данным на Дальнем востоке Российской Федерации, в том числе:

- повышение защищенности от воздействия цунами населенных пунктов, расположенных на побережьях полуострова Камчатка (гг. Петропавловск-Камчатский, Вилучинск, поселки Усть-Камчатск, Корф, Тиличики), на Курильских (поселки Малокурильское, Северо-Курильск и др.) и Командорских (поселок Никольское) островах, на побережье Японского моря (прибрежные поселки Приморского края);

- уменьшение задержки времени на оповещение населения о возможности цунами по сейсмологическим данным от начала регистрации землетрясения до 3 минут на локальном уровне, 7 минут на региональном уровне, 15 минут на межрегиональном уровне;

- снижение числа ложных тревог цунами.

Список литературы

- Кирнос Д.П., Рыков А.В.* Специальная быстродействующая сейсмическая аппаратура для оповещения о цунами // Бюлл. Сове та по сейсмологии АН СССР. 1961. № 9. С. 56-66.
- Левин Б.В.* Физика цунами и родственных явлений в океане. Янус-К, 2005. 360 с.
- Поплавский А.А., Куликов Е.А., Поплавская Л.Н.* Методы и алгоритмы автоматизированного прогноза цунами. М.: Наука, 1988. 128 с.
- Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Ненон К.И., Королев Ю.П.* Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ДВО РАН, 1997. 273 с.
- Саваренский Е.Ф.* Проблема цунами // Бюллетень Совета по сейсмологии АН СССР. Сборник статей по цунами. 1956. № 2. С. 3-7.
- Соловьев С.Л.* Повторяемость землетрясений и цунами в Тихом океане // Труды СахКНИИ. Вып. 29. Волны цунами. Южно-Сахалинск, 1972. С. 7-47.
- Gusiakov V.K., Kalashnikova T.V., Khidasheli D.G., Marchuk An. G.* Analysis of the tsunami travel time

- maps for damaging tsunamigenic earthquakes in the World Ocean // Joint Report of the NTL/ICMMG and WAPMERR for the IOC/UNESCO, Novosibirsk-Geneva, 2006. 23 p.
- ITSU Master Plan*, IOC/INF-1124, Paris, UNESCO, 1999. 34 p.
- Koya M., Sakoi H., Funasaki J.* Monitoring of Earthquakes in the Hokkaido Area, Provision of Earthquake and Tsunami Information and Recent Seismic Activity in the Hokkaido Area // 5-th Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan-Kuril-kamchatka-Aleutian Arcs (JKASP-5). Abstracts. Japan. Sapporo, 2006. P. 18-20.
- Sokolowski T., Whitemore P.M., Jorgensen W.* Alaska tsunami warning center's automatic and interactive computer processing system // Pure and Appl. Geoph. 1990. V. 134. № 2. P. 163-174.
- Tatehata H.* The new tsunami warning system of the Japan Meteorological Agency // «Perspectives on Tsunami Hazard Reduction» (Ed. G. Hebenstreit). Kluwer Academic, Dordrecht, 1997. P. 175-188.
- TREMORS (Tsunami Risk Evaluation through Seismic Moment from a Real-time System)* // Laboratoire de Geophysique, Bruyeres-le-Chatel, France. 1995. 4 p.

EXPANSION OF THE SYSTEM OF THE SEISMOLOGICAL OBSERVATIONS FOR TSUNAMI WARNING IN FAR EAST OF RUSSIA

V. N. Chebrov

*Kamchatkan Branch, Geophysical Survey, RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;
e-mail: chebr@emsd.iks.ru*

The main regulations of the technical suggestions for expansion of the system of the seismological observations for tsunami warning in Far East of Russia are described. Work was made according to 18 arrangement of state program «Decreasing and mitigation of the damage results of the natural and man-caused catastrophes in Russia till 2010».