

УДК 550.34

Концепция развития системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России

© 2009 г. В.Н. Чебров¹, А.А. Гусев^{1,2}, В.К. Гусяков³,
В.Н. Мишаткин⁴, А.А. Поплавский^{5,6}

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Россия, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

³ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

⁴ Геофизическая служба РАН, г. Обнинск (Калужская обл.), Россия

⁵ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

⁶ Сахалинский филиал Геофизической службы РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

Рассмотрены исходные данные и требования к развитию системы сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами, ее функции и задачи. Предложена структура системы сейсмологических наблюдений для службы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России. Проведена проработка общих технических и методических решений и средств, обеспечивающих повышение эффективности оперативного прогноза цунами по сейсмологическим данным непрерывного сейсмического мониторинга территории Дальнего Востока России и мира. Особое внимание уделено проблеме предупреждения о цунами по сейсмологическим данным от сильных землетрясений в ближней зоне защищаемой территории (до 200 км).

Ключевые слова: сейсмология, цунами, система сейсмологических наблюдений, оперативный прогноз цунами, ближняя зона.

Введение

Цунами – опасные природные явления, которые могут повлечь за собой массовую гибель людей, разрушение населенных пунктов, уничтожение экономического потенциала. Только в XX в., мощные цунами неоднократно обрушивались на Тихоокеанское побережье России (1923, 1952, 1959, 1969 и 1994 гг.). Основным фактором, вызывающим волны цунами (примерно 85%), являются подводные землетрясения. Исторические и геологические данные надежно обосновывают для Дальнего Востока России высокий уровень опасности цунами и землетрясений; несомненно, они систематически будут повторяться здесь и в будущем [Соловьев, 1972; Левин, 2005].

На Дальнем Востоке России служба предупреждения о цунами (СПЦ) была создана в 1958–1959 гг. после разрушительного цунами в 1952 г. на Камчатке и Курильских островах. Используя данные трехкомпонентной регистрации сейсмических сигналов, можно найти координаты эпицентра и магнитуду, т.е. определить место возникновения очага землетрясения и его энергию. Оценка вероятности возникновения цунами по этим параметрам составляет сущность магнитудно-географического критерия, использование которого продолжает лежать в основе работы СПЦ [Саваренский, 1956; Поплавский и др., 1997].

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 СПЦ были оборудованы специально разработанной сейсмической аппаратурой, которая была основной на сейсмических станциях СПЦ [Кирнос, Рыков, 1961]. Это стандартные механические сейсмогра-

фы с малым увеличением СМР и специально разработанные для оперативной работы приборы УБОПЭ (устройство быстрого определения эпицентра) с увеличением от 1 до 30. Диапазон регистрируемых периодов $T=2-4$ с по уровню 0.9 [Аппаратура..., 1974]. Эти механические установки, рассчитанные на регистрацию сильных землетрясений на эпицентральных расстояниях 150–2000 км в узком диапазоне периодов 0.2–4.0 с, хотя и давно уже отработали свой ресурс, до последнего времени используются в СПЦ на сейсмических станциях “Северо-Курильск” и “Петропавловск”. На станции “Южно-Сахалинск” они сняты с регистрации еще в конце 1980-х годов.

В 60-х гг. XX в. на станциях дополнительно были установлены стандартные приборы системы Кирноса с периодом собственных колебаний маятников $T_s=12$ с [Аппаратура..., 1974]. В силу малого динамического диапазона записи этих приборов можно было использовать только для более далеких или не очень сильных близких землетрясений. В приборах системы Кирноса сейсмические сигналы записывались на фотобумагу, что не давало возможности использовать их для оперативной оценки азимута на эпицентр.

В 70-х гг. XX в. на станциях были установлены сейсмографы с записью на тепловой бумаге СКД-УП-СПР ($T = 20$ с; $V = 1000, 200, 50$ и 10) [Аппаратура..., 1974]. Использование их для регистрации сильных близких землетрясений из-за малого динамического диапазона маятников СКД ограничивалось магнитудами $M=6.0-6.5$. Была внедрена видимая регистрация каналом СКД – УП-СПР, были установлены длиннопериодные сейсмографы ДС-БП [Аппаратура..., 1974].

23 сентября 1980 г. было принято Постановление Совета Министров СССР (№ 821) “О мерах по дальнейшему совершенствованию и организации своевременного предупреждения населения приморских районов Дальнего Востока о морских волнах, вызываемых подводными землетрясениями (цунами)”. Этим Постановлением СМ СССР предусматривалось создание в 1985–1990 гг. на Дальнем Востоке Единой автоматизированной системы (ЕАС) наблюдения за возникновением и распространением цунами “Цунами” (ЕАСЦ). В ходе работ по выполнению указанного постановления в начале 80-х гг. XX в. 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 1980-х и 1990-х гг. проблема цунами в России, по ряду объективных причин, отошла на второй план и уже начатые работы не были завершены.

Повышение интереса в мире к проблеме предупреждения цунами на настоящем этапе обусловлено сильнейшим Суматра-Андаманским землетрясением 26 декабря 2004 г., вызвавшим катастрофическое цунами, которое унесло жизни более 200 тысяч человек и нанесло значительный экономический ущерб. В соответствии с поручением Президента РФ работы по развитию СПЦ включены в ФЦП “Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года”.

Геофизической службой РАН, Камчатским филиалом в 2006–2007 гг. в рамках Государственных контрактов на выполнение НИОКР “Развитие сети сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами” разработана концепция развития системы сейсмологических наблюдений для СПЦ на Дальнем Востоке России (СН СПЦ). Работы проводились в рамках выполнения мероприятия 18 ФЦП “Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 г.”, Государственный заказчик – Федеральная служба по гидрометеорологии и охране окружающей среды (Росгидромет), исполнитель – Геофизическая служба РАН (ГС РАН). 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).

Сейчас СПЦ на Дальнем Востоке России 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, наблюдения за уровнем моря – Росгидромет.

Основная цель развития системы сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных для СПЦ – последовательное снижение рисков чрезвычайных ситуаций, 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 цунамических землетрясений путем: 1) технического переоснащения сети сейсмологических наблюдений, 2) развития новых подходов к анализу данных и их программной реализации, 3) создания информационного и научно-методического обеспечения для принятия решения о возможности цунами.

Исходные данные и требования к принципам организации СН СПЦ

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

Принципиальная возможность сейсмического метода. Неукоснительное заблаговременное предупреждение о возможности цунами обусловлено существенным различием 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 сейсмических волн от подводного землетрясения и приходом волн цунами к ближайшему побережью.

Локальность и ресурс времени. Подавляющее большинство исторически наблюдавшихся заплесков цунами (99.5% от их общего числа и 95% всех разрушительных цунами) происходило на расстояниях до 200, реже до 1000 км от эпицентральной зоны землетрясения (локальные и региональные цунами). При этом все жертвы и наибольший ущерб наблюдаются в течение первого часа распространения волны [Gusiakov et al., 2006].

В физико-географических условиях наиболее опасного на Дальнем Востоке Курило-Камчатского региона при возникновении землетрясения в пределах континентального склона время распространения головной волны цунами до ближайших участков побережья составляет не более 15–20 мин. Поэтому сигнал предупреждения о цунами должен быть выработан за время не более 5–10 мин, что налагает довольно жесткие требования к конфигурации системы наблюдений, системе связи и структуре технических и программных средств системы обработки.

Сеть наблюдений и ее проблемы. Сегодня службу цунами на Дальнем Востоке России несут сейсмические станции “Петропавловск-Камчатский”, “Южно-Сахалинск” и “Северо-Курильск”, входящие в систему наблюдений ГС РАН.

Основные недостатки действующей на Дальнем Востоке России системы СН СПЦ следующие:

- оборудование сейсмических станций для целей СПЦ устарело и не позволяет интегрировать датчики в информационную систему, а сами аналоговые датчики не соответствуют современным требованиям;
- технология и методики принятия решения о возможности цунами требуют ревизии (не пересматривались по существу с 1959 г.);
- обработка сейсмограмм ведется вручную или частично автоматизирована без учета требований СПЦ;
- точность оценки координат и магнитуды землетрясений в оперативном режиме низкая;
- решение об опасности возникновения цунами от только что возникшего землетрясения принимается каждой сейсмической станцией автономно, совместный анализ не ведется.

Зарубежный опыт. За рубежом в ряде систем предупреждения о цунами перечисленные выше недостатки в большой мере преодолены. Основные подходы при выработке решения о возможности цунами в СПЦ Японии, США и Франции [Sokolowski et al., 1990; TREMORS, 1995; Tatehata, 1997; ITSU Master Plan, 1999; Koya et al., 2006] следующие:

- сейсмические станции, входящие в СПЦ, как правило, оснащены широкополосными цифровыми сейсмометрическими каналами и средствами связи для передачи данных в реальном времени;
- оценки основных параметров землетрясений производятся в автоматическом режиме по группе или сети станций, которые заверяются оператором;
- решение о возможности цунами, как правило, принимается оператором с учетом результатов оперативного анализа и рекомендаций, вырабатываемых автоматически;
- итеративный метод анализа данных и принятия решений по мере накопления (поступления) данных на каждой сейсмической станции и в каждом центре сбора и обработки данных по сети сейсмических станций;
- широкое использование результатов предварительного моделирования очагов цунамигенных землетрясений.

Цифровые датчики и цифровые средства анализа данных. 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 сейсмограмм. Анализ цифровых сейсмических записей может быть проведен с высокой оперативностью, с небольшим отставанием от реального времени, в полностью автоматическом режиме, что может обеспечить радикальное повышение надежности и обоснованности оперативных прогнозов цунами по сейсмическим данным.

Многоуровневая структура. Система сейсмологических наблюдений 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, располагающиеся вблизи очага землетрясения, смогут успеть подать тревогу с приемлемым уровнем заблаговременности.

Децентрализация тревоги. Необходимым условием своевременного доведения сигналов предупреждения о цунами до населения является прямой выход сигнала тре-

воги в систему оповещения о возможности цунами на локальном уровне, взаимодействие с подразделениями СПЦ Росгидромета и МЧС.

Развитие методических принципов. В плане методик и алгоритмов существующая система СПЦ основана на системе предпосылок, которая была вполне адекватной в 1950–1970 гг., но ныне требует пересмотра.

1. Очаг землетрясения принимался точечным или практически локальным. Фактически очаг Камчатского землетрясения 1952 г. имел длину до 500 км, очаг Суматранского землетрясения 2004 г. протянулся на 1300 км. В подобных ситуациях определение эпицентра в обычном смысле может быть вводящим в заблуждение: удаленность на 1500 км от эпицентра не гарантирует ни малых амплитуд цунами, ни достаточного времени на анализ ситуации. При выработке решений СПЦ должна учитывать данный фактор. В идеале, следовало бы оперативно определять положение протяженного очага, но к этой задаче эффективных подходов пока нет.

2. Длительность очагового процесса принималась относительно малой, практически не более 20–40 с. В таких условиях можно ожидать, что S -волны, как правило, регистрируются на региональных расстояниях с приемлемым отношением сигнал/шум; регистрацию можно считать завершенной и начинать обработку данных произошедшего землетрясения уже примерно через 60–90 с после прихода первой сейсмической волны. Как теперь достоверно известно по опыту события 2004 г. на Суматре, очаговая длительность больших цунамигенных землетрясений может достигать 9 мин. И это не аномалия – длительность очагового процесса таких землетрясений в Чили в 1960 г. и на Аляске в 1964 г. достигала, а скорее всего превышала 4–6 мин. В подобной ситуации возникают следующие проблемы:

– вступление S -волны на региональных расстояниях накладывается на интенсивные P -волны от еще растущего очага, и выделение этого вступления становится безнадежной задачей. Это означает, что при сильнейших, наиболее опасных землетрясениях положение эпицентра и магнитуда не могут быть с гарантией определены по одиночной станции на основе обычного способа оценки расстояния по разности времен пробега S - и P -волн, нужны новые подходы. Ведь оценка магнитуды без оценки расстояния до очага невозможна;

– даже в пределах принятого сейчас ресурса времени обработки 10 мин надежное определение магнитуды землетрясения становится принципиально невозможным, так как сейсмические волны от очага в целом просто могут не успеть пройти к станциям, так что их будущая амплитуда на записи неизвестна; в то же время крайне желательно сокращение времени на обработку. Поэтому СПЦ должна в принципе снять с себя задачу оперативной оценки магнитуды в обычном смысле, вместо этого должна вырабатываться и непрерывно уточняться текущая оценка магнитуды снизу. Иными словами, в каждый момент после обнаружения сильного землетрясения должно быть известно выработанное к этому моменту значение параметра “временная оценка магнитуды снизу” (ВОМС), несущее следующий смысл: по данным на текущий момент магнитуда землетрясения уже не менее ВОМС, но может стать еще больше. Для целей оценки цунамигенности такая модификация задачи обработки вполне приемлема.

3. Считалось, что цунамигенность землетрясения достаточно хорошо характеризуется магнитудой, определенной по поверхностным волнам с периодом 10–20 с. Теперь стало ясно, что бывают случаи, когда очаговый процесс происходит относительно медленно, с длительностью 100 с и более, и слабо возбуждает волны таких периодов; в то же время его потенциал возбуждения цунами велик. Данная проблема в принципе может быть решена путем перехода к оценкам энергии землетрясения на относительно длинных периодах волн (50–100 с и более), при этом может использоваться “магнитуда

по мантийным волнам” и ее аналоги. Можно предполагать, что использование широкополосной цифровой аппаратуры создаст предпосылки для решения этой проблемы.

4. Считалось, что первые вступления (P -волны от цунамигенного землетрясения) всегда приходят на фоне низких сейсмических шумов. Часто это действительно так, но случается, что цунамигенное землетрясение предваряется мощными форшоками с опережением в несколько десятков секунд, что делает выделение вступления P -волн (и тем более S -волн) крайне затруднительным. Возможное частичное решение – использование малых групп приборов и обработка групповыми методами.

Функции и задачи СН СПЦ

Основное назначение системы сейсмологических наблюдений в СПЦ (СН СПЦ) – 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).

Сеть сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке для СПЦ, оснащенная адекватными средствами, обладающая современными методами, алгоритмами обработки и передачи данных, должна выполнять следующие основные функции.

1. Научно-технические и информационные:

- обнаружение и регистрацию землетрясений в круглосуточном непрерывном режиме в зоне ответственности СПЦ на Дальнем Востоке: под дном акватории Тихого океана, включая Японское, Охотское, Берингово моря и на прилегающей суше;

- обработку сейсмических сигналов в автоматическом и автоматизированном режиме с целью быстрой оценки параметров сильных землетрясений ($M > 6.0$) в зоне ответственности для случаев одиночной станции, локальной группы станций, и сети станций;

- принятие решения о возможности цунами по одной станции, по локальной группе станций, по сети станций;

- обмен данными наблюдений с российскими и международными сейсмологическими центрами и центрами предупреждения о цунами;

- сбор, накопление и систематизацию данных сейсмологических наблюдений, обобщение и анализ записей цунамигенных землетрясений в целях развития научно-методического и информационного обеспечения СПЦ.

2. Организационные:

- передачу результатов обработки сейсмологических данных службам МЧС и Росгидромет на локальном, региональном и федеральном уровне;

- передачу сигналов предупреждения о цунами на локальном, региональном и федеральном уровне по схемам оповещения органов власти, служб МЧС и Росгидромет.

Для обеспечения решения перечисленных задач сеть сейсмологических наблюдений, средств обработки и передачи данных для СПЦ должна развиваться по следующим направлениям:

- повышение эффективности оперативного прогноза цунами по сейсмологическим данным на Дальнем востоке России (основная задача);

- непрерывный сейсмический мониторинг территории Дальнего Востока России и мира;

- 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 обнаружения и распознавания цунамигенных землетрясений.

Структура сети сейсмологических наблюдений

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

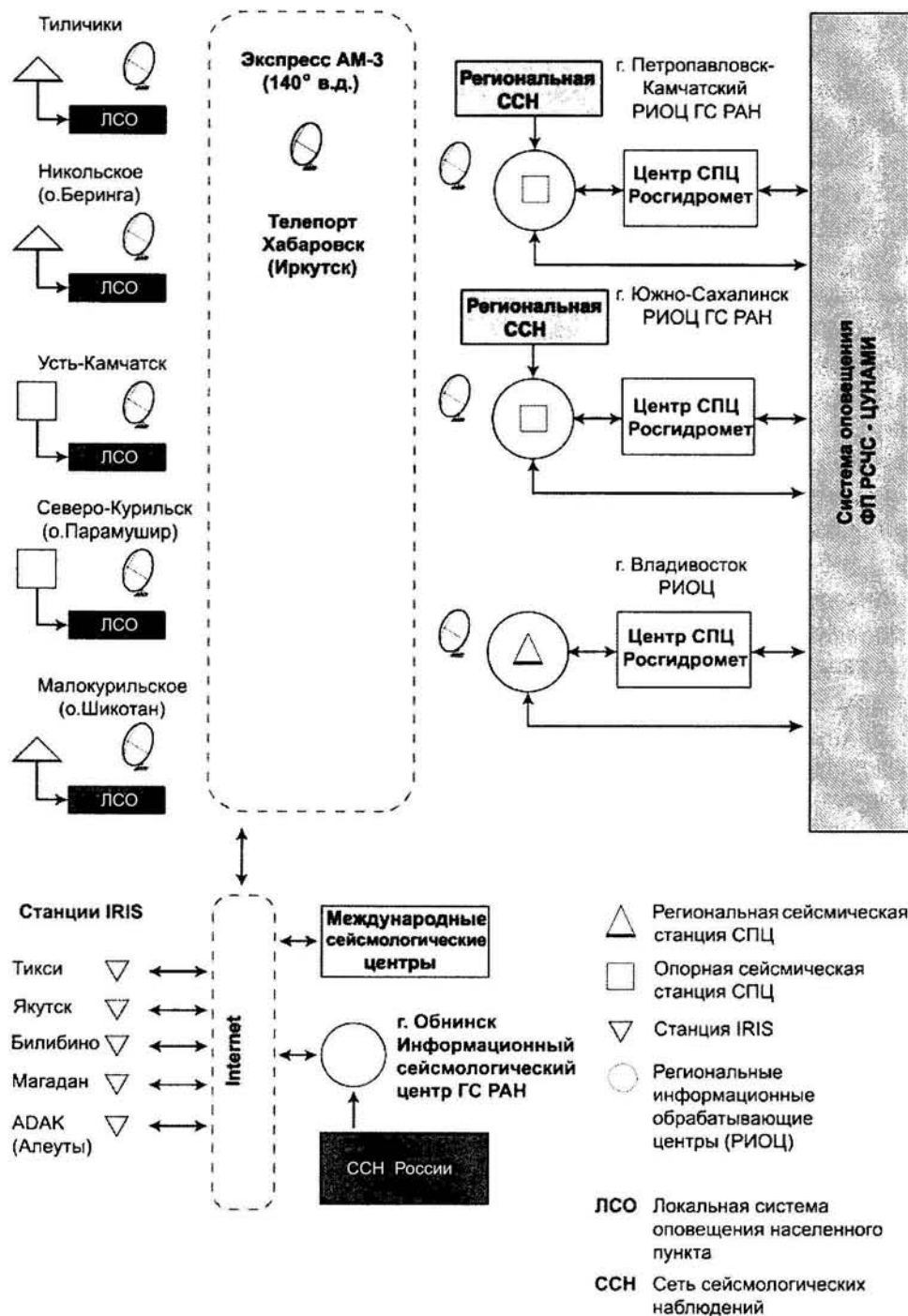


Рис. 1. Структура сети сейсмологических наблюдений для СПЦ (1-й этап)

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 доступные в реальном времени данные станций имеющихся региональных и локальных сетей сейсмологических наблюдений (ССН) ГС РАН и (или) результаты их обработки. Все специализированные сейсмические станции СПЦ должны быть оснащены:

- однотипными широкополосными датчиками сейсмических сигналов;
- однотипными оборудованием, методами, алгоритмами и программным обеспечением цифровой регистрации и обработки сейсмических данных в автоматическом и автоматизированном режимах;
- устройствами системы связи для передачи исходных сейсмических данных и результатов их обработки в региональные информационно-обрабатывающие центры;
- устройствами локальной системы оповещения населенного пункта о возможности цунами;
- системой бесперебойного энергоснабжения.

В зависимости от предъявляемых функциональных требований специализированные сейсмические станции СПЦ можно разделить на два типа: вспомогательные (региональные) и базовые (опорные). Характерные особенности вспомогательных и базовых сейсмических станций заключаются в следующем.

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

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

Комплект оборудования. Вспомогательная сейсмическая станция СН СПЦ должна быть, как правило, оснащена двумя широкополосными трехкомпонентными датчиками сейсмических сигналов (велосиметр, акселерометр).

Базовая сейсмическая станция СН СПЦ должна представлять собой сейсмическую группу с размерами 15–25 км или более. Центральный пункт группы должен быть оснащен широкополосным велосиметром и акселерометром; выносные пункты только акселерометрами; центральный пункт должен быть оснащен системой сбора и обработки сейсмологических данных в автоматическом и автоматизированном режимах, а также системой технологической связи с выносными пунктами.

Выполняемые функции. Вспомогательная сейсмическая станция СН СПЦ должна обеспечивать сейсмическими данными СПЦ на уровне принятия решения о возможности цунами по сети станций, а также распознавание сильных землетрясений в автоматическом режиме и давать предупреждение в локальную систему оповещения населенного пункта о происходящем сильном землетрясении.

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

Режим работы. Вспомогательная сейсмическая станция СН СПЦ должна работать в непрерывном автоматическом режиме, постоянное присутствие персонала не требуется.

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

К основным параметрам систем наблюдений в сейсмологии относятся: количество станций, геометрическая конфигурация их сети, характеристики мест установок отдельных станций, частотные характеристики сейсмометрических каналов, их динамический диапазон и коэффициент преобразования. В силу причин экономического характера число станций в СН СПЦ ограничено, что, в свою очередь, требует решения задачи оптимального планирования такой сети.

Число сейсмических станций СН СПЦ, 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 она обычно решается по записям 15–40 станций на большом удалении от очага. Но этот подход неприемлем при решении задачи предупреждения о цунами по причине малого резерва времени – менее 10 мин. Поэтому приходится рассчитывать на использование только близких станций. Хотя принципиально использование нескольких десятков станций вблизи очага 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 регионального 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 GSN, привлечение которых необходимо для уточнения решения о возможности цунами.

Необходимые исходные данные для выработки предупреждения о цунами – это данные непрерывной 3-компонентной регистрации движений грунта в широком диапазоне периодов (полоса частот не менее 0.01–20 Гц). Принципиально важно обеспечить достаточный динамический диапазон системы (не менее 120 дБ). Она должна без искажений регистрировать ускорения грунта до $1000\text{--}2000\text{ см/с}^2$ и скорости до 200 см/с и при этом обладать достаточной живучестью и вибростойкостью, механически выдерживая упомянутые ускорения и не создавая перекрестных помех по компонентам. Максимально возможные сейсмические сигналы способны зарегистрировать без искажений только акселерометры. Для решения задачи предупреждения о цунами совместно с выполнением контроля сейсмичности региона в целом каждая сейсмическая станция должна быть оснащена велосиметром с возможностью регистрации слабых и умеренных сейсмических сигналов и акселерометром для обеспечения регистрации максимально возможных сейсмических сигналов (до 2g).

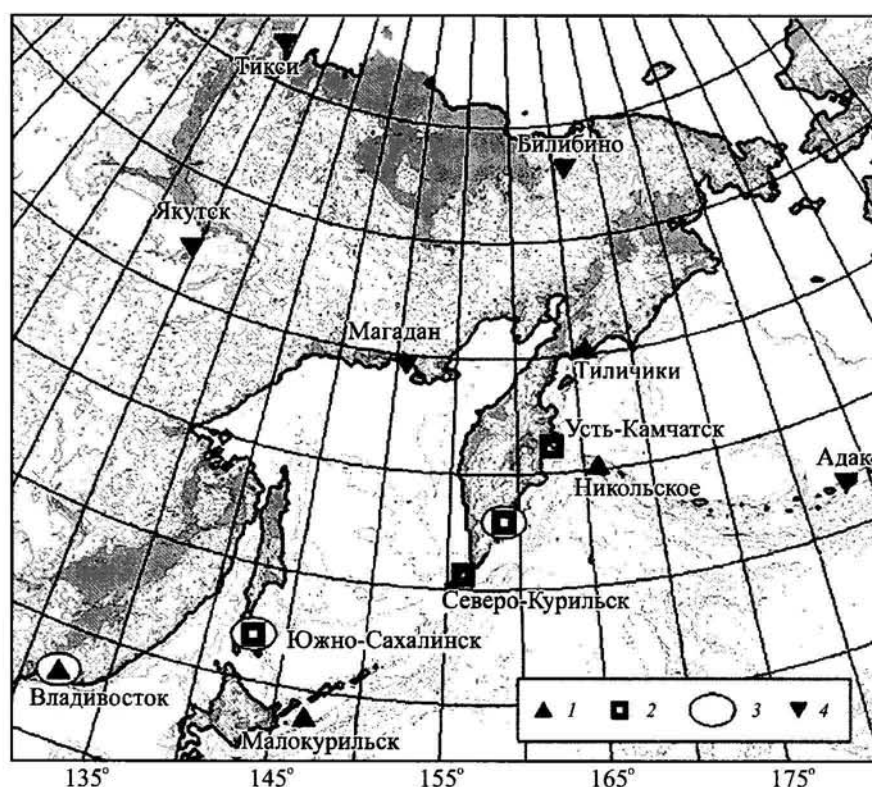


Рис. 2. Система сейсмологических наблюдений для СПЦ с привлечением станций глобальной сети IRIS для уточнения решений о возможности цунами

1, 2 – сейсмические станции: 1 – вспомогательные, 2 – базовые (опорные); 3 – региональные центры сбора и обработки данных; 4 – станции глобальной сети IRIS

Для решения задач СПЦ целесообразно использовать скважинные датчики. Герметизированная скважина характеризуется малыми колебаниями температуры и давления, которые в полосе частот датчика являются обычными источниками шума. Вариант установки датчиков в скважине предпочтителен и по причинам существенного уменьшения (до 20 дБ на глубине 15–20 м) поверхностных антропогенных сейсмических помех. Кроме этого, стоимость создания скважины меньше, чем стоимость работ по строительству сооружений с адекватными условиями по изменениям температуры и давления, необходимыми для создания благоприятных условий работы широкополосных сейсмометров. Датчики должны выбираться в исполнении для скважин с возможной высотой столба воды 25 м.

Для оснащения сейсмических станций в СПЦ предлагаются датчики компании Güralp. Для канала по скорости основным требованиям в максимальной мере удовлетворяет широкополосный электронный сейсмометр CMG-3ESPCB специального исполнения с пониженным значением коэффициента преобразования. Для канала по ускорению будет использоваться форс-балансный акселерометр CMG-5. Акселерометры поставляются как в скважинном исполнении, так и для установки на постамент.

Базовые и вспомогательные сейсмические станции СН СПЦ 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 ним первую очередь относятся пос. Северо-Курильск, Усть-Камчатск, Никольское, Малокурильское. Кроме этого, опорные сейсмические станции СН СПЦ должны совмещаться с региональными информационно-обрабатывающими центрами (ИОЦ) ГС РАН и центрами СПЦ Росгидромета на Дальнем Востоке России.

Система аварийного энергоснабжения на каждой вспомогательной и базовой станции и на ИОЦ должна включать в себя два уровня. Первый уровень строится на аппаратуре бесперебойного питания, к которой подключены все элементы станции: регистратор, сервер, рабочее место оператора и т.д. Время поддержания работоспособности элементов сети средствами первого уровня должно быть не менее 12 ч. Второй уровень строится на автономных электро-дизельгенераторах, их мощность в каждом случае рассчитывается с учетом обеспечения аварийного освещения, отопления помещений и других бытовых нужд.

Система связи для передачи данных

К особенностям сейсмической обработки относится 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 ИОЦ в масштабе реального времени. Режимы передачи и объем передаваемых данных определяются, в первую очередь, задачами системы наблюдений (специализированная эта сеть для прогноза цунами или она выполняет также другие функции сейсмического мониторинга), однако в значительной степени они зависят также от технических возможностей, существующих в данной стране или регионе. В конкретных экономико-географических условиях Дальневосточного региона полномасштабная система передачи данных, обеспечивающая непрерывный режим передачи полной трехкомпонентной сейсмограммы от сейсмостанций в центр обработки, может быть построена лишь на основе спутниковых каналов связи.

Требуемая пропускная способность канала связи для передачи полного объема данных:

вспомогательная станция –	не менее 32.0 кбит/с
базовая станция –	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 P - и S -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 (задержка не более 1–2 мин) и коэффициенту готовности канала (не менее 0.99).

Информационно-обрабатывающие центры данных 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 с магнитудой более установленного порогового значения ($M > M_{\text{пор}}$). С другой стороны, быстрое получение данных по возможно большему числу региональных событий обеспечит эффективное решение вторичных задач СН СПЦ. Очевидно, что оптимальное сочетание обеих задач в рамках одной системы – далеко не простое дело. 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 для выпуска предупреждения о тревоге цунами по Курило-Камчатской зоне пороговое значение магнитуды ($M_{\text{пор}}$) принято равным 7.0. Такие зем-

летрясения относятся к достаточно редким событиям, в этой зоне они 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 СН СПЦ может быть централизованной и распределенной. В условиях Дальнего Востока система обработки сейсмологических данных должна строиться на основе региональных ИОЦ Геофизической службы РАН. Региональные ИОЦ в городах 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. Владивостоке организовать прием и обработку данных в автоматическом режиме на базе центра СПЦ Росгидромета. 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 условии 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. Это обеспечивает, в том числе, резервирование выполнения функций каждого ИОЦ при выходе из строя одного из них (катастрофическое землетрясение, технические отказы).

Полные данные о землетрясении со всех сейсмических станций Дальневосточного региона в ИОЦ будут получены на 3–5 мин позже, чем оно будет зарегистрировано на ближайшей к его гипоцентру станции. Таким образом, наиболее достоверное решение о возможности возникновения цунами будет получено с задержкой не менее 5–10 мин по сравнению с моментом принятия решений на ближайших к гипоцентру землетрясения вспомогательных и базовых станциях СН СПЦ.

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

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 *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 *реального времени*.

3. Ассоциация выделенных сейсмических фаз, декларация события, первое (предварительное) определение его основных параметров (время, координаты очага, магнитуда), проверка географического и магнитудного критериев с целью выделения потенциально цунамиопасных событий. Этот уровень должен выполняться в автоматическом и/или автоматизированном режиме *квазиреального времени* (допустимы задержки от начала регистрации землетрясения на станции до старта уровня 3 не более 1–2 мин, при этом в системе очередей недопустимо образование необработанных событий).

4. Уточнение основного набора параметров (в частности, глубины очага и магнитуды) по сети станций для всех достаточно сильных (с магнитудой $M > M_{тр}$, где $M_{тр}$ – тревожный уровень магнитуды) региональных землетрясений, определение дополнительных критериев и признаков цунамигенности. Оценка цунами опасности землетря-

сения по совокупности сейсмологических критериев (в первую очередь критерия $M > M_{\text{пор}}$). Принятие решения в интерактивном срочном режиме о выдаче сигнала “Тревога цунами”. Допустимое время от начала регистрации землетрясения на станции на выполнение всех операций – не более 7 мин. Основной режим обработки – автоматизированный (с участием оператора).

5. Уточнение всех параметров землетрясения с привлечением данных станций мировой сети. Передача результатов обработки в территориальные центры предупреждения цунами и в центры СПЦ Японии, США и др. должна выполняться в автоматизированном режиме. Допустимое время задержки от начала регистрации землетрясения на станции – не более 20 мин.

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 уровней 1–3 в режиме реального времени. События, возникающие в случайные моменты времени, должны обрабатываться последовательно, одно за другим, в порядке их поступления на входе системы. Время выполнения обработки должно быть сопоставимо с максимально возможной частотой событий. Последнее условие налагает 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 недопустимо.

Предупреждение о цунами при очагах сильных землетрясений в ближней зоне

Задача предупреждения о локальном цунами, когда сильное землетрясение происходит под дном океана в непосредственной близости от берега (до 200–250 км), может быть решена быстро (но неизбежно с неполной достоверностью), по заведомо ограниченному данным специализированной сейсмической станции, которая размещена непосредственно в защищаемом пункте или его окрестностях. Время задержки от начала регистрации землетрясения на станции до принятия решения о возможности цунами (коротко – время реакции) на основе оценок эпицентра и магнитуды произошедшего землетрясения, необходимое специализированной сейсмической станции СПЦ, включает в себя ряд составляющих:

- время формирования очага цунамигенного землетрясения (не менее 30 с; в типичных случаях 110 с; в отдельных случаях до 550 с);

- время запаздывания информативных групп сейсмических волн (поперечные волны, поверхностные волны Рэлея и Лява) от момента вступления P -волн (определяется расстоянием от очага до станции, а именно: 32 с при расстоянии 200 км, 48 с при расстоянии 300 км, 80 с при расстоянии 500 км, 160 с при расстоянии 1000 км; принято: групповая скорость волны Рэлея 3.5 км/с, средняя скорость P -волн 8 км/с);

- время формирования на записи признаков цунамиопасности, в первую очередь максимума в группе поверхностных волн (не менее 40 с, в типичном случае 100 с, в отдельных случаях до 200 с и более).

- время для обработки сейсмического сигнала, анализа информативных параметров и выдачу сигналов оповещения (до 45 с).

Для уменьшения времени реакции должны быть разработаны специализированные методики, алгоритмы и программное обеспечение.

Выработанные на специализированной сейсмической станции СПЦ сигналы тревоги об опасности цунами в автоматическом режиме должны передаваться в подразде-

ления МЧС России, в локальную систему оповещения населения и в администрацию соответствующего уровня.

Основные подходы к выработке сигналов предупреждения о цунами в условиях жесткого дефицита времени при очагах сильных землетрясений в ближней зоне следующие.

1. Использование быстрых оценок уровня амплитуд колебаний или автоматизированной оценки макросейсмической интенсивности (балльности) на основе специализированных методов анализа по неполным данным одной трехкомпонентной широкополосной станции или группы станций и, при необходимости, принятие решения только на этой основе.

По результатам исследований [Соловьев, Поплавская, 1982; Поплавская, 1984] 124 случаев появления цунами от сильных землетрясений Дальнего Востока России в 1952–1976 гг. было показано, что вероятность возникновения цунами в населенном пункте или участке побережья, где проявляется осязаемое землетрясение, растет с увеличением интенсивности сотрясений. При $I = 6-7$ баллов по шкале MSK-64 цунами возникает в 6 случаях из 10; при $I = 7-8$ баллов – в 9 случаях из 10.

В ходе выполнения работ в 2007 г. А.А. Поплавским по данным каталога за период 1737–1997 гг. было показано, что при интенсивности сотрясений $I > 7$ баллов вероятность возникновения цунами с высотой залеска $h > 1$ м более 0.7. Оперативная оценка макросейсмической интенсивности сильного близкого землетрясения по записи станции требует проработки. Нужно также отсеять случаи очень близких толчков с $M=4.5-5.5$, при которых длительность колебаний мала.

2. Использование в крупных населенных пунктах или на объектах повышенной ответственности сейсмических групп (базовых сейсмических станций). По данным сейсмической группы может быть обеспечена относительно быстрая локация очага землетрясения, существенно более надежная, чем по данным одиночной станции.

3. Использование данных региональных сетей сейсмических станций. Региональные сети сейсмических станций на Дальнем Востоке России при условии доступа к их данным в реальном масштабе времени могут быстро дать дополнительную информацию о положении очага землетрясения. В настоящее время это возможно в первую очередь на Камчатке, где имеется радиотелеметрическая сеть.

4. Использование знаний о пространственно-временных закономерностях распределения очагов сильных землетрясений в Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне.

5. Организационно-административные мероприятия по обучению и тренировке населения направленные на повышение готовности к действиям при угрозе цунами. В частности, население и администрация прибрежного населенного пункта, ощутив землетрясение с интенсивностью $I = 7$ баллов и более по шкале MSK-64, должны начать эвакуацию немедленно, не дожидаясь прихода тревожного сообщения от СПЦ.

Каждая специализированная сейсмическая станция и сеть сейсмологических наблюдений СПЦ в целом должны работать в итеративном режиме, многократно уточняя оценки параметров землетрясений на каждой итерации в соответствии с полученной к данному моменту новой информацией. Первые оценки, необходимые для принятия решения о возможности цунами на локальном уровне, должны быть получены в течение не более чем 1–3 мин после начала регистрации землетрясения.

Последовательность действий системы сейсмологических наблюдений при объявлении тревоги цунами на локальном уровне при очагах в ближней зоне следующая:

– выдача сигнала оповещения о возможности цунами в автоматическом режиме на основании первой оценки интенсивности землетрясения по регистрируемым амплитудам сейсмических сигналов P -волн и/или S -волн на специализированной вспомога-

тельной или базовой сейсмической станции СПЦ, расположенной на территории защищаемого пункта или в его окрестностях. Задержка не более 3 мин;

- подтверждение или отмена сигнала о возможности цунами в автоматическом и/или автоматизированном режиме на основании уточнения оценки интенсивности землетрясения по другим группам сейсмических волн и предварительной оценки координат и магнитуды землетрясения по данным специализированной вспомогательной или базовой сейсмической станции СПЦ, расположенной на территории защищаемого пункта или в его окрестностях. Задержка не более 3–7 мин в зависимости от эпицентрального расстояния и магнитуды землетрясения;

- подтверждение или отмена сигнала о возможности цунами в автоматическом и/или автоматизированном режиме на уровне регионального ИОЦ на основании уточнения оценок координат и магнитуды землетрясения по данным региональной (ближайших 3–4 станций) сети специализированных сейсмических станций СПЦ. Задержка не более 7 мин;

- подтверждение или отмена сигнала о возможности цунами в автоматизированном режиме на уровне регионального ИОЦ на основании уточнения оценок координат и магнитуды землетрясения по данным сети специализированных сейсмических станций СПЦ Дальнего Востока России с привлечением данных цифровых сейсмических станций региональных и мировых сейсмологических наблюдений. Задержка не более 20 мин.

Выводы

1. Рассмотрены исходные данные и требования к развитию системы сейсмологических наблюдений для службы предупреждения о цунами, ее функции и задачи.

2. Предложена структура СН СПЦ. Проведена проработка общих технических и методических решений и средств, обеспечивающих повышение эффективности оперативного прогноза цунами по сейсмологическим данным на Дальнем Востоке России и непрерывный сейсмический мониторинг территории Дальнего Востока России и мира.

3. Реализация концепции развития СН СПЦ должна обеспечить:

- повышение защищенности от воздействия цунами населенных пунктов, расположенных на побережьях полуострова Камчатка, на Курильских 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 мин по интенсивности сотрясений на локальном уровне, до 7 мин на региональном уровне, не более 20 мин на межрегиональном уровне;

- снижение числа ложных тревог цунами.

Благодарности

Исследования, по материалам которых написана данная работа, поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 07-05-13583) и Сибирским отделением РАН (грант № 2006-113).

Литература

- Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974. 245 с.
- Кирнос Д.П., Рыков А.В. Специальная быстродействующая сейсмическая аппаратура для оповещения о цунами // Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР. 1961. № 9. С.56–66.
- Левин Б.В. Физика цунами и родственных явлений в океане. М.: Янус-К, 2005. 360 с.

- Поплавская Л.Н. Использование инструментальных и макросейсмических данных для оперативной оценки цунами: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1984. 24 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 // Бюл. 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.
- Соловьев С.Л., Поплавская Л.Н. Оценка цунамиопасности близкого землетрясения по наблюдаемому макросейсмическому эффекту // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1982. № 11. С. 87–91.
- 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.
- 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 Bien-nial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan-Kuril-Kamchatka-Aleutian Arcs (JKASP-5): Abstr. Japan, Sapporo, 2006. P.18–20.
- Sokolowski T., Whitmore P.M., Jorgensen W. Alaska tsunami warning center's automatic and interactive computer processing system // Pure Appl. Geophys. 1990. V. 134, N 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) / Labora-toire de Geophysique. France, Bruyeres-le-Chatel, 1995.

Сведения об авторах

ЧЕБРОВ Виктор Николаевич – кандидат технических наук, директор, Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН), 683006, Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел./факс: 8(415)-225-88-98. E-mail: chebr@emsd.ru

ГУСЕВ Александр Александрович – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН; Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН), 683006, Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8(415)243-18-57. E-mail: gusev@emsd.ru

ГУСЯКОВ Вячеслав Константинович – доктор физико-математических наук, Институт вычислительной математики и математической геофизики, 630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 6. Тел.: 8(383)330-70-70. E-mail: gvk@sscc.ru

МИШАТКИН Владимир Николаевич – кандидат технических наук, ученый секретарь, Геофизическая служба РАН, Калужская обл., г. Обнинск, пр. Ленина, д. 189. Тел.: 8(484)-393-24-09. E-mail: vmish@gstras.ru

ПОПЛАВСКИЙ Александр Александрович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б; заместитель директора по науке, Сахалинский филиал Геофизической службы РАН (СФ ГС РАН), 693022, Южно-Сахалинск, Анкудинова бульвар, д. 2А. Тел.: 8(424)-242-19-32. E-mail: poplavsky@seismo.sakhalin.ru

A concept of development of a system for seismological observations with the purpose of tsunami warning in the Far East of Russia

V.N. Chebrov¹, A.A. Gusev^{1,2}, V.K. Gusiakov³,
V.N. Mishatkin⁴, A.A. Poplavsky^{5,6}

¹ Kamchatkan Branch of the Geophysical Survey RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

² Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

³ Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

⁴ Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Obninsk, Kaluzhskaya obl., Russia

⁵ Institute of Marine Geology and Geophysics of Far Eastern Branch of the RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

⁶ Sakhalin Branch of the Geophysical Survey RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. Initial information and requirements to development of seismological tsunami warning system are considered. The structure of the system of seismological observations for tsunami warning in the Far East of the Russia is proposed. A study of general technical and methodical problems is carried out to provide increase of efficiency for urgent prediction of tsunami by the seismological data of continuous seismic monitoring of the territories of the Far East of Russia and the world. A special attention is given to a problem of tsunami prediction by seismological data from strong earthquakes in a near zone of protected territory (up to 200 km).

Keywords: seismology, tsunami, system of seismological observations, urgent tsunami prediction, near zone.