

**Система предупреждения о цунами
в Тихом океане**

Генеральный план

ЮНЕСКО



Межправительственная океанографическая комиссия

Генеральный план ИТСУ

Второе издание
Апрель 1999 г.

Пересмотренное издание декабря 1989 г.

Международная координационная группа по Системе предупреждения о цунами в Тихом океане (МКГ/ИТСУ) Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО состоит из государств-членов, представляющих все части Тихоокеанского региона. На МКГ/ИТСУ возложена задача осуществлять и совершенствовать деятельность по смягчению последствий цунами в Тихоокеанском регионе во всех ее аспектах, включая оценку угрозы, распространение предупреждений, обеспечение готовности и проведение научных исследований, на основе системы международного сотрудничества и координации действий. В настоящем документе, втором издании Генерального плана Системы предупреждения о цунами, дается краткий обзор произошедших цунами и угрозы их возникновения в Тихоокеанском регионе. В контексте этой информации описывается нынешнее состояние Системы предупреждения о цунами в Тихом океане с указанием ее предельных возможностей и излагаются мнения МКГ/ИТСУ относительно соответствующих направлений ее развития.

ЮНЕСКО



Межправительственная океанографическая комиссия

IOC/INF-1124
Париж, июль 1999 г.
Оригинал: английский

СОДЕРЖАНИЕ

ИСТОРИЯ И ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ИТСУ	1
ЦУНАМИ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ОПАСНОСТИ	3
Местные и региональные цунами	3
Цунами, распространяющиеся по всему Тихому океану или цунами удаленного происхождения	4
Характеристика явления цунами	5
СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ, ОГРАНИЧЕНИЯ И БУДУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ..	7
Оценка опасности	7
Исторические данные о цунами	8
Данные о палеоцунами	9
Изучение последствий цунами	9
Цифровое моделирование	9
Предупреждение	11
Системы и центры предупреждения	11
Тихоокеанский центр предупреждения о цунами	12
Центр предупреждения о цунами Западного побережья/Аляски	12
Японские центры предупреждения о цунами	13
Центры предупреждения о цунами в Российской Федерации	14
Центр предупреждения о цунами во Французской Полинезии	14
Чилийская национальная система предупреждения о цунами	15
Другие национальные системы предупреждения	15
Данные	17
Сейсмические данные	17
Данные об уровне воды	19
Исторические данные о цунами и землетрясениях	22
Данные цифровых моделей	22
Другие данные	22
Коммуникации	23
Доступ к данным в режиме реального времени	23
Распространение сообщений	23
Обеспечение готовности	24
Эвакуация	24
Эвакуация в случае цунами местного происхождения	25
Эвакуация в случае цунами удаленного происхождения	25
Обучение	26
Обучение населения	26
Подготовка операторов систем предупреждения, руководителей, чрезвычайных операций и политических руководителей	26
Землепользование	27
Инженерные работы	28
Исследования	28
Структура	28
Сфера исследований	29
Недавние примеры применения результатов исследовательской деятельности ..	31
ВЫВОДЫ	32
Выражения признательности	33
Список сокращений	34

Подготовка Генерального плана началась на Фиджи в 1982 г. в ходе восьмого совещания Международной координационной группы по Системе предупреждения о цунами в Тихом океане (МКГ/ИТСУ). На этом совещании была принята резолюция VIII.1, в которой, в частности, содержалась просьба к Секретариату МОК "оказать поддержку в подготовке, публикации и распространении Генерального плана". Такая поддержка была оказана и был подготовлен документ под названием "Цунами - где в следующий раз?", который был принят на девятой сессии ИТСУ в Гонолулу, Гавайские острова, в 1984 г. в качестве документа, предшествующего Генеральному плану. Согласно резолюции IX.1, ИТСУ было рекомендовано завершить работу над этим документом, с тем чтобы "принять Генеральный план на десятой сессии". В ходе десятой сессии ИТСУ, состоявшейся в Сидни, Британская Колумбия (Канада) в 1985 г., проект Генерального плана был рассмотрен, но в окончательной форме был утвержден лишь в 1987 г. в Пекине на ИТСУ XI. Это первое издание Генерального плана было подготовлено бывшим председателем ИТСУ Г.К. Дулером в сотрудничестве с Секретариатом МОК, директором Международного центра информации о цунами и председателем ИТСУ на основе замечаний, полученных от национальных координаторов государств - членов ИТСУ. Первое издание документа IOC/Inf-730 было выпущено 23 декабря 1989 г.

На XV сессии ИТСУ, которая состоялась в Папэте, Французская Полинезия, в 1995 г., в ходе рассмотрения последних технологических усовершенствований в системе и с учетом возросшего научного понимания природы цунами участники совещания просили обновить Генеральный план и с этой целью была учреждена редакционная группа. Для XVI сессии ИТСУ, которая проходила в Лиме, Перу, был подготовлен проект второго издания, с тем чтобы государства-члены могли представить по нему свои замечания и исправления. На основе поступивших от них материалов впоследствии была завершена работа над вторым изданием Генерального плана.

Генеральный план для Системы предупреждения о цунами в Тихом океане составлен в качестве долгосрочного руководства по совершенствованию этой системы на основе анализа ее существующих компонентов. Начиная с 1987 г. появление таких технических новшеств, как расширенные коммуникационные сети, более совершенные методы сейсмического анализа и недорогостоящие мощные настольные компьютеры в значительной степени укрепили надежду на то, что улучшения, рекомендуемые в Плане, могут быть реализованы на благо государств-членов. Ясно, что для расширения технических возможностей Системы предупреждения о цунами, независимо от реальности связанных с этим выгод, требуются финансовые средства и определенный план действий, что позволяет получать и сохранять поддержку со стороны государств-членов в целях обеспечения ее успешного функционирования.

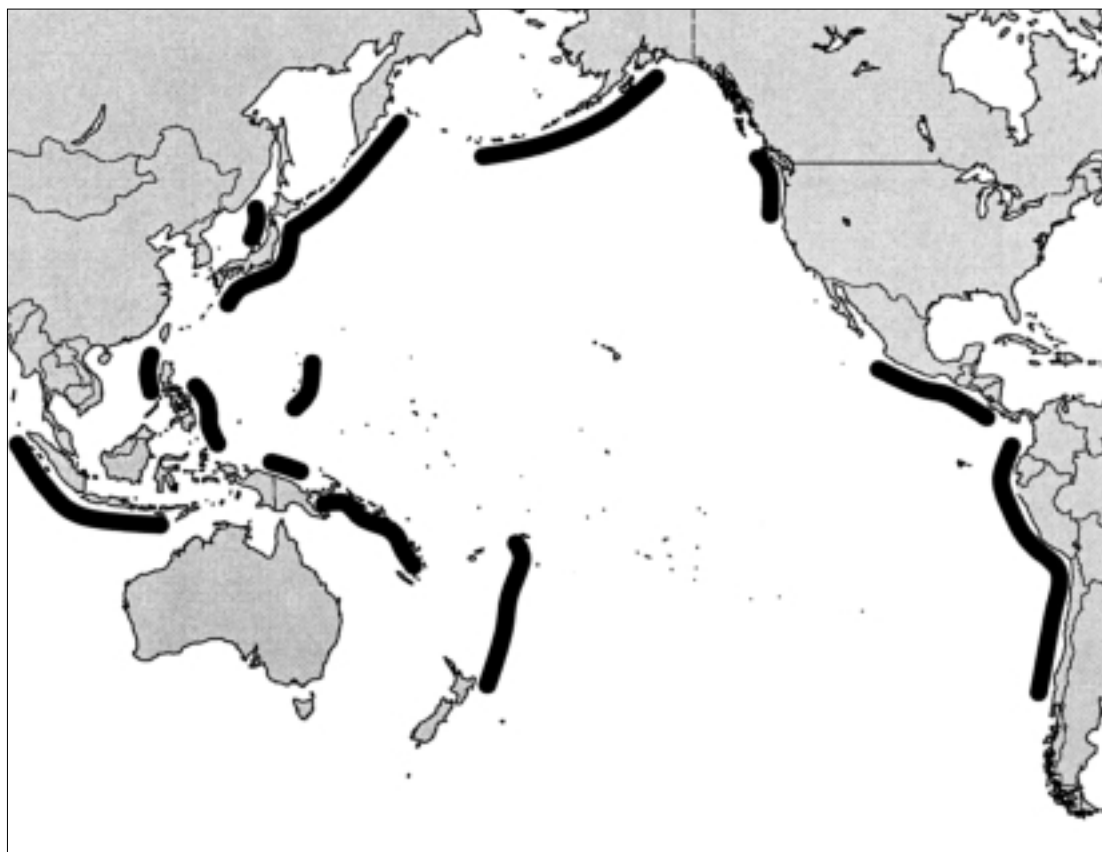
Что касается ограниченных возможностей оперативной деятельности в рамках существующей Системы предупреждения о цунами, то в Генеральном плане конкретно указывается ряд областей, где требуются усовершенствования. В нем определяются базовые элементы Системы предупреждения о цунами и говорится о необходимых улучшениях, при этом он остается полезным, динамичным документом, который можно изменять и пересматривать, с тем чтобы использовать выгоды, связанные с техническими достижениями и еще нереализованными возможностями финансирования и сотрудничеством между государствами-членами.

ИСТОРИЯ И ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ИТСУ

В ходе третьей сессии **Межправительственной океанографической комиссии (МОК)** в июне 1964 г. Комиссия обратилась к Секретариату МОК с просьбой созвать, предпочтительно в Гонолулу в начале 1965 г., совещание для обсуждения международных аспектов Системы предупреждения о цунами с целью обеспечения, по возможности, наиболее эффективного международного сотрудничества во всех компонентах этой системы, таких, как станции мониторинга приливов и отливов и сейсмических явлений, внутренняя и международная коммуникация, а также оповещение и распространение предупреждений о цунами. Были разосланы приглашения всем государствам - членам МОК, проявляющим интерес к Тихому океану, а отдельные приглашения - Береговой и геодезической службе Соединенных Штатов, Метеоро-

логическому агентству Японии, Гидрометеорологической службе СССР, Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), Всемирной метеорологической организации (ВМО), Комитету по цунами Международного союза геодезии и геофизики (МСГГ), Международному союзу электросвязи и другим национальным или международным органам, которые могут проявить интерес к этому вопросу.

В соответствии с просьбой МОК в апреле 1965 г. в Гонолулу состоялось заседание рабочей группы по международным аспектам **Системы предупреждения о цунами в Тихом океане (ТВСП)**. Группа обсудила резолюцию III.8 МОК, ее последствия для государств-членов и меры, которые требуются для того, чтобы обеспечить на международной основе своевременное оповещение



Крупные цунамигенные сейсмические зоны в Тихоокеанском регионе. Большинство волн имеет разрушительный характер только вдоль побережья около района, вызвавшего их землетрясения. Однако в каждом столетии отмечается небольшое число достаточно мощных волн, причиняющих ущерб в районах, находящихся во многих тысячах километров от источника их возникновения.

о цунами. В результате этого была создана **Международная координационная группа по Системе предупреждения о цунами в Тихом океане (МКГ/ИТСУ или ИТСУ)**, состоящая из государств-членов Тихоокеанского региона. Ее цель заключается в том, чтобы рекомендовать и координировать программы, приносящие наибольшую пользу государствам - членам МОК, прибрежные районы которых подвергаются опасности цунами. Для достижения целей этой Группы и обеспечения успешного осуществления международного проекта в области предупреждения о цунами каждые два года проводятся ее сессии, которые созываются по приглашению государств - членов ИТСУ в местах, находящихся в бассейне Тихого океана. Эти совещания способствуют развитию сотрудничества и координации между государствами-членами, позволяют рассматривать мероприятия, проводившиеся Группой со времени последней сессии, и определять программу ее работы на последующий период.

Одновременно с созданием ИТСУ МОК приняла предложение Соединенных Штатов Америки о расширении центра предупреждения о цунами этой страны на Гавайских островах, который в настоящее время известен как **Центр предупреждения о цунами в Тихом океане (ПТВЦ)**, с целью его превра-

щения в оперативную штаб-квартиру ТВСП. Она также приняла предложение других государств-членов о включении их действующих служб и коммуникационных систем в ТВСП.

Кроме того, в целях поддержки ИТСУ и ТВСП МОК учредила **Международный центр информации о цунами (ИТИК)**, который размещен при поддержке со стороны США в Гонолулу, на Гавайских островах. Полномочия ИТИК, которые были пересмотрены ИТСУ в 1977 г., охватывают шесть направлений деятельности, которые можно резюмировать следующим образом: (1) мониторинг Системы предупреждения о цунами и выработка рекомендаций о ее совершенствовании; (2) информирование государств-членов, а также государств, не являющихся членами, о мероприятиях в рамках Системы предупреждения о цунами, ИТИК и ИТСУ; (3) содействие созданию национальных систем предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе; (4) сбор и распространение информации о цунами, а также оказание поддержки исследованиям в области цунами и практическому применению их результатов; (5) содействие обеспечению доступа ко всей имеющейся документации о цунами и (6) содействие разработке и применению процедур для проведения обследований после цунами.



ЦУНАМИ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ОПАСНОСТИ

В Тихоокеанском регионе протяженность береговой линии насчитывает десятки тысяч километров и состоит из участков побережья по крайней мере 23 стран тихоокеанского пояса и 21 островного государства. Эти районы развиваются все более быстрыми темпами, в большинстве случаев расширяются портовое хозяйство и промышленная база, почти везде растет плотность населения. В результате этого фактора роста как населения, так и инфраструктуры все большее число людей, их жилищ, зданий и транс-

портных систем подвергается разрушительному воздействию цунами. Начиная с 1992 г. крупные цунами местного происхождения унесли более 4 200 жизней и причинили материальный ущерб, оцениваемый в сотни миллионов долларов. В настоящее время в бассейне всего Тихоокеанского бассейна могут возникать цунами, сопоставимые по масштабам с тем, которое произошло возле побережья Чили в мае 1960 г., и вполне могут иметь катастрофические последствия.



Массовые разрушения в городе Аонае на острове Окусири, Япония, вызванные региональным цунами 12 июля 1993 г.

Местные и региональные цунами

Наиболее разрушительные цунами можно классифицировать как *местные* или как *региональные*, при этом подразумевается, что их разрушительные последствия ограничиваются побережьем в пределах, соответственно, 100 км или до 1 000 км от источника возникновения - обычно эпицентра землетрясения. Из этого следует, что большинство человеческих жертв и большую часть материального ущерба вызывают цунами местного проис-

хождения. За период с 1975 г. по 1998 г. в Тихом океане и прилегающих к нему морях было отмечено по крайней мере 18 таких явлений, которые привели к значительным человеческим жертвам и/или имущественному ущербу.

Например, в результате регионального цунами в 1983 г. в Японском море (или Восточном море) огромный ущерб был причинен прибрежным районам Японии, Кореи и России, он составил свыше

800 млн. долл., погибло более 100 человек. Затем в течение девяти лет цунами не отмечалось, а после этого только за семь лет с 1992 г. по 1998 г. возникло 11 разрушительных местных цунами, унесших жизни более 4 200 человек и причинивших материальный ущерб, оцениваемый в сотни миллионов долларов.

В большинстве случаев принимавшиеся тогда меры по ослаблению воздействия цунами оказались неспособными предотвратить значительные жертвы и материальный ущерб. Однако в будущем ущерб от цунами местного и регионального масштаба может быть сокращен, если будет создана более плотная сеть центров предупреждения о цунами, сейсмостанций и постов наблюдения за уровнем моря, улучшена система связи, используемая для заблаговременного предупреждения о цунами, и будут усовершенствованы существующие механизмы, предназначенные для обеспечения готовности к цунами и проведения информационно-разъяснительной работы среди населения.

Разрушительные цунами местного или регионального масштаба за период с 1975 г.

Дата	Расположение очага	Оценочные
		данные о числе жертв
29 ноября 1975 г.	Гавайские Острова (США)	2
17 августа 1976 г.	Филиппины	8 000*
19 августа 1977 г.	Индонезия	189
18 июля 1979 г.	Индонезия	540
12 сентября 1979 г.	Новая Гвинея	100
12 декабря 1979 г.	Колумбия	500
26 мая 1983 г.	Японское море	100
2 сентября 1992 г.	Никарагуа	168
12 декабря 1992 г.	Остров Флорес (Индонезия)	1 000
12 июля 1993 г.	Остров Окусири (Япония)	230
3 июня 1994 г.	Ява (Индонезия)	222
4 октября 1994 г.	Остров Шикотан (Россия)	11
14 ноября 1994 г.	Филиппины	74
9 октября 1995 г.	Мансанильо (Мексика)	1
1 января 1996 г.	Сулавеси (Индонезия)	9
17 февраля 1996 г.	Ирианджая (Индонезия)	110
23 февраля 1996 г.	Перу	12
17 июля 1998 г.	Папуа-Новая Гвинея	2 500

* Включая, возможно, жертвы землетрясения.

Цунами, распространяющиеся по всему Тихому океану или цунами удаленного происхождения

Гораздо более редкими, но потенциально значительно более опасными являются цунами, **распространяющиеся по всему Тихому океану, или цунами удаленного происхождения**. Эти цунами возникают, когда интенсивность генерирующего их явления является достаточно сильной. Начинаясь обычно как цунами местного происхождения, вызывающее значительные разрушения в районе близости от очага, волна продолжает распространяться по всему океану, обладая при этом достаточной энергией для того, чтобы новые жертвы и разрушения могли появиться в прибрежных зонах, расположенных на расстоянии более тысячи километров от очага. За последние двести лет было отмечено по крайней мере семнадцать разрушительных цунами, распространяющихся по всему Тихому океану.

Самое разрушительное за последнее время цунами, в масштабах всего Тихого океана, стало результатом сильного землетрясения, произошедшего недалеко от побережья Чили 22 мая 1960 г. Все чилийские прибрежные города, расположенные между 36-й и 44-й параллелями, оказались в результате цунами и землетрясения либо разрушенными, либо серьезно пострадавшими. Общие потери от цунами и землетрясения составили 2 000 погибших, 3 000 раненых, 2 000 000 людей остались без крова, материальный ущерб составил

550 млн. долларов. В районе прибрежного города Корраль (Чили) высота волн достигала, согласно оценкам, 20,4 метра (67 футов). В результате этого цунами погиб 61 человек на Гавайских островах, 20 человек на Филиппинах и 100 или более человек в Японии. Согласно оценкам, причиненный при этом материальный ущерб составил 50 млн. долл. в Японии, 24 млн. долл. на Гавайских островах и еще несколько миллионов долларов на западном побережье Соединенных Штатов Америки и Канады. Высота волн удаленного происхождения варьировалась от небольших колебаний в отдельных районах до 12,2 метра (40 футов) на острове Питкэрн, 10,7 метра (35 футов) в Хило на Гавайских островах и 6,1 метра (20 футов) в некоторых районах Японии.

Со времени создания ИТСУ и ТВСП и начала работы ПТВЦ в качестве международного центра предупреждения о цунами крупных разрушительных волн, распространяющихся по всему Тихому океану, отмечено не было. Однако продолжать работу по совершенствованию всех элементов системы предупреждения о цунами по-прежнему необходимо, для того чтобы, когда в следующий раз цунами нанесет новый удар (а это неизбежно), можно было бы свести к минимуму материальный ущерб и обеспечить безопасность жителей прибрежных районов Тихого океана.



Береговая линия в Хило (Гавайские острова): разрушения, нанесенные распространяющимся по всему Тихому океану цунами, возникшим у побережья острова Унимак (Аляска, США) 1 апреля 1946 г.

Характеристика явления цунами

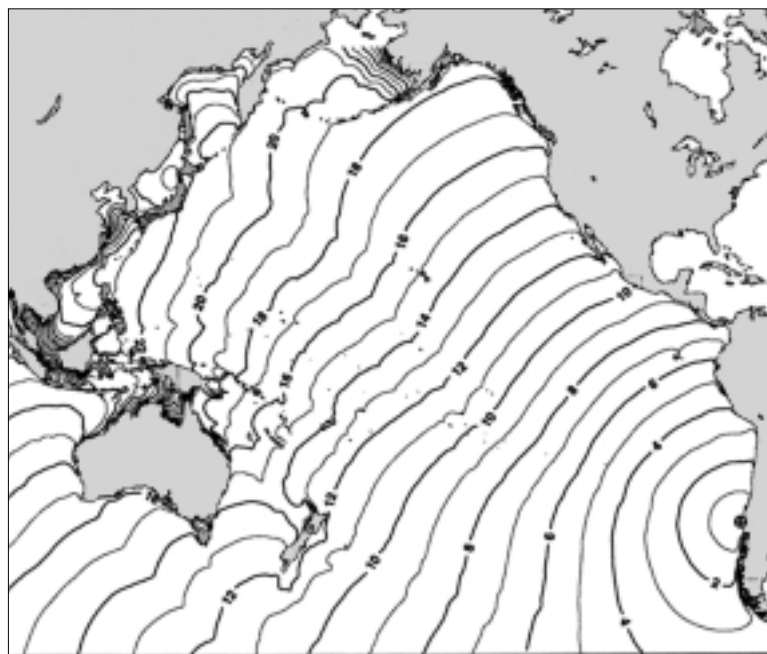
Цунами - это серия морских гравитационных волн, образующихся в результате крупномасштабного возмущения в толще морской воды, имеющего относительно небольшую продолжительность во времени. В процессе возвращения морской воды в состояние равновесия под воздействием силы тяжести происходит ряд колебаний выше и ниже уровня моря и образуются волны, идущие в сторону от эпицентра. В большинстве случаев цунами вызываются землетрясениями, при которых происходит вертикальный разрыв толщи воды под воздействием вертикального тектонического сдвига морского дна по линии разлома земной коры, подстилающей или окаймляющей ложе океана. При крупнейших цунамигенных землетрясениях может происходить перемещение в вертикальном направлении на расстояние до нескольких метров или даже более участков морского дна площадью 100 000 км² или более. К числу других явлений, порождающих цунами, относятся извержения вулканов недалеко от океана или в самом океане, перемещение подводных осадочных пород, оползни на побережье с попаданием обрушившейся породы в воду или крупные взрывы в океане, являющиеся результатом деятельности человека или падения метеоритов.

Цунами распространяется в направлении от эпицентра в виде серии волн. Скорость движения цунами зависит от глубины воды, в связи с чем движение волн ускоряется или замедляется при прохождении над участками морского дна, соответственно с увеличивающейся или уменьшающейся глубиной. В результате этого процесса происходит также изменение направления распространения волн и фокусирование или дефокусирование их энергии. По участкам океана с большими глубинами волны цунами могут двигаться со скоростью 500-1 000 км/ч. Однако у берега скорость цунами снижается всего лишь до нескольких десятков км/ч. От глубины воды также зависит высота цунами. Цунами высотой всего в 1 м на участке океана с большой глубиной может вырасти у береговой линии до нескольких десятков метров. В отличие от хорошо известных ветровых морских волн, представляющих собой возмущение лишь на поверхности моря, энергия цунами распространяется вплоть до дна океана. У береговой линии эта энергия концентрируется в вертикальном направлении за счет сокращения глубины воды и в горизонтальном направлении за счет уменьшения длины волны, происходящего из-за замедления ее

движения. Характерные для цунами периоды (продолжительность во времени одного цикла волны) могут варьировать от всего лишь нескольких минут до целого часа или даже более.

Проявления цунами на берегу могут быть очень разнообразными в зависимости от размера и периода волн, прибрежной батиметрии, очертания береговой линии, фазы приливно-отливного цикла и других факторов. В некоторых случаях цунами может вызвать лишь относительно небольшое затопление низколежащих прибрежных участков, похожее на то, которое бывает при быстром приливе. В других случаях цунами может обрушиваться на берег как бор, представляющий собой вертикальную стену турбулентной воды, которая может иметь очень большую разрушительную силу. В большинстве случаев происходит также понижение уровня моря либо перед, либо между гребнями волн цунами, что приводит к отступлению береговой линии иногда на целый километр или более. Даже небольшие цунами могут также сопровождаться необычно сильными морскими течениями.

Разрушения, производимые цунами, являются прямым результатом действия трех факторов: затопления, удара волны по строениям и эрозии. Бывают случаи, когда сильные течения, вызванные цунами, приводят к размыву основания и обрушению мостов и дамб. В результате флотации и действия влекущих сил волн сдвигаются со своего места дома и переворачиваются автомашины. Связанная с цунами сила волн приводит к разрушению каркасных зданий и других строений. Значительный ущерб также наносится плавающими обломками и предметами (включая лодки и автомашины), которые превращаются в опасные метательные снаряды, могущие попадать в здания, пирсы и транс-



Разрушительные цунами, распространяющиеся по всему Тихому океану, за период с 1800 г.

Дата	Расположение очага	Оценочные данные о числе жертв
20 февраля 1835 г.	Чили	2
7 ноября 1837 г.	Чили	62
13 августа 1868 г.	Чили	25 000*
10 мая 1877 г.	Чили	500
15 июня 1896 г.	Санрику (Япония)	22 000
31 января 1906 г.	Колумбия/Эквадор	500
17 августа 1906 г.	Чили	–
7 сентября 1918 г.	Курильские Острова (Россия)	47
11 ноября 1922 г.	Чили	100
3 февраля 1923 г.	Камчатка (Россия)	2
2 марта 1933 г.	Санрику (Япония)	3 000
1 апреля 1946 г.	Алеутские Острова (США)	179
4 ноября 1952 г.	Россия	–
9 марта 1957 г.	Алеутские Острова (США)	5
22 мая 1960 г.	Чили	2 000
28 марта 1964 г.	Аляска (США)	112
4 февраля 1965 г.	Алеутские Острова (США)	–

* Включая, возможно, жертвы землетрясения.

портные средства. Суда и портовые сооружения страдают от нагона воды даже при слабых цунами. Гораздо больший, чем собственно цунами, ущерб могут нанести пожары, возникающие в связи с возгоранием нефти, разлившейся с находящихся в порту поврежденных судов или из разрушенных прибрежных нефтехранилищ и нефтеперерабатывающих установок. Еще одним примером возможного вторичного ущерба является вызываемое разрушениями загрязнение района бедствия сточными водами и химическими веществами. Большую опасность могут представлять разрушения водозаборных, водосливных и складских объектов. Все большую озабоченность сейчас вызывает возможность понижения уровня воды при цунами, при котором при отступлении воды обнажаются водозаборные устройства систем охлаждения атомных электростанций.

Время пробега (в часах) чилийского цунами 22 мая 1960 г., пересекавшего Тихий океан. Это цунами имело исключительно большую разрушительную силу в прилегающих к очагу прибрежных районах Чили, но оно также вызвало значительные разрушения и жертвы в таких отдаленных районах, как Гавайские острова и Япония. Возникшие в связи с этим распространяющимся по всему Тихому океану цунами озабоченность и понимание проблемы в конечном итоге привели к образованию ТВСП и ИТСУ.

СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ, ОГРАНИЧЕНИЯ И БУДУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Продолжается расширение сферы охвата и ответственности Системы предупреждения о цунами в Тихом океане (ТВСП) наряду с повышением интереса к ней в рамках МКГ/ИТСУ, в состав которой в настоящее время входят 25 государств-членов. Ввиду беспрецедентного числа локальных разрушительных цунами, произошедших в последние несколько лет, наблюдается повышение внимания к цунами и к ТВСП в Тихоокеанском бассейне и в других районах.

В нижеследующем разделе дается краткое описание системы уменьшения опасности цунами в Тихом океане в ее нынешнем виде, указываются ограничения этой системы, а также направления и сферы деятельности для преодоления этих ограничений. Существующая система является результатом индивидуальных и совместных усилий государств - членов ИТСУ, а также деятельности ИТСУ в целом. Несмотря на то, что предстоит устранить еще много недостатков, достигнуты значительные успехи в повышении эффективности работы по уменьшению опасности цунами в Тихом океане по сравнению с тем положением, которое существовало в момент создания ИТСУ в 1965 г.

В представленном и утвержденном на девятой сессии ИТСУ в 1984 г. документе под названием "Обобщение данных и информации для подготовки Генерального плана" указывалось пять общих областей работы, которые должны были найти отражение в программах ИТСУ. В сжатом виде их можно изложить следующим образом: (1) подготовка учебных материалов о цунами; (2) сбор и обобщение исторических данных о цунами и разработка более совершенных методов использования исторических данных, сейсмических данных и моделирования для подготовки мер оповещения и

прогнозирования волновых накатов; (3) создание более совершенных каналов связи для передачи данных в реальном времени и распространения оповещений; (4) разработка усовершенствованного оборудования и методики для сбора и обработки сейсмических данных и данных об уровне воды, создание по мере необходимости новых станций для сбора данных и обеспечение подготовки специалистов в области установки и эксплуатации оборудования и станций; (5) совершенствование существующих центров предупреждения о цунами и создание по мере необходимости новых центров наряду с обеспечением надлежащей передачи технологий, подготовки кадров и предоставления документации. Эти области работы по-прежнему сохраняют свою актуальность и рассматриваются ниже в контексте концептуальной модели плана уменьшения опасности цунами.

Для уменьшения опасности цунами или любого иного скоротечного стихийного бедствия важно тщательно оценить характер возникающей опасности, разработать и внедрить методику предупреждения и подготовить для районов, подвергающихся такой опасности, надлежащие меры по уменьшению последствий бедствия. Речь идет о трех важных этапах: (1) оценка опасности, (2) оповещение и (3) обеспечение готовности, которые являются основными элементами модели уменьшения последствий. Они могут использоваться в целях определения, разработки и классификации большинства мероприятий, необходимых для эффективного уменьшения неизбежных последствий цунами. Еще одним ключевым элементом, который непосредственно не связан с уменьшением последствий, но имеет важное значение для таких мероприятий, являются научные исследования по цунами.

Оценка опасности

Первым элементом эффективного уменьшения последствий бедствия является оценка его опасности. Оценка опасности цунами для каждого населенного пункта, расположенного на побережье, необходима для определения того, какое население и какие материальные ценности подвергаются опасности и в какой степени. Для такой оценки требуется знать возможные источники цунами, вероятность их возникновения, а также те характеристики, которые имеют цунами, распространяющиеся из этих источников, на различных участках побережья. В отношении некоторых населенных пунктов данные о предшествующих

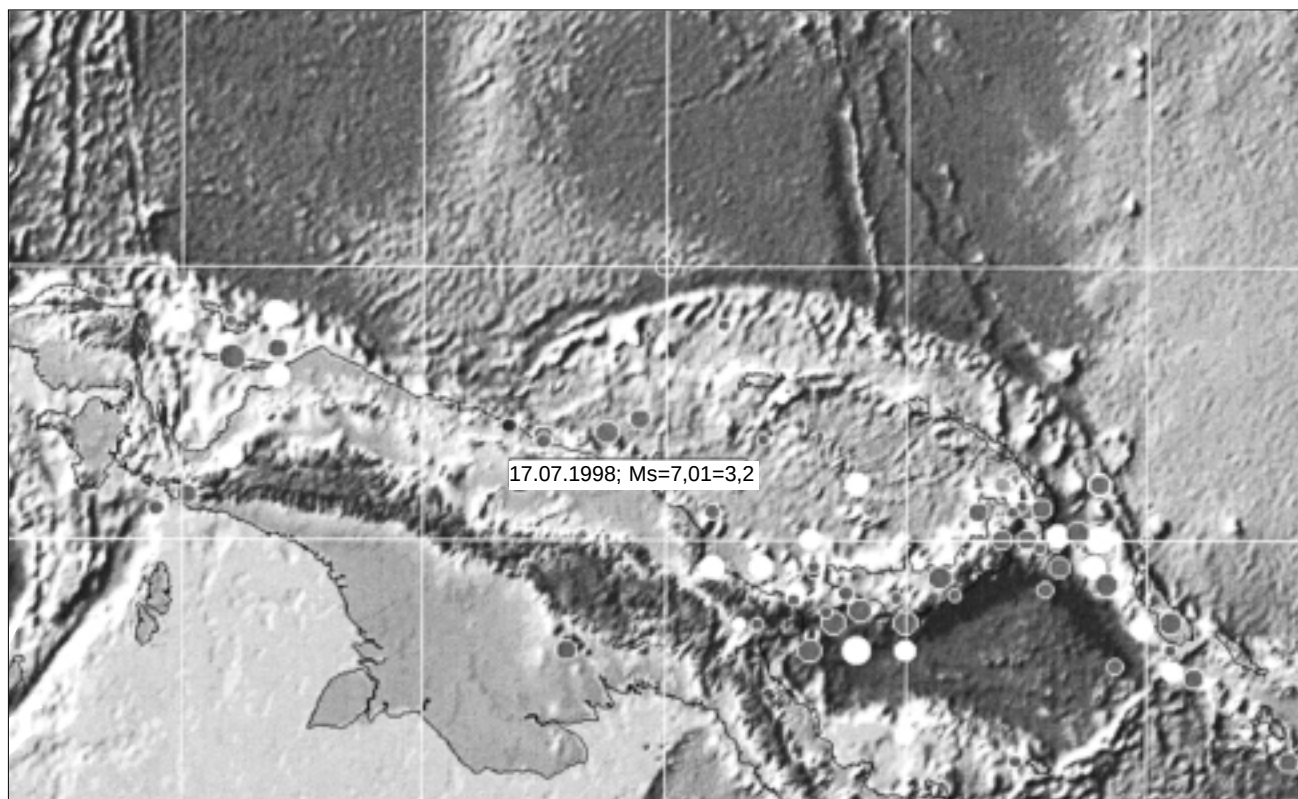
цунами могут использоваться для количественного определения этих факторов. Однако по большинству поселений данные о прошлых бедствиях либо полностью отсутствуют, либо весьма ограничены. Для таких участков можно использовать цифровые модели наводнения под воздействием цунами с целью определения того, какие зоны будут затоплены в случае локального или отдаленного цунамигенного землетрясения. Результаты оценки опасности важны также для мотивации и планирования деятельности по двум другим компонентам уменьшения опасности цунами: оповещение и обеспечение готовности.

Исторические данные о цунами

Исторические данные имеются во многих формах и во многих местах. Что касается формы такой информации, то речь идет о печатных или рукописных каталогах цунами, докладах о полевых исследованиях, индивидуальных отчетах об экспериментах, газетных сообщениях, а также о кинофильмах или видеозаписях. Одна из самых крупных подборок материалов такого рода хранится в Международном центре информации о цунами в Гонолулу на Гавайских островах. Еще одно крупное собрание материалов находится в Мировом центре данных - А (МЦД-А) при Национальном центре геофизических данных США в Боулдере, Колорадо. В этом учреждении можно заказать каталоги исторических данных о цунами в США, Мексике, Перу, Чили и других районах Тихоокеанского бассейна; базу исторических данных о цунами во всем мире; цветную настенную карту цунами; подборки исторических данных о замерах приливной волны и три набора слайдов по цунами. Другие исторические данные о цунами собираются также университетами и различными правительственными организациями. Различные государства-члены, включая Австралию, Мексику, Российскую Федерацию, Чили, Эквадор и Японию, также составили каталоги цунами в своих и соседних странах. При поощрении и частичной

По многим районам Тихого океана существующие исторические данные являются неполными, и к ним не имеется широкого доступа, или они хранятся в такой форме, которая не позволяет легко использовать их для оценки степени опасности. Необходимо обеспечить постоянный сбор и компиляцию исторических данных, особенно по районам, плохо представленным в существующих каталогах. Все исторические данные и связанные с ними параметры нужно свести воедино в одну общую базу данных. Необходимо также разработать более совершенные способы доступа к этим данным и их просмотра в удобном для пользователя формате. Эта работа включает в себя создание электронных баз данных и предназначенных для работы с ними графических интерфейсов пользователя, которые можно было бы распространять на электронных носителях или через World Wide Web.

поддержке ИТСУ Российская Федерация разработала программу для персональных компьютеров ("Экспертная база данных по цунами - ЭБДЦ"), обеспечивающую быстрое получение и вывод на экран исторических данных о цунами в самых разнообразных графических форматах. Кроме того Комиссия МСГГ по цунами сейчас занимается разработкой общего формата для баз данных о цунами, предназначенного для использования госу-



Эпицентры цунамигенных землетрясений, имевших место в прошлом в районе Новой Гвинеи и Соломоновых островов. Этот рисунок был выполнен с использованием "Базы исторических данных о цунами в Тихоокеанском регионе за период с 47 года до н.э. по 1999 год н.э." - графической программы, разработанной Лабораторией по цунами Российской академии наук.

дарствами-членами при передаче ими своих исторических данных в ИТИК или МЦД-А. Комиссия по цунами также рассматривает возможность более эффективной систематизации исторических и других данных о цунами в рамках "виртуального информационного центра", доступ к которому мог бы осуществляться через систему World Wide Web, с подключением к другим организациям всех стран мира, собирающим и обрабатывающим такие данные.

Данные о палеоцунами

В последнее время в ряде районов Тихоокеанского бассейна проводятся исследования палеоцунами - явлений, предшествовавших началу периода письменных исторических свидетельств. Эта работа основывается главным образом на сборе и анализе найденных в прибрежных районах цунамигенных отложений и других свидетельствах подъема или оседания, которые ассоциируются с происходившими поблизости землетрясениями. В одном случае исследования дали основания для опасений относительно возможных в будущем крупных землетрясений и цунами вдоль северо-западного побережья Северной Америки. В другом случае найдены значительно более ранние по времени следы цунами в Курило-Камчатском регионе. По мере продолжения работы в этой области может появиться значительный объем новой информации о прошлых цунами, которая поможет оценке опасности цунами.

В отношении большей части побережья в бассейне Тихого океана имеются исторические данные лишь о немногих цунами или такая информация полностью отсутствует. Исследования палеоцунами дают возможность получить новые сведения о крупных цунами, происходивших в отдаленном прошлом. Эти знания могут быть чрезвычайно важными для оценки цунами-риска. Государствам - членам ИТСУ предлагается оказать поддержку исследовательским проектам в этой области.

Изучение последствий цунами

В последние годы вслед за каждым крупным разрушительным цунами проводилось рекогносцировочное изучение его последствий для снятия замеров волновых накатов и границ затопления, а также учета связанных с этим показаний очевидцев, как, например, число волн, время их прохождения и выявление наиболее крупной волны. Такие обследования проводились главным образом научными специалистами на разовой основе, часто с участием представителей нескольких государств - членов ИТСУ. ИТСУ стремилась к созданию международных групп в составе экспертов по различным

Цунами - сравнительно редкое явление, и большая часть свидетельств о них быстро исчезает. Поэтому очень важно, чтобы рекогносцировочные обследования организовывались и проводились быстро и тщательно после каждого цунами в целях сбора подробных данных, имеющих важное значение для оценки риска, проверки существующих моделей и других аспектов проблемы уменьшения опасности цунами. ИТСУ должна и впредь поддерживать создание - под эгидой МОК и других организаций - международных групп экспертов, которые имели бы в своем распоряжении технические и финансовые ресурсы для выполнения обследований после цунами. Государствам-членам предлагается вносить взносы в Целевой фонд МОК по проблемам цунами для обеспечения необходимой заблаговременной поддержки таких обследований, а также оказывать содействие в выполнении процедур и в предоставлении материально-технических средств, необходимых для незамедлительной доставки таких групп на места. С учетом соответствующих потребностей следует обновить, опубликовать и широко распространить Руководство для полевых обследований после цунами для содействия обследованиям, проводимым МОК и/или другими группами.

связанным с цунами дисциплинам для проведения обследований под эгидой МОК, однако до настоящего времени ни одно из таких обследований не проводилось. ИТСУ составила Руководство для полевых обследований после цунами в целях содействия подготовке таких обследований, определения того, какие измерения и наблюдения необходимы, а также стандартизации методов сбора данных для повышения их сопоставимости и точности.

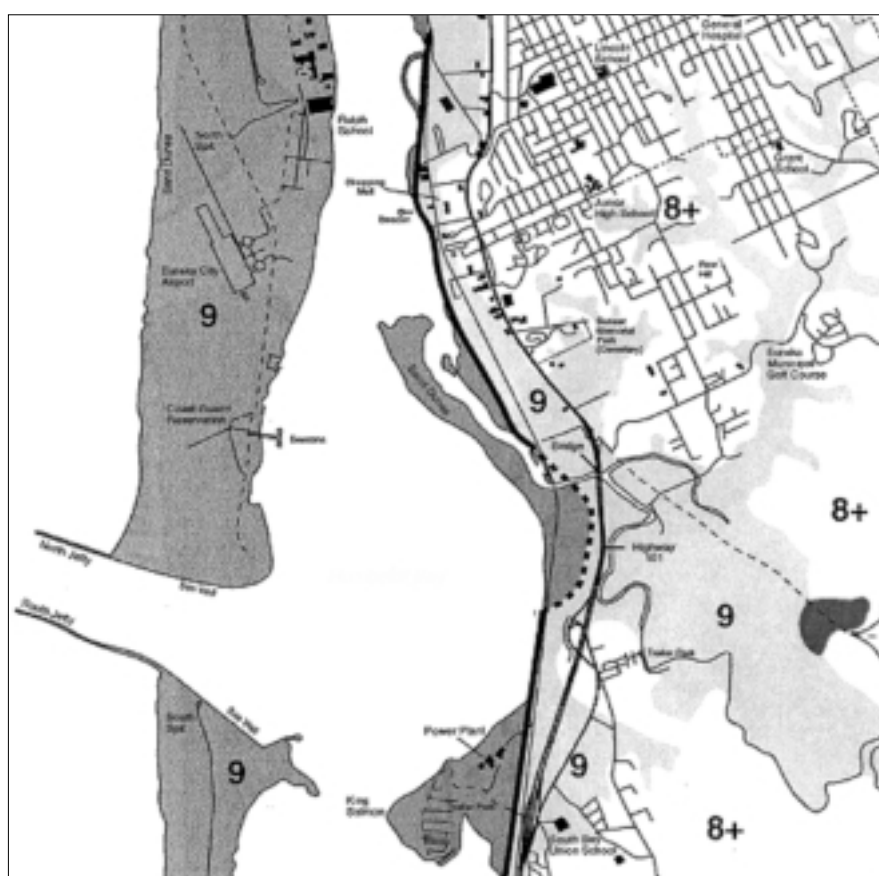
Цифровое моделирование

Часто единственный способ определить потенциальные волновые накаты и затопление в результате местных или удаленных цунами состоит в использовании цифрового моделирования, поскольку данных о прошлых цунами обычно бывает недостаточно. В качестве начальных условий для таких моделей могут быть заданы потенциально наихудшие сценарии поведения источников цунами или волн, возникающих вблизи от побережья, для определения соответствующих наихудших сценариев волнового наката и затопления. Модели могут также строиться в отношении более мелких источников, чтобы понять силу и опасность менее экстремальных, но более частых явлений. Затем такая информация используется в качестве основы для подготовки эвакуационных карт и процедур ввиду угрозы цунами. В настоящее время такое моделирование осуществляется лишь применительно к небольшой части подвергающихся опасности прибрежных районов. Достаточно точные методы моделирования стали доступными лишь в

последние годы, и для понимания и правильного использования таких моделей требуется специальная подготовка, а также подробные батиметрические и топографические данные из того района, в отношении которого проводится моделирование. Для решения этой проблемы ИТСУ оказывает поддержку программе под названием "Обмен данными моделирования наводнений, вызванных цунами" (ТИМЕ), благодаря которой цифровая модель затоплений, разработанная японским профессором Шуто, была передана Мексике, США, Корее, Турции, Канаде, Греции, Колумбии, Австралии, Италии, Индонезии, Эквадору, Коста-Рике и Чили. Что особенно важно, программа предусматривает также обучение использованию этой модели. Многие страны - члены ИТСУ, включая Чили, Мексику, Францию, Японию и Соединенные Штаты, в настоящее время создали программы по систематическому моделированию потенциальных затоплений, вызванных цунами, для своих прибрежных районов, подвергающихся такой опасности.

Для большей части побережья Тихого океана существует весьма ограниченный объем исторических данных. Соответственно, цифровое моделирование может оказаться единственным способом оценки потенциальной опасности цунами по этим районам. В настоящее время существуют методы проведения такой оценки. Необходимые для такого моделирования компьютерные программы и учебную методику следует передать всем подвергающимся опасности цунами странам бассейна Тихого океана посредством таких программ, как "Обмен данными моделирования наводнений, вызванных цунами". Государствам-членам предлагается разрабатывать с использованием этих методов собственные национальные программы по осуществлению оценки волновых накатов и затоплений, вызванных цунами, в отношении их побережий.

Юрика, штат Калифорния



- Затопления, вызванные цунами
- Разжижение грунта
- Оползни
- Затопление и разжижение, вызванные цунами
- 8+, 9** Интенсивность по модифицированной шкале Меркалли

Смещение домов с фундаментов, частичное разрушение кирпичных зданий, опрокидывание мебели и крупных бытовых приборов.

Прибрежный район Юрики, штат Калифорния, с указанием возможного затопления, определенного с использованием цифровой модели для местного цунами. Карта также включает потенциальные последствия землетрясения, включая разжижение грунта и оползни, которые должны быть учтены при составлении эвакуационных маршрутов.

Предупреждение

Вторым ключевым элементом эффективного уменьшения опасности цунами является соответствующая система предупреждения, позволяющая оповещать жителей прибрежных районов о неминуемой угрозе цунами. Работа систем предупреждения основывается на данных о землетрясениях, необходимых для быстрого первоначального предупреждения, а также на данных об уровне воды, используемых для подтверждения и мониторинга цунами или отмены предупреждения. В системах предупреждения используются также различные каналы связи для получения сейсмических данных и све-

предупреждение о каждом типе цунами, - субнациональный, национальный, региональный или международный. **Общая тихоокеанская система**, управляемая ПТВЦ, передает международные предупреждения приблизительно через 30-60 минут после землетрясения, которые принимаются населенными пунктами, расположенными по меньшей мере в нескольких сотнях километров от района землетрясения. **Региональные системы**, как, например, действующие в США, Японии, Российской Федерации, Франции и Чили, передают предупреждения главным образом в своих странах приблизительно через 10-15 минут после землетрясения и предназначены для населенных пунктов, расположенных по крайней мере в сотне километров от района землетрясения. Локальные системы, применяемые Японией и Чили, способны передать предупреждение примерно через 5 минут или менее, что обеспечивает определенную степень защиты населенным пунктам, расположенным в пределах 100 км от района землетрясения. Столь же важной, как рассылка предупреждения, является быстрая их отмена в тех случаях, когда большие волны не фиксируются, а также передача информационных сообщений о крупных, но потенциально нецунамигенных землетрясениях.

В число центров, управляющих системами предупреждения о цунами, входят: Тихоокеанский центр предупреждения о цунами в Эва-Бич, штат Гавайи, США; Центр предупреждения о цунами Западного побережья/Аляски в Палмере, штат Аляска, США; центры предупреждения о цунами Российской Федерации в Петропавловске-Камчатском, на Курильских островах и в Сахалинске; центры предупреждения о цунами Японии в Саппоро, Сендае, Токио, Осаке, Фукуоке и Нахе; Центр предупреждения о цунами Французской Полинезии в Папее, Таити, и Национальная система предупреждения о цунами Чили, штаб-квартира которой расположена в Вальпараисо.

В последнее время некоторые другие государства-члены также создали или усовершенствовали свой инструментарий для измерения сейсмических параметров и/или уровня воды, а также аналитический потенциал в качестве основы для национальных систем предупреждения о цунами.



Зал операторов Центра предупреждения о цунами в Тихом океане в Эва-Бич, Гавайи

дений об уровне воды и для оповещения соответствующих органов власти. Центры предупреждения стремятся работать: 1) быстро, - рассылая предупреждения как можно быстрее после потенциальной генерации цунами, 2) точно, - предупреждая обо всех разрушительных цунами, минимизируя при этом возможность ложных тревог, и 3) надежно, - следя за тем, чтобы деятельность осуществлялась непрерывно, сообщения посылались и получались немедленно и были понятны пользователям системы.

Системы и центры предупреждения

Системы предупреждения о цунами в Тихом океане можно классифицировать по двум взаимосвязанным факторам: 1) тип цунами, в отношении которого они готовы передать предупреждение - от местного до удаленного, и 2) район ответственности (AOR), в пределах которого передается

Тихоокеанский центр предупреждения о цунами

В 1948 г. в Сейсмологической обсерватории Эва-Бич вблизи Гонолулу начала действовать Сейсмическая система предупреждения о морских волнах, предназначенная для оповещения прибрежных населенных пунктов тихоокеанского побережья США о надвигающихся цунами, подобных тому, которое двумя годами ранее, зародившись на Алеутских островах, неожиданно обрушилось на Гавайи, причинив катастрофические разрушения. В 1966 г. Межправительственная океанографическая комиссия одобрила внесенное США предложение укрепить это учреждение, создав на постоянной основе Международный центр информации о цунами. Немногим спустя Обсерватория сменила свое название на Тихоокеанский центр предупреждения о цунами (ПТВЦ) и стала оперативным центром Системы предупреждения о цунами в Тихом океане. Его главной задачей в этом отношении была и остается передача своевременных предупреждений (как правило, в пределах 30 минут) о любом цунамигенном землетрясении в бассейне Тихого океана всем международным участникам, которые обозначили соответствующую организацию по чрезвычайным обстоятельствам, для получения таких сообщений. В 1970 г. ПТВЦ стал центром предупреждения о местных цунами, зарождающихся в штате Гавайи, взяв на себя задачу передачи предупреждения через 15 минут о землетрясениях с силой 6,8 балла, происходящих вблизи или на побережье Гавайских островов. Гавайи не раз подвергались воздействию разрушительных цунами, зарождавшихся в этом регионе в результате землетрясений, вызванных действующими вулканами.

Таким образом, ПТВЦ, руководимый Национальным управлением США по океану и атмосфере/Национальной службой погоды (НОАА/НВС), выполняет три самостоятельные задачи: 1) играет роль международного центра предупреждения о большинстве удаленных цунами в Тихом океане; 2) служит национальным центром США по предупреждению об удаленных цунами всех связанных с интересами США пользователей в Тихом океане, за исключением штатов Аляска, Вашингтон, Орегон и

Калифорния; 3) осуществляет функции гавайского регионального центра по быстрому предупреждению штата Гавайи о местных цунами. Для выполнения этих задач на круглосуточной основе работают соответствующие средства связи и компьютерное оборудование, а также штат геофизиков. Центр использует собственный набор телеметрических сейсмических датчиков и инструментов измерения уровня воды, расположенных на Гавайях и в других частях Тихого океана, а также различные широко распространяемые сейсмические данные и данные об уровне воды, предоставляемые Центром предупреждения о цунами Западного побережья/Аляски, другими национальными агентствами и по каналам Системы предупреждения о цунами в Тихом океане.

Руководством для пользователей ПТВЦ является *Коммуникационный план Системы предупреждения о цунами (12-е издание)*, опубликованный в июле 1996 г. и соответствующим образом обновленный. В нем приводится базовая информация о цунами, общие сведения о Системе предупреждения о цунами в Тихом океане, основные определения, информация об уровне воды и сейсмических станциях, коммуникационные требования и способы коммуникации, применимые к каждой стране, а также типы сообщений, критерии и форматы.

Центр предупреждения о цунами Западного побережья/Аляски

Эта система предупреждения функционирует с 1968 г. Известное в прошлом как Центр предупреждения о цунами Аляски, это учреждение недавно сменило свое название на Центр предупреждения о цунами Западного побережья/Аляски (ВЦ/АТВЦ), что более точно отражает район его ответственности, куда входят штаты Вашингтон, Орегон, Калифорния и тихоокеанское побережье Канады. Он также функционирует под управлением НОАА/НВС США. ВЦ/АТВЦ передает предупреждения через 15 минут после начала землетрясения в отношении цунами, зародившихся вблизи побережья Аляски или Западного побережья Северной Америки вплоть до границы Калифорнии и Мексики. В



Центр предупреждения о цунами Западного побережья/Аляски, расположенный в Палмере, штат Аляска.

координации с ПТВЦ Центр также оповещает пользователей в своем районе ответственности о цунами, распространяющихся по всему Тихому океану. Центр использует собственную систему телеметрических сейсмических датчиков и инструментов по замеру уровня воды, расположенных на Аляске, дополнительные сейсмические данные и сведения об уровне воды, широко распространяемые ПТВЦ и другими национальными агентствами, а также данные, поступающие через Систему предупреждения о цунами в Тихом океане.

Японские центры предупреждения о цунами

Служба предупреждения о цунами при Японском метеорологическом агентстве (ЯМА) была создана в Японии в 1952 году. В настоящее время в этой стране действует шесть региональных центров предупреждения о цунами, а именно в Саппоро, Синдае, Токио, Осаке, Фукуоке и Нахе (Окинава). Они отвечают за оповещение о цунами в пределах определенной для каждого из этих центров зоны ответственности.

Сигналы, поступающие с сейсмических станций и постов измерения уровня воды по всей Японии, постоянно контролируются с помощью современной автоматизированной системы - Системы наблюдения за землетрясениями и цунами (ЭТОС). Сразу после регистрации землетрясения с помощью ЭТОС автоматически измеряется время приближения продольных волн и их максимальная амплитуда; эти параметры в случае необходимости, корректируются оператором в интерактивном режиме. На основе полученных данных определяется эпицентр и магнитуда землетрясения. В зависимости от параметров землетрясения распространяются либо тревожные предупреждения, либо информация о цунами. Они содержат данные о высоте приближающейся волны цунами ("возможно цунами" = небольшое цунами, "ожидается цунами" = цунами высотой до двух метров и "ожидается большое цунами" = цунами высотой

свыше трех метров в местах наибольшего затопления), районах возможного затопления (японское побережье разбито на 18 районов возможного затопления в результате цунами) и о предполагаемом времени появления цунами. Предупреждения распространяются среди организаций, занимающихся уменьшением последствий этого стихийного бедствия, средств массовой информации и других органов и учреждений.

В ведении ЯМА находятся примерно 180 сейсмических станций и 80 станций измерения уровня воды. С целью мониторинга цунами помимо тензометрических датчиков в бухтах над поверхностью моря устанавливаются мареографы с ультразвуковыми детекторами для мониторинга больших цунами, а над береговой линией - для мониторинга нагонов. Передатчики данных, собранных с помощью как датчиков давления, так и ультразвуковых датчиков, устанавливаются во избежание их затопления на возвышенных местах.

После разрушений, причиненных землетрясением и цунами в районе Хоккайдо, Нансю и Оки в 1993 г., ЯМА реконструировало свою сейсмическую сеть и приняло методы определения магнитуды землетрясения на основе продольных сейсмических волн. Эти изменения позволили осуществлять более быструю и точную оценку параметров землетрясения для целей прогнозирования цунами. ЯМА ставит перед собой цель распространения предупреждений о цунами в течение трех минут после цунамигенного землетрясения.

Кроме того, для сокращения времени оповещения населения через средства массовой информации об угрозе цунами ЯМА и средства массовой информации совместно разработали систему одновременного наложения текста предупреждения на изображение на экранах домашних телевизоров сразу после его объявления, сделанного ЯМА. Для сокращения времени передачи предупреждения распространяются также среди округов по Спут-



Пульт управления одного из шести центров предупреждения о цунами в Японии. С помощью автоматизированной Системы наблюдения за землетрясениями и цунами осуществляется постоянный мониторинг сейсмических сигналов, регистрируются землетрясения и обрабатываются соответствующие данные.

никовой системе многоцелевого распространения чрезвычайной информации с помощью геостационарного метеорологического спутника (ГМС), и такая система подстраховывает другие коммуникационные системы, которые используют наземные линии связи.



Национальный представитель ИТСУ от Российской Федерации Игорь Кузьминых изучает диаграмму распространения цунами, которая висит на стене; рядом с ним - компоненты коммуникационного оборудования Центра предупреждения о цунами в Петропавловске-Камчатском.



Исполняющий обязанности директора Полинезийского центра предупреждения о цунами Доминик Реймон, позирующий рядом с системой ТРЕМОРС и другим сейсмическим измерительным оборудованием в Центре в Папее (Таити).

Центры предупреждения о цунами в Российской Федерации

Российская Федерация (бывший СССР) приступила к развертыванию своей системы предупреждения о цунами после землетрясения на Камчатке в 1952 г., вызвавшего цунами во всем Тихоокеанском регионе. Были созданы три региональных центра, а именно в Петропавловске-Камчатском, Курильске и Сахалинске, которые имеют доступ к данным, собираемым целым рядом сейсмических станций и пунктов наблюдения приливов. Общее руководство этими центрами осуществляет Российская гидрометеорологическая служба при поддержке Российской академии наук и нескольких других учреждений. Каждый центр наделен правом самостоятельно передавать предупреждения в случае возникновения угрозы цунами и, когда это необходимо, предлагать соответствующим местным органам эвакуировать население из районов возможного затопления. С помощью специальной аппаратуры регистрируются землетрясения магнитудой 7 и более баллов на расстоянии 150-2 000 км от берега, а также любые волны цунами, которые могут быть вызваны такими землетрясениями. Для принятия решения об объявлении тревоги цунами используются диаграммы распространения цунами и ранее накопленные данные. Связь с другими районами Тихого океана обеспечивается с помощью кабеля, проложенного между Хабаровском и Токио.

Центр предупреждения о цунами во Французской Полинезии (Centre Polynésien de Prévention des Tsunamis - Полинезийский центр предупреждения о цунами - СППТ)

Система предупреждения о цунами была введена в действие во Французской Полинезии в 1965 г. после цунами 1964 г., возникшего в результате землетрясения на Аляске. Система, находящаяся в Папее (Таити), обрабатывает информацию, собираемую с помощью восьми короткопериодных сейсмических станций, трех долгопериодных сейсмических станций и трех мареографов, которые используются Полинезийской сейсмической сетью. Данные с пяти из этих станций передаются путем телеметрии в Центр в Папее, куда поступают также данные с одной трехкомпонентной широкодиапазонной сейсмической станции и одного пункта наблюдения приливов. Кроме того, используется информация, получаемая Тихоокеанским центром предупреждения о цунами в Эва-Бич (Гавайские острова). СППТ использует разработанную им систему под названием **ТРЕМОРС** (Система оценки риска возникновения цунами и измерения сейсмического момента в реальном масштабе времени) для автоматизированной регистрации и определения эпицентра землетрясения, а затем исчисления его сейсмического момента, исходя из магнитуды мантии (M_m), которая определяется на основе долгопериодных волн Рэлея и Лява. Центр распро-

страняет предупреждения о цунами по пятибальной шкале угрозы, которая определяется, главным образом, сейсмическим моментом землетрясения.

Чилийская национальная система предупреждения о цунами (Sistema Nacional de Alarma de Maremotos - SNAM)

Чилийская система предупреждения о цунами, находящаяся в ведении Гидрографической и океанографической службы чилийских военно-морских сил (SHOA), была введена в действие в 1964 г. после того, как чилийское побережье пострадало от цунами в мае 1960 г. Система, штаб-квартира которой расположена в Вальпараисо, использует сейсмические данные, собираемые 31 короткопериодной сейсмической станцией, входящими в Национальную сейсмическую сеть геофизического факультета Чилийского университета, одной системой ТРЕМОРС и тремя шестикомпонентными (три - для регистрации сильных перемещений и три - для регистрации сейсмических волн) широкодиапазонными станциями. Система использует также 19 пунктов наблюдения приливов, семь из которых передают свои данные SNAM в реальном масштабе времени через спутник, а остальные, представляющие собой пневматические датчики, пересылают данные по запросу. SNAM передает сообщения об угрозе цунами во все прибрежные районы с помощью средств связи военно-морских сил и через Национальную сеть оповещения в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Другие национальные системы предупреждения Австралия. В настоящее время Австралия создает систему предупреждения о цунами на своем побережье со стороны как Индийского, так и Тихого океанов. Управление этой системой будет обеспечивать Метеорологическое бюро. Сейсмические данные будут предоставляться Австралийской организацией по геологической съемке (АГСО), и в настоящее время создается прототип системы АГСО по предупреждению о цунами и землетрясениях. Национальная служба наблюдения за приливами (НТФ) будет осуществлять мониторинг изменения уровня моря и обрабатывать собираемые данные.

Колумбия. Колумбийская сейсмическая обсерватория Суроксиденте (Observatorio Sismológico del Suroccidente) (OSSO) разрабатывает систему предупреждения, основанную на обработке аналитической системой ТРЕМОРС данных, собранных с помощью цифровых широкополосных сейсмометров. Полученные результаты будут распространяться среди соответствующих организаций через ИНМАРСАТ. Вероятность волновых нагонов будет определяться с использованием методов цифрового моделирования, выработанных в рамках программы ТИМЕ.



Штаб-квартира Чилийской системы предупреждения о цунами (SNAM), действующей в рамках Гидрографической и океанографической службы чилийских военно-морских сил, расположенной в Вальпараисо.



Операционный зал Чилийской национальной системы предупреждения о цунами (SNAM).

Никарагуа. Основой национальной системы предупреждения о цунами в Никарагуа является сеть из 20 короткопериодных вертикальных сейсмометров, данные с которых передаются путем телеметрии в режиме реального времени в Никарагуанский институт исследований Земли (ИНЕТЕР). Кроме того данные, собираемые широкодиапазонной сейсмической станцией в Боако и комплексом акселерометров, регистрирующих сильные колебания, могут быть получены в близком к реальному масштабе времени по телефонным линиям связи. На побережьях как Тихого, так и Атлантического океанов и на озере Манагуа разворачивается также сеть из семи цифровых мареографических станций с доступом к данным по телефонным линиям связи. Устанавливаются коммуникационные линии и вырабатываются процедуры связи между ИНЕТЕР

и системой гражданской обороны для распространения предупреждений о цунами. Планируется также создать систему оповещения населения с помощью сирен.

Перу. Перуанская национальная система предупреждения с центром в Кальяо находится в ведении Географической и навигационной службы Перу (ДГН). В нее входит сеть из десяти станций измерения уровня воды, причем данные со станций в Кальяо поступают в центр в реальном масштабе времени. Кроме того, недавно Перу приобрело две системы ТРЕМОРС, которые укрепили его потенциал в области предупреждения. Система гражданской обороны уведомляется по линии специальной магнитной телефонной связи.

Республика Корея. Для мониторинга угрозы цунами Корейское метеорологическое управление (КМУ) Республики Кореи в настоящее время использует функционирующую в реальном масштабе времени сеть из 12 короткопериодных и восьми широкополосных сейсмометров, а также систему ТРЕМОРС в сочетании с информацией, поступающей из ряда других центров по предупреждению. Планируется создать сеть, объединяющую 31 короткопериодную и широкополосную станцию, оборудованную автоматизированной аналитической системой. Кроме того, на одном из островов у восточного побережья будет установлена система мониторинга уровня моря в реальном масштабе времени. Предупреждения о цунами распространяются с помощью государственной метеорологической службы.

Нынешняя система предупреждения не является всеобъемлющей по своему охвату. Региональные центры предупреждения о цунами отсутствуют в таких регионах, как Юго-Восточная Азия, юго-западная часть Тихого океана и Центральная и Южная Америка. В то же время эти районы являются исключительно уязвимыми. Они граничат с рядом наиболее активных и цунамигенных сейсмических зон и пострадали от 14 из 18 самых разрушительных местных цунами, отмеченных в этом регионе за последнее время (см. таблицу на стр. 4). Кроме того, хотя ПТВЦ и передает тревожные сообщения об удаленных цунами, пересекающих бассейн Тихого океана, отсутствуют центры, которые предупреждали бы о цунами, распространяющихся в большинстве окраинных морей Тихоокеанского региона.

Необходимо создать региональные центры предупреждения о цунами в Юго-Восточной Азии, юго-западной части Тихого океана и Центральной и Южной Америке. Во многих частях указанных регионов уже существуют простейшие системы. Новые центры могут развиваться на основе существующих ресурсов, а также технологий и методологий, передаваемых другими центрами по предупреждению. ИТСУ может организовать подготовку оперативного персонала либо через ИТИК, либо на базе существующих центров по предупреждению. Всем национальным центрам по предупреждению предлагается своевременно делиться важнейшей информацией о тревожных сейсмических явлениях и изменениях уровня моря с соседними странами, которые не располагают системами по предупреждению, и сообщать об угрозе цунами в пределах общего водного бассейна.

За пределами Тихоокеанского региона центры предупреждения о цунами отсутствуют, хотя такая угроза существует по обе стороны Атлантического океана, в восточной части Индийского океана и регионах Средиземного, Карибского и Черного морей. Следует поощрять усилия, направленные на создание центров по предупреждению о цунами в этих районах, а ИТСУ следует предоставлять информацию и вносить рекомендации, основанные на ее достижениях и многолетнем опыте функционирования в регионе Тихого океана.

Необходимо, чтобы центры по предупреждению продолжали принимать меры по сокращению времени, требуемого для передачи первых предупреждений, подготовке как можно более точных оценок и обеспечению надежного функционирования во всех аспектах.

Данные

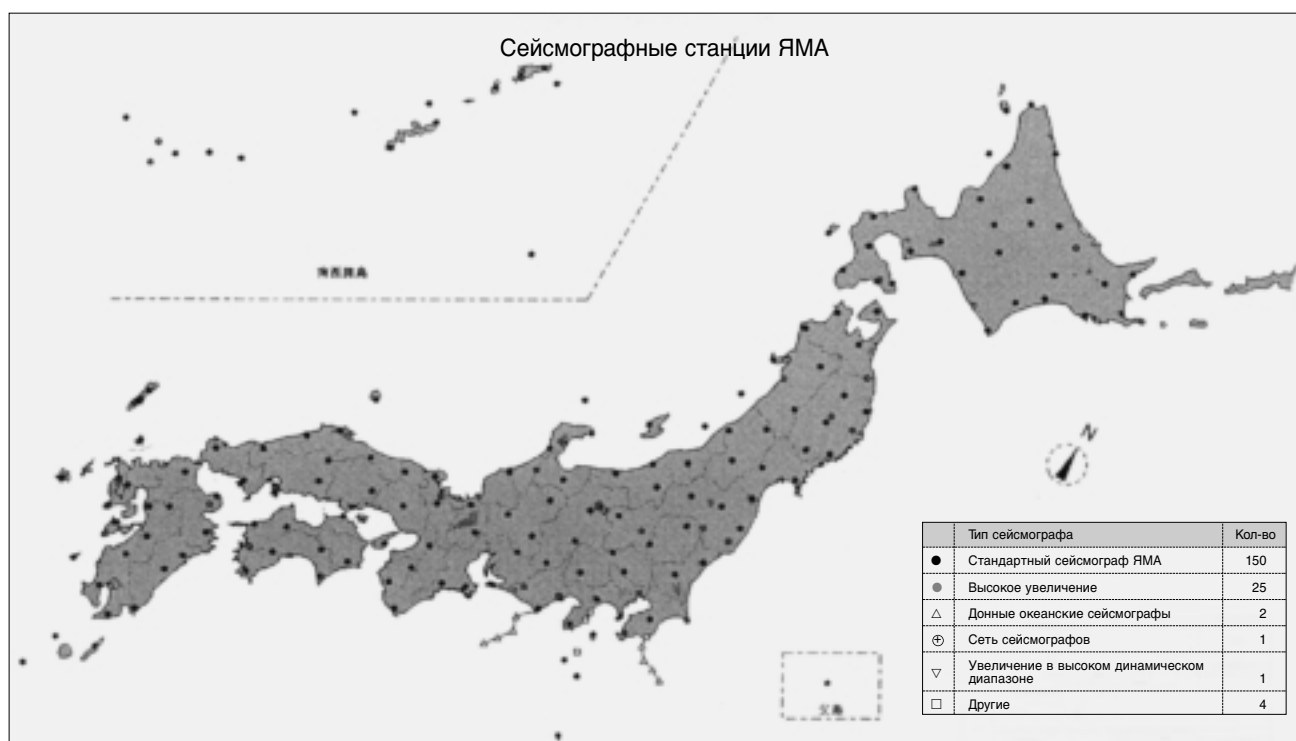
Центры предупреждения используют сейсмические данные и данные об уровне воды в близком к реальному масштабе времени, а также накопленные данные о цунами и землетрясениях для быстрой регистрации и определения потенциально цунами-генных землетрясений, подтверждения факта возникновения цунами и оценки его возможного воздействия на прибрежные зоны в соответствующих районах, охваченных деятельностью этих центров.

Сейсмические данные

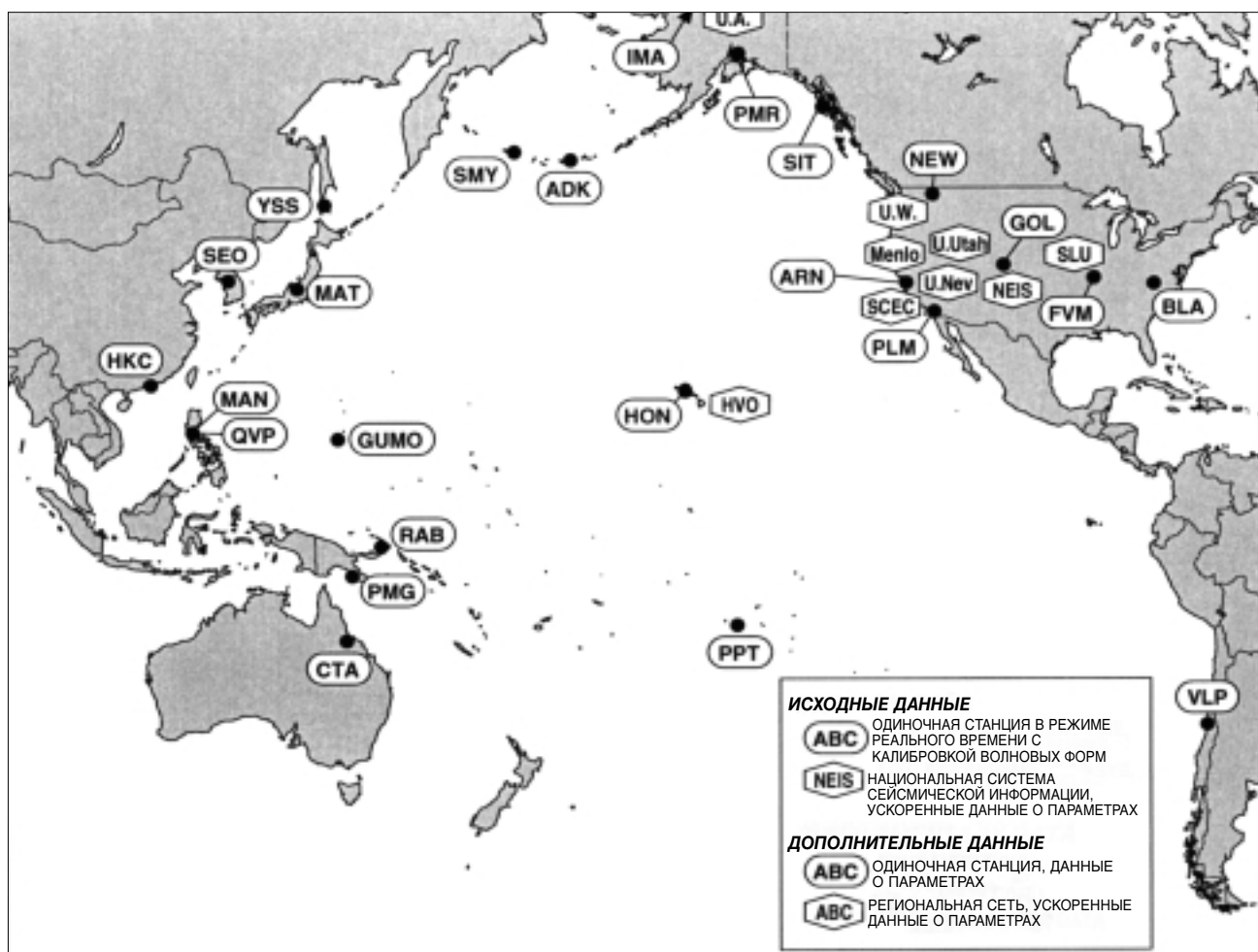
Сейсмические сигналы, колебания от землетрясений, быстро распространяющиеся сквозь толщу Земли, используются центрами по предупреждению для установления факта землетрясения, а затем для определения его эпицентра и силы. На основе такой информации можно быстро оценить вероятность возникновения цунами и подать соответствующие первоначальные сигналы тревоги или распространить информационные сообщения. Стандартные короткопериодные (0,5-2 сек./цикл) и долгопериодные (18-22 сек./цикл) сейсмографы предоставляют данные, позволяющие определить эпицентр и силу землетрясения. Данные, собираемые с помощью более современных широкополосных (0,1-100 сек./цикл) сейсмографов, могут использоваться как для вышеуказанных целей, так и для вычисления сейсмического момента, более точного измерения силы самых крупных и наиболее цунами-генных землетрясений. Сейсмические данные

передаются в центры в реальном или близком к реальному масштабе времени в форме непрерывного или триангуляционного графического изображения волны или параметрических данных (например, время прибытия продольных волн), с использованием различных средств ближней и дальней связи. В некоторых случаях сейсмические данные полностью обрабатываются другими обсерваториями и сообщаются лишь сведения об эпицентре и магнитуде землетрясения.

Для установления эпицентра землетрясения требуются данные множества сейсмических датчиков, в идеале расположенных вокруг места события. Для быстрого и точного определения эпицентра близких землетрясений нередко используется густая сеть сейсмических станций. Менее точные, но все же приемлемые данные об эпицентре можно также получить с помощью одной трехкомпонентной сейсмической станции в том случае, если используются методы анализа движения частиц, как это делается в рамках системы ТРЕМОПС (Система оценки риска возникновения цунами и измерения сейсмического момента в реальном масштабе времени). ТРЕМОПС способна также автоматически оценивать сейсмический момент на основе широкополосных данных каждые 50 секунд после возникновения продольной волны, благодаря чему она является идеальным аналитическим инструментом для местных и региональных систем предупреждения о цунами и систем, охватывающих весь океан в целом.



Основой системы предупреждения о цунами в Японии является сеть сейсмических наблюдений Японского метеорологического агентства (ЯМА), насчитывающая около 180 сейсмических станций, более или менее равномерно расположенных по всей стране.



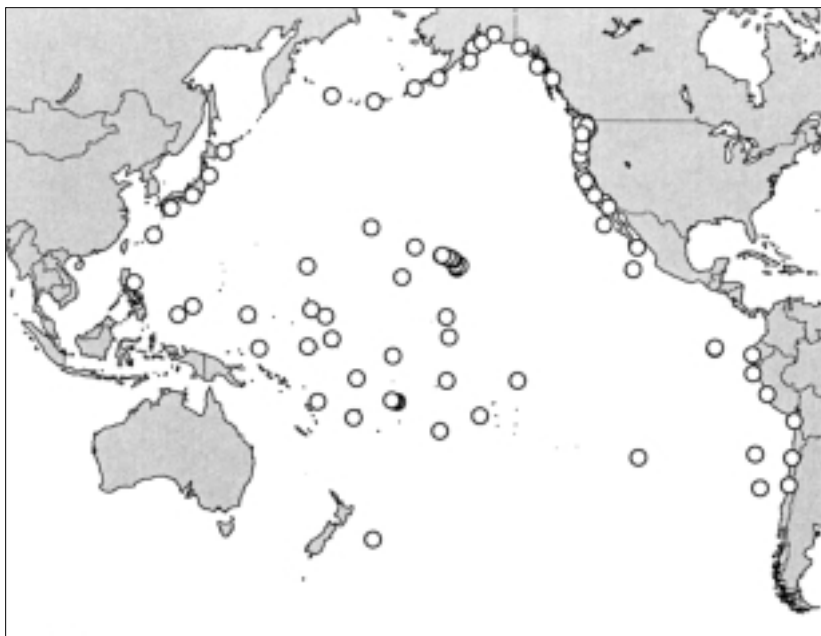
Источники основных и дополнительных сейсмических данных, используемых Тихоокеанским центром предупреждения о цунами. Источники таких данных время от времени меняются, и самую свежую информацию о них можно найти в Коммуникационном плане Системы предупреждения о цунами ("Communications Plan for the Tsunami Warning System") и в его обновленных вариантах.

В настоящее время на поверхности земного шара действуют тысячи сейсмических станций, и многие из тех, которые используются центрами предупреждения о цунами, могут принадлежать другим организациям и могут быть предназначены прежде всего для выполнения иных задач. Эта категория станций включает сейсмографы для изучения и/или мониторинга подземных ядерных взрывов, извержений вулканов, толщи

Земли и выявления угрозы землетрясений. Расходы, связанные с установкой и обслуживанием этого оборудования, нередко делают их многоцелевое использование привлекательным для всех заинтересованных сторон. Однако для обеспечения большего охвата и более эффективного контроля центры предупреждения о цунами, возможно, нуждаются в своих собственных сейсмических датчиках.

Технология сейсмических сенсорных датчиков и методы обработки сейсмических данных являются вполне совершенными. Однако их применение центрами предупреждения о цунами для быстрой и точной оценки параметров землетрясения может быть связано со значительными расходами и/или трудностями. Необходимо создать сейсмические станции и выработать аналитические методы, которые в большей степени подходят для решения проблем, стоящих перед центрами по предупреждению. Поэтому крайне важно, чтобы государства-члены и их организации продолжали предоставлять ПТВЦ, а также существующим и будущим региональным центрам предупреждения о цунами сейсмические данные в реальном или близком к реальному масштабе времени, расширяя массив предоставляемых данных.

Датчики измерения уровня воды, используемые Тихоокеанским центром предупреждения о цунами с целью подтверждения и оценки угрозы цунами на всей акватории Тихого океана. Они принадлежат множеству организаций, которые обеспечивают их обслуживание, а собираемые с их помощью данные используются в самых различных целях. Время от времени схема расположения датчиков меняется, и самую свежую информацию о них можно найти в Коммуникационном плане Системы предупреждения о цунами ("Communications Plan for the Tsunami Warning System") и его обновленных изданиях.



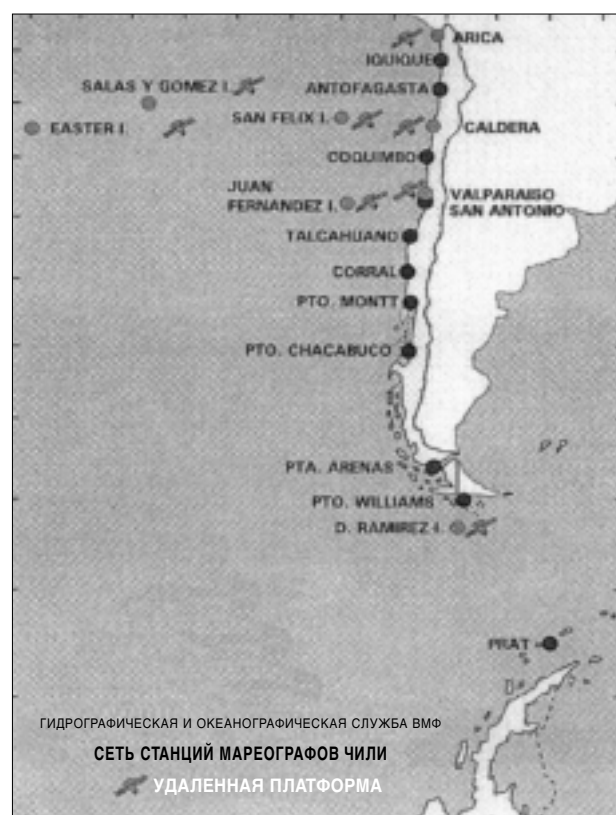
Данные об уровне воды

Одним из главных элементов системы предупреждения о цунами являются мареографы. Собранные с помощью удачно расположенных мареографов данные используются для быстрого подтверждения факта возникновения или невозникновения волн цунами после землетрясения, мониторинга развития цунами и оценки степени вероятных разрушений, а также служат основанием для подачи сигнала тревоги. Кроме того, мареографы могут представлять собой единственное средство для обнаружения цунами в тех случаях, когда отсутствуют сейсмические данные или цунами не вызваны землетрясением.

Большинство мареографов, используемых для целей предупреждения о цунами, предназначены для замера высоты волны. Обычно мареографы устанавливаются в успокоительном колодце, с тем чтобы исключить воздействие ветровых волн, имеющих более высокую частоту. Успокоительный колодец, как правило, представляет собой длинный полый вертикально установленный цилиндр, который закрыт снизу крышкой с небольшим отверстием и установлен на стенке причала таким образом, чтобы его нижний конец был погружен в океан. Уровень воды внутри цилиндра поднимается и опускается при медленном изменении уровня моря, однако расположенное внизу небольшое отверстие препятствует быстрому току воды, с тем чтобы имеющие значительно большую частоту колебания ветровые волны и зыбь как можно меньше сказывались на замеряемом уровне. Волны цунами имеют собственные колебания в промежутке между двумя крайними уровнями, и эти колебания могут влиять на показания датчика в успокоительном колодце, однако зачастую с уменьшенной амплитудой и с опозданием. Замеры уровня воды внутри успокоительного колодца обычно производятся с

помощью механических или акустических приборов.

Другой вид мареографа, известного под названием пневматического датчика, регистрирует колебания более широкого диапазона и основан на принципе медленного истечения газа из отверстия на конце длинной узкой трубки, который погружен в воду. Когда уровень океана поднимается или опускается над отверстием трубки, давление,



Расположение датчиков уровня воды Чилийской национальной системы предупреждения о цунами.

необходимое для обеспечения равномерного истечения газа, соответственно поднимается или опускается. Это противодействие может быть измерено, и по полученным данным может быть исчислен уровень воды.

В последние годы разработан новый вид мареографа, который специально предназначен для регистрации цунами. В качестве датчика в нем использован пьезоэлектрический преобразователь давления. Такой датчик преобразует силу давления воды, которая прямо пропорциональна уровню воды, в электрический ток. Он может быть установлен на морском дне у берега и соединен с наземной станцией с помощью электрического кабеля. Датчик также может быть размещен на дне в открытом океане на большой глубине, при этом сигналы с него будут передаваться на буй на поверхности моря. Преимущество этого датчика для оповещения о цунами заключается в том, что с его помощью можно измерять уровень воды в более широком диапазоне, включая даже крупные цунами, и что он обладает широкополной чувствительностью, позволяющей регистрировать сигналы цунами без искажений. Кроме того, эти датчики могут располагаться в более удобных местах в открытом океане, где нет островов для размещения других видов мареографов и где картина цунами не искажена прибрежными водами и береговой линией.

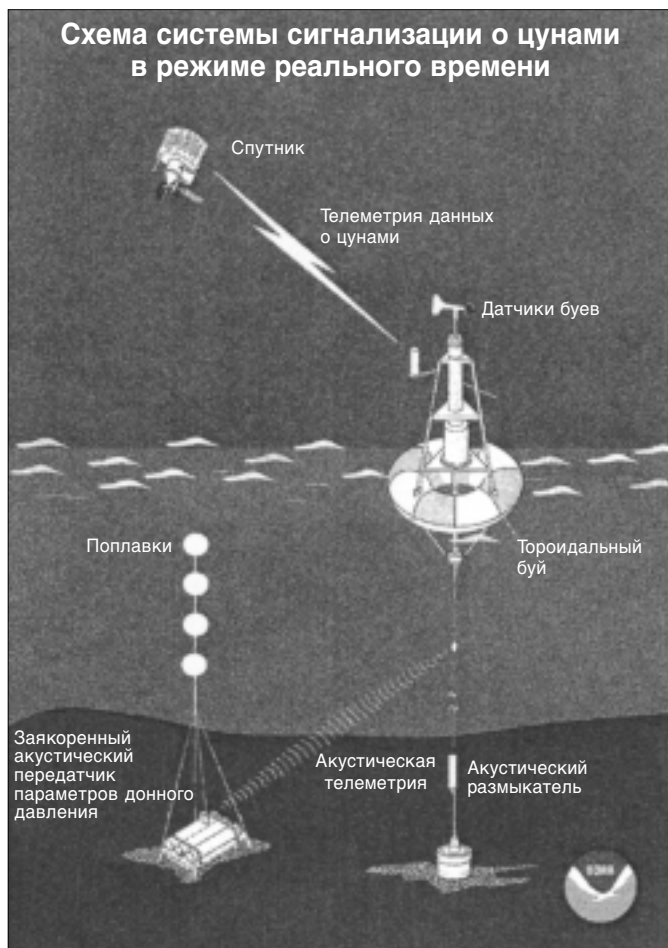
В настоящее время в США разрабатывается датчик для измерения необычного присутствия и уровня воды на суше, обусловленного эффектом цунами или другими видами наводнений. Поскольку такие нагонные датчики будут полностью располагаться на суше, их производство, установка и обслуживание должны быть менее дорогостоящими.

Япония осуществляет постоянный мониторинг уровня моря с помощью ультразвуковых датчиков, расположенных на морской поверхности, датчиков водяного давления, расположенных на суше для регистрации нагонов, а также датчиков нового типа (fuse-type tide gauge). Кроме того, Японский научно-исследовательский институт портов и гаваней создал офшорные мареографы для измерения цунами на расстоянии примерно 50 км от входа в Токийский залив.

Данные, собираемые с помощью всех перечисленных видов мареографов, передаются в аналоговой или цифровой форме в центры по предупреждению или другие организации или записываются на месте на диаграммную ленту, перфоленту, магнитные компьютерные носители информации или вносятся в компьютерную память.

Для обеспечения эффективности мареографов с точки зрения предупреждения о цунами их необходимо располагать вблизи районов возникновения цунами, с тем чтобы иметь возможность как можно быстрее определить момент зарождения цунами, и дать предварительную оценку его масштабов.

Схема системы сигнализации о цунами в режиме реального времени



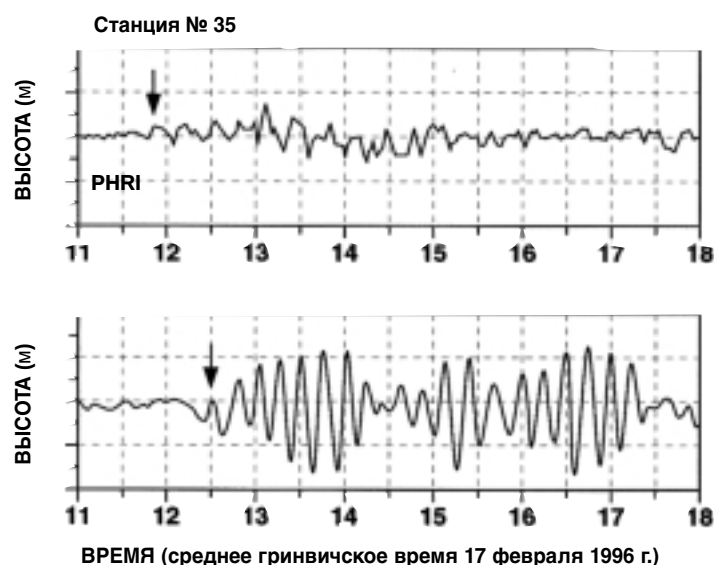
Система, недавно разработанная США для регистрации цунами в открытом океане с помощью донного датчика для замера водяного давления и передачи сигнала в центры по предупреждению через буй и спутник.

Они также должны располагаться между возможным источником цунами и подверженными опасности прибрежными районами, с тем чтобы можно было осуществлять мониторинг цунами и прогнозировать его воздействие. Что касается местных цунами, то для наиболее быстрого подтверждения и оценки параметров волн цунами необходимо установить большое количество мареографов вдоль всей береговой линии, в отношении которой существует угроза цунами. Если на одних участках тихоокеанского побережья, которым угрожают местные цунами, например в Японии, США или Чили, существует густая сеть мареографов, то на других участках побережья их число невелико, либо они вообще отсутствуют. Что касается цунами в масштабах всего Тихого океана, то в местах их зарождения и во всем бассейне Тихого океана необходима хотя и не плотная, но все же достаточно густая сеть мареографов. Мареографы установлены вблизи почти всех известных районов возникновения крупных цунами, распространяющихся по всей акватории Тихого океана, за исключением сейсмических зон у Курильских ост-

ровов и полуострова Камчатка. В настоящее время Российская Федерация в рамках проекта, осуществляемого совместно с МОК и США, работает над созданием сети мареографов в этом регионе, данные с которых будут поступать в российские центры предупреждения о цунами, а также в ПТВЦ. Однако во внутренних областях бассейна Тихого океана имеется много значительных пробелов, особенно в северной части Тихого океана, где расположено лишь несколько островов, на которых можно разместить мареографы. Для расширения охвата внутри акватории Тихого океана потребуются использовать глубоководные датчики давления, которые можно устанавливать вдали от суши.

Как и сейсмические датчики, мареографы, используемые для целей обнаружения цунами, иногда принадлежат другим организациям, которые их обслуживают и могут использовать в первую очередь для выполнения иных задач. Помимо замера приливов эти мареографы могут использоваться для исследований, касающихся долгосрочных изменений уровня моря вследствие глобального потепления и изменения климата, а также краткосрочных изменений, обусловленных более скоротечными явлениями, такими, как Эль-Ниньо и штормовые нагоны. Однако, центрам предупреждения о цунами могут также потребоваться свои собственные датчики для сбора данных в стратегически

ИРИАНДЖАЙСКОЕ ЦУНАМИ 17 ФЕВРАЛЯ 1996 ГОДА



Сигналы цунами, зафиксированные подводным мареографом, расположенным в 50 км от входа в Токийский залив на глубине примерно 50 м (верхняя диаграмма), и другим мареографом, расположенным на побережье (нижняя диаграмма). Удаленный мареограф обнаружил цунами примерно на 40 минут раньше того момента, когда волна достигла берега (помечено стрелками). Офшорный мареограф был разработан Японским научно-исследовательским институтом портов и гаваней.

Во многих районах Тихого океана, которым угрожают цунами местного происхождения, отсутствуют мареографы для быстрого обнаружения или подтверждения факта возникновения волн цунами или оценки их характера. В этих районах необходимо установить датчики, данные с которых поступали бы в реальном масштабе времени в региональные центры предупреждения о цунами или другие соответствующие учреждения. Следует также разработать и использовать для этой цели более простые и дешевые приборы такие, как упомянутые выше датчики нагонов.

Существуют также значительные пробелы в охвате акватории Тихого океана с помощью мареографов, используемых для обнаружения и оценки цунами, которые могут представлять опасность для всего региона в целом. Следует восстановить систему датчиков в цунамигенном Курильско-Камчатском районе, а также во всех других неохваченных районах. Во внутренних районах Тихоокеанского бассейна, которые не могут быть охвачены с помощью других приборов, следует разместить глубоководные датчики давления, разработанные в США. Новые приборы и техника, такие, как глубоководные датчики давления, которые способны собирать более точные данные о параметрах волн цунами в процессе их формирования и распространения по Тихоокеанскому бассейну, необходимы ПТВЦ для более точного прогнозирования воздействия цунами на береговую полосу.

Крайне важно, чтобы государства-члены и их организации продолжали предоставлять ПТВЦ, а также существующим и будущим региональным центрам предупреждения о цунами, сейсмические данные в реальном или близком к реальному масштабе времени, расширяя массив предоставляемых данных. После любого крупного прибрежного землетрясения местным органам власти или органам, наблюдающим за функционированием мареографов, следует немедленно связаться со своими национальными центрами предупреждения о цунами и направить им сводку своих наблюдений. После этого национальные центры должны немедленно информировать о происходящих событиях ПТВЦ.

Следует также поощрять применение морского контрольно-измерительного оборудования многоцелевого назначения, которое имеет общие датчики, электронные средства обработки данных, средства связи и, особенно, вспомогательные механизмы, и которые могут использоваться для измерения параметров цунами.

важных районах, по которым нет других данных, и для передачи качественных и своевременных сигналов, более пригодных для измерения цунами с целью предупреждения.

Исторические данные о цунами и землетрясениях

Центры предупреждения нуждаются в оперативном доступе к историческим данным о цунами и землетрясениях, позволяющим установить, может ли землетрясение в том или ином районе быть источником цунами и может ли такое цунами иметь последствия для прибрежных участков в зоне ответственности центра предупреждения. Например, полезно знать о том, что конкретная зона субдукции в прошлом подвергалась многим землетрясениям с магнитудой выше 8 и, одновременно, что ни одно из них не являлось источником цунами значительной силы. Точно также полезно знать, какие данные в прошлом были зарегистрированы на конкретном мареографе во время прошлых как разрушительных, так и неразрушительных цунами, возникавших в определенном районе. Такие данные, если они имеются, обычно облакаются в форму докладов, каталогов, карт и определенного числа электронных баз данных. Однако данные в такой форме не являются наиболее подходящими для легкого и быстрого использования центрами предупреждения. Проекты такого типа, как Экспертная база данных о цунами, при поддержке систем ИТСУ позволяют сделать эти данные более доступными и полезными для центров предупреждения, а также для ученых и руководителей чрезвычайных операций.

В настоящее время исторические данные о землетрясениях и цунами не обрабатываются и не доступны в такой форме, которая была бы удобна для их использования центрами предупреждения. Этим объясняется необходимость поощрения таких проектов, как Экспертная база данных о цунами, которые способствуют обеспечению более быстрого доступа к историческим сведениям о цунами и соответствующих землетрясениях для центров предупреждения и других потребителей в различных полезных графических форматах.

В настоящее время не обеспечивается систематическое сохранение данных, получаемых с датчиков замера уровня воды, равно как и распространение такой информации после каждого цунами в Тихоокеанском регионе, особенно в отношении наиболее многочисленных и неразрушительных цунами. Вместе с тем такие данные весьма важны для интерпретации центрами предупреждения сообщений об уровне воды во время будущих цунами, а также для исследований. Для обеспечения сбора таких данных после каждого из рассматриваемых явлений, приведения их к общему цифровому формату, а также для их распространения через систему Интернет и другие средства электронной связи необходимо иметь эффективный план.

Данные цифровых моделей

В настоящее время центры предупреждения начинают применять данные цифровых моделей, на которые можно ориентироваться при подготовке прогнозов силы цунами в их зонах ответственности на основании параметров землетрясений и показаний датчиков уровня воды.

Так, например, для решения проблемы, связанной с угрозой цунами, в Японии подготавливаются модели уровня волновых нагонов на основе гипотетических землетрясений с различной магнитудой и глубиной очага в более чем 1 000 координатных точек, расположенных около берегов этой страны. Такой подход позволит создать базы данных для определения прогнозируемой высоты волны цунами вдоль каждой прибрежной зоны в отношении любого местного землетрясения. Подобная база данных может быть использована как для целей предупреждения, так и планирования. В случае возникновения цунами сведения для прогноза его уровня и времени прихода будут немедленно взяты из базы данных после определения эпицентра и магнитуды землетрясения, а соответствующие результаты включены в рассылаемое предупреждение о цунами. ЯМА планирует начать применение этого нового метода прогнозирования весной 1999 г.

Центр предупреждения о цунами Западного побережья/Аляски, в свою очередь, также разработал метод прогнозирования высоты волн на основе цифрового моделирования. В расчете для условий реального масштаба времени этот метод ограничен параметрами землетрясения и данными, получаемыми, по крайней мере, от двух мареографов.

В настоящее время большинство центров предупреждения только приступают к систематическому использованию данных цифрового моделирования, которые позволяют прогнозировать, какие участки побережья могут быть затронуты в результате возникновения явления из конкретного источника и какими могут быть высоты волн или уровни нагона. Поскольку методы моделирования сейчас стали более быстрыми и более точными, центры предупреждения должны стремиться получать и использовать такие расчетные данные для сокращения числа ненужных предупреждений и ориентирования в отношении ожидаемых последствий в пределах своей зоны ответственности.

Другие данные

В некоторых случаях центры предупреждения о цунами могут нуждаться и в других видах данных, как, например, в случае ожидаемого вулканического извержения или оползней около водных бассейнов. В отношении такого рода явлений работа обычно проводится с учетом каждого конкретного

случая и зачастую центры предупреждения действуют в тесном сотрудничестве с другим учреждением, которое несет более непосредственную ответственность за соответствующее первичное явление, вызывающее опасность.

Коммуникации

Системы предупреждения о цунами предъявляют уникальные, широкие требования в отношении коммуникации. Сигналы о сейсмических явлениях и уровне воды должны направляться из отдаленных точек, где зачастую нет линий электропередачи или телефонной связи. При этом сигналы предупреждения должны передаваться быстро и надежно их пользователям, которые имеют различные средства доступа. Расстояния, которые должны быть пройдены такими сигналами, варьируют от менее чем одного километра до десятков тысяч километров. Удовлетворение этих условий требует применения самых разнообразных методов коммуникации.



Антенны геостационарного спутника (слева, частично закрыты деревьями) и радиоантенны ОВЧ (справа над вышкой) являются частью многих линий коммуникаций Тихоокеанского центра предупреждения о цунами.

Доступ к данным в режиме реального времени

Для того чтобы быть практически полезными, данные о сейсмических волнах и уровнях воды, используемые центрами предупреждения, должны быть получены надежным способом связи в реальном или близком к реальному режиму времени. Для этих целей используются многие способы коммуникации, в том числе радиосвязь ОВЧ и связь в микроволновом диапазоне, специальные наземные линии связи, телефонная связь, постоянно действующие каналы спутниковой связи, спутниковые передачи по графику и сети пакетной связи. В некоторых случаях для доступа к центру сбора данных требуется использование нескольких видов связи. Несмотря на то, что сети коммуникаций могут быть обеспечены на коммерческой основе, для преобразования данных в форму, которая может быть передана по цепи, зачастую требуется специальное оборудование.

Проблема передачи данных усложняется тем обстоятельством, что точки их сбора могут быть расположены в отдаленных местах, где нет электроснабжения и доступа к линиям телефонной связи. Кроме того, при местном цунами электроснабжение и телефонная связь могут быть нарушены в результате землетрясения. В случае мареографов, требующих передачи весьма небольшого объема данных, решение было найдено на основе использования платформ по сбору данных с применением солнечной энергии. Такие платформы осуществляют передачу данных на регулярной основе через Оперативный геостационарный спутник для контроля за состоянием окружающей среды США (ГОЭС) или через Японский геостационарный метеорологический спутник (ГМС). В настоящее время ведется также разработка быстродействующих сейсмических станций, обнаруживающих крупные землетрясения и нуждающихся в передаче лишь несколько байтов параметрических данных в отличие от стандартных сейсмических станций, которые должны осуществлять передачу данных постоянно.

Центры предупреждения должны получать основные данные о сейсмических явлениях и уровне воды на надежной основе и в реальном или близком к реальному масштабе времени. Используемые в настоящее время методы и каналы передачи данных от сейсмических датчиков и приборов для замера уровня воды в центры предупреждения зачастую являются сложными и дорогостоящими, а присущие им лимитирующие характеристики иногда могут препятствовать размещению необходимых датчиков, особенно в отдаленных точках. В настоящее время появляются многие новые виды коммуникации благодаря использованию спутников, оптоволоконных сетей, а также технологии сотовых телефонов. Эти новые методы нуждаются в постоянной оценке с точки зрения их применения к решению проблем передачи данных, с которыми сталкивается Система предупреждения о цунами в Тихом океане, и могут использоваться в соответствующих случаях. Наряду с этим необходимо вести разработку приборов, предъявляющих менее высокие требования к средствам коммуникации.

Распространение сообщений

Быстрые способы передачи пользователям тревожных сообщений или информации центра предупреждения имеют столь же большое значение, как и средства коммуникации для доступа к данным в реальном масштабе времени. Надежную передачу коротких текстовых сообщений в соответствующие учреждения во всем мире можно обеспечить с помощью использования таких специальных сетей связи, как Глобальная система телекоммуникаций (ГСТ), или через Аэронавигационную сеть стационарных средств телекоммуникации (АФТН). Сообщения могут также передаваться во всем мире

через коммерческие сети связи, например Телекс. Другим способом быстрой связи с отдельными лицами или учреждениями всего мира является электронная почта, хотя этот вид связи может оказаться менее надежным, поскольку он зависит от каналов связи, не контролируемых центрами предупреждения. На местном и национальном уровнях сообщения о цунами могут также рассылаться

путем использования сетей передачи информации в текстовой или звуковой форме, которые предназначены для целей национальной обороны или для других чрезвычайных обстоятельств. Сообщения могут также передаваться по телефону или факсимиле, хотя эти виды связи являются менее эффективными ввиду того, что установление связи должно проводиться отдельно для каждого пользователя.

Центры предупреждения должны иметь возможность быстро и надежно распространять свои сообщения о цунами и другую связанную с этим информацию среди соответствующих учреждений в пределах зоны их ответственности. Идеальная система передачи сообщений должна обеспечивать недорогостоящую и быструю передачу и получение текстовой и графической информации (например карты времени прохождения цунами) в любую точку Тихоокеанского региона. При этом одно и то же сообщение должно одновременно направляться сразу во много мест. При этом центры предупреждения должны обладать способностью индикации критически важных сообщений о тревоге, чтобы получатели понимали необходимость осуществления немедленных мер, а также иметь возможность подтверждения правильности получения сообщения каждым основным адресатом. Существующие способы и каналы передачи сообщений обладают такими характеристиками в разной степени, и ни один из них не является идеальным. В настоящее время становятся доступными многие новые способы коммуникации благодаря использованию спутников, оптико-волоконных сетей и технологий сотовых телефонов. Эти новые методы требуют постоянной оценки с точки зрения возможности их применения для решения проблем передачи данных, с которыми сталкивается Система предупреждения о цунами в Тихом океане. Их можно применять в тех случаях, когда они отвечают предъявляемым требованиям.

Обеспечение готовности

Меры, относящиеся к данной категории, принимаются как в связи с оценкой опасности бедствия, так и предупреждением о нем. Должная подготовленность к получению предупреждения о предстоящей опасности цунами требует знания районов, которые могут быть подвержены затоплению (карты затопления цунами), а также системы предупреждения. Это необходимо для того, чтобы принимать решения, когда проводить эвакуацию и когда можно считать безопасным возвращение в исходный район. Без наличия и той, и другой информации принимаемые меры могут оказаться неадекватными и не приведут к уменьшению последствий цунами. Весьма важен также уровень осведомленности населения о цунами и понимание этого явления. За исключением тех случаев, когда время, средства и процедуры позволяют осуществить обязательную принудительную эвакуацию, быстрый и безопасный вывод людей из потенциально затопляемой зоны требует определенных знаний о данной опасности. Это, в частности, касается цунами местного происхождения, когда единственным предупреждением будет сотрясение земли. Другим видом обеспечения готовности является планирование землепользования с целью размещения вне зоны затопления таких основных служб и учреждений, как школы, полиция, пожарные команды и больницы. Одним из видов подготовки являются инженерные работы по строительству цунамиустойчивых объектов, а также по защите существующих зданий и созданию таких защитных барьеров от цунами, как дамбы или волнорезы.

Эвакуация

Планы и порядок эвакуации обычно разрабатываются и осуществляются на местном уровне, поскольку они требуют подробных сведений о населении прибрежной зоны, о службах и учреждениях, которые могут подвергнуться опасности, а также о местных средствах, которые могут быть применены для решения данной проблемы. Местные цунами не дают или не оставляют достаточно времени для распространения официального предупреждения и могут сопровождаться разрушениями от землетрясения, тогда как цунами удаленного происхождения позволяют иметь несколько часов для подготовки к приходу первых волн. Вот почему подготовка эвакуации и порядок ее проведения для этих двух случаев являются различными.

Большинство жителей прибрежных населенных пунктов Тихоокеанского региона не подготовлено к осуществлению немедленной эвакуации низменных прибрежных зон в случае местного цунамигенного землетрясения. Требуются дальнейшие усилия, направленные на разработку карт потенциальных зон затопления для всех населенных прибрежных районов, которые могут оказаться под угрозой цунами местного происхождения, а также разъяснение населению в зонах риска особенностей местных цунами, той опасности, которую они представляют и тех мер, которые должны незамедлительно приниматься для спасения людей.

Эвакуация в случае цунами местного происхождения

В тех случаях, когда местное цунами может произойти в любую минуту, единственным предупреждением является сотрясение земли или необычное состояние океана. Люди, находящиеся в зоне риска, должны уметь распознавать признаки опасности, а затем немедленно и быстро перебираться вглубь суши и/или на возвышенности, поскольку разрушительные волны могут нанести удар в считанные минуты или даже за более короткое время. Эвакуируемое население сталкивается также с такими потенциальными последствиями землетрясения, как оползни, разрушенные здания и мосты, что может препятствовать уходу от опасности. Для того чтобы неуправляемая эвакуация происходила быстро и эффективно, необходима высокая осведомленность населения и понимание опасности цунами. Кроме того, ее осуществление требует от административных властей предварительного планирования намечаемых зон и безопасных путей эвакуации, а также оповещения об этом населения. Важнейшими элементами для мотивации в просветительской работе среди населения, а также в разработке эвакуационных карт и порядка эвакуации, являются ясное понимание опасности цунами и осознание большой вероятности затопления.

Эффективных процедур эвакуации на случай цунами удаленного происхождения в многих регионах Тихого океана пока еще не существует. В некоторых случаях предупреждения не доходят до населенных пунктов, которые потенциально могут подвергнуться опасности. Однако даже при наличии предупреждения руководители чрезвычайных операций зачастую имеют лишь ограниченные знания или ограниченный доступ к информации о цунами прошлых лет или о моделях цунами, а также о тех характеристиках опасностей цунами, на основании которых они должны принимать решение об эвакуации. Все подвергающиеся угрозе прибрежные зоны, особенно населенные пункты, промышленные объекты и объекты туризма, нуждаются в картах потенциальных затоплений, вызываемых цунами удаленного происхождения. Такие карты необходимы для разработки планов эвакуации. Учебные программы также, как правило, находятся на недостаточном высоком уровне, а проводившиеся в прошлом ненужные эвакуации, возможно, подорвали доверие населения к самой этой системе. Все эти недостатки требуют устранения для того, чтобы эвакуация была эффективной и позволила предотвратить чрезмерные потери человеческих жизней в следующий раз, когда произойдет крупное цунами в масштабах всего Тихого океана или другое цунами удаленного происхождения.



Информационные материалы о цунами и Системе предупреждения о цунами в Тихом океане (ТВСП), подготовленные и опубликованные государствами - членами МКГ/ИТСУ и МОК.

Эвакуация в случае цунами удаленного происхождения

В случае цунами удаленного происхождения органы власти располагают большим временем для осуществления организованной эвакуации населения. Вслед за получением от центра предупреждения уведомления о возникновении цунами и об

ожидаемом времени прихода первой волны местные руководители, отвечающие за организацию действий в чрезвычайных обстоятельствах, принимают решение относительно того, требуется или нет эвакуация. Такое решение основывается на сведениях по истории цунами или данных моделирования цунами относительно угрозы местному побережью от цунами из конкретного района возникновения, а также на дальнейшей информации центра предупреждения относительно мощности цунами, получаемой по мере его приближения. Население уведомляется относительно предстоящей опасности и получает инструкции о том, как, куда и когда необходимо осуществлять эвакуацию. Специально назначенные в этих целях местные службы, такие, как полиция, пожарные команды и службы гражданской обороны помогают выполнять распоряжения о проведении эвакуации. Одновременно могут осуществляться меры по защите материальных ценностей, в том числе такие действия, как отвод судов и пароходов в глубоководные акватории и защита промышленных объектов, расположенных вблизи воды. Надежная подготовка к эвакуации основывается на оценке потенциального масштаба затопления и других последствий, которые могут быть результатом воздействия цунами удаленного

происхождения. В этих целях должны быть определены зоны и пути эвакуации в безопасные места. Наряду с этим должна проводиться разъяснительная работа среди населения в отношении той опасности, которую представляют собой цунами, и соответствующего порядка проведения эвакуации, с тем чтобы люди не пытались оставаться в опасной зоне, проникать туда из любопытства или возвращаться на прежние места до того, как минует опасность. Для того чтобы население было уверено в надежности системы эвакуации, ненужные меры должны быть сведены до минимума.

Обучение

Достижение любого прогресса в деле уменьшения опасности цунами предполагает подготовку планов, направленных на обеспечение лучшего понимания широкой общественностью, местными органами управления, а также политическими руководителями особенностей волн цунами, ущерба и разрушений, которые они могут вызывать, а также соответствующих мер, которые должны приниматься для уменьшения этой опасности.

Обучение населения

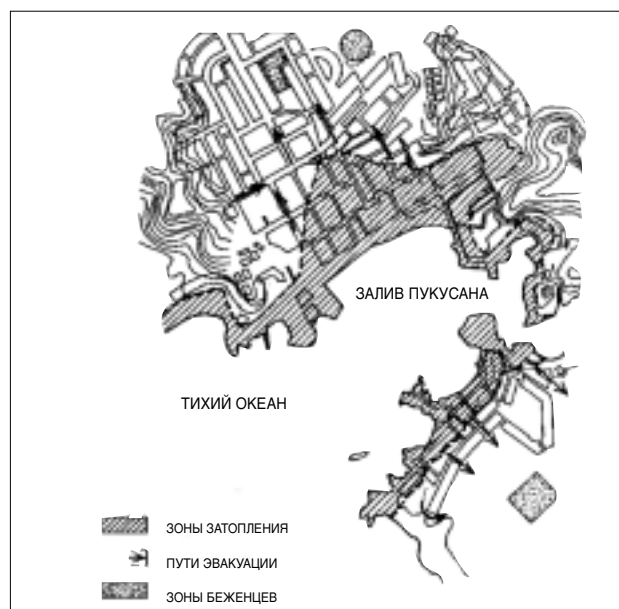
Наиболее действенные меры по обучению населения осуществляются отдельными государствами-членами и населенными пунктами, которые принимают во внимание факторы языка, культуры, местных обычаев, религиозного уклада, взаимоотношений с местными органами управления, а также опыт в отношении прошлых цунами.

ИТСУ со своей стороны разработала и распространила некоторые учебно-информационные материалы в целях поддержки и ориентации местных усилий. Цветная брошюра под названием "Цунами:

огромные волны" содержит общую информацию об явлении цунами, о той опасности, которую оно представляет, сведения о системах предупреждения о цунами, об исследованиях цунами, а также о том, что необходимо делать в случае цунами. Такую же информацию содержит отдельно выпущенная книга комиксов под названием "Предупреждение о цунами", которая ориентирована на детей младшего возраста. Эта книга сопровождается учебным пособием для преподавателей и учащихся, в которой дается более подробная основная информация об этом явлении. Брошюра и книжка комиксов изданы на английском языке, однако в настоящее время они подготавливаются в таком формате, который облегчит их перевод и публикацию на других языках. Недавно Чили выпустила серию из четырех учебников на испанском языке, которые содержат рекомендации для преподавателей по предмету землетрясений и цунами и рассчитаны на обучение детей от дошкольного возраста до учащихся старших классов средней школы. Эти материалы были впоследствии переведены в Канаде на английский язык. Каждый из этих комплектов в настоящее время уже опубликован и распространен при поддержке со стороны МОК. Наряду с этим ИТИК в порядке обычной практики участвует в такой деятельности по просвещению общественности, как ответы на запросы учащихся и заинтересованных отдельных лиц; представление информации средствам массовой информации, авторам телевизионных и документальных фильмов, а также авторам книг; чтение общественных лекций и оказание другим организациям помощи в разработке программ, которые позволяют общественности лучше понять явление цунами. В настоящее время ИТИК готовит также Web-сайт, содержащий широкий спектр информации по цунами, что должно представлять интерес для широкой общественности, а также для тех организаций и лиц, которые занимаются вопросами уменьшения последствий цунами. Некоторые государства-члены, в свою очередь, осуществляют собственные программы по подготовке населения в связи с опасностью цунами.

Подготовка операторов систем предупреждения, руководителей чрезвычайных операций и политических руководителей

Операторы систем предупреждения, руководители чрезвычайных операций и политические руководители также нуждаются в определенной подготовке. Поскольку на каком-либо конкретном участке побережья цунами как дальнего, так и местного происхождения бывают весьма редко, эти ответственные лица зачастую имеют в отношении данного явления малый личный опыт или вообще не имеют никакого опыта, позволяющего принимать решения о подготовительных мерах или действиях, которые необходимо предпринимать в этих случаях. В этом



Карта затопления и эвакуации, подготовленная для прибрежного города Пукусана в Перу.

смысле они могут почти полностью зависеть от программ обучения и/или от соответствующего доступа к информации о цунами в целом, о конкретной угрозе в зонах их ответственности, о системах предупреждения и мерах по уменьшению опасности.

Для удовлетворения этих потребностей ИТСУ разработала несколько программ. В рамках программы для приглашенных экспертов, которая ежегодно проводится ИТИК при поддержке МОК и при содействии ПТВЦ и других организаций, обеспечивается подготовка ученых и инженеров из всех стран Тихого океана по вопросам опасности цунами, систем предупреждения и мер по уменьшению последствий цунами. Некоторые государства-члены также организуют учебные программы по стихийным бедствиям, включая цунами. ИТИК публикует "Информационный бюллетень по цунами", содержащий сведения о недавних явлениях и мерах по уменьшению их последствий, который распространяется в международном масштабе среди приблизительно тысячи лиц и учреждений, тем или иным образом имеющих отношение к цунами. ИТИК отвечает также на многочисленные запросы информации от лиц, ответственных за деятельность

Значительная часть населения, которая может оказаться в опасных условиях, а также руководителей чрезвычайных операций и лиц, разрабатывающих политику, по-прежнему имеют недостаточную подготовку в отношении цунами, той опасности, которую они представляют, и планов уменьшения их последствий. Ввиду того, что программы обучения в целом являются слабыми, но вместе с тем имеют важное значение для мер по уменьшению последствий цунами, им необходимо и впредь уделять особое внимание. Программы обучения должны быть нацелены на жителей прибрежных зон, тех, кто посещает прибрежные зоны (туристов), преподавателей школ, представителей средств массовой информации, персонала систем предупреждения, руководителей чрезвычайных операций и лиц, ответственных за разработку политики. Эти программы должны включать проведение лекций, рассмотрение вопросов динамики групп, организацию ситуационных семинаров, выездных семинаров, создание Web-сайтов, выпуск компьютерных информационных бюллетеней, подготовку аудио- и визуальных пособий, составление схем и демонстрацию фотографий в общественных местах, а также по телевидению, распространение объявлений по телевидению, публикацию брошюр и проспектов. Следует подготавливать также материалы, которые могут быть легко переведены на другие языки или иным образом адаптированы для удовлетворения потребностей соответствующей страны. Информацию относительно опасности цунами следует также предоставлять другим организациям, которые связаны с просвещением населения относительно опасности стихийных бедствий.

в чрезвычайных ситуациях и разработку политики. В скором времени ИТИК будет иметь Web-сайт о цунами, что обеспечит еще одну возможность всемирного доступа к соответствующей информации о цунами. Экспертная база данных по цунами также является прекрасным средством, обеспечивающим быстрый доступ к данным по истории цунами во всем регионе Тихого океана.

Землепользование

По мере увеличения численности мирового населения происходит все более активное освоение подверженных риску прибрежных районов. Хотя предотвратить такое развитие вряд ли представляется возможным, некоторые общины пошли по пути запрещения строительства в потенциально затопляемых зонах таких учреждений, как школы и дома для престарелых, чтобы не подвергать опасности наиболее уязвимые группы населения. Запрещается также строительство или создание таких основных служб и учреждений, как полицейские участки, пожарные команды и больницы. В дополнение к этому к таким туристическим объектам, как расположенные на пляжах гостиницы, предъявляются требования по подготовке планов эвакуации на случай цунами для обеспечения безопасности проживающих в них людей.

Возможности контроля за землепользованием как средство уменьшения последствий цунами в значительной мере недоиспользуются. Необходимо поощрять местные органы управления принимать все возможные меры для предотвращения некоторых видов застройки в районах, которые могут подвергаться затоплению в результате цунами. Это, в частности, касается строительства таких объектов, которые служат местом сбора людей или которые подвергают опасности детей, людей пожилого возраста или лиц с физическими и умственными недостатками. В потенциально затопляемых зонах не следует располагать такие объекты и службы, как полиция, пожарная охрана и больницы, которые будут необходимо использовать после цунами. Те промышленные объекты, которые могут усугубить последствия цунами в результате утечки или выброса огнеопасных и вредных материалов, должны принимать защитные меры на случай цунами или размещаться вне районов затопления. На туристических объектах, расположенных близко от береговой линии, часто сосредоточивается большое число людей, которые могут быть совершенно не подготовлены в отношении цунами. На таких объектах необходимо требовать разработки специальных мер по информированию и эвакуации их посетителей в случае возникновения цунами.

Инженерные работы

Определенные виды инженерных работ могут способствовать уменьшению последствий цунами. Здания, расположенные в зоне цунами, могут быть укреплены в целях защиты от ожидаемого воздействия волн и сильных течений. Их фундаменты могут быть построены таким образом, чтобы выдерживать эрозию почвы и подмыв в результате воздействия течений. В некоторых случаях самый первый этаж зданий, выходящих на сторону моря, может быть сделан открытым для того, чтобы морская вода могла проходить сквозь здания. Это позволяет уменьшить подмывающий поток по периметру фундамента. Кроме того, номера в гостиницах можно размещать выше первого этажа для того, чтобы уменьшить угрозу для гостей, не подготовленных к цунами. Ключевые элементы инфраструктуры зданий, такие, как аварийные генераторы, электрораспределительные блоки и моторы лифтов, можно размещать на этажах, не подвергающихся опасности затопления. Можно обеспечить прочное закрепление в грунте таких тяжелых предметов, как цистерны с горючим, для того чтобы они не всплывали и не действовали как тараны. Транспортные системы могут быть построены или реконструированы таким образом, чтобы облегчать быструю массовую эвакуацию из зон затопления. В тех случаях,

когда угроза цунами является высокой и имеются адекватные средства, могут создаваться определенные типы защитных сооружений, такие, как прибрежные барьеры и дамбы, волнорезы и речные плотины, позволяющие бороться с цунами. Крупные работы такого рода были проведены в Японии, особенно вдоль побережья Санрику. Эти меры в значительной мере учитывают опыт в отношении потенциально затопляемых зон и ущерба, нанесенного цунами в прошлом.

В большинстве районов бассейна Тихого океана проведено весьма мало инженерных работ на случай цунами. Некоторые из тех мер, которые могут быть приняты, являются относительно простыми и недорогими и могут быть применены к уже существующим или новым сооружениям. Правительствам рекомендуется включать инженерные работы на случай цунами в строительные кодексы. Владельцев недвижимой собственности и деловых предприятий также следует информировать относительно тех мер, которые они могут добровольно принимать в целях защиты своих капиталовложений. Там, где существует возможность и необходимость, следует создавать защитные объекты против цунами.

Исследования

Исследования цунами, не будучи непосредственно частью мероприятий по уменьшению опасности этого явления, важны для повышения их эффективности. Научные исследования, позволяющие получить сведения о палеоцунами, расширяющие базу исторических данных или в количественном выражении показывающие последствия недавних цунами, могут повысить точность оценки бедствия. Это касается и исследований, обеспечивающих повышение качества цифрового моделирования цунами. Благодаря исследованиям разрабатываются методы более быстрой и точной оценки цунамигенного потенциала землетрясений по сейсмическим данным для систем предупреждения. То же самое относится к совершенствованию средств наблюдения за уровнем воды и методов прогнозирования воздействий цунами в режиме реального времени. Исследования могут также способствовать совершенствованию способов разработки просветительных компаний о цунами для информирования общественности, а также сотрудников спасательных служб, с тем чтобы все они в случае необходимости предпринимали надлежащие действия. Исследования могут потребоваться и для выработки эффективных процедур эвакуации, особенно с учетом дополнительных опасностей, которые могут быть связаны с местными цунами, возникающими в

результате сильных землетрясений. Исследования могут также служить руководством для планирования землепользования в потенциально затопляемых зонах и способствовать разработке более цунамиустойчивых проектов построек и сооружений для этих районов.

Структура

Нет какой-либо официальной программы научных исследований, осуществляемой под эгидой ИТСУ, равно как и не существует процесса координации исследований между государствами - членами ИТСУ. Большинство исследований по цунами проводится в рамках научных программ отдельных государств-членов. Однако исследования цунами зачастую связаны с широким международным сотрудничеством и обменом данными. Наиболее важным совещанием по научным исследованиям цунами является симпозиум по цунами, организуемый Комиссией по цунами Международного союза геодезии и геофизики два раза в год. Вопрос о цунами также фигурирует в повестке дня многих других совещаний по геофизике, океанографии и общим проблемам уменьшения опасности стихийных бедствий. Кроме того, часто проводятся семинары по конкретным проблемам цунами и по проблемам цунами в конкретных прибрежных

районах. Статьи о таких исследованиях публикуются во многих различных журналах, освещающих вопросы геофизики и стихийных бедствий, а также в журнале "Научные аспекты бедствий цунами", который издается Обществом по цунами. Связям между учеными, занимающимися цунами во всем мире, способствует распространяемый по электронной почте "Tsunami bulletin board" ("Бюллетень по цунами"), выпуск которого первоначально обеспечивался США, и который распространяется теперь ИТИК в рамках ИТСУ. Кроме того, ИТИК при поддержке МОК выпускает для ИТСУ два раза в год "Бюллетень по цунами", в котором публикуются обобщенные сведения о последних цунами, предстоящих совещаниях, докладах совещаний и о последних изданиях. В настоящее время ИТИК разрабатывает также Web-сайт по цунами, который будет содержать информацию о потребностях в исследованиях, а также результаты определенных научно-исследовательских проектов.

Сфера исследований

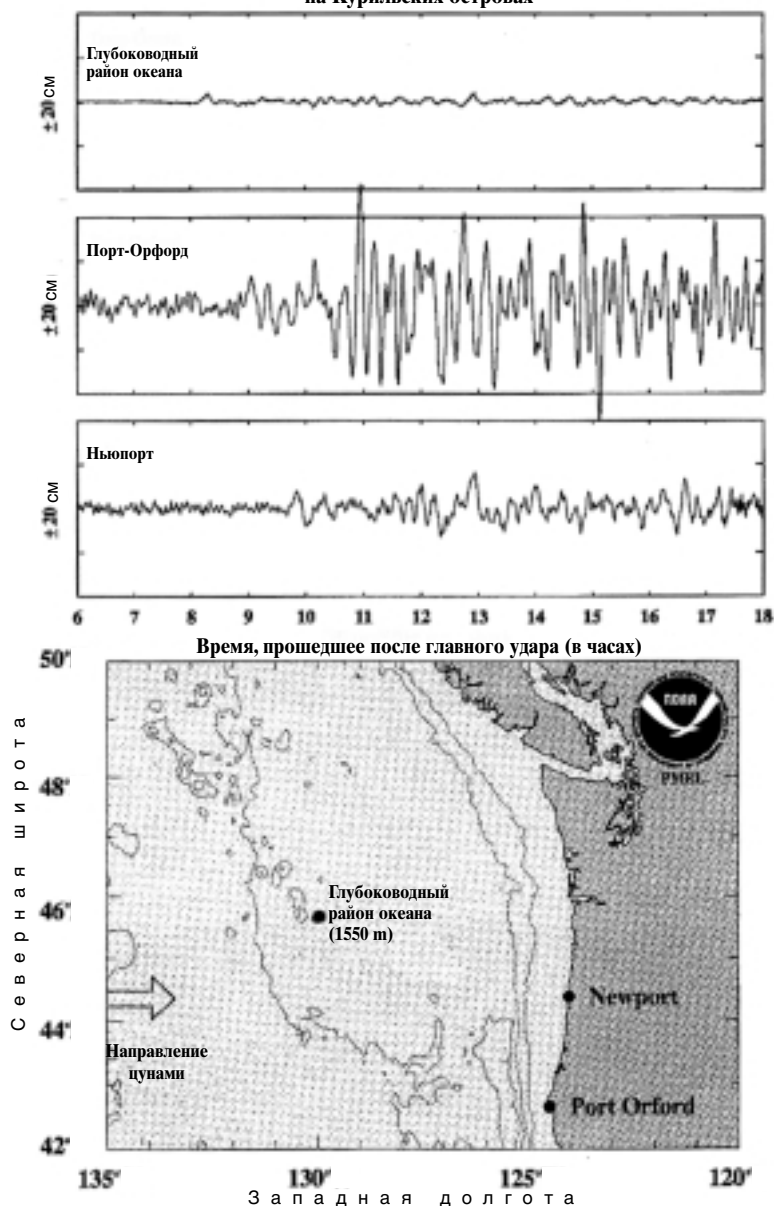
Существующие ныне методы прогнозирования цунами в реальном режиме времени пока еще строго ограничены. Хотя потенциальная вероятность возникновения цунами всегда существует при достаточно мощном землетрясении, которое происходит на небольшой глубине с определенными процессами вблизи океана или на морском дне, единственный способ быстро и надежно определить, сопровождается ли землетрясение цунами, заключается в выявлении волн с помощью сети станций наблюдения за уровнем воды или в получении достоверных свидетельств очевидцев. Пока еще невозможно точно определить размеры зоны, амплитуду или хронологию цунамической деформации морского дна на основании сейсмических данных или данных об уровне воды. Кроме того, хотя можно прогнозировать время, когда начальная энергия цунами достигнет прибрежных районов, пока еще невозможно с достаточной определенностью прогнозировать высоту волны, число волн, длительность опасной ситуации и ожидаемую мощь таких волн даже при сопоставлении показаний датчиков уровня воды между источником и этими районами.

Продолжается разработка и совершенствование цифровых моделей для решения проблем, связанных с цунами. Традиционные модели конечных разли-

чий полезны для моделирования волн цунами в глубоководной части океана, но обычно неудовлетворительны для определения прибрежной геометрии и батиметрии с требуемой точностью. Вместе с тем модели по конечным элементам с их неравномерными триангуляционными сетками могут дать требуемое разрешение. Эти типы моделей следует использовать для расчетов нагона, границ затопления и горизонтальных течений для известных и гипотетических исходных явлений.

Прогнозирование цунами

Пример: цунами, произошедшее 4 октября 1994 г. на Курильских островах



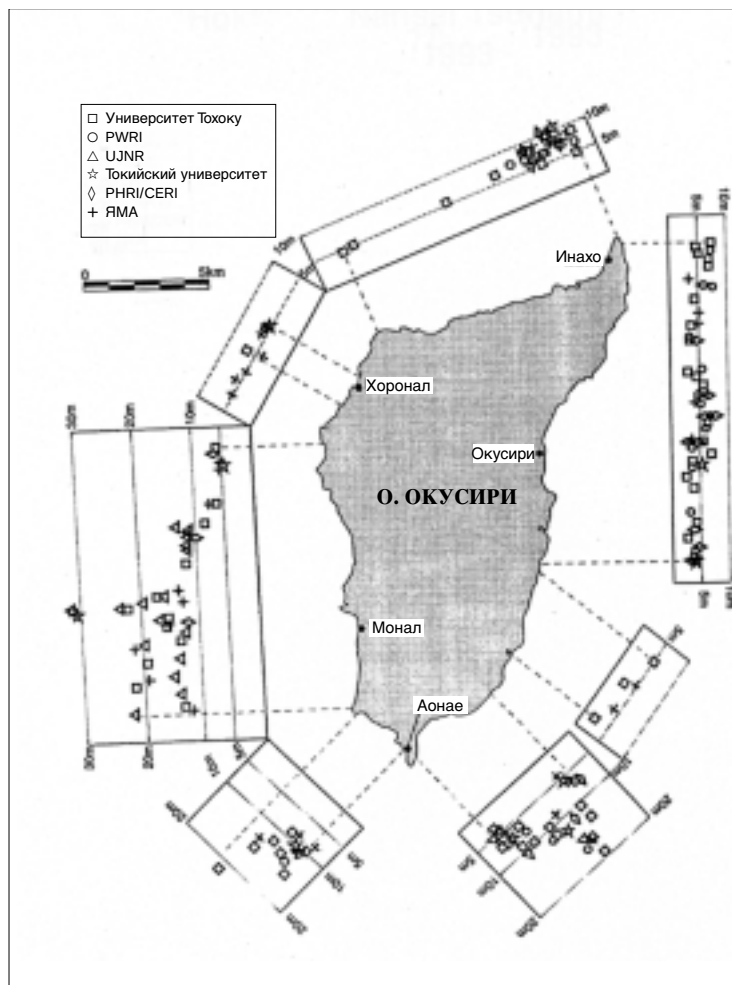
Датчики донного давления в глубоководном районе океана определяют более непосредственные параметры цунами, нежели береговые мареографы, и эти сигналы более полезны для прогнозирования воздействия цунами на побережье. В данном примере показано Шикотанское цунами, зарегистрированное в глубоководном районе океана и вблизи побережья, и он свидетельствует о том, что возможны большие расхождения между показателями одного и того же цунами, зарегистрированными датчиками, расположенными поблизости друг от друга.

Для определения общего уровня воды и его колебаний по времени на всем протяжении цунами следует учитывать взаимодействие цунами и приливов. Получаемая с помощью моделей информация о горизонтальных течениях может использоваться для расчета сил, воздействующих на сооружения, а также опасных условий в гаванях. Следует также разработать методы моделирования в режиме реального времени в ходе цунами для содействия центрам предупреждения и руководителям спасательных операций в прогнозировании их последствий.

Необходимо усовершенствовать моделирование сигналов цунами на основных приборах для измерения уровня воды, с тем чтобы содействовать центрам предупреждения в проведении более быстрой и точной оценки силы цунами. Например, в стратегических наиболее важных точках внутри и вдоль границ Тихоокеанского бассейна расположено примерно 20 датчиков и имеется лишь несколько основных зон, служащих источником данных для явлений в масштабе всего Тихого океана. Требуются составление теоретических мареограмм по соответствующим сочетаниям источников и мареографов, которые могут использоваться центрами предупреждения в качестве эталона для оценки потенциально разрушительных цунами по мере их распространения в Тихоокеанском бассейне.

В последние годы несколько необычных цунами (например, в 1992 г. - в Никарагуа, в 1994 г. - в Индонезии и в феврале 1996 г. - в Перу) послужили причиной появления нового аспекта в исследованиях цунами. Максимальные амплитуды этих цунами слишком велики по сравнению с масштабами вызвавших их землетрясений. Сейсмологи знают, что шкала магнитуды землетрясения на основе поверхностных волн с периодом в 20 секунд насыщается после показателя примерно 8 и не дает точного представления о мощи самых крупных землетрясений. Это может быть причиной расхождений. Но даже сейсмический момент в качестве более репрезентативного параметра силы землетрясения, который основывается на сейсмических волнах с гораздо более длительным периодом и который не насыщается, не позволяет, по всей видимости, объяснить, почему некоторые цунами имеют такие большие амплитуды. Высказывается мнение, что эти землетрясения относятся к особому классу, именуемому "цунамигенными землетрясениями" или "медленными землетрясениями". В этом случае процесс разрыва может занимать период от одной

Цунами Хоккайдо Нансен 12 июля 1993 г.



Параметры наката цунами, произошедшего на о. Окусири, Япония, ночью 12 июля 1993 г.

до нескольких минут в отличие от периода от всего лишь нескольких секунд до нескольких десятков секунд при обычном или импульсном землетрясении, а глубина залегания разрыва может располагаться очень близко к морскому дну. Вполне возможно, что во время этого медленного разрыва в цунами преобразуется больше сейсмической энергии, чем те примерно 10% такой энергии, которые преобразуются в цунами во время обычного импульсного землетрясения. В настоящее время не имеется полностью удовлетворительного объяснения происхождения этих непропорционально мощных цунами, и эта область потребует дальнейших исследований со стороны ученых.

Еще одной областью, на которую следует обратить внимание на предмет проведения исследований, является роль усиления резонанса в качестве причины столь высоких амплитуд цунами вдоль береговых линий бухт и заливов, в то время как в других близлежащих местах амплитуды цунами значительно ниже.

Во многих районах Тихого океана историческая регистрация цунами является весьма ограниченной или вообще отсутствует. Исследования, направленные на поиск и анализ свидетельств о палеоцунами, могут позволить отодвинуть хронологию регистрации цунами в некоторых прибрежных регионах значительно дальше в прошлое и лучше понять риск цунами в этих и близлежащих районах, а также, возможно, и во всем Тихоокеанском регионе.

Недавние примеры применения результатов исследовательской деятельности

Существует много примеров того, как в недавнем прошлом исследовательская деятельность способствовала уменьшению опасности цунами. Ниже приводятся лишь некоторые из них.

Картографирование наводнений, вызванных цунами. Сегодня существует технология, позволяющая составлять карты наводнений, представляющие собой основу для обеспечения готовности к чрезвычайным ситуациям. ИТСУ поддержала проект "Обмен информацией о моделировании наводнений, вызванных цунами (ТИМЕ)", в результате которого была осуществлена передача цифровой модели наводнений, разработанной профессором Сюто из Японии, и подготовка специалистов по ее использованию для многих стран мира. Ученые в США разработали технику картирования локальных явлений путем включения в нее других сейсмических аспектов, таких, как колебания поверхности земли, разжижение грунта и оползни. Такие технологии открывают новые возможности для выявления прибрежных районов, находящихся в опасности, а также уровня риска, которому они могут быть подвержены в случае возникновения местного или удаленного цунами.

Данные по накату цунами. Точность вышеупомянутых моделей обуславливается сопоставлением результатов наблюдений за цунами с цифровыми моделями. С 1992 г. произошло восемь разрушительных цунами, за которыми наблюдали ученые всего мира. В результате таких наблюдений была получена масса новой ценной информации о фазе наката в динамике цунами. Эти данные используются для проверки и корректировки цифровых моделей.

Глубоководные данные о цунами, получаемые в глубоководных районах океана. По мере взаимодействия цунами с береговыми линиями и бухтами

под влиянием местной батиметрии и топографии происходят некоторые трансформации и изменения их амплитуд и периодов. Таким образом, сигнал о цунами, зарегистрированный мареографом в пределах бухты, позволяет получить лишь информацию низкого качества для прогнозирования его воздействия на другие районы. Для осуществления точного прогнозирования необходимо производить более непосредственные замеры цунами в открытом океане. В этих целях у берегов США в настоящее время разворачивается сеть недавно разработанных глубоководных океанических датчиков давления, работающих в режиме реального времени.

Технология определения местоположения землетрясения и его магнитуды. Франция разработала трехкомпонентную широкополосную сейсмическую систему предупреждения о цунами, размещающуюся на одной станции, под названием ТРЕМОРС (Оценка риска цунами на основании сейсмического момента в системе реального режима времени). Эта система быстро и автоматически определяет местоположение землетрясения и затем рассчитывает его сейсмический момент, служащий наилучшим показателем для оценки цунамигенного потенциала. Успех ТРЕМОРС на Таити свидетельствует о том, что другие страны могли бы также использовать эту технологию, и такие системы были недавно установлены в Чили, Индонезии, Брунее, Перу, Корее, в ПТВЦ, а также в Европе и Португалии.

Необходимо непрерывно проводить исследования цунами для поддержки и совершенствования всех аспектов процесса уменьшения опасности цунами. Государствам-членам рекомендуется развивать все области исследовательской деятельности, направленной на улучшение понимания явления цунами, оказания содействия осуществлению оценки риска цунами, предоставление помощи центрам предупреждения о цунами в деле более быстрого, точного и надежного реагирования, повышения эффективности просветительных программ, а также предоставления специалистам по чрезвычайным ситуациям и лицам, ответственным за политику, более качественных средств для подготовки к цунами и реагирования на них. Разработанные недавно новые технологии, помогающие уменьшить опасность цунами, должны как можно скорее внедряться на практике.

ВЫВОДЫ

Хотя за последние годы был достигнут значительный прогресс в плане совершенствования Системы предупреждения о цунами в Тихом океане, многое еще предстоит сделать для того, чтобы эффективно уменьшить опасность местных и удаленных цунами во всех частях Тихоокеанского бассейна. Ниже приводятся основные области деятельности, которые особенно важны для улучшения работы ТВСП и которым необходимо придавать наивысший приоритет в деятельности ИТСУ в предстоящие годы:

- ◆ **карты наката** - использование цифровых моделей и исторических данных для создания карт потенциального наката волны в качестве основы для оценки риска, составления карт и планов эвакуации, а также мотивации других ключевых мероприятий на местном уровне по уменьшению опасности цунами, включая просветительную работу среди населения, планирование землепользования и проведение инженерных работ;
- ◆ **исторические данные** - преобразование исторических данных в базу данных единого формата и разработка средств, позволяющих обеспечивать свободный доступ к этим данным для нуждающихся в них лиц и учреждений, занимающихся вопросами уменьшения опасности цунами и исследовательской деятельностью;
- ◆ **информационно-просветительская работа по цунами** - дальнейшая разработка просветительных материалов и программ, способствующих повышению уровня осведомленности и информированности о цунами населения, операторов центров предупреждения, специалистов по чрезвычайным ситуациям и лиц, ответственных за разработку политики;
- ◆ **центры предупреждения** - создание новых региональных центров предупреждения об угрозе местных цунами в неохваченных районах и разработка технологий и методологий по повышению оперативности, точности и надежности работы всех центров предупреждения о цунами;
- ◆ **аппаратура для измерения уровня моря** - расширение стратегической сферы охвата приборов для измерения уровня моря и повышение качества сигналов, которые они регистрируют как для предупреждения о цунами, так и для исследовательской деятельности;
- ◆ **оперативные действия** - местные власти, обсерватории и центры предупреждения о цунами должны незамедлительно направлять данные о наблюдениях за цунами в национальные центры предупреждения о цунами, которые в свою очередь должны безотлагательно передавать эту информацию в ПТВЦ;
- ◆ **новые цунами** - сбор и архивирование всех данных с датчиков по измерению уровня моря, а также всех замеров волновых накатов и затоплений после каждого крупного землетрясения и/или цунами. Отсутствие зарегистрированного сигнала о цунами является также важным моментом, и такие записи также необходимо хранить.
- ◆ **коммуникации** - необходимо идти в ногу с развитием новых коммуникационных систем, которые могут быть более эффективными для работы центров предупреждения о цунами и других целей, и по мере необходимости внедрять их для использования в ТВСП;
- ◆ **исследовательская деятельность** - поощрение и поддержка исследовательской деятельности по цунами и всем вопросам, имеющим отношение к цунами, которые могут способствовать уменьшению опасности этого явления.

Для обеспечения эффективности ключевых компонентов плана по уменьшению опасности цунами, оценки риска, предупреждения о цунами, обеспечения готовности и исследовательской деятельности необходимо обеспечить высокий уровень их согласованности и скоординированности. ИТСУ, являясь органом координации деятельности ученых, руководителей чрезвычайных мероприятий, специалистов по планированию на случай чрезвычайных ситуаций и операторов центров предупреждения о цунами, в котором имеются представители всех стран, сталкивающихся с этим явлением, обладает адекватной структурой для успешного осуществления этого плана.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Признательность выражается автору г-ну Г. Доулеру и другим лицам, внесшим свой вклад в составление первого издания данного документа. Пересмотренный текст второго издания был написан по частям различными авторами, в том числе целевой группой, в состав которой на ИТСУ-XVI были назначены бывший исполняющий обязанности директора ИТИК г-н Д. Сигрист, представители Франции и Мексики, а также членами редакторской группы, назначенной на ИТСУ-XV, в составе председателя ИТСУ г-на У. Горсилья, бывшего директора ИТИК г-на К. Маккрири, австралийского эксперта по цунами г-на Т. Мерти и представителя Комиссии по цунами МСГГ г-на Е. Бернарда. Большое количество полезных комментариев и дополнительных сведений было предоставлено национальным координатором Японии г-ном Й. Савадой. Были также с признательностью получены замечания от многих других государств-членов, которые они передали через своих национальных координаторов и экспертов. Окончательный проект документа рассматривался на заседании должностных лиц ИТСУ в январе 1999 г. председателем ИТСУ У. Горсилья, заместителем председателя ИТСУ Ф. Шиндле, национальным координатором Республики Кореи С. Кимом, директором ПТВЦ К. Маккрири, директором ИТИК М. Блэкфордом и Техническим секретарем МОК И. Олюниным.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ААФТН	Аэронавигационная сеть стационарных средств телекоммуникации
АГСО	Австралийская организация геологических наблюдений (Австралия)
ЗО	Зона ответственности
ДГН	Управление гидрографии и навигации Перу (Перу)
ЕТДБ	Экспертная база данных по цунами
ЕТОС	Система наблюдений за землетрясениями и цунами
ГМС	Геостационарный метеорологический спутник (Япония)
ГОЕС	Геостационарный спутник по оперативному наблюдению за окружающей средой
ГСТ	Глобальная система телекоммуникаций
ХТДБ	База исторических данных о цунами
МКГ/ИТСУ	(или ИТСУ) Международная координационная группа по Системе предупреждения о цунами в Тихом океане
ИНЕТЕР	Никарагуанский институт территориальных исследований (Никарагуа)
МОК	Межправительственная океанографическая комиссия
ИТИК	Международный центр информации о цунами
ИТСУ	(или МКГ/ИТСУ) Международная координационная группа по Системе предупреждения о цунами в Тихом океане
МСГГ	Международный союз геодезии и геофизики
ЯМА	Японское метеорологическое агентство (Япония)
К-12	Возрастная категория с дошкольного уровня до 12-го класса
КМУ	Корейское метеорологическое управление (Республика Корея)
НЦГД	Национальный центр геофизических данных (США)
НОАА	Национальное управление по океану и атмосфере (США)
НТФ	Национальная служба наблюдения за приливами (Австралия)
НСП	Национальная служба погоды (США)
ОССО	Юго-западная сейсмологическая обсерватория (Колумбия)
ПТВЦ	Центр предупреждения о цунами в Тихом океане
СХОА	Гидрографическая и океанографическая служба чилийского ВМФ (Чили)
СНАМ	Национальная система оповещения о подводных землетрясениях (Чили)
ТИМЕ	Обмен информацией о моделировании наводнений, вызванных цунами
ТРЕМОРС	Оценка риска цунами на основании сейсмического момента в системе реального режима времени
ТВСП	Система предупреждения о цунами в Тихом океане
ЮНЕСКО	Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры
ОВЧ	Радиосвязь на очень высоких частотах
ВЦ/АТВЦ	Центр предупреждения о цунами на Западном побережье/Аляске (США)
МЦД-А	Международный центр данных - А
ВМО	Всемирная метеорологическая организация