

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
САХАЛИНСКИЙ ФИЛИАЛ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
САХАЛИНСКОЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РОСТИДРОМЕТА

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ИНСТИТУТ САХАЛИНГРАЖДАНПРОЕКТ

ШИКОТАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЦУНАМИ 4(5) ОКТЯБРЯ 1994 ГОДА

ХРОНИКА СОБЫТИЙ, АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ
И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Сборник статей

Составители: И.Н. Тихонов, Г.В. Шевченко

Редакционная коллегия
Б.В. Левин, член-корреспондент РАН, профессор
О.Н. Лихачева, канд. физ.-мат. наук
В.Л. Ломтев, канд. геол.-мин. наук
И.Н. Тихонов, д-р физ.-мат. наук
Г.В. Шевченко, д-р физ.-мат. наук

Южно-Сахалинск, 2014

УДК 550.34+551.466 (571.642).

Шикотанское землетрясение и цунами 4(5) октября 1994 года. Хроника событий, анализ последствий и современное состояние проблемы: сборник статей / составители: И.Н. Тихонов, Г.В. Шевченко. – Южно-Сахалинск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2014. – 114 с.

ISBN 978-5-7442-1549-1

Сборник содержит сведения о катастрофическом землетрясении и сопутствующем цунами в районе Южных Курильских островов, произошедших 4(5) октября 1994 г. Эти природные катастрофы вызвали значительные разрушения и привели к человеческим жертвам. Зоны воздействия стихий обследовались и изучались по горячим следам специалистами различного профиля, а результаты исследований публиковались в различных изданиях. Настоящий сборник, посвященный 20-летней годовщине трагических событий, представляет собой обобщенную сводку ранее опубликованных материалов, но в кратком изложении, дополненную анализом современного состояния наблюдений за землетрясениями и цунами и фотоальбомом.

Публикуемое издание представляет интерес для специалистов в области изучения землетрясений и цунами, а также широкого круга читателей.

114 страниц, 56 рисунков, 10 таблиц, 53 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: *Курильские острова, землетрясение, магнитуда, сейсморазрыв, афтершок, эпицентральный зона, макросейсмика, оползень, цунами, заплеск, магнитудно-географический критерий, регистратор.*

Редакционная коллегия

Б.В. Левин, член-корреспондент РАН, профессор, О.Н. Лихачева, канд. физ.-мат. наук,

В.Л. Ломтев, канд. геол.-мин. наук, И.Н. Тихонов, д-р физ.-мат. наук,

Г.В. Шевченко, д-р физ.-мат. наук.

Издано по решению Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук. Россия, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б; e-mail: nauka@imgg.ru.

УДК 550.34+551.466 (571.642).

The 4(5) October 1994 Shikotan Earthquake and Tsunami. Chronicle of Events, Analysis of Impact and Current State of the Art. Special Issue / Compilers: I.N. Tikhonov and G.V. Shevchenko - Yuzhno-Sakhalinsk: Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 2014. – 114 p.

ISBN 978-5-7442-1549-1

The collection of papers contains information about the catastrophic earthquake and tsunami, which took place at 4(5) October 1994 in the vicinity of the South Kuril Islands. These natural disasters have caused considerable damage and led to human casualties. The zones of influence of the elements were examined and studied in hot pursuit by specialists in different fields of knowledge. Their results have been published in various issues. The present collection of articles, dedicated to the 20th anniversary of the tragic events, is a generalized summary of previously published materials, but in short form, supplemented by an analysis of the current state of observations of earthquakes and tsunamis, as well as a photo album.

This edition is of interest to a wide range of readers as well as specialists in the study of earthquakes and tsunamis.

114 pages, 56 figures, 10 tables, 53 references, 1 appendix

Key words: *Kurile Islands, earthquake, magnitude, seismic rupture, aftershock, epicentral area, macroseismic effect, landslide, tsunami, runup, magnitude and geographic criteria, recorder.*

Editorial board

B.V. Levin corresponding member of RAS, O.N. Likhacheva, V.L. Lomtev,

I.N. Tikhonov, G.V. Shevchenko

The book is published according to a decision of the Scientific Board of the Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of Russian Academy of Sciences.

Russia, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki Str. 1B; e-mail: nauka@imgg.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. СРЕДНЕСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ШИКОТАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 4(5) ОКТЯБРЯ 1994 г.	7
<i>Алгоритмы среднесрочного прогноза и их тестирование в реальном времени</i>	7
Глава 2. ГЛАВНЫЙ ТОЛЧОК И АФТЕРШОКИ ШИКОТАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	11
<i>Состояние региональной сети сейсмических станций накануне и после Шикотанского землетрясения</i>	11
<i>Параметры главного толчка и афтершоков Шикотанского землетрясения</i>	12
<i>Анализ записей сейсмического сигнала Шикотанского землетрясения</i>	15
Глава 3. ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ	17
<i>Организация экспедиции</i>	17
<i>Системы полевых наблюдений</i>	18
<i>Мониторинг очаговой зоны</i>	21
<i>Полевой мониторинг</i>	21
<i>Наблюдение за очаговой зоной по данным сейсмостанции «Южно-Сахалинск»</i>	23
Глава 4. МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ И САХАЛИНЕ	25
<i>Макросейсмический эффект на островах</i>	25
<i>Макросейсмический эффект на водной поверхности</i>	30
Глава 5. ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ШИКОТАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 4(5) ОКТЯБРЯ 1994 г.	34
<i>Структура застройки о. Шикотан</i>	34
<i>Остаточные явления в грунте</i>	35
<i>Характер и степень повреждений зданий на о. Шикотан</i>	35
<i>Характер и степень повреждений зданий на о-вах Кунашир и Итуруп</i>	36
<i>Выводы</i>	37
Глава 6. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ (РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ)	39
<i>Нетектонические нарушения и деформации</i>	41
Глава 7. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СМЕЩЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	46
<i>Горизонтальные деформации и смещения земной поверхности по геодезическим данным</i>	46
<i>Вертикальные смещения поверхности о. Шикотан по мареографным данным</i>	48
Глава 8. ДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ ЗВЕНЬЕВ СЛУЖБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ И ЦУНАМИ 4(5) ОКТЯБРЯ 1994 г.	51
<i>Действия дежурной смены сейсмической станции «Южно-Сахалинск»</i>	52
<i>Действия дежурной смены Центра цунами СахУГМС</i>	53
<i>Действия оперативного дежурного штаба ГО</i>	55
<i>Действия дежурной смены Южно-Сахалинского центрального телеграфа</i>	55
Глава 9. АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗАПИСЕЙ ЦУНАМИ	56
Глава 10. ПРОЯВЛЕНИЯ ЦУНАМИ НА о. ШИКОТАН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ	59
Глава 11. ПРОЯВЛЕНИЯ ЦУНАМИ НА ДРУГИХ ОСТРОВАХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУРИЛЬСКОЙ ГРЯДЫ	65
<i>Проявления цунами на островах Малой Курильской гряды</i>	67
<i>Проявление цунами на о. Итуруп</i>	68
Глава 12. ОПЫТ ОПЕРАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШИКОТАНСКОГО ЦУНАМИ	70
<i>Проведение вычислительного эксперимента</i>	71
Глава 13. ОСАДКИ ШИКОТАНСКОГО ЦУНАМИ 1994 г.	73
Глава 14. ДЕНДРОИНДИКАЦИЯ ЦУНАМИ НА о. ШИКОТАН	78
Глава 15. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ И ЦУНАМИ В РАЙОНЕ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ	83
ЛИТЕРАТУРА	90
ПРИЛОЖЕНИЕ. ФОТОАЛЬБОМ	93

ПРЕДИСЛОВИЕ

Двадцать лет прошло после одного из сильнейших землетрясений на Южных Курильских островах, которое привело к значительным разрушениям и человеческим жертвам, а также вызвало волны цунами, нанесшие существенный ущерб объектам, расположенным в береговой зоне. Природные катастрофы, прежде всего землетрясения и цунами, являются существенным сдерживающим фактором развития Курильских островов, мероприятия по защите от которых приводят к удорожанию строительства и снижают инвестиционную привлекательность большинства проектов. Наиболее тяжелыми последствиями землетрясения 4(5) октября 1994 года явились человеческие жертвы, разрушения и значительный отток населения – на о. Шикотан в настоящее время проживает около 2100 человек, а до 1994 года численность достигала 7500 человек. Задача ученых, в том числе изучающих различные аспекты проявления данного землетрясения и цунами, – проанализировать ситуацию, учесть допущенные ранее ошибки, чтобы снизить негативные последствия природных катастроф в будущем. Именно на это всегда направлены усилия специалистов, занимающихся исследованиями проявлений этого и других катастрофических событий.

В настоящем издании в краткой форме обобщены материалы, полученные и опубликованные после Шикотанского землетрясения. Кроме того, приведены также некоторые сведения о современном состоянии систем наблюдений за землетрясениями и цунами в районе Курильских островов. Геодинамические процессы, протекающие здесь постоянно, будут и далее порождать с определенной периодичностью сильные землетрясения и цунами. Зона Курильских островов была и остается зоной повышенной опасности от природных катастроф, что не может не вызывать озабоченность в настоящее время. Причины для такой озабоченности вполне достаточно. Основная из них - 20-летняя пауза в возникновении сильнейших землетрясений в районе Южных Курильских островов. Она значительно превосходит характерный для данного района интервал повторяемости таких событий. Естественно возникает вопрос, в полной ли мере использован этот относительно спокойный период органами власти, населением и учеными для того, чтобы подготовиться к очередным испытаниям. Усилия ученых, административных структур и всего населения области должны быть объединены, чтобы избежать тяжелых последствий в случае появления события, подобного Шикотанскому землетрясению 1994 года.

ВВЕДЕНИЕ

Материковый склон Курильского глубоководного желоба, и, в особенности, его юго-западная часть, прилегающая к Южным Курильским островам, относится к числу наиболее сейсмоактивных районов в мире. Начиная с 1900 г. [Ким, Андреева, 2012] здесь произошло более 130 сильных землетрясений с магнитудой M_s не менее 6.5, то есть средняя частота сильных событий заметно превышает 1 случай в год. За этот же период отмечено 11 катастрофических землетрясений с магнитудой $M \geq 7.8$, средний интервал между такими событиями составляет около 10 лет. Около 20 землетрясений сопровождалось волнами цунами умеренной и высокой интенсивности [Атлас Курильских..., 2009]. С момента Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. прошло уже 20 лет, что составляет удвоенный интервал между сильнейшими землетрясениями. В настоящее время в районе Южных Курильских островов действует режим среднесрочного прогноза сильного землетрясения, принятого Сахалинским филиалом Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений и оценке сейсмической опасности. В свое время событие 1994 года было предсказано российскими сейсмологами. В первой главе приведены материалы этих прогнозов, которые основывались на характерных вариациях сейсмического режима в пределах сейсмоактивной зоны, прилегающей к Южным Курильским островам.

Землетрясение и цунами 4(5) октября 1994 года было одним из наиболее сильных событий на Южных Курилах (моментная магнитуда $M_w = 8.3$), оно привело к значительным разрушениям зданий и сооружений различного назначения на островах Шикотан, Кунашир, Итуруп и гибели людей. В наибольшей степени пострадали сравнительно новые, построенные без учета требований строительства в сейсмоопасных районах, каркасные дома с заполнением из кирпича и шлакоблоков. Панельные и деревянные строения, в особенности, возведенные с учетом высокой сейсмичности, пострадали в меньшей степени. Помимо значительных разрушений, это землетрясение характеризовалось необычным характером косейсмических дислокаций, остров Шикотан погрузился в море как единое целое примерно на 0.6 м, при этом на многих участках его территории образовались разрывы, оползни и обвалы.

Шикотанское землетрясение вызвало волны цунами значительной высоты, которые обрушились на прибрежные части населенных пунктов Южно-Курильское, Малокурильское и Крабозаводское. Несмотря на сложности, возникшие с доставкой сообщения о тревоге цунами в местные органы власти, население, почувствовав сильные толчки, покинуло опасные районы. Это позволило избежать жертв от цунами, гибель людей была связана только с разрушением зданий в результате землетрясения.

Сразу после землетрясения учеными (геологами, геофизиками, сейсмологами, океанологами, биологами) были проведены обследования и проанализированы последствия землетрясения на Южных Курильских островах. В результате экспедиционных работ осенью 1994 и в течение полевого сезона 1995 года были определены макросейсмические проявления землетрясения (включая морские, так как колебания морского дна вызвали моретрясение), а также высоты и дальности заплесков цунами на побережье. Проанализированы записи колебаний уровня, полученные на мареографах в оперативном режиме, а позднее по уточненным данным об очаге землетрясения выполнено численное моделирование цунами.

Институтом физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта (г. Москва) было опубликовано два бюллетеня [Шикотанское..., 1994; Шикотанское..., 1995], специально посвященных вопросам прогноза Шикотанского землетрясения, особенностям его макросейсмических проявлений, специальным исследованиям в эпицентральной зоне, инженерным аспектам разрушения зданий и сооружений и т.д. Позднее Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН выпустил два сборника, один из которых был посвящен геологическим и сейс-

мологическим аспектам Шикотанского землетрясения, а второй содержал результаты исследований вызванного им цунами, включая воздействие цунами на растительность в зоне затопления. Более поздние результаты (например, по изучению осадков Шикотанского цунами в береговых торфяниках и анализу косейсмических дислокаций по наблюдениям за уровнем моря) опубликованы совсем недавно. Это свидетельствует о том, что Шикотанское землетрясение и цунами 4(5) октября 1994 года до сих пор привлекают внимание специалистов.

В данном сборнике представлены обобщенные материалы, полученные и опубликованные после Шикотанского землетрясения. Материалы статей изложены в несколько сжатом виде для того, чтобы публикация могла представлять интерес для достаточно широкого круга читателей. Сборник содержит также краткую информацию о современном состоянии наблюдений за землетрясениями и цунами. Она поможет читателям оценить прогресс, достигнутый по данной проблеме за последние 20 лет.

Ниже приведены фамилии авторов глав данного сборника в соответствии с их авторством в опубликованных ранее статьях:

- Глава 1. В.Г. Кособоков, И.Н. Тихонов, П.Н. Шебалин, Дж.Х. Хили, Дж.У. Дьюи.
- Глава 2. Т.А. Фокина, О.Н. Лихачева, А.И. Спириин, Д.А. Сафонов.
- Глава 3. С.С. Арефьев.
- Глава 4. Л.С. Оскорбин, А.О. Бобков, А.И. Спириин, И.Е. Усышкин, А.А. Шишкин, А.А. Шолохова, Н.А. Давыдова, А.А. Поплавский, А.А. Садчикова.
- Глава 5. Я.М. Айзенберг, А.М. Мелентьев, А.А. Малаховский.
- Глава 6. М.И. Стрельцов.
- Глава 7. Н.Ф. Василенко, О.С. Седаева, В.П. Семакин, Г.В. Шевченко.
- Глава 8. Т.Н. Ивельская, Е.В. Семенова, А.И. Спириин, О.Н. Лихачева.
- Глава 9. Т.Н. Ивельская, Г.В. Шевченко.
- Глава 10. В.М. Кайстренко, В.К. Гусяков, В.А. Джумагалиев, Г.С. Дыхан, А.И. Иващенко, Г. Йех, Л.Н. Като, А.А. Клочков, Е.Н. Пелиновский, Г.С. Предтеченский А.А. Харламов, Е.В. Шельтинг.
- Глава 11. Ю.П. Королёв, Л.Д. Жукова, Н.Д. Золотухина, А.А. Клочков, Е.А. Куликов, В.Н. Куракин, А.А. Кругляков, Б.В. Левин, А.А. Поплавский.
- Глава 12. В.Н. Храмушин, А.А. Поплавский.
- Глава 13. Н.Г. Разжигаева, Л.А. Ганзей, В.М. Кайстренко, Т.А. Гребенникова, А.А. Харламов.
- Глава 14. Р.Н. Сабиров.
- Глава 15. И.Н. Тихонов, Ю.Н. Левин, В.И. Михайлов, Т.Н. Ивельская, Г.В. Шевченко.

Глава 1

СРЕДНЕСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ШИКОТАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 4(5) ОКТЯБРЯ 1994 г.

Данное исследование выполнялось по решению рабочего совещания, состоявшегося 20-21 января 1992 г. в Институте теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН (ИТПЗ РАН, г. Москва) с участием сейсмологов Сибири и Дальнего Востока. Было заключено Соглашение о проведении совместного исследовательского среднесрочного прогноза сильных землетрясений в течение 1992–1997 гг. в сейсмоактивных районах Российской Федерации на основе алгоритмов прогноза, разработанных в ИТПЗ РАН. Прогнозные исследования для района Курильских островов выполнялись одновременно в ИМГиГ ДВО РАН и ИТПЗ РАН с использованием независимых данных: отечественных в первом случае и зарубежных – во втором. К тому времени в ИМГиГ ДВО РАН был подготовлен электронный каталог основных параметров землетрясений Курило-Охотского региона за 1962-1990 гг. (далее именуется СБДВ), сформированный на основе Сейсмологического бюллетеня Дальнего Востока [Землетрясения в СССР..., 1964-1991] и регулярно пополнявшийся данными Оперативного каталога Сахалинского филиала Геофизической службы РАН. Прогноз ИТПЗ РАН основывался на анализе базы данных NEIC Нуросcenter Data Base CD-ROM [Global Нуросcenter Data ..., 1989] и ее регулярном пополнении. Ниже рассматриваются предвестниковые явления, определяемые двумя алгоритмами среднесрочного прогноза землетрясений (M8 и MSc (Сценарий Мендосино)) [Keilis-Borok, Kossobokov, 1990; Kossobokov et al., 1990].

Алгоритмы среднесрочного прогноза и их тестирование в реальном времени

Алгоритм M8 основан на некоторых характеристиках сейсмичности, определяемых по конкретной последовательности землетрясений, произошедших в пределах выбранной площадки. Экспериментально было установлено, что эти параметры становятся аномально большими в течение нескольких месяцев перед главным сейсмическим толчком. В алгоритме M8 используются следующие функции:

N – кумулятивная сумма числа основных толчков (афтершоки исключаются). Данная функция контролирует возрастание сейсмической активности;

L – отклонение функции N от долгопериодного линейного тренда;

Z – линейная концентрация очагов землетрясений;

B – взрыв афтершоков.

Все функции, за исключением последней, рассчитываются дважды: для малой статистики данных (10 событий и менее в год) и для большой статистики (20 событий и более в год). Анализ средних параметров сейсмичности осуществляется в круговых областях, диаметр D которых зависит от значения магнитуды M_0 прогнозируемого землетрясения:

$$D(M_0) = 111.111 * (\exp(M_0 - 5.6) + 1) \text{ км.}$$

Для сильных землетрясений с $M_0 = 7.0, 7.5$ и 8.0 диаметры круговых областей равны 560 км, 854 км и 1333 км соответственно. Прогноз повышенной вероятности (ППВ) объявляется на пять лет в том случае, если эти параметры становятся аномально большими по сравнению со значениями в круге за продолжительное время.

С середины 1990 г. алгоритм M8 систематически применяется для исследовательского среднесрочного прогноза в реальном времени землетрясений с магнитудой $M = 7.5$

и выше на территории Тихоокеанского сейсмического пояса, причем с 1991 г. совместно с Геологической службой США [Healy et al., 1992]. Каждые полгода прогноз обновляется по текущему пополнению данных.

Для уменьшения размеров области ППВ используется алгоритм, названный «Сценарием Мендосино» (MSc) [Kossobokov et al., 1990]. В основе его лежит поиск эпизодов аномального затишья на фоне повышенной активности, когда в области ППВ, устойчиво активной во время ее формирования, появляется зона необычного и довольно кратковременного (первые месяцы) затишья. В большинстве случаев такой эпизод предшествует возникновению сильного землетрясения в данной зоне.

Алгоритм MSc позволяет сократить пространственную неопределенность прогноза от 4 до 14 раз [Кособоков и др., 1990].

В эксперименте ИМГиГ ДВО РАН диагностика ППВ возникновения сильного землетрясения ($M \geq 7.5$) осуществлялась по каталогу СБДВ в пределах двух круговых областей диаметра $D = 854$ км с центрами на Южных и Северных Курилах в точках с координатами (44° с.ш., 149° в.д.) и (48° с.ш., 155° в.д.). Для настройки алгоритма M8 использовались данные каталога землетрясений СБДВ за период наблюдений с 1962 по 1978 гг., а для диагностики ППВ – данные за последующие годы.

На рис. 1.1 представлен временной ход семи функций в первой круговой области (Южные Курилы) в течение периода диагностики (1979-1992 гг.). Значения всех функций аномально возросли к июлю 1992 г. Это означало, что алгоритм M8 диагностировал ППВ возникновения сильного землетрясения в первой круговой области в течение следующих пяти лет (1993-1997 гг.) при условии, что аномальные значения параметра B и пяти других сохранятся в течение следующих шести месяцев.

Этот прогноз хорошо согласовывался с картиной пространственно-временного распределения землетрясений с $M \geq 6.0$ в пределах Курильской сейсмоактивной зоны, начиная с 1987 г. (рис. 1.2). На рис. 1.2 визуальнo выделяется сейсмическая брешь в зоне от южной части острова Уруп до северной части острова Хоккайдо.

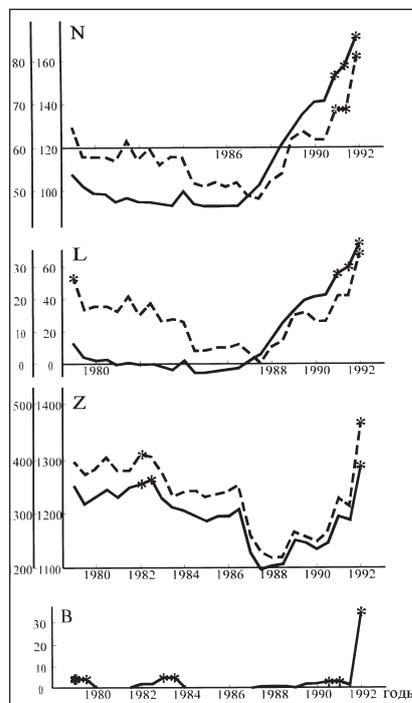


Рис. 1.1. Временной ход значений прогнозных функций алгоритма M8 для Южных Курильских островов за 1979-1992 гг. согласно каталогу СБДВ. Сплошные линии показывают значения, рассчитанные для большой статистики данных (20 и более событий в год), а пунктирные линии – для малой статистики (10 и менее событий в год). Звездочками обозначены аномальные значения.

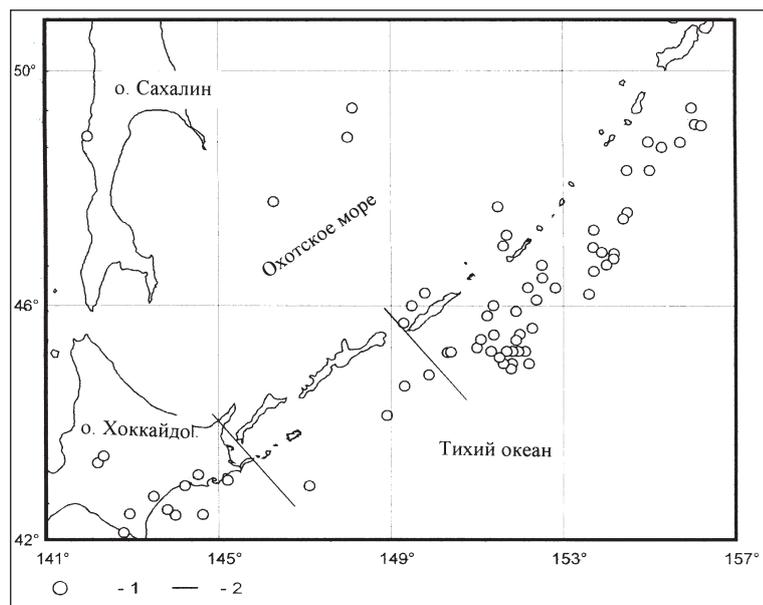


Рис. 1.2. Распределение эпицентров землетрясений с $M_{СБДВ} \geq 6.0$ в районе Курильские острова – о. Хоккайдо за период с марта 1987 г. по июнь 1992 г. согласно каталогу СБДВ: 1 – эпицентры землетрясений; 2 – примерное положение границ зоны сейсмического затишья.

Для второй круговой области (Северные Курилы) алгоритм М8 не выделил ППВ для сильного землетрясения в ее пределах в течение следующих пяти лет.

В эксперименте ИТПЗ РАН диагностика ППВ для сильного землетрясения ($M \geq 7.5$) осуществлялась, как сказано выше, на анализе базы данных NEIC Нуросентер Data Base CD-ROM [Global Нуросентер..., 1989] и ее регулярном пополнении. Проверка велась в 147 круговых областях, расположенных вдоль Тихоокеанской зоны сейсмичности (рис. 1.3). Центры кругов равномерно распределены вдоль оси Тихоокеанского пояса сейсмичности, включая Индонезию и Южные Сандвичевы острова.

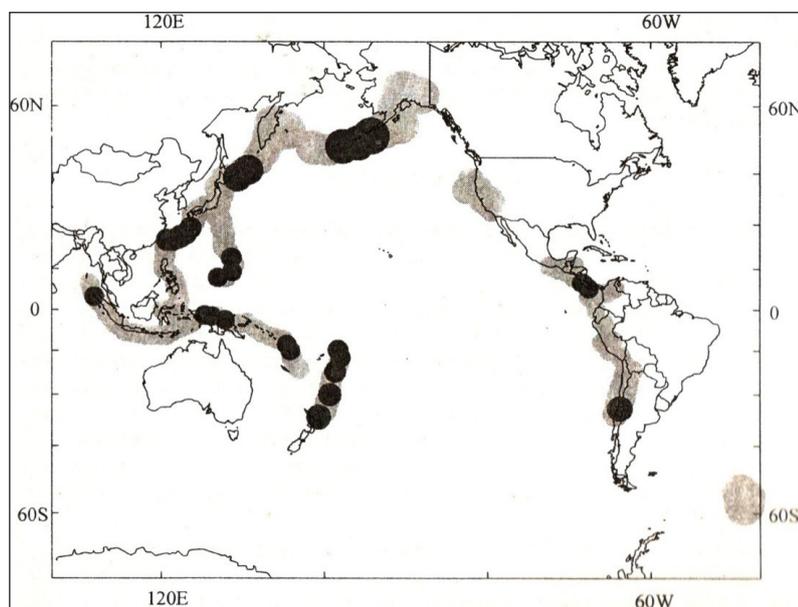


Рис. 1.3. Области повышенной вероятности возникновения землетрясений с магнитудой от 7.5 и выше в период с 1 июля 1994 г. по 1 января 1995 г., определенные алгоритмом М8 по данным NEIC, пополненным до 1 июля 1994 г. Круговые области, находящиеся в состоянии ППВ, закрашены темным цветом.

Прогноз для землетрясений с магнитудой 7.5 и выше, определенный алгоритмом М8 в Курило-Камчатской зоне субдукции (Беньофа), показан на рис. 1.4.

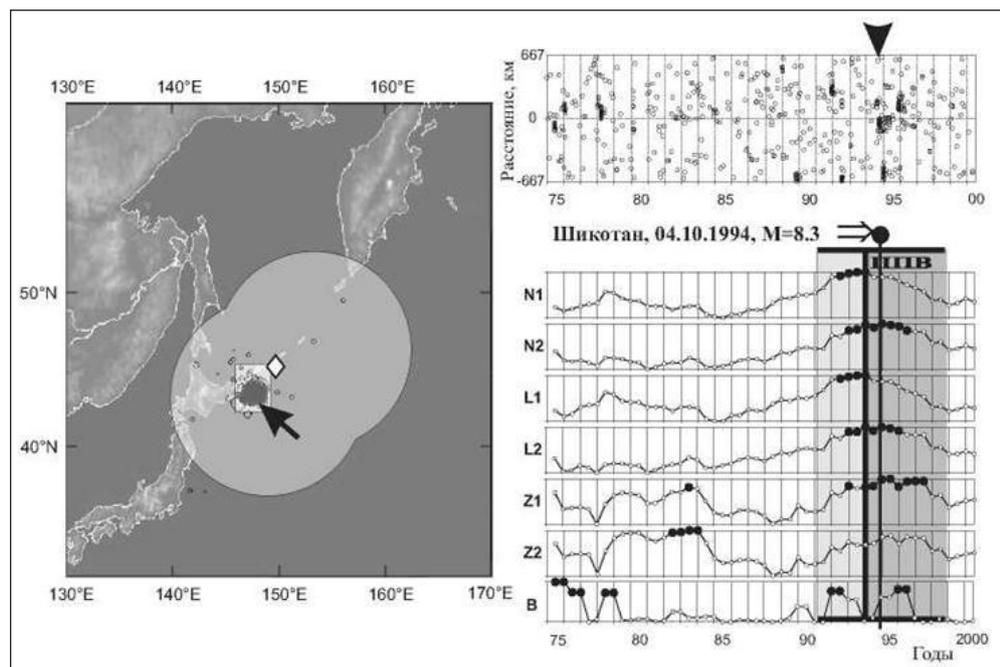


Рис. 1.4 (заимствован из работы [Кособоков, 2005]).

Рисунок слева: карта прогноза: круговые области повышенной вероятности возникновения землетрясений с магнитудой от 7.5 и выше выделены светло-серым тоном; область тревоги, диагностированная алгоритмом MSc, представлена прямоугольником; стрелка указывает на эпицентр основного толчка; ромб отмечает место необычного для данного района роя, предшествовавшего основному землетрясению.

Верхний рисунок справа: пространственно-временная диаграмма распределения сейсмичности в окрестности главного толчка.

Нижний рисунок справа: графики хода прогнозных функций алгоритма M8 в области ППВ до и после Шикотанского землетрясения 1994 г. Аномальные значения прогнозных функций отмечены черными точками.

Область тревоги на район восточной части о. Хоккайдо и юга Курильских островов впервые появилась в тесте алгоритма M8 в июле 1992 г. [Healy et al., 1992]. Тревога была вызвана значительной активизацией сейсмичности южного сегмента Курило-Камчатской зоны субдукции (Беньофа), (рис. 1.4, графики внизу справа). Шикотанское землетрясение, возникшее 4 октября 1994 г., точно соответствует пространственным, временным и магнитудным рамкам прогноза, полученного с помощью алгоритмов M8 и MSc.

Описанный выше среднесрочный прогноз в июле 1992 г. был зарегистрирован в Российской академии наук, а затем передан в МЧС России. Этот документ содержал вывод о том, что «...район Южных Курильских островов и восточной части острова Хоккайдо в течение пяти лет, начиная с середины 1992 г., будет находиться в состоянии повышенной вероятности возникновения катастрофического землетрясения с магнитудой 7.5-8.5», и связанные с ним рекомендации по развертыванию: 1) мероприятий типа гражданской обороны; 2) ускоренного анализа текущих сейсмологических наблюдений на базе ИМГиГ ДВО РАН. Прогноз был опубликован в 1993 г. [Кособоков, Хохлов, 1993] и представлен на региональном Западно-Тихоокеанском конгрессе Американского геофизического союза (Гонконг, 25-29 июля 1994 г.) [Kossobokov, 1994].

Глава 2

ГЛАВНЫЙ ТОЛЧОК И АФТЕРШОКИ ШИКОТАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Состояние региональной сети сейсмических станций накануне и после Шикотанского землетрясения

Развитие отечественной сети сейсмических наблюдений в Сахалинской области началось с открытия 25 октября 1947 г. сейсмической станции в г. Южно-Сахалинск.

После катастрофического Камчатского землетрясения и цунами 4 (5) ноября 1952 года было принято решение о создании сети сейсмических станций на Дальнем Востоке и создании Службы предупреждения о цунами (СПЦ). В 50-х годах прошлого столетия были открыты сейсмические станции на островах Парамушир («Северо-Курильск»), Итуруп («Курильск»), Шикотан («Малокурильское»), Кунашир («Южно-Курильск») и на Сахалине («Долинск», «Поронайск», «Оха» и другие). В 60-х годах открыты сейсмостанции на островах Симушир, Матуа, Уруп, Онекотан. Таким образом, в начале 70-х гг. прошлого столетия на Курильских островах и Сахалине насчитывалось более 20 стационарных сейсмических станций, ведущих наблюдения за землетрясениями региона и мира.

На о. Шикотан, помимо сейсмической станции, в то время существовала гидрофизическая обсерватория с большим штатом сотрудников, проводились исследования, направленные на решение задачи предупреждения о катастрофических волнах цунами. Надо отметить, что по своему географическому положению и условиям регистрации о. Шикотан, расположенный в океане значительно восточнее южных островов Большой Курильской гряды, является уникальным для проведения исследований в области сейсмологии и цунами.

Однако в конце 80-х годов в стране снизился интерес к научным исследованиям, в том числе направленным на изучение природных катастроф и тесно связанных с вопросами безопасности регионов. По мере уменьшения финансирования стали сворачиваться научные исследования и сокращаться сеть сейсмических наблюдений.

Ситуация, сложившаяся к 1994 году с региональной сетью сейсмических наблюдений Сахалинской опытно-методической сейсмологической партии, была критической. Недостаточное финансирование работ СОМСП привело к закрытию в марте - апреле 1994 г. восьми сейсмических станций. Оборудование было законсервировано, а сотрудники уволены по сокращению штатов. Решение о закрытии станций было принято на совместном заседании научно-координационного Совета по сейсмологии ИМГиГ ДВО РАН и научно-технического совета СОМСП от 18 января 1994 года. Были закрыты две сейсмические станции I класса, несущие сейсмическую часть службы предупреждения о цунами («Курильск» и «Малокурильское») и три станции II класса (включая «Южно-Курильск»). Таким образом, на момент Шикотанского землетрясения не работали станции, находящиеся в непосредственной близости от эпицентра главного события.

К тому же, стабильно работавший на сейсмостанции Южно-Сахалинск с июля 1992 г. цифровой комплекс IRIS-2 был отключен 3 октября 1994 г. в связи с планируемым ремонтом сейсмопавильона. Естественно, после землетрясения работа комплекса была возобновлена, но перерыв в регистрации составил 12 часов. Таким образом, из-за неблагоприятного стечения обстоятельств главное событие оказалось незарегистрированным.

По решению чрезвычайной Правительственной комиссии по ликвидации последствий Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 года в октябре-ноябре работа станций «Курильск», «Южно-Курильск» и «Малокурильское» была восстановлена. На восстановление их деятельности через МЧС было выделено 300 млн. руб.

После Шикотанского землетрясения в полную негодность пришло здание станции «Южно-Курильск». Здание ремонту не подлежало, но станция в нем работала до 8.11.1995 г., когда во время прохождения сильного циклона из-за замыкания электропроводки возник пожар, и здание полностью сгорело.

Аналогичное положение было и на станции на о. Шикотан. В августе 1996 года по предписанию инспектора по охране труда по Сахалинской области работа сейсмической станции была остановлена до проведения капитального ремонта здания и создания нормальных и безопасных условий труда сотрудников. Здание принадлежало ИМГиГ ДВО РАН, у которого также не было средств на ремонт.

Восстановление этих станций было заложено в Федеральной целевой программе «Социально-экономическое развитие Курильских островов на 1993-1995 гг. и до 2000 г.», но финансирование этой ФЦП практически не производилось.

Как обстоят дела на Южных Курильских островах в настоящее время? Сейсмическая станция «Южно-Курильск» была отремонтирована и в июле 2009 года полностью перешла на цифровую регистрацию землетрясений. Станция имеет четыре выносных пункта инструментальных наблюдений на острове Кунашир («Головнино», «Лагунное», «Менделеево» и «Туман») и до недавнего времени получала данные с пункта сейсмологических наблюдения на о. Шикотан.

Станция «Курильск» продолжает работать в старом здании, построенном в 1931 году. Строительство новой сейсмостанции, запланированное на 2012-2015 гг. в рамках ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий...», не состоялось по причине прекращения финансирования. В 2010 г. сейсмическая станция «Курильск» полностью перешла на цифровую регистрацию землетрясений.

Сейсмическая станция на о. Шикотан так и не была восстановлена, хотя в ноябре 2009 года в уцелевшем, но практически аварийном жилом доме бывшей гидрофизической обсерватории были установлены цифровые регистраторы и организована передача данных на сейсмическую станцию «Южно-Курильск». Строительство новой сейсмической станции на о. Шикотан планировалось в рамках ФЦП «Снижение риска...» на 2012–2014 гг., в 2012 году была подготовлена проектно-сметная документация, но строительство не началось в связи с прекращением финансирования.

В марте 2014 года дом, где был размещен пункт наблюдений, сгорел со всей аппаратурой передачи данных, сейсмическая станция перестала существовать. Таков неутешительный итог прошедших 20 лет для некогда одной из лучших сейсмических станций Курильских островов.

Параметры главного толчка и афтершоков Шикотанского землетрясения

4 октября 1994 г. в 13 час 23 мин UTC (Гринвичского времени) или 5 октября в 00 час 23 мин (сахалинского времени) восточнее о. Шикотан произошло сильное землетрясение с магнитудой $M=8.1$ по шкале Рихтера (по данным Сахалинской ОМСП, большинство мировых агентств дали магнитуду $M=8.3$). Землетрясение сопровождалось разрушениями сооружений, гибелью людей и волнами цунами. Координаты главного толчка – 43.5° с.ш. 147.3° в.д. Интенсивность колебаний грунта на о. Шикотан составила 8–9, на о. Кунашир – 7–8 и на о. Итуруп – 6–7 баллов. Сотрясения сопровождалось оглушительным подземным гулом, свечением неба, вызвали обширные нарушения и деформации в грунтах, разрушения и повреждения зданий, промышленных и военных объектов, мостов, дорог, причалов, коммуникаций. Повреждено более 100 зданий, погибло 11 человек, серьезно ранено - 32, легко ранено - 210. Данное землетрясение относится к числу сильнейших в прошлом столетии. Главный толчок вызвал волны цунами значительной высоты (подробное описание проявления цунами приведено в главах 10-11).

Сейсмостанция «Южно-Сахалинск», оперативно обработав данные, передала ин-

формацию в штаб ГО и ЧС, Центр цунами СахУГМС и на Центральный телеграф (описание действий оперативных служб приведено в главе 8). За 5 секунд до главного толчка в 10 км восточнее инструментального эпицентра был отмечен форшок на глубине 43 км, магнитуда которого ($MPV=7.3$) определена лишь по максимальной фазе Р-волны, так как произошло наложение форшоковой записи на запись основного толчка.

Эпицентр землетрясения располагался на тихоокеанском склоне Малой Курильской гряды юго-восточнее о. Шикотан. Главное событие сопровождалось большим количеством афтершоков, эпицентральная область которых вытянулась в северо-восточном направлении между островами Малой Курильской гряды и Курило-Камчатским глубоководным желобом (рис. 2.1).

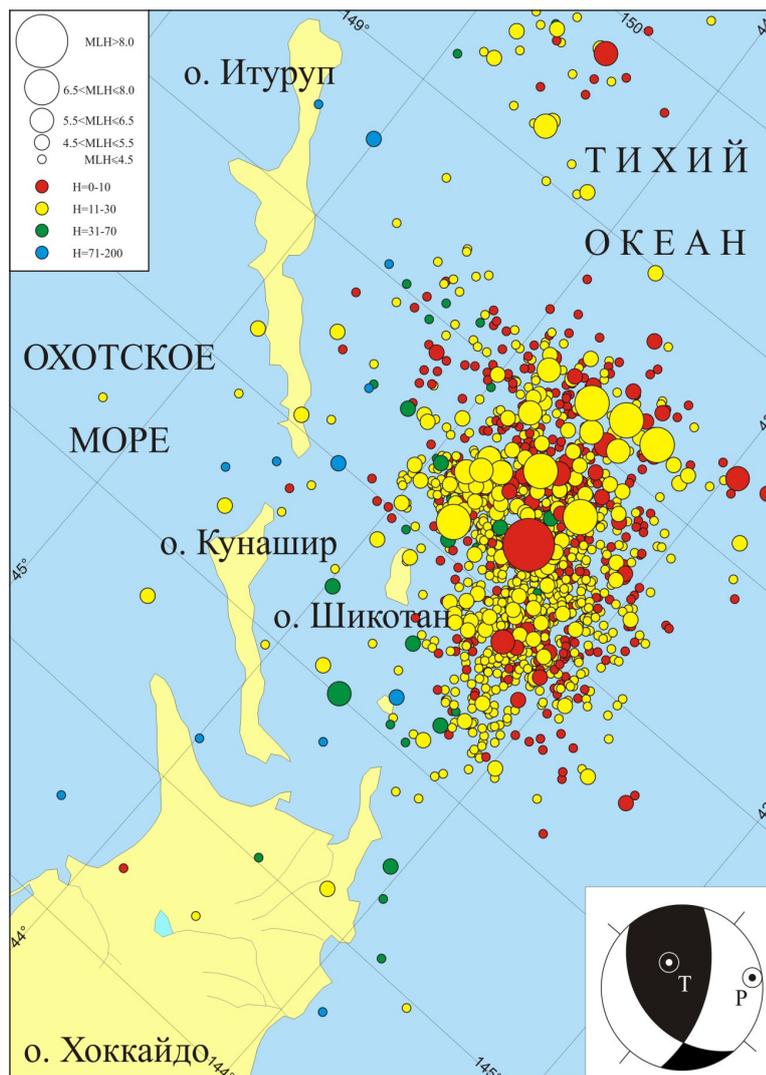


Рис. 2.1. Эпицентры землетрясений в районе Южных Курильских островов в 1994 г. по данным СОМСП. На врезке: механизм очага Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. (MLH=8.1).

Для сопоставления параметров землетрясений и получения дополнительной информации об эпицентральной зоне использовались данные сети сейсмических станций Японии, присланные по электронной почте, и данные сейсмологического бюллетеня Геологической службы США. Только с 5 по 10 октября японской сетью было зарегистрировано 1300 афтершоков различной магнитуды. По данным сейсмических станций Южных Курильских островов, открытых после катастрофического землетрясения, до конца года было зарегистрировано 1546 афтершоков с энергетическим классом $K_c > 6$.

Для главного события Шикотанского землетрясения и 73 повторных толчков были

определены механизмы очагов. Тип сейсмодислокации главного события оказался взбросо-сдвиговым. Одна из возможных плоскостей разрыва, ориентированная вдоль простирания островной дуги и круто падающая к юго-востоку, может быть принята в качестве наиболее вероятной плоскости разрыва в очаге, по разрыву произошел взброс, юго-восточное крыло разрыва сместилось относительно северо-западного к северо-востоку и вверх. Взбросовая компонента подвижки превышает сдвиговую. Другая возможная плоскость разрыва имеет субмеридиональное простирание с падением под небольшим углом на запад.

Наиболее сильные афтершоки Шикотанского землетрясения произошли в северо-восточной части очаговой области. Магнитуда четырех афтершоков, три из которых зарегистрированы в течение первых часов после основного события, составила $M=7.0-7.3$ (по данным Сахалинской ОМСП). Развитие афтершокового процесса в основном происходило в течение недели после главного землетрясения, последний сильный афтершок магнитудой $M=5.5$ в 1994 г. произошел 18 октября. Однако, до конца года в очаговой области Шикотанского землетрясения было зафиксировано большое число более слабых событий.

Анализ записей сейсмического сигнала Шикотанского землетрясения

Сейсмические волны Шикотанского землетрясения были записаны широкополосными цифровыми станциями, расположенными на значительном удалении (более 1000 км) от эпицентра землетрясения. Эти записи были использованы для изучения вариаций спектральных характеристик сейсмических волн во времени и анализа связи параметров землетрясения с характеристиками сейсмических волн. На рис. 2.2 представлены радиальные компоненты (по направлению от эпицентра до станции) сейсмограмм Шикотанского землетрясения, полученные по данным трех широкополосных сейсмических станций IRIS: «Мацуширо» (MAJO), «Петропавловск-Камчатский» (PET) и «Якутск» (YAK), а также их СВАН-диаграммы [Ландер и др., 1972]. Исследовались волны в диапазоне периодов от 3 до 150 секунд, значения амплитуд колебаний на СВАН-диаграмме нормировались на значение максимальной спектральной амплитуды, изолинии проведены через 1 децибел.

Расстояния от эпицентра Шикотанского землетрясения до станций «Мацуширо» и «Петропавловск-Камчатский» составили 1113 и 1323 км соответственно, т.е. они отличались менее чем в 1.2 раза, поэтому длина записей по времени почти одинаковая. Однако, расположение этих станций по отношению к эпицентру (рис. 2.3) является противоположным: станция «Петропавловск-Камчатский» – к северо-востоку, «Мацуширо» – к юго-западу (азимут от эпицентра составил 35° и 227° соответственно). Таким образом, сейсмические волны, зарегистрированные этими станциями, распространялись в различных условиях.

По направлению к станции «Петропавловск-Камчатский» они проходили вдоль зоны субдукции, а по направлению к станции «Мацуширо», которая находится в очень сложной зоне стыка трех тектонических плит, – пересекая эту зону.

С этим связаны заметные отличия в записях сейсмических сигналов. Во-первых, амплитуды волн на участке от первого вступления Р-волны до начала S-волны очень малы на станции «Мацуширо» и намного больше на станции «Петропавловск-Камчатский». Во-вторых, поверхностные волны Релея на записи станции «Мацуширо» выглядят типично для мелкофокусного землетрясения, а на станции «Петропавловск-Камчатский» наблюдается очень короткий цуг мощных колебаний, после чего амплитуда волн резко уменьшается.

Станция «Якутск» удалена от эпицентра на 2332 км в северо-западном направлении, азимут от эпицентра равен 336° . По пути к этой станции сейсмические волны пересекли зону субдукции и прошли сквозь значительный участок материковой коры. Эпицентральное расстояние почти в 2 раза больше по сравнению со станциями «Мацуширо» и «Петропавловск-Камчатский», поэтому запись землетрясения заметно длиннее и амплитуды поверхностных волн больше.

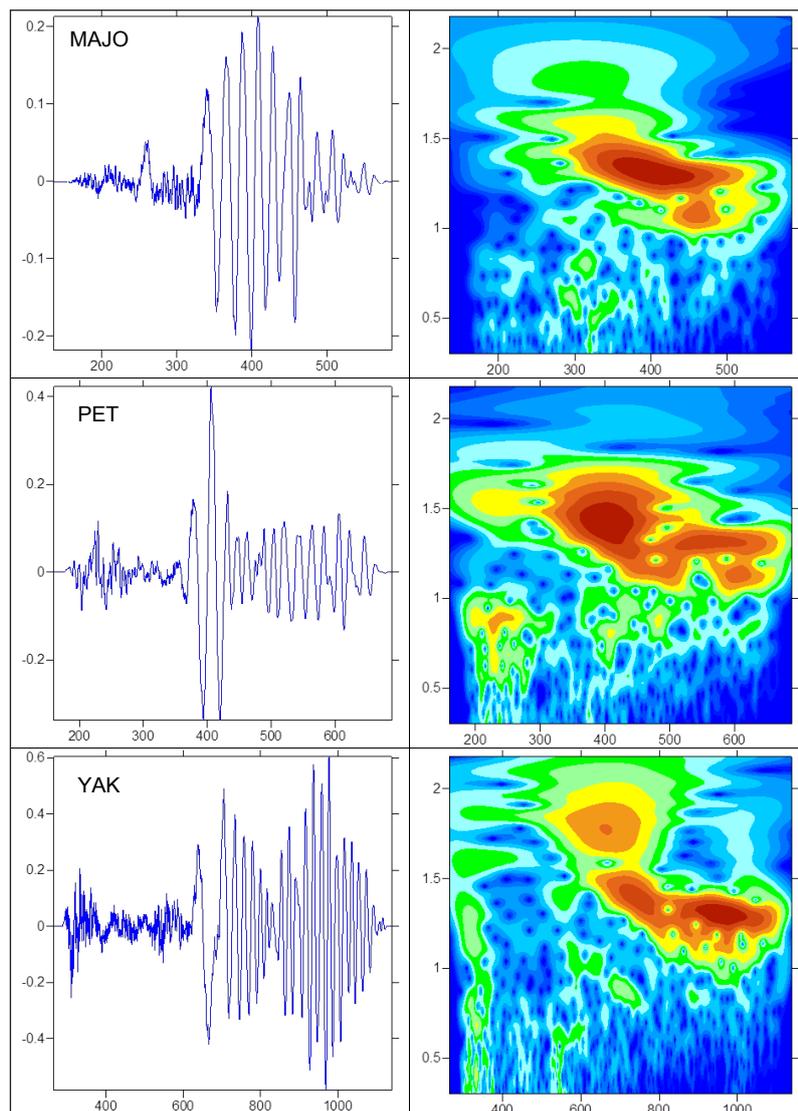


Рис. 2.2. Слева: радиальные компоненты записи Шикотанского землетрясения, полученные на станциях «Мацуширо» (MAJO), «Петропавловск-Камчатский» (PET) и «Якутск» (YAK). Горизонтальная ось – время (в сек), вертикальная – смещение поверхности (в мкм). Справа: соответствующие им СВАН-диаграммы. Горизонтальная ось – время (в сек), вертикальная – десятичный логарифм периода колебаний (в сек).

Общей особенностью записей на всех трех станциях является слабая выраженность Р-волны, на которую накладываются более интенсивные РL волны – особый тип поверхностных волн, распространяющиеся в низкоскоростном слое земной коры и верхней мантии, которые называют «просачивающимися модами» или «волнами утечки». Интервал времени, на котором проявляется только Р-волна, настолько мал, что анализировать ее частотные свойства не представляется возможным. Периоды накладывающихся на нее РL-волн лежат в интервале от 5 до 40 сек.

Волна S проявляется достаточно слабо на двух ближайших к эпицентру станциях (на трансверсальной компоненте она видна лучше), непосредственно за ней вступают и доминируют поверхностные волны Релея. На начальном отрезке записи они проявляются как сравнительно низкочастотные вариации, затем их период стабилизируется и составляет 18–20 секунд, наблюдается хорошо выраженная дисперсия, характерная для этого типа волн.

На станции «Якутск» S-волна выражена более отчетливо, причем далее в записи также присутствует мощное низкочастотное колебание с периодом до 100 сек (на трансверсальной компоненте оно еще более мощное). Затем следует цуг интенсивных поверхностных волн.

Ранее было выявлено [Фокина, Шевченко, 2013], что низкочастотная граница проявления сейсмических колебаний, связанных с поверхностными волнами Релея, зависит от магнитуды. Для наиболее сильных цунамигенных землетрясений граница проходила в диапазоне периодов 80-150 сек, а при более слабых событиях не превышала 40-50 сек.

В случае Шикотанского землетрясения на СВАН-диаграммах наблюдается именно такая картина. Сначала проявляются низкочастотные колебания с периодами до 70-100 сек, что согласуется с выводом о цунамигенности землетрясений с таким характером сейсмического сигнала, затем наблюдается плавное понижение периода основного максимума до 18-20 сек. Именно такой характер дисперсии типичен для волн Рэлея.



Рис. 2.3. Положение очага Шикотанского землетрясения (красный овал) и широкополосных сейсмических станций IRIS (зеленые треугольники), на которых были получены записи сейсмического сигнала.

Глава 3

ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Организация экспедиции

Сразу же после известия о Шикотанском землетрясении 4 (5) октября 1994 г. в ОИФЗ РАН (ныне ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва) был поднят вопрос об организации эпицентральных наблюдений, согласно установленному порядку. Учитывая практически полное отсутствие финансирования полевых наблюдений в рамках бюджета РАН, было решено вместо полномасштабных работ провести наблюдения лишь с помощью акселерографов SMACH за счет гранта РФФИ. Кроме того, существенная помощь в организации полевых наблюдений была оказана МЧС России. В новых экономических условиях организация экспедиции была сопряжена с большим количеством сложностей, включая проблемы с оборудованием, транспортом.

Экспедиция в составе 12 человек и с грузом 4.5 т 12 октября вылетела в Южно-Сахалинск. Далее до места работ экспедиция добиралась на рейсовом теплоходе. Теплоход отплыл лишь вечером 15 октября, доставив экспедицию на остров Кунашир в пос. Южно-Курильск 17 октября. Экспедиция смогла приступить к развертыванию работ спустя 12 дней после главного толчка. Большая задержка с началом полевых эпицентральных наблюдений привела к тому, что не был зарегистрирован ряд афтершоков, среди которых сильнейший повторный толчок 9 октября с $M=7.1$.

На месте деятельность осуществлялась также весьма медленно. Работа на островах требовала активного использования вертолетов, которые были только у пограничников, и лишь благодаря их помощи наблюдения были развернуты. Погодные условия также были сложными и заметно замедляли развертывание сети.

На все эти «внешние» причины накладывалось и то обстоятельство, что впервые в истории отечественных эпицентральных наблюдений в качестве базовой аппаратуры использовалась цифровая телеметрическая система отечественного производства, возможности которой не были достаточно изучены в реальных эпицентральных условиях. Расстояние между островами составляло около 80 км, что находится на пределе технических возможностей используемых радиоканалов, и не было никакой уверенности, что удастся установить связь между островами Шикотан и Кунашир. Поэтому в качестве базы экспедиции был выбран остров Кунашир (пос. Южно-Курильск). Такой выбор позволял в случае отсутствия связи между островами иметь более или менее протяженную систему телеметрических станций в пределах о-ва Кунашир, тогда как небольшой по размерам, хотя и расположенный ближе к очагу землетрясения о. Шикотан этой возможности не предоставлял. Кроме того, погранотряд и вертолеты располагались на о. Кунашир, и эффективное их использование было возможно лишь с этого острова. Выбор места расположения базы экспедиции и центра сбора телеметрической информации тоже представлял определенную сложность, так как это местоположение должно было отвечать определенным условиям (наличие электроэнергии для обеспечения центра сбора и компьютерной обработки информации; возможность приема сигналов с пунктов наблюдений; отсутствие мощных радиоизлучающих систем в непосредственной близости от базы и др.). Выбранная база лишь частично соответствовала этим требованиям.

Обслуживание аппаратуры оказалось исключительно трудным делом. Погода и организационные проблемы приводили к тому, что от момента, когда возникала необходимость посетить станцию для ремонта и профилактики, до выполнения этих работ проходило до

10 дней. В частности, станцию на базе акселерографа SMACH, установленную в пункте технического наблюдения (птн) Димитрово (ближайшая к очаговой зоне землетрясения, очень удачно расположенная станция) на о. Шикотан, не удалось посетить в нужные сроки. Батареи питания на станции полностью разрядились, прибор вышел из строя, и вся информация была потеряна.

Свертывание работ в декабре 1994 г. проходило еще медленнее. Завершалась навигация, и возможности использовать рейсовый теплоход местные власти экспедиции не предоставили. Потребовалось около 2-х недель, чтобы отправить контейнер с аппаратурой. Отметим, что это на 3.5 месяца лишило экспедицию аппаратуры и, соответственно, возможности ее усовершенствования по горячим следам. Людей же и небольшую часть наиболее ценной аппаратуры пришлось вывозить на Сахалин вертолетами пограничников. Еще 10 дней потребовалось, чтобы экспедиция смогла вылететь с Сахалина в Москву.

Системы полевых наблюдений

Существенной частью полевых сейсмологических наблюдений в районе Шикотанского землетрясения была сеть телеметрических станций отечественного производства. Сеть состояла из шести выносных станций, двух ретрансляционных станций и центра сбора информации (ЦСИ).

Выносная телеметрическая станция включает:

- блок приемника геофизической информации (блок ПГИ);
- три сейсмоприемника;
- передающую антенну;
- блок питания.

Датчиком сейсмических колебаний служил стандартный полевой сейсмоприемник СМ-3 [Токмаков, 1969]. Для передачи информации в ЦСИ в блок встроены передатчик типа РСС 4.1. Дальность уверенного радиоприема при прямой видимости между ПГИ и ЦСИ - не менее 40 км.

Питание телеметрических станций в пунктах наблюдений осуществлялось батареями типа «Агат». Автономность работы выносного пункта составляла в среднем 20 суток. Информация передавалась в ЦСИ с помощью пятиэлементной антенны типа «волновой канал». При отсутствии прямой видимости при передаче информации в системе использовались две ретрансляционные станции, расположенные на берегу океана в 500 м от ЦСИ.

ЦСИ сбора состоит из следующих частей:

- блока приемников;
- аналогового блока (ПР1);
- цифрового блока (ПР2);
- блока питания (БП);
- компьютера сбора и выделения событий РС/АТ 286/287 со встроенной платой буферного адаптера (БА).

Вопрос о выборе конфигурации сети наблюдений - это почти всегда компромисс между наиболее благоприятной для регистрации геометрией и реальными возможностями уверенного приема сигналов с выносных пунктов в ЦСИ. В данном случае эпицентр землетрясения находился в океане, и задача развертывания оптимальной сети была особенно сложной. В итоге Эпицентральная экспедиция развернула на ближайших к эпицентру Шикотанского землетрясения островах Шикотан, Кунашир и Танфильева 5 выносных телеметрических станций и ЦСИ. Координаты станций и сроки их действия указаны в табл. 3.1.

Уверенный прием в течение всего срока работы выносных пунктов был со станций на о. Кунашир. С обеих станций на о. Шикотан прием был в течение короткого времени, затем приемник на ретрансляторе станции РВО вышел из строя, и действовала

только станция PLS. Когда на ней разрядились батареи, ретранслятор переключили на станцию PVO. Со станции на о. Танфильева приема добиться не удалось, вероятно, из-за малой ее высоты над уровнем моря. Установить станцию выше не было никакой возможности, так как максимальная высота на острове +15 м.

Таблица 3.1. Сроки работы и координаты телеметрических станций

Код станции	Место установки	Координаты			Расстояние от ЦСИ, км	Азимут на станцию, град.	Период работы
		φ°	λ°	Н, м			
о. Кунашир							
CNT	г. Южно-Курильск,	44.0362	145.8543	30	0.00	0	19.10-26.11
	(ЦСИ)						
MEN	вулк. Менделеева	43.9858	145.7530	240	9.64	236	19.10-24.11
TAT	вулк. Тятя	44.3197	146.2835	400	46.82	47	20.10-24.11
о. Шикотан							
PVO	гора Шикотан	43.8692	146.8563	420	82.67	103	25.10-25.11
PLS	гора Плоская	43.8033	146.6433	330	68.51	112	25.10-25.11
о. Танфильева							
TAN	мыс Дозора	43.4537	145.8928	15	71.00	181	10.11-22.11

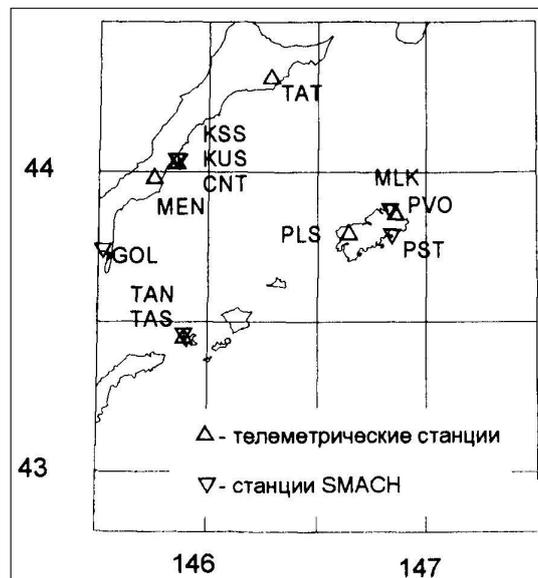


Рис. 3.1. Сеть временных станций.

Конфигурация сети показана на рис. 3.1. Хотя сеть расположена односторонне по отношению к эпицентральной зоне, значительная база (порядка 56 км на о. Кунашир и около 80 км между островами Кунашир и Шикотан) сделала ее достаточно удачной и оптимальной для локализации афтершоков при существующих географических условиях. Ближайшая действующая на момент землетрясения российская региональная станция находилась на расстоянии более 400 км.

Следует отметить, что в связи с географическими особенностями региона эксплуатация системы была осложнена:

- а) большими расстояниями между выносными пунктами и ЦСИ, вдвое превышавшими расчетную величину дальности;
- б) отсутствием стабильных транспортных коммуникаций (для своевременной реакции на возможные сбои);
- в) большим фоном радишумов.

Первую проблему удалось решить с помощью ретрансляционных станций, а также применением направленных антенн типа «волновой канал» в центре сбора для удаленных

выносных пунктов. В результате принимались сигналы на расстоянии 60 - 80 км.

Кроме телеметрической системы наблюдений, экспедиция развернула сеть приборов ждущего режима - акселерографов для записи сильных движений. На рис. 3.1 представлена сеть приборов ждущего режима SMACH, а в табл. 3.2 – информация о координатах станций, сроках работы и грунтовых условиях.

Таблица 3.2. Сеть станций SMACH

Код станции	Название пункта	Период работы	Координаты			Грунтовые условия
			φ°	λ°	H, м	
о. Кунашир						
	г. Южно-Курильск, центр	17.10-30.11	44.036	145.854	30	Щебенка андезитов четвертичного возраста мощностью около 500 м; болотистый грунт
KSS	г. Южно-Курильск, сейсмостанция	21.10-30.11	44.035	145.86	90	Вулканогенные породы среднего состава, неустановленного возраста; андезитобазальты среднего миоценового возраста мощностью ~ 500 м
GOL	п. Головнино	28.10-20.11	43.737	145.522	10	Вулканогенные породы кислого состава неустановленного возраста; вулканогенно-осадочные породы, h~500 м, болотистый грунт
о. Шикотан						
MLK	пос. Малокурильское, сейсмостанция	25.10-03.04.95	43.871	146.832	90	Зеленые туфы олигоцен-миоценовые мощностью 200 м, под ними - кварцевые диориты среднего миоцена мощностью ~ 500 м
PST	пгтн Димитрово	25.10-25.11	43.787	146.840	250	Кварцевые диориты, мощностью около 500 м
о. Танфильева						
TAS	мыс Дозора	10.11-22.11	43.454	145.893	15	Осадочные породы, болотистый грунт

Цифровой акселерограф SMACH представляет собой простую и надежную в эксплуатации автоматическую трехкомпонентную сейсмическую станцию для регистрации в инженерном диапазоне частот (0.3 - 30 Гц) колебаний грунта интенсивностью до 1.0 g. Установка прибора, управление параметрами регистрации и считывание информации производится с помощью IBM совместимого переносного компьютера типа Notebook с использованием специальной сервисной программы.

Первый акселерограф был установлен на регистрацию через несколько часов после прибытия Эпицентральной экспедиции в район полевых работ. На региональной сейсмостанции «Шикотан» акселерограф был оставлен до марта 1995 г., и после завершения полевых работ прибор зарегистрировал еще около 100 афтершоков.

В целом получено более 200 записей – цифровых акселерограмм, часть из них на двух и более станциях. Эти записи уникальны для отечественной практики эпицентральных наблюдений, поскольку получены на очень больших расстояниях (50 – 120 км) и имеют большую длительность. К сожалению, разработчики прибора не представляли себе возможности получения акселерограмм на таких больших расстояниях и, соответственно, предусмотрели наибольшее время сохранения начальной части 8 сек. Поэтому при разностях S–P порядка 14 сек, типичных для станций на о-ве Кунашир, и включении прибора на S-волне начальная часть волновой картины оказывалась незаписанной.

Экспедиция располагала также двумя аналоговыми акселерографами отечественного производства АСЗ-2. Эти приборы неплохо зарекомендовали себя в эпицентральных экспедициях конца 70-х – начала 80-х годов. Один акселерограф АСЗ-2 был установлен на сейсмостанции в Южно-Курильске, другой передан на сейсмостанцию «Шикотан». Оба

прибора переданы в долговременное пользование. На приборе, установленном в Южно-Курильске, получено несколько записей.

Полевая сейсмостанция регионального типа на базе осциллографа ОСБ-VI с непрерывной регистрацией на фотобумагу традиционно была установлена в ЦСИ Экспедиции. Данная станция, имеющая в системе наблюдений название «Южно-Курильск – База» и код КУК, располагалась на северной окраине г. Южно-Курильска, в том же пункте, что и станции CNT (табл. 3.1) и KUS (табл. 3.2).

Станция регистрировала колебания смещений грунта.

Привязка к абсолютному времени производилась по кварцевым часам АКВ-2, входящим в состав телеметрической системы. Таким образом, телеметрическая система и полевая станция имели идентичное время, что позволяло в случае сильных событий и обреза колебаний на телеметрической системе использовать времена вступлений, определенные по полевой станции.

В системе инструментальных наблюдений Эпицентральной экспедиции данная станция играла вспомогательную роль, в основном, при энергетических оценках афтершоков. Определение энергетического класса K производилось по палетке Т.Г. Раутиан, при этом была выявлена устойчивая разность между энергетическим классом K , определенным станцией «Южно-Курильск» Сахалинской ОМСП, и экспедиционным определением K . В среднем K в бюллетене экспедиционной станции на две единицы выше, чем на станции ОМСП. Разница в грунтовых условиях на этих станциях и более широкая полоса пропускания экспедиционной станции, возможно, влияют на расхождение энергетических оценок, но такой большой разброс, безусловно, есть следствие различия методик.

В бюллетень экспедиционной региональной станции вошли 220 событий, для которых вступления Р- и S-волн определялись достаточно уверенно. Представительный класс $K = 12$, таких событий в бюллетене 90; 13-х классов – 65; 14-х классов – 25; 15-х – 12; 16-х – 2. Знаки первых вступлений Р-волн на сейсмограммах, в целом, брались неуверенно, особенно на горизонтальных компонентах, поэтому лишь для 30 событий удалось определить азимуты и положение эпицентра. 19 определений лежат в интервале $105^\circ - 130^\circ$, 7 событий – $145^\circ - 170^\circ$; вторая группа афтершоков располагалась несколько ближе к станции «Южно-Курильск».

Для 97 событий уверенно брался знак P_z первого вступления. Большая их часть (86) имеет знак минус, т.е. фиксирует сжатие в очаге в направлении на станцию. В 11 случаях знак P_z – плюс.

Мониторинг очаговой зоны

Слежение за развитием процесса в очаговой зоне землетрясения осуществлялось независимо в Эпицентральной экспедиции, в региональном центре на станции «Южно-Сахалинск» и в центре Геофизической службы РАН (г. Обнинск). Координация этих систем выполнялась лишь эпизодически.

Полевой мониторинг

Мониторинг очаговой зоны происшедшего сильного землетрясения был одной из оперативных задач Эпицентральной экспедиции. Он включал: оперативное определение координат гипоцентров повторных толчков и их магнитудную классификацию, слежение за изменением во времени некоторых параметров афтершоковой серии, развитие во времени геометрии облака афтершоков.

В полевых условиях мониторинг очаговой зоны проводился с 20 октября по 25 ноября. Для оперативного определения гипоцентров землетрясений использовалась модифицированная программа HYPOINVERSE, адаптированная для установки на IBM компьютерах.

Раз в сутки все данные записывались на стримерную ленту. Объем полученных телеметрией данных порядка 450 Мбайт (включая данные экспериментов по обнаружению локальных толчков на Шикотане и вблизи вулканов). Записано 500 событий, из них в поле оперативно удалось обработать 258.

По оперативным данным строились карты эпицентров и графики временных вариаций сейсмичности. Было выделено несколько этапов во временном развитии афтершоковой серии, включающих два периода относительной стабилизации и два неустойчивых периода, начинающихся с затишья и заканчивающихся сильным афтершоком. В дальнейшем составленный в процессе мониторинга полевой каталог афтершоков был переработан и составил основу полного каталога Эпицентральной сейсмологической экспедиции ОИФЗ РАН (далее - ЭСЭ-каталог).

ЭСЭ-каталог имеет высокую точность определения координат гипоцентров, особенно для периода работы Эпицентральной экспедиции, поэтому он хорошо подходил для анализа геометрии облака афтершоков. К сожалению, этот каталог обеспечивал непропуск событий лишь за месяц афтершоковой активности, начинаясь через 2 недели после главного толчка. Поэтому анализ пространственно-временных вариаций афтершоков проведен с попеременным использованием разных каталогов, отдавая предпочтение ЭСЭ-каталогу.

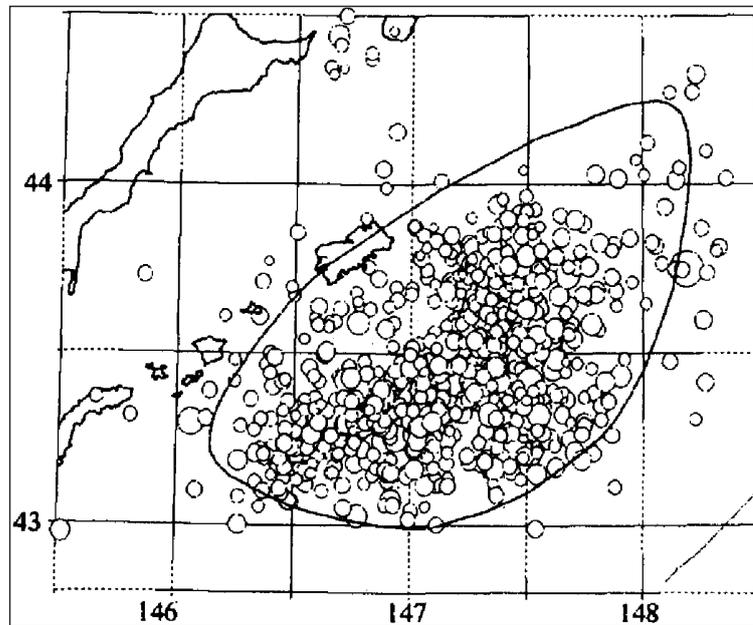


Рис. 3.2. Контур афтершоковой зоны (по полному ЭСЭ-каталогу). Нанесены эпицентры повторных толчков с магнитудами $2.0 \leq M \leq 5.5$.

Очевидно, что конфигурация облака афтершоков отражает геометрию очага землетрясения и позволяет судить о его размерах, форме, вмещении в реальные тектонические структуры. Контур афтершоковой зоны в проекции на дневную поверхность показаны на рис. 3.2. При его проведении использовались карта эпицентров, а также карта плотности выделенной энергии. Контур вытянут в северо-восточном направлении, а центральная часть облака афтершоков расположена примерно в 80 км от оси Курило-Камчатского глубоководного желоба. Контур имеет длину около 180 км и максимальную ширину порядка 90 км.

Моментная магнитуда Шикотанского землетрясения составляла $M_w = 8.3$ [EDR, 1994]. Длина очага землетрясения такой магнитуды по корреляционному соотношению между M_w и длиной очага для Курило-Камчатского региона [Гусев, Мельникова, 1990] составляет порядка 200 км, что согласуется с полученной выше оценкой длины очага. Представление о конфигурации облака афтершоков в трех измерениях дает рис. 3.3. Можно отметить, что облако афтершоков имеет изометричную форму, но структурировано. Хорошо виден кластер

в северной части облака афтершоков. Южная его граница подходит к месту, соответствующему инструментальному эпицентру главного толчка. Восточная граница, более размытая, проходит вблизи эпицентра сильнейшего афтершока 10 октября.

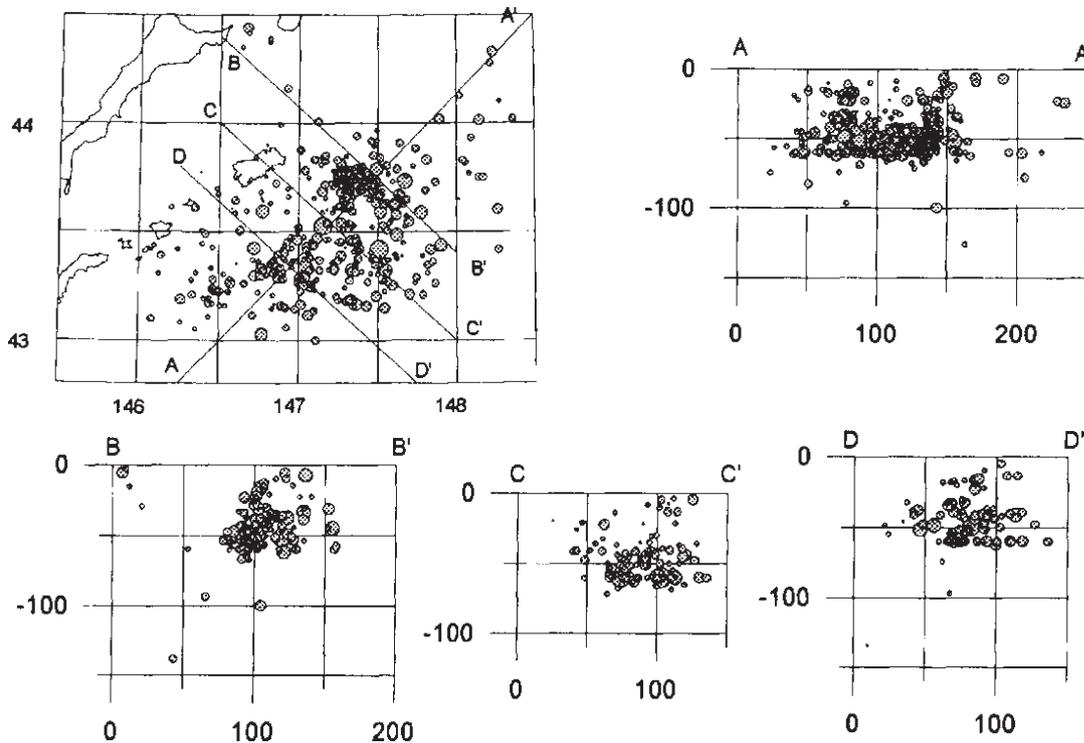


Рис. 3.3. Карта эпицентров и разрезы по глубине в полосе шириной ± 15 км по ЭСЭ-каталогу, соответствующему экспедиционному периоду.

Наблюдение за очаговой зоной по данным сейсмостанции «Южно-Сахалинск»

С момента главного толчка оперативное изучение афтершоков проводилось, в основном, по данным сейсмической станции «Южно-Сахалинск». Наличие на данной станции американской цифровой станции «IRIS-2» позволило существенно повысить точность определения параметров эпицентров афтершоков. За период с 4 октября по 30 ноября 1994 г. по данным сейсмологической станции «Южно-Сахалинск» было обработано 930 афтершоков с $K > 9$. С целью выявления прогностических признаков возникновения наиболее крупных афтершоков ($M \geq 6.0$) оперативно изучался временной ход сейсмического процесса при помощи графика Омори. Строился график распределения количества афтершоков ($M \geq 4.0$) во времени с 4.10. по 20.11.1994 г. Анализ графика показал, что перед наиболее крупными афтершоками ($M \geq 6.0$) отмечались относительные затишья. После сильного толчка возникла серия вторичных афтершоков, затухающих несколько быстрее, чем общая афтершоковая серия.

Изменение числа афтершоков во времени после сильных землетрясений 1969, 1973, 1994 гг. представлено на рис. 3.4. Толчки подсчитывались каждые 12 час (первые 10 сут), а в последующие дни промежутки времени подсчета толчков удлинялись, но на график наносились значения, приведенные к 12 час. Видно, что для всех случаев данные о числе афтершоков аппроксимируются прямолинейной зависимостью вида

$$\text{Lg } N = \text{lg } N(\text{lg } T).$$

Для землетрясения 4(5) октября 1994 г. спадание числа землетрясений аппроксимируется уравнением

$$N = 43.6 \cdot T^{-1.05} \quad (M > 4.0).$$

Подобный характер спададения числа афтершоков отмечается и для землетрясений 11.08.1969 г. и 17.06.1973 г.:

$$N = 14.1 \cdot T^{-0.893} \quad (M > 4.5);$$

$$N = 21.5 \cdot T^{-0.938} \quad (M > 4.0),$$

но для землетрясения 4 (5) октября 1994 г. отмечается значительно большее число афтершоков за первые сутки и их быстрое спадание во времени по сравнению с землетрясениями 1969 и 1973 гг. (рис. 3.4).

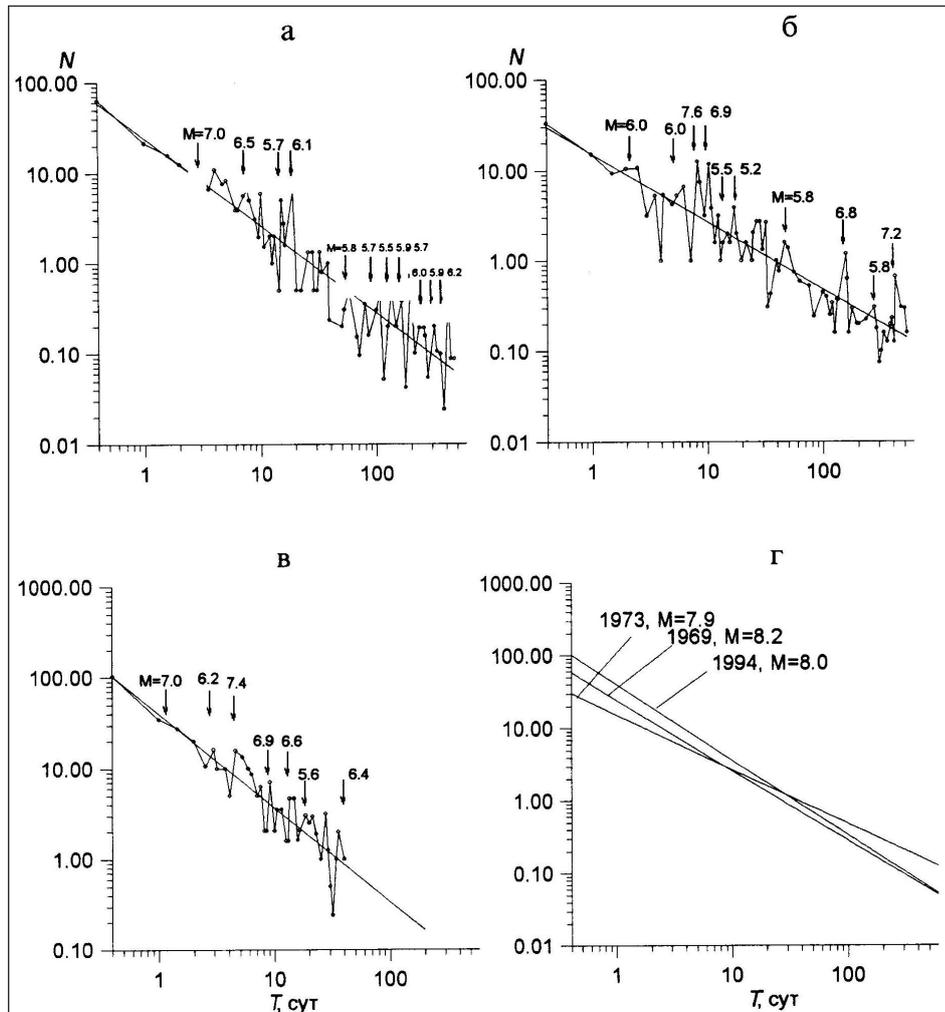


Рис. 3.4. Изменение числа афтершоков во времени после сильных землетрясений а - 1969 г., $M = 8.2$; б - 1973 г., $M = 7.9$; в - 1994 г., $M = 8.0$; г - соответствующие регрессии.

Анализ графиков, приведенных на рис. 3.4, показывает следующее:

- если число афтершоков ниже среднего уровня спададения, определенного уравнениями вида

$$\lg N = \lg N_0 - \beta \lg T,$$

то можно считать, что наступило относительное затишье;

- в большинстве случаев после относительного затишья происходят крупные афтершоки. В некоторых случаях после относительного затишья вместо крупного афтершока происходит вспышка сейсмической активности в виде роя землетрясений.

Глава 4

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ И САХАЛИНЕ

Макросейсмические наблюдения после Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 года были проведены на Южных Курилах, а также на остальных Курильских островах и на Сахалине сотрудниками СОМСП, ИМГиГ ДВО РАН и японскими сейсмологами на Японских островах. Независимое детальное обследование зданий и сооружений различной конструкции проведено группой сотрудников ЦНИИСК в пос. Малокурильское и Крабово-заводское (см. главу 5). В.М. Кайстренко [Кайстренко, 1997] собрал данные о сотрясениях водной поверхности, которым подвергались суда, находившиеся в районе Южных Курил.

Далее приведены результаты макросейсмического обследования проявлений Шикотанского землетрясения 1994 г. на суше и на море.

Макросейсмический эффект на островах

Шикотанское землетрясение ощущалось на территории всех Курильских островов, в том числе в г. Северо-Курильск на о. Парамушир (2-3 балла при расстоянии $\Delta = 1040$ км), Южного и Среднего Сахалина вплоть до г. Александровск-Сахалинский (около 2-х баллов при $\Delta = 900$ км), а также на территории о-вов Хоккайдо (до 7-8 баллов) и Хонсю (до 5-6 баллов) в Японии. Максимальный макросейсмический эффект (9 баллов и более) отмечен на северо-востоке о. Шикотан, который расположен в непосредственной близости к очаговой зоне землетрясения.

Подземные толчки такой энергии в районе Южных Курил уже происходили ранее, в частности, 11 августа 1969 года ($\varphi = 43.58^\circ$ с.ш.; $\lambda = 147.82^\circ$ в.д.; $H = 40$ км, $MLH = 8.2$, пос. Малокурильское - 6-7 баллов при $\Delta = 100$ км). Расстояние между эпицентрами землетрясений 4 октября 1994 г. и 11 августа 1969 г. составляет всего лишь 45 км. Однако, макросейсмический эффект в 9 баллов на о. Шикотан был отмечен впервые, по крайней мере, с 1946 г. Этот факт отмечали многие жители, пережившие землетрясение на о. Шикотан, рассказывая, что сотрясения такой силы они ощущали впервые за время своей жизни на острове (от 10 до 40 лет). В соответствии с графиками повторяемости сотрясений, построенными для Малокурильского и Южно-Курильска по данным макросейсмических наблюдений за 1901 - 1994 гг., 9-балльные сотрясения могут наблюдаться в пос. Малокурильское с интервалом около 170 лет, а в г. Южно-Курильск - 300 лет.

Таким образом, хотя на о. Шикотан в 1994 году впервые был зафиксирован макросейсмический эффект в 9 баллов, повторяемость таких событий достаточно высока, и они, вероятно, не раз происходили здесь в прошлом, но не были зарегистрированы.

Для изучения последствий Шикотанского землетрясения на Южных Курилах была организована экспедиция сотрудников ИМГиГ ДВО РАН, которая прибыла теплоходом на о-ва Итуруп, Кунашир и Шикотан соответственно 16, 17, 18 октября. Столь поздний выезд был связан с рядом объективных причин, включая финансовые и транспортные, а также со штормовой погодой в районе южного Сахалина и Курильских островов. Тем не менее, участникам работ за период с 17-19 по 31 октября удалось собрать макросейсмические данные по 45 населенным пунктам Южных Курил (включая погранзаставы и военные городки). Было опрошено более 1000 жителей этих островов. Сбор макросейсмических данных на островах Малой Курильской гряды (Полонского, Зеленый, Танфильева, Анучина, Юрий) и частично на севере Кунашира и юге Итурупа был произведен во время кратковременных посадок арендованного вертолета. Передвижение на о-вах Шикотан,

Кунашир и Итуруп осуществлялось на автотранспорте и пешком. Кроме того, по г. Южно-Курильск, пос. Малокурильское и Крабозаводское и некоторым погранзаставам дополнительные сведения были взяты из актов обследования повреждения зданий и сооружений во время Шикотанского землетрясения. Сбор макросейсмических данных о проявлении землетрясения на о-вах Итуруп, Кунашир и Шикотан был продолжен в ноябре-декабре 1994 г. сотрудниками сейсмических станций, ими же осуществлялся сбор данных об ощущаемости афтершоков.

На Сахалине сбор макросейсмических данных был начат на второй день после землетрясения и проведен по шести маршрутам: 1) 6 октября: Южно-Сахалинск - Евстафьево - Корсаков - Охотское - Южно-Сахалинск; 2) 7-8 октября: Южно-Сахалинск - Поронайск - Южно-Сахалинск, 3) 11-13 октября: Южно-Сахалинск - Шебунино - Углегорск - Южно-Сахалинск; 4) 19 октября: Южно-Сахалинск - Пятиречье - Анива - Таранай - Песчанское - Восточка - Южно-Сахалинск; 5) 20 октября: Южно-Сахалинск - Синегорск - Южно-Сахалинск; 6) 26-29 октября: Южно-Сахалинск - Тымовское - Александровск-Сахалинский - Тымовское - Южно-Сахалинск.

Детальный сбор макросейсмических данных по городу Южно-Сахалинск был произведен в течение 6-15 октября. В целом было опрошено более 2000 жителей из 102 населенных пунктов Сахалина. Столь подробное изучение макросейсмического эффекта на Сахалине от землетрясений в южной части Курильской гряды произведено впервые.

Макросейсмические данные для Японских островов имеются для 75-ти населенных пунктов. Для представления интенсивности сотрясений в едином макросейсмическом балле было использовано приближенное соответствие шкал интенсивности JMA и MSK-64: I (по JMA) – 1-2 балла; II – 3 балла, III – 4-5 баллов, IV – 6 баллов, V – 7-8 баллов, VI – 9 баллов.

Обработка собранных макросейсмических данных произведена на основе модифицированной сейсмической шкалы MMSK-82 [Ершов, Шебалин, 1984]. В соответствии с этой шкалой были документированы макросейсмические данные о реакции людей, зданий и сооружений, предметов быта, элементов грунта и рельефа. При этом использовались признаки повреждения зданий как без антисейсмических мероприятий (типы А1, А2, Б и В), так и с антисейсмическими мероприятиями, т.е. стандартных зданий всех типов с антисейсмическими мероприятиями для расчетной интенсивности 7, 8 и 9 баллов (типы С7, С8 и С9 соответственно).

Перечень населенных пунктов Сахалина, Курильских и Японских островов с указанием интенсивности наблюдаемых сотрясений по единой макросейсмической шкале (MMSK-84 или MSK-64) и расстояния до инструментального эпицентра приведен в таблице 4.1. Территориальное распределение интенсивности показано на рис. 4.1, отдельно для о. Шикотан и Японских островов - на врезках (б, в) к этому же рисунку. Номера пунктов на рис. 4.1 и в табл. 4.1 соответствуют друг другу.

Для Шикотанского землетрясения 4 октября 1994 г. были получены следующие уравнения макросейсмического поля [Оскорбин и др., 2001]:

$$I_1 \text{ (балл)} = 1.5 \text{ MLN} - 6.04(\pm 0.12) \lg R_1 \text{ (км)} + 7.69(\pm 0.31), \sigma_1 = \pm 0.5, \quad (3)$$

(Сахалин + Курилы),

$$I_1 \text{ (балл)} = 1.5 \text{ MLN} - 4.88(\pm 0.31) \lg R_1 \text{ (км)} + 5.40(+0.65), \sigma_1 = \pm 0.6, \quad (4)$$

(Курилы),

$$I_1 \text{ (балл)} = 1.5 \text{ MLN} - 4.88(\pm 0.64) \lg R_1 \text{ (км)} + 4.4(+0.77), \sigma_1 = \pm 0.4, \quad (5)$$

(Сахалин).

По этим уравнениям были рассчитаны интенсивность в эпицентре I_0 и радиусы теоретических круговых изосейст (ΔI_1). Расчетные интенсивности I_0 по уравнениям (3-5) равны 11.3, 10.6 и 9.7 баллов, соответственно. Значения (ΔI_1) по этим уравнениям, вместе со среднеарифметическими наблюдаемыми значениями расстояний до инструментального

эпицентра (без пунктов на Японских островах) приведены в таблице 2 для каждого балла. Расчетные изосейсты по уравнениям (4-5) показаны на рис. 4.1.

Также определены параметры теоретических изосейст эллипсовидной формы на основе данных о предполагаемых размерах очага землетрясения. Длины короткой (K_i) и длинной (D_i) полуосей последующих изосейст вычислялись по формулам:

$$I_i - I_{i-1} \approx S \lg \frac{D_{i-1}}{D_i}, \quad I_i - I_{i-1} \approx S \lg \frac{K_{i-1}}{K_i}, \quad (6)$$

где $S = 4.5$, согласно уравнению [Оскорбин и др., 1977], и $i = 10, 9, \dots, 2$. Значения (ΔI_i) по (6) помещены в табл. 4.2, а сами изосейсты изображены на рис. 4.1, включая врезку для Японских островов. В этой же таблице помещены также величины (ΔI_i), вычисленные для $MLH = 8.1$ и $h = 26$ км по уравнениям макросейсмического поля сахалинских землетрясений [Оскорбин, 1977; Оскорбин, Бобков, 1977]:

$$I_i \text{ (балл)} = 1.6 MLH - 4.3 \lg R_i \text{ (км)} + 3.3. \quad (7)$$

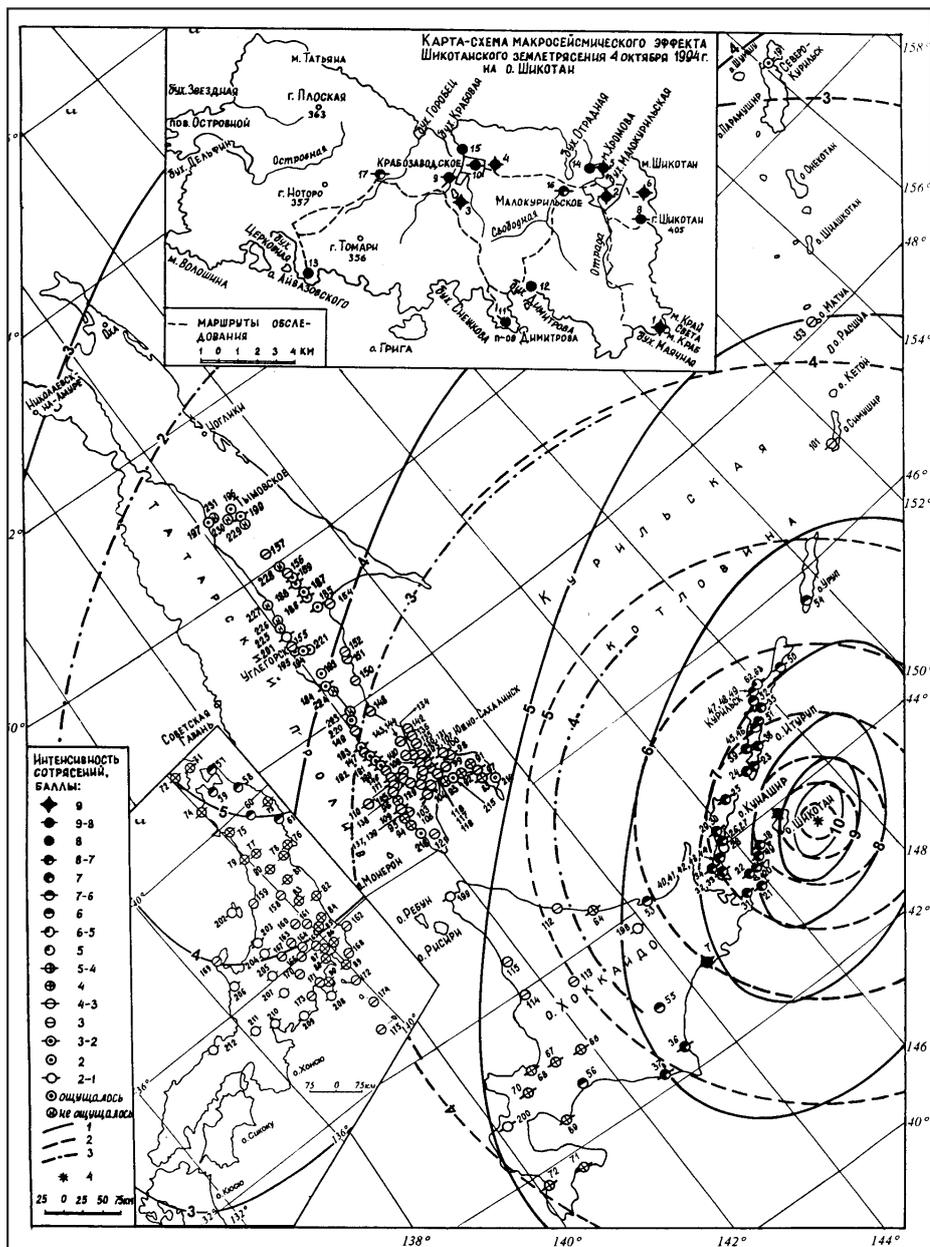


Рис. 4.1. Поверхностный эффект землетрясения 4 (5) октября 1994 г.:

1 – расчетные эллипсовидные изосейсты по уравнениям (6); 2 – расчетные круговые изосейсты по уравнению (4); 3 – то же по уравнению (5); 4 – инструментальный эпицентр землетрясения.

Таблица 4.1. Макросейсмический эффект Шикотанского землетрясения 4 (5) октября 1994 г. в 13 ч 23 мин (MLH = 8.1).

NN	Пункты проявления	Δ, км
1	2	3
9 баллов		
1	мыс Краб, о. Шикотан	47
2	Малокурильское, о. Шикотан	49
3	Крабозаводское, кв. Юбилейный, о. Шикотан	49
4	Крабозаводское, кв. Новый, о. Шикотан	51
5	мыс Хромова, Шикотан	52
6	Севернее горы Шикотан, о. Шикотан	54
7	Кусиро, о. Хоккайдо	241
9-8 баллов		
8	вершина горы Шикотан, о. Шикотан	48
9	ю-з берег бухты Крабовая, о. Шикотан	51
10	Крабозаводское, о. Шикотан	51
8 баллов		
11	п-ов Димитрова, о. Шикотан	44
12	бухта Димитрова, о. Шикотан	46
13	мыс Церковный, о. Шикотан	49
14	бухта Хромова, о. Шикотан	53
15	СВ берег бухты Крабовая, о. Шикотан	53
8-7 баллов		
16	МТФ Отрадное, о. Шикотан	52
17	МТФ Крабозаводское, о. Шикотан	53
18	о. Полонского	77
19	о. Зеленый	101
20	о. Юрий	102
21	о. Анучина	103
22	о. Танфильева	111
23	Рока, о. Итуруп	113
24	Березовка, о. Итуруп	114
25	Урвитово, о. Кунашир	121
26	Отрада, о. Кунашир	123
27	Южно-Курильск, о. Кунашир	124
28	Горячий пляж, о. Кунашир	128
29	Лагунное, пос., о. Кунашир	130
30	Лагунное, берег, о. Кунашир	132
31	Немуро, о. Хоккайдо	135
32	Головнино, о. Кунашир	143
33	Дубовое, о. Кунашир	144
34	Алехино, о. Кунашир	145
35	Горячие ключи, о. Итуруп	167
36	Хироо, о. Хоккайдо	350
37	Уракава, о. Хоккайдо	396
7 баллов		
38	Йодный, о. Итуруп	126
39	Лесозаводский, о. Итуруп	130
40	Менделеево, о. Кунашир	135
41	Серноводск, о. Кунашир	136
42	Белкино, о. Кунашир	137
43	Третьяково, о. Кунашир	140
44	Данилово, о. Кунашир	142
7-6 баллов		
45	Шуми-городок, о. Итуруп	157

46	Горное, о. Итуруп	157
47	Рыбоводный, о. Итуруп	193
48	Берег озера Лебединое, о. Итуруп	193
49	Курильск, о. Итуруп	194
50	Сентябрьское, о. Итуруп	216
6 баллов		
51	Буревестник, о. Итуруп	157
52	Рыбаки, о. Итуруп	190
53	Абасири, о. Хоккайдо	245
54	юг о. Урупа	298
55	Обихиро, о. Хоккайдо	334
56	Томакомаи, о. Хоккайдо	475
57	Муцу, о. Хонсю	556
58	Хатинохе, о. Хонсю	591
59	Аомори, о. Хонсю	614
60	Мориока, о. Хонсю	671
61	Офунато, о. Хонсю	680
6-5 баллов		
62	Китовый, о. Итуруп	197
63	Рейдово, о. Итуруп	202
5-4 балла		
64	Момбецу, о. Хоккайдо	332
65	Новиково, о. Сахалин	439
66	Ивамидзава, о. Хоккайдо	450
67	Саппоро, о. Хоккайдо	488
68	Отару, о. Хоккайдо	508
69	Муроран, о. Хоккайдо	529
70	Кутян, о. Хоккайдо	540
71	Хакодате, о. Хоккайдо	565
72	Эсаси, о. Хоккайдо	611
73	Мияко, о. Хонсю	616
74	Фукаура, о. Хонсю	698
75	Акита, о. Хонсю	731
76	Исиномаки, о. Хонсю	757
77	Синдзе, о. Хонсю	788
78	Сендай, о. Хонсю	794
79	Саката, о. Хонсю	806
80	Ямагата, о. Хонсю	826
81	Фукусима, о. Хонсю	860
82	Онахама, о. Хонсю	910
83	Сиракава, о. Хонсю	930
84	Мито, о. Хонсю	983
85	Какиока, о. Хонсю	1011
86	Тиба, о. Хонсю	1061
87	Токио, о. Хонсю	1072
88	Иокогама, о. Хонсю	1106
89	Татейма, о. Хонсю	1142
90	Адзиро, о. Хонсю	1176
4 балла		
91	Пихтовый,	460
92	Озерский, о. Сахалин	471
93	Корсаков, о. Сахалин	492
94	Шебунино, о. Сахалин	533
95	Горнозаводск, о. Сахалин	543
96	Ясноморский, о. Сахалин	553

Еще во многих населенных пунктах южной части о. Сахалин и о. Хоккайдо Шикотанское землетрясение ощущалось с интенсивностью 2-3 балла.

Из таблицы 4.2 и рис. 4.1 следует, что для $I > 5$ баллов средние наблюдаемые расстояния удовлетворительно соответствуют расчетным расстояниям по уравнениям (2) и (4) для пунктов на Курильских островах, а также величинам коротких полуосей по уравнениям (6) и (7) сахалинских землетрясений. Для $I = 3$ и 2 балла наблюдается та же картина, если сравнение проводить по уравнениям (3) и (5). С другой стороны, для всех I значения $\Delta(I_i)$ по (4) и (6) практически совпадают со значениями по (5), но со сдвигом I на 1 балл, т.е. $\Delta(I_i)$ для Сахалина совпадает с $\Delta(I_i - 1)$ для Курильских островов. Этот результат, по-видимому, связан с влиянием трассы очаг - Сахалин на распространение сейсмических волн высоких частот либо с различием в очаговом излучении в направлениях вдоль и поперек Курильской островной дуги при Шикотанском землетрясении.

Таблица 4.2. Расчетные и наблюдаемые значения радиусов круговых изосейст (ΔI_i), км для Шикотанского землетрясения 4 (5) октября 1994 г.

Баллы I_i	Средние наблюдаемые	Расчетные по формулам						
		(2)	(3)	(4)	(5)	(6, D_i)	(6, K_i)	(7)
10	-	15	34	24-	-	53	30	12
9	50	43	57	50	25	88	51	41
8	50	80	87	87	51	146	85	79
7	135	137	131	143	88	243	142	140
6	215	231	194	231	146	406	237	242
5	-	387	285	372	236	677	395	415
4	509	647	418	597	379	1130	660	709
3	571	1080	613	958	609	1885	1100	1210
2	743	1800	898	1535	976	3140	1835	2070

Макросейсмический эффект на водной поверхности

Колебания морского дна (как верхней границы земной коры) вследствие прихода сейсмических волн из очага землетрясения вызывают волны давления, которые распространяются в водной толще (как в жидком слое) и достигают ее поверхности. Волновая картина сейсмических волн на поверхности воды (моря, океана) оказывается более простой, чем на поверхности морского дна. Упрощение волновой картины связано с тем, что жидкий слой отсеивает поперечные волны и обменные волны различных типов (как поперечные на последнем участке пути) в водной толще. Поверхность океана (как верхняя граница жидкого слоя) обладает хорошими отражающими свойствами для сейсмических волн. Это благоприятствует образованию кратных сейсмических волн, испытавших одно или несколько отражений в слое. При определенных условиях может происходить интерференция падающей снизу на поверхность воды сейсмической волны с отраженной от поверхности волной. При одинаковых эпицентральных расстояниях направление прихода сейсмических волн к поверхности воды всегда ближе к вертикальному, чем на суше. Поэтому на судах землетрясения ощущаются обычно в виде вертикальных толчков. Вместе с тем, суда подвергаются колебаниям от всех типов сейсмических волн, составляющих волновую картину в конкретном месте водной поверхности.

В таблице 4.3 дано краткое описание макросейсмического эффекта Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. на судах [Кайстренко, 1997], и приведена оценка интенсивности моретрясения по «шкале моретрясений» согласно [Саваренский, Кирнос, 1995]. Географическое расположение судов показано на рис. 4.2. Номера судов в табл. 4.3

и на рис. 4.2 соответствуют друг другу. Эпицентральное расстояние Δ указано от инструментального эпицентра землетрясения.

Как следует из табл. 4.3, практически на всех судах отмечались вертикальные удары по корпусу, временами трясшие судно в течение 1-2 минут. В некоторых случаях воздействие выразилось как короткопериодное излучение. очевидцы на многих судах отмечали также как бы «кипение» воды, что связано с кавитацией - образованием разрывов сплошности воды в результате местного понижения давления.

Таблица 4.3. Макросейсмические данные о моретрясениях во время Шикотанского землетрясения 4 (5) октября 1994 г. [Кайстренко, 1997].

№№ на рис. 4.2	Название, вид судна	Δ , км	Характеристика моретрясения
1	2	3	4
5-6 баллов			
1	рыболовное «Пелагиаль»	19	Судно шло с тралом, при постановке последнего ощущались сильные толчки. Судно сильно трясло, как при попадании на камни. От тряски электролампочки побились, 2 зеркала и несколько плафонов разлетелись, треснула масляная труба на главном двигателе.
2	«Атласово»	27	Тряска была очень сильной, судно подбрасывало, как на камнях. Боялись, что корабль развалится. Вода бурлила рябью и пузырями. До этого был штиль, потом - снова штиль.
3	СТР «Валдайск»	28	Вдруг ощутили резко водные вертикальные толчки. Судно испытывало удары о корпус, сильную тряску, как будто заехали на камни или сеть намотало на винт. С мостика стали падать приборы, отключилась электромурфта, погасло промышленное освещение, вышла из строя гидроакустическая система, гирокомпас, погасли ходовые огни. Однако серьезных повреждений не было.
4	корабль «Неман»	53	Судно находилось у причала в бухте Малокуруильская. От землетрясения ощущались удары по днищу; корабль подпрыгивал, вода «кипела», на поверхности ее появилась рябь типа сулоя.
5	пограничный корабль 691	53	Корабль находился в бухте Малокуруильской и, будучи привязан, подпрыгивал, стоять на ногах было трудно. Начали сниматься для выхода в море, но якорную цепь заклинило.
6	транспортный катер 217 «танковоз»		Катер был пришвартован в бухте Крабовой. Танковоз трясло и било как молотком. При свете было хорошо видно, как вода бурлит между танковозом и плавбазой «Остров Шикотан» и на поверхности наблюдается нечто вроде гейзеров с радугой.
7	рефрижератор «Невельской»	54	Пока судно находилось в бухте Крабовой, его кидало и трясло примерно 40 сек (очевидец смотрел по часам); было такое ощущение, что судно вот-вот развалится. На судне вырубил электропитание, лебедки и вентиляторы поломаны. Вода в бухте прыгала фонтанчиками от вибрации.
8	РС «Баер»	54	Пока судно находилось в бухте Крабовой, его било днищем о дно (осадка судна 3 м).
9	СТР «Сабурск»	67	Была нарушена герметичность труб высокого давления. Весь подводный комплекс ПВУ был выведен из строя, что повлекло прогрессирующую водотечность.
5 баллов			
10	ПАТМ «Капитан Масловец»	21	Примерно за 10 минут до начала землетрясения на море был полнейший штиль. Потом внезапно возникла сильная вибрация судна; самые сильные толчки наблюдались в течение первых 3-5 минут. От сотрясения остановились оба главных двигателя, т.к. сработала автоматика. Со своих штатных мест сорвались судовые часы на ходовом мостике, плафоны с фонарей освещения.

11	СТР «Сабурово»	29	До землетрясения на море был штиль. Наблюдалась сильная вибрация корпуса судна. Ощущалась сильная тряска, как будто судно выскочило на мель. С верхней палубы было видно «кипение» воды. Повреждений судна не обнаружено.
12	СТР «Сердеж»	48	Ощущались сильные подводные толчки порядка полминуты. До и после толчков из глубины шел низкий гул. Главный и вспомогательный двигатели сдвинулись с фундаментов, что отразилось в виде огромной вибрации при их работе. Люстры сильно раскачивались. В провизионной кладовой обнаружен бой банок с соками и компотами.
13	плавбаза «Рижское взморье»	вост. о. Шикотан	На море был штиль, погода спокойная. Сначала началась вибрация, которая стала усиливаться так, что трубы стали «ходуним ходить», начала замыкать проводка. Было ощущение, что судно пошло по камням; трудно было устоять на ногах. Вода «кипела» фонтанчиками с каплями.
14	плавбаза «Советское Заполярье»	вост. о. Шикотан	Плавбаза находилась вблизи плавбазы «Рижское взморье». Лопнули аммиачные трубы около жилых отсеков.
4-5 баллов			
15	судно «Анива»	20	Появились сильная вибрация корпуса судна, которая осталась и после полной остановки судна. Поверхность воды во время землетрясения – небольшая зыбь с юго-востока, волнение не изменилось. Повреждений на судне не было, только упал со своего штатного места телевизор.
16	СТР «Саломатинск»	82	Вдруг возник гул с нарастающей по силе вибрацией. На поверхности вода подпрыгивала с отрывом капель. Тряской и ударами сорвало три болта с фундамента.
17	СТР «Катаево»	85	Началась сильнейшая вибрация корпуса, продолжавшаяся примерно 1-2 мин (как по гребенке проехали). Однако, судно не качалось.
18	ПСКР «Чукотка»	125	Перед землетрясением море было обычным. Корабль при тряске поднимало вверх, а при ее усилении было трудно держаться на ногах. От ударов остановился дизель-генератор, корабль обесточился. На поверхности воды возникла зыбь высотой до 2 метров.
4-балла			
19	плавбаза «Константин Суханов»	131	Во время моретрясения была повреждена забортная арматура кингстонов.
4 – балла			
20	теплоход «Ольга Андровская»	150	Судно испытывало сильное содрогание и вибрацию корпуса от гидравлических ударов в течение 2-х минут. Капитан судна и все спавшие при ударах сразу проснулись. Судно тряслось и двигалось прыжками с боковым креном до 3°. Вода на поверхности «закипела», потом быстро «улеглась». Повреждений судна и механизмов не обнаружено.
4-3 балла			
21	ПСКР 914	102	Судно шло со скоростью 30 узлов. Начались и стали усиливаться вибрация, удары, похожие на заклинивание главного двигателя. Судно не останавливалось.
22	СТР «Сурское»	125	При первом толчке судно стояло на рейде. Запустили главный двигатель и через 2 минуты сильно трянуло. Трясло около 10-15 сек. Море было тихое до землетрясения, во время него и после.
23	ПСКР 86	150	Судно стояло в дрейфе. Началась вибрация, сильная около 1 сек. Ощущение - как двигатель пошел в разнос. Во время тряски начались колебания (нос-корма с периодом около 1 сек), которые прекратились все с «тряской». Вода на поверхности как бы «кипела».

По сообщениям с других судов, находившихся в зоне проявления моретрясения, оценить его интенсивность не удалось.

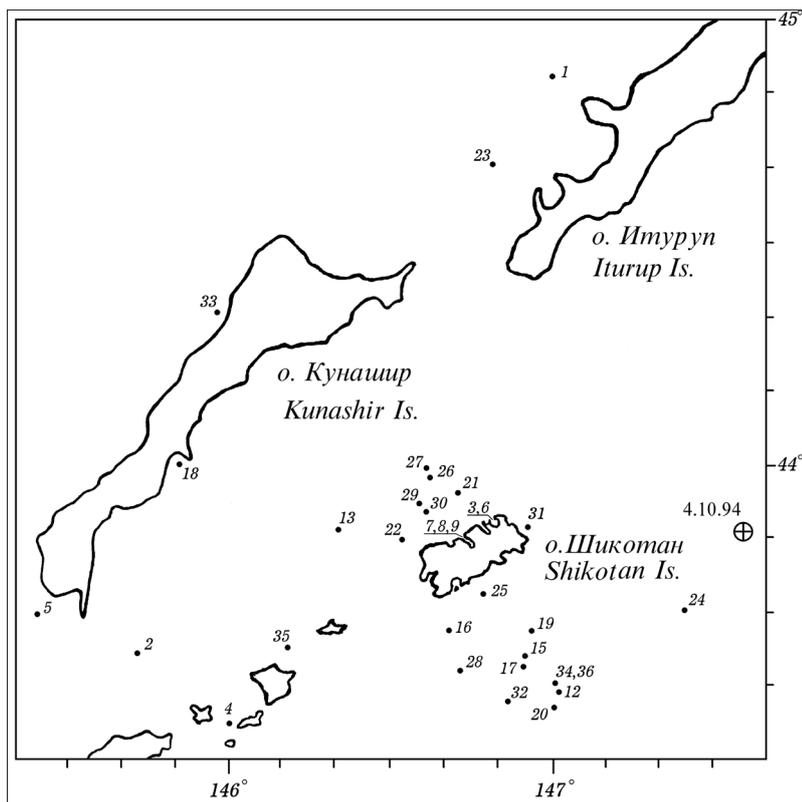


Рис. 4.2. Расположение судов и интенсивность моретрясения на них во время Шикотанского землетрясения 4 (5) октября 1994 г. Номера судов соответствуют номерам в табл. 4.3.

Глава 5

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 4(5) ОКТЯБРЯ 1994 г.

Из островов, подвергшихся землетрясению, ближе всего к эпицентру был расположен о. Шикотан, на котором находятся 2 населенных пункта – пос. Малокурильское (3 800 жителей) и с. Крабовоздовское (2 700 жителей). Эти населенные пункты пострадали от землетрясения в наибольшей степени. Оба населенных пункта находятся в северной части острова, расстояние между ними - 7 км.

Структура застройки о. Шикотан

Пос. Малокурильское и с. Крабовоздовское – сравнительно молодые населенные пункты. Они начали застраиваться в 1960-1963 гг. В планировочном отношении оба поселка можно разбить на две зоны: промышленную зону, состоящую из зданий и сооружений рыбоперерабатывающего завода, и жилую зону, состоящую из жилых домов и зданий культурно-бытового назначения.

В пос. Малокурильское и с. Крабовоздовское насчитывается 327 жилых домов, из которых 209 домов частного владения представляют собой одноэтажные деревянные здания со стенами из бруса и деревянными перекрытиями (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Типы и количество жилых зданий на о. Шикотан

Тип зданий	Этажность	Количество
Деревянные со стенами из бруса	1	209
Деревянные щитовые с утеплением из керамзита	1	47
Деревянные со стенами из бруса	1-2	30
Деревянные со стенами из бруса	2	10
Каменные со стенами из шлакоблоков и сборным перекрытием	2	25
Крупнопанельные (в военном гарнизоне)	3	6

Кроме того, в пос. Малокурильское и с. Крабовоздовском насчитывается более 50 зданий культурно-бытового назначения (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Типы и количество зданий культурно-бытового назначения на о. Шикотан

Конструктивное решение	Этажность	Количество
Деревянные со стенами из бруса, внутри оштукатуренные, фундаменты деревянные столбчатые с кирпичным заполнением (клуб, почта-телеграф-АТС, аптека, больницы, амбулатория, библиотека, детские сады, магазины)	1	22
Каменные со стенами из шлакоблоков 40х20х20 см с несущими стенами, перекрытиями из сборных железобетонных круглопустотных или ребристых плит (школы, котельные, склады)	1-2	8
Здание с неполным железобетонным каркасом и стенами из силикатного кирпича (административные здания, банно-прачечный комбинат, склады)	1-2-3	7
Железобетонный каркас с кирпичным заполнением (спортзалы, клуб, школы)	1	4
Здания со стенами из шлакоблоков с монолитным железобетонным перекрытием (ресторан, пекарня, складские помещения, клуб)	1-3	5

Деревянные со стенами из бруса с нижним железобетонным каркасом и ограждением из шлакоблоков (пожаросторожевая охрана, административные здания)	2	6
Монолитные (котельные)	1	3

Промышленные здания и сооружения рыбозаводов, как правило, построены в прибрежной зоне вблизи портовых и причальных сооружений, а жилые дома и здания культурно-бытового назначения - в основном на сопках, т.е. на территориях, характеризующихся крутыми склонами.

Остаточные явления в грунте

На о. Шикотан после землетрясения 4(5) октября 1994 г. отмечены два огромных сейсморазрыва, ориентированных строго на восток, к эпицентру. Глубина разрывов достигает 10-15 м, ширина – от 3 до 20 м, длина – до 250 м. Также наблюдались более мелкие многочисленные разрывы в грунте и на бетонных дорожках шириной до 5 см. Такие остаточные смещения дали основания полагать, что на о. Шикотан интенсивность землетрясения достигала 9 баллов и выше.

Характер и степень повреждений зданий на о. Шикотан

На характер и степень повреждений зданий оказало влияние несколько обстоятельств: отсутствие антисейсмических мероприятий, исчерпание эксплуатационных качеств, вследствие старения материалов (деревянные конструкции), низкое качество строительства.

Жилые деревянные щитовые здания с утеплением из керамзита барачного типа строились в начале 60-х годов в качестве временного жилья для рабочих, обрабатывающих рыбопродукты. Антисейсмических мер не принималось. Фундаменты ленточные, бетонные либо бетонированные деревянные стойки. Степень повреждения данных зданий – 3-4. Характерные повреждения щитовых домов следующие:

- *сквозные вертикальные и наклонные трещины в фундаменте шириной до 1 см;*
- *отрыв продольных стен от поперечных;*
- *вследствие перемещения фундаментов провал пола 1-го этажа, повреждения печей и разрушение дымовых труб;*
- *массовое обрушение штукатурки стен и потолка.*

Деревянные брусовые одноэтажные и двухэтажные дома 60-70-х годов постройки имели степень повреждения 2-3. В основном, это повреждения в фундаментах: сквозные трещины в ленточных и значительные перемещения в столбчатых деревянных - до 5-7 см. В вышележащих конструкциях - массовое обрушение штукатурки стен и потолка, просадка пола, трещины между продольными и поперечными стенами, повреждение печей и обрушение дымовых труб.

Основная причина повреждений в данных конструкциях – исчерпание несущей способности вследствие старения материала, так как во многих домах наблюдались сгнившие нижние венцы стен и стойки фундаментов. Характер и степень повреждения деревянных зданий социально-бытового назначения со стенами из бруса аналогичны таковым в жилых домах подобного типа. Часть двухэтажных жилых домов более поздней постройки (80-х годов) со стенами из шлакоблоков имеют монолитные ленточные фундаменты, сборные перекрытия и сейсмические пояса. Стены внутри оштукатурены по дражке. Степень повреждения таких домов – 2-3. В основном повреждены фундаменты (вертикальные и наклонные трещины), а также раскрылись швы между продольными и поперечными стенами. В нескольких домах наблюдалось разрушение в наружных углах. Часть домов такого

конструктивного решения построена в 70-х годах, когда антисейсмических мероприятий не проводилось. Степень повреждения – 3-4. Характерным повреждением этих зданий были диагональные трещины в простенках продольных самонесущих стен и горизонтальные трещины на уровне подоконников и перемычек. В поперечных несущих стенах наблюдались, как правило, сквозные диагональные трещины, перегородки получили значительные повреждения. Вторые этажи повреждены значительно сильнее первых.

Наиболее характерным повреждением крупнопанельных домов было раскрытие горизонтальных и вертикальных швов соединения панелей, а также обрушение в некоторых домах входных козырьков. Степень повреждения крупнопанельных домов – 1-2.

Сильные повреждения получили каменные здания со стенами из шлакоблоков или кирпича и неполным железобетонным каркасом (школа, ресторан, пекарня, пожарно-сторожевая охрана, банно-прачечный комбинат, склады рыбозавода). Степень повреждения таких зданий – 3-4. Характерными явились значительные повреждения фундаментов, диагональные трещины в простенках продольных несущих стен, диагональные трещины в поперечных самонесущих стенах и перегородках, частичное обрушение перегородок, плит перекрытий и торцевых стен.

Наиболее сильные повреждения получили каркасные здания с заполнением из кирпича или шлакоблоков. Почти все они имели степень повреждения 4-5. Так, двухэтажная школа в пос. Малокурильское была выполнена в монолитном железобетонном каркасе с кирпичным заполнением. Школа состояла из двух взаимно перпендикулярных отсеков - учебных классов и спортивного зала. В учебном отсеке наблюдались повреждения кирпичной кладки заполнения сквозными диагональными трещинами и частичное обрушение перегородок. В каркасе первого этажа имелись наклонные трещины до 0.5 мм в некоторых узлах сопряжения колонн и ригелей. В спортивном зале повреждены и частично обрушились самонесущие торцевые стены. Аналогичный характер носили повреждения одноэтажных каркасных зданий складских помещений и военного городка.

Здание клуба в пос. Малокурильское находилось в процессе строительства. Оно имело сложную конфигурацию в плане и состояло из нескольких отдельных отсеков. 1-я очередь здания (спортивный зал) была сдана в эксплуатацию в 1993 г. Фундаменты – ленточные, монолитные, несущие шлакоблочные стены, покрытие из железобетонных плит по стропильным фермам. После землетрясения 4(5) октября 1994 г. покрытие здания полностью обрушилось. Степень повреждения – 5. Остальная часть клуба частично имела перекрытия из сборных железобетонных плит, частично не была перекрыта. Степень повреждения здания – 4. Наблюдались отрыв навесных панелей от каркаса и обрушение некоторых плит перекрытий.

Характер и степень повреждений зданий на о-вах Кунашир и Итуруп

Остров Кунашир (население около 15 тыс. жителей) расположен в 230 км к западу от эпицентра землетрясения, интенсивность землетрясения составила 6-7 баллов, поэтому причиненный ущерб был значительно меньше, чем на о. Шикотан. В основном повреждения получили здания и сооружения в г. Южно-Курильск, пос. Отрада, Головнино, Дубовое.

Конструктивные решения жилых домов, зданий социально-культурного назначения (школы, детские сады, клубы, спортсооружения, банно-прачечные комбинаты) такие же, как на о. Шикотан. Наиболее высокую степень повреждений имеют щитовые жилые дома старой постройки на деревянных стойках, а также каркасные и железоблочные здания соцкультбыта. Однако, на о. Кунашир степень повреждений зданий и сооружений ниже на 1-2, чем на о. Шикотан.

На о. Итуруп землетрясение проявилось с интенсивностью 6 баллов. Из значительных повреждений в г. Курильск следует отметить обрушение дымовых труб и повреждение

печей, а также обрывы линий электропередач. В школах, детских садах, административных зданиях, других сооружениях соцкультбыта, которые конструктивно выполнены в виде каркаса с каменным заполнением или неполного каркаса с несущими наружными стенами (шлакоблок или кирпич), степень повреждения - 1, т.е. характерными повреждениями были трещины в швах между конструкциями.

В пос. Горячий Ключ, расположенном в 27 км юго-восточнее г. Курильск (примерно 140 км к северу от эпицентра землетрясения), разрушен военный госпиталь, несущими конструкциями которого был неполный каркас с наружными несущими кирпичными стенами. Госпиталь построен в пойменной части реки, и, по-видимому, на степень и характер разрушения в значительной мере повлияли грунтовые условия. В этом же поселке для военнослужащих построено более 20 трехэтажных крупнопанельных жилых зданий, степень повреждения которых – 1, характеризуется незначительными трещинами в швах между панелями.

Выводы

Обследования на Курильских островах зданий и сооружений, поврежденных землетрясением 4(5) октября 1994 г., а также инженерный анализ полученных данных дали значительный материал для совершенствования норм и правил сейсмостойкого строительства и обеспечения сейсмобезопасности зданий и сооружений. Полученные данные, в основном, подтвердили современные концепции сейсмостойкости сооружений, но выявили и ряд новых фактов.

Известные по прошлым землетрясениям факты и положения:

- Высокая сейсмостойкость крупнопанельных зданий.
- Достаточно высокая сейсмостойкость качественно запроектированных и построенных деревянных зданий.
- Низкая сейсмостойкость зданий со стенами из каменной и кирпичной кладки невысокого качества и комбинированных конструкций со смешанной несущей конструкцией: частично кирпичные стены и частично железобетонный каркас (неполный каркас), железобетонный каркас с каменным заполнителем. Усугубило ситуацию то, что здания были построены без соблюдения норм проектирования «Строительство в сейсмических районах».
- Существенное влияние локальных грунтовых условий на степень сейсмических разрушений. Пример: разрушение госпиталя в Горячих Ключах (о. Итуруп), построенного в пойменной зоне, где интенсивность сотрясений на площадке составляла, видимо, 9 баллов, в то время как на других площадках о. Итуруп интенсивность оценена в 6-7 баллов, т.е. на 2-3 балла ниже по сравнению с пойменной зоной.
- Значительные разрушения в целом, обусловленные плохим качеством проектов без учета требований сейсмических норм.

Относительно новые факты, обнаруженные при обследовании зданий после Шикотанского землетрясения:

- Сильные повреждения фундаментов, что вовсе не наблюдалось после Спитакского землетрясения (1988 г.) и редко наблюдалось при других землетрясениях.
- Обрушение козырьков крупнопанельных зданий.
- Очень сильные повреждения железобетонных каркасных зданий (сочетания каркаса с каменными несущими элементами).

Результаты анализа последствий Шикотанского землетрясения показали, что необходимо проведение дополнительных исследований по сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий, комбинированных стеновых конструкций с применением железобетонных элементов и местных строительных материалов (шлакоблоки, кирпичи и т.п.), сейсмостойкости фундаментов, оптимизации застройки, по совершенствованию методологии

оценки влияния грунтовых и гидрогеологических условий на сейсмические эффекты, т.е. методов сейсмического микрорайонирования.

Необходимо разработать программу «Сейсмобезопасность Курильских островов» как самостоятельную программу или как раздел более общей программы по развитию Курильских островов, включив в программу следующие разделы:

- Микросейсморайонирование Курильских островов.
- Разработка на основе детального инженерного анализа последствий землетрясений региональных норм по проектированию с учетом сейсмических, грунтовых и геологических условий Курил, а также местной базы строительных материалов.
- Разработка оптимальных конструктивных решений зданий и промышленных сооружений с учетом местных сейсмических и социально-экономических условий.
- Проектирование новых и восстановление и усиление существующих сооружений.
- Разработка новых эффективных, надежных и недорогих систем сейсмозащиты.
- Разработка рекомендаций по превентивным методам защиты людей во время стихийных бедствий.

Глава 6

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ (РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ)

В данной главе рассмотрены, главным образом, разрывные нарушения и деформации земной поверхности, образовавшиеся в результате землетрясения на о. Шикотан, ближайшем к эпицентру землетрясения острову. Шикотан - крупнейший остров Малой Курильской гряды (рис. 6.1), входящей в состав внешней Притихоокеанской сейсмотектонической зоны Курило-Камчатской островной дуги.

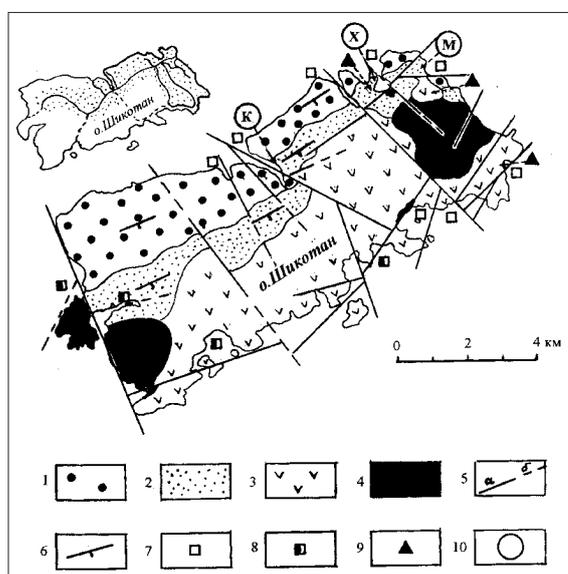


Рис. 6.1. Схема геологического строения о. Шикотан и местоположение основных сейсмогенных нарушений земной поверхности (в левой верхней части рисунка – основные маршруты автора (сплошные линии) и участников комплексной экспедиции (пунктир); крапом показаны районы, где проводились лишь визуальные наблюдения). 1 – матакотанская свита (кампан): туфобрекчии, туфоконгломераты, пиллоу-лавы; 2 – малокурильская свита (маастрихт): ритмичное чередование песчаников, алевролитов и аргиллитов с примесью туфового материала; 3 – нерасчлененные вулканогенные образования преимущественно базальтового состава (кампан-палеоцен); 4 – габброиды шикотанского интрузивного комплекса; 5 – разломы установленные (а) и предполагаемые (б); 6 – генерализованные элементы залегания пород; 7 – районы побережья, где зафиксированы опускания острова на 0.5-0.7 м; 8 - то же, что и 7 (по данным устных сообщений участников комплексной экспедиции – ИМГиГ, академических организаций Нижнего Новгорода и Новосибирска, жителей острова); 9 - районы проявления тектонических дислокаций; 10 – наиболее крупномасштабные оползни: К – Крабовозовский, Х – Хромовский, М – Малокурильский.

Остров сложен преимущественно вулканогенными образованиями, наиболее древние из которых (матакотанская свита) представлены мощной (не менее 1000 м) толщиной грубопереслаивающихся пиллоу-лав базальтового состава, туфобрекчий и туфоконгломератов кампанского возраста. С незначительным несогласием локального характера их перекрывают тонкослоистые, ритмично чередующиеся песчаники, алевролиты и аргиллиты, суммарная мощность которых не превышает 400 м. Эти стратифицированные толщи слагают северо-западную половину острова; на остальной же его части развиты исключительно магматические комплексы, среди которых выделяются вулканогенные образования зеленовской свиты.

Вдоль юго-восточного побережья по системе продольных разломов слои моноклинали приподняты, поэтому в береговых обрывах можно видеть матакотанские, а, возможно, и более древние магматические комплексы. Эта, в упрощенном виде охарактеризованная, структура острова осложнена большим числом разрывных нарушений, продольных и поперечных относительно простирания острова и слагающих его складчатых структур. Продольные разломы – преимущественно крутопадающие сбросы и взбросы с элементами сдвиговой компоненты смещений. Существуют представления, что часть продольных разломов является полого падающими на юго-восток надвигами [Парфенов и др., 1983]. Вертикальная составляющая смещений по продольным сбросам и взбросам достигает сотен метров. Поперечные разломы характеризуются значительной сдвиговой составляющей смещений. Так, для крупнейшего из них в бухте Крабовой видимое горизонтальное смещение достигает 2.5 км. Ряд разломов можно рассматривать как активные или потенциально активные, поскольку по ним устанавливаются смещения сравнительно недавно образованных форм рельефа.

Таковы, в самых общих чертах, особенности геологического строения о. Шикотан, которое оказалось осложненным после землетрясения проявлениями новейших дислокаций. Они исследовались совместно с сотрудниками экспедиции МЧС, в основном, с А.И. Кожуриным. Эти новейшие нарушения и деформации разделяются на два основных типа: тектонические и нетектонические. Тектонический тип нарушений, наблюдавшийся на земной поверхности острова, разделяется на региональные и локальные подтипы. Региональные тектонические деформации выразились в общем опускании острова на 0.5-0.7 м, что зафиксировано по изменению положения береговой линии в целом ряде пунктов побережья острова (рис. 6.1). К числу признаков, позволивших сделать такое заключение, относятся следующие:

- 1) визуально определяемое увеличение площади заливов и бухт;
- 2) затопление морской водой форм растительности явно субаэрального происхождения;
- 3) подпруживание приустьевых участков рек;
- 4) появление на берегах острова массы непроников, которые ранее таковыми не являлись даже при максимальных приливах;
- 5) увеличение уровня воды в бухте Малокурильской на 0.6 м выше прежнего (до землетрясения) по данным футшточных измерений.

Имеются также свидетельства местных жителей об опускании центральной и южной частей о. Кунашир, островов Анучина и Полонского [Ивашенко и др., 1996].

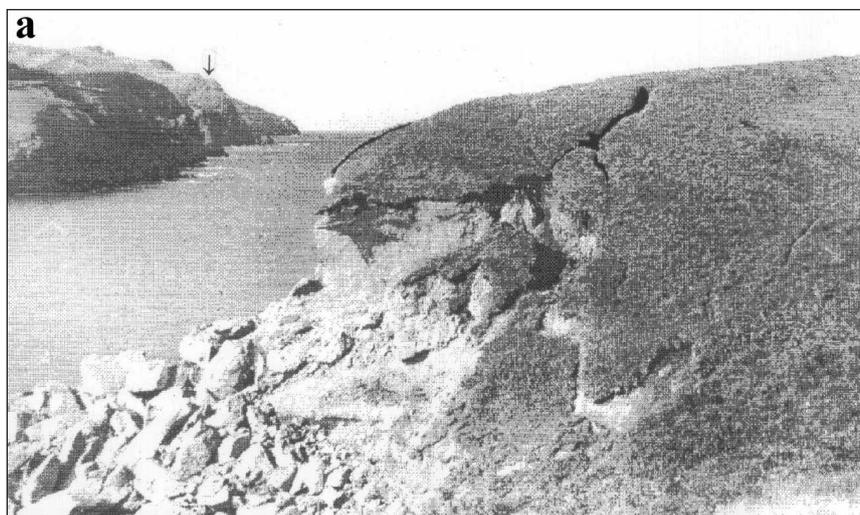
Локальные тектонические нарушения наблюдались в нескольких пунктах – в районе горы Шикотан, бухте Хромова (рис. 6.2), бухте Маячная и др. Это, как правило, незначительные по протяженности (десятки и редко первые сотни метров) линейные зоны шириной в несколько метров, в пределах которых устанавливаются микроразрывы самого различного генезиса - сбросы, взбросы, надвиги, трещины растяжения, сдвиги, провалы и т.п. Структурный рисунок, образованный этими микронарушениями, в ряде случаев указывает на сдвиговый характер смещений вдоль этих новообразованных разломов. Этому не противоречат данные геодезических спутниковых измерений (см. главу 7), в результате которых, например, в районе горы Шикотан установлено удлинение между фиксированными здесь в 1985 г. опорными реперами на 0.18 и 0.22 м. Следует отметить, что незначительная протяженность нарушений и отсутствие прямой связи с существовавшими ранее разломами позволяет лишь с большой долей условности рассматривать их как тектонические. С другой стороны, определение одних деформаций как тектонических, а других как нетектонических зачастую весьма условно. Учитывая маршрутный характер наблюдений (рис. 6.1), можно думать, что целый ряд тектонических нарушений остался незамеченным.



Рис. 6.2. Зона трещиноватости в районе бухты Хромова.

Нетектонические нарушения и деформации

Нетектонические нарушения и деформации проявились на поверхности острова Шикотан наиболее значительно. Трещины отрыва рыхлого грунта вдоль дорог и других искусственных насыпей, сплывы, оплывины, сползание дерна и растительного покрова на островершинных сопках и крутых склонах, скатывание отдельных глыб и камней распространены столь широко, что их просто невозможно показать на мелкомасштабной карте. Однако общее впечатление таково, что более всего эти явления свойственны северо-восточной части острова. Более крупномасштабные явления – очень крутые ($> 45^\circ$) оползни, обвалы скальных пород, осыпи и камнепады в основном приурочены к береговым обрывам и проявлены практически повсеместно. Наиболее крупные обвалы наблюдались автором в районах мысов Отрадного, Трезубец, Хромова, в бухтах Горобец, Отрадная, Крабовая, в районе береговых обрывов гор Шикотан и Крайняя и ряде других пунктов острова. Максимальные из наблюдавшихся обвалов характеризуются объемами обрушившегося материала около 10^4 м^3 . Часто можно было наблюдать, что благоприятные условия для образования скальных обвалов и очень крутых оползней появлялись при наличии первичных тектонических нарушений или трещин отдельности, субпараллельных простиранию береговых обрывов (рис. 6.3а). В ряде случаев наблюдалось растрескивание вершинных частей отдельных сопков (рис. 6.3б).



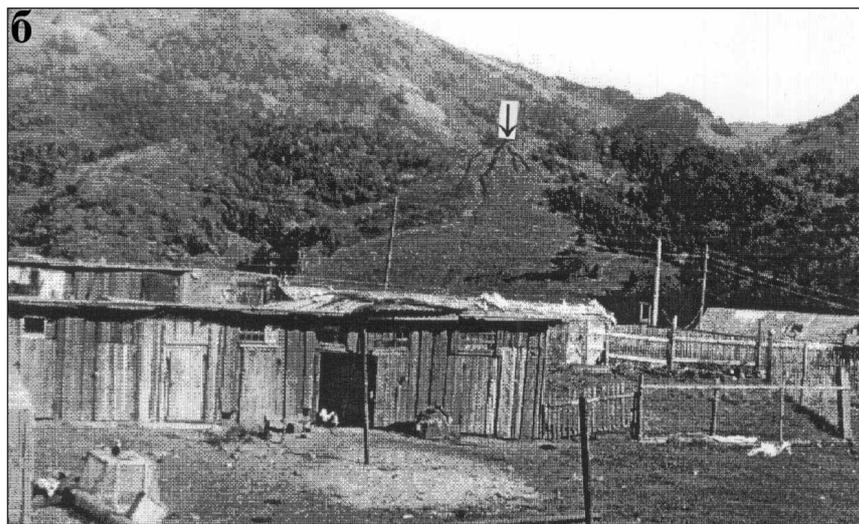


Рис. 6.3. Некоторые примеры мелкомасштабных нетектонических нарушений: а – трещины и обвалы в береговых обрывах бухты Крабовой (1 км к югу от мыса Анама); стрелкой показан древний крутой инсеквентный оползень; б – растрескивание вершинной части сопки, расположенной на восточных отрогах горы Шикотан.

Наиболее же значительные нарушения земной поверхности на о. Шикотан возникли в результате крупномасштабных оползней, которые, согласно терминологии А.Е. Шейдегера, относятся к категории катастрофических. Согласно классификации Ф.П. Саваренского [Щукин, 1960], по структуре оползневого склона и характеру поверхности смещения различаются консеквентные и инсеквентные оползни. Инсеквентные оползни, поверхность смещения которых имеет слоистую структуру, наблюдались большей частью в районах береговых обрывов. Для некоторых из них можно говорить об определенной стадийности их развития. Например, в Крабовозаводском оползне для одного из разрывов, осложняющих его строение, устанавливается, что первоначально он развивался как сброс (по современным зеркалам скольжения), а затем – как трещина отрыва (рис. 6.4а). Другой пример инсеквентного оползня можно видеть на мысе Хромова (рис. 6.4б).



Рис. 6.4. Инсеквентные оползни: а – одна из трещин инсеквентного Крабовозаводского оползня; б – инсеквентный оползень на мысе Хромова.

Малокурильский оползень наиболее крупный. Он породил среди жителей Шикотана массу самых невероятных и часто фантастических предположений: и о возможности раскола острова, и о возможности прорыва в сторону поселка вод океана вдоль образовавшейся трещины, и т.п. Первый же осмотр трещины с вертолета и ее пешее обследование в день

прилета (18 октября 1994 г.) привели к мысли, что наблюдаемое явление имеет локальный характер и, скорее всего, оползневую природу (рис. 6.5). Тем не менее, определенная доля сомнений оставалась, и поэтому на следующий день группа в составе М.И. Стрельцова, А.О. Бобкова, А.И. Кожурина и Л.С. Оскорбина, спустившись по «живому» камнепаду, провела обследование береговых обрывов в районе рассматриваемого нарушения. Удалось установить, и теперь уже со всей достоверностью, что это оползень.

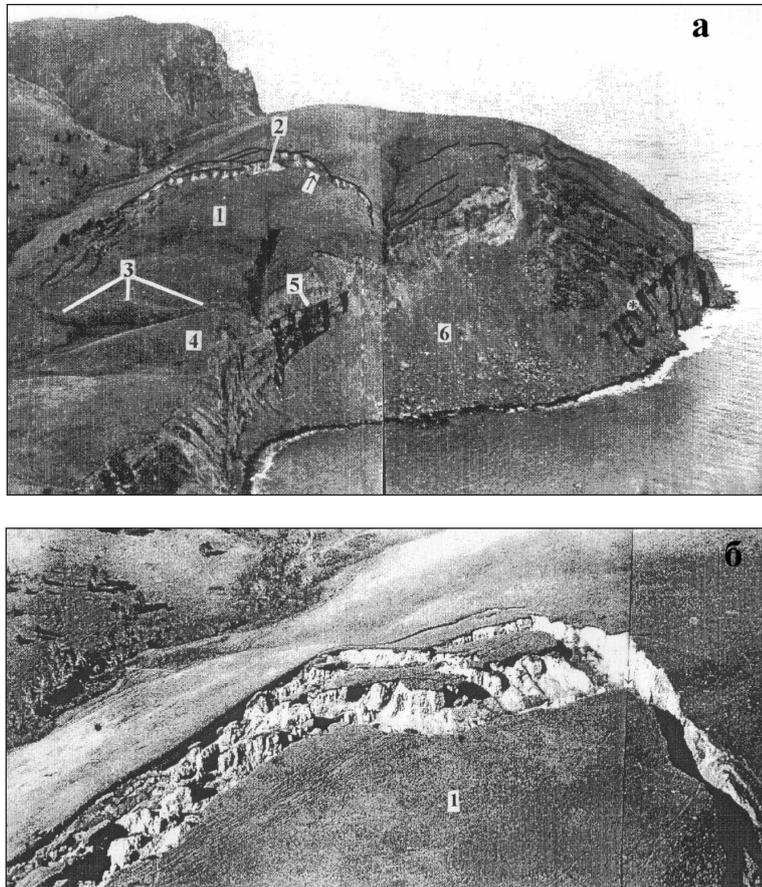
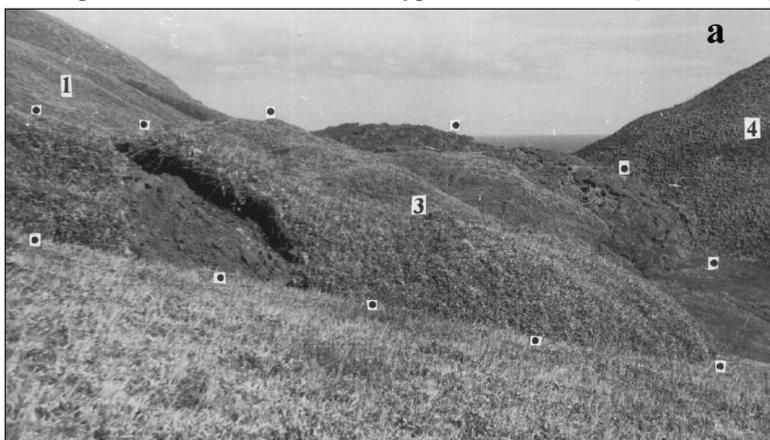


Рис. 6.5. Общий вид Малокурильского оползня: а - на этой фотографии (снимок с горы Шикотан) и других рисунках цифрами обозначены: 1 – тело оползня; 2 – трещина отрыва в тыловой части оползня; 3 – вал фронтальной части оползня, образовавшийся в результате смятия и дробления пород малокурильской свиты и сучивания дерна; 4 – положительная форма рельефа, послужившая препятствием для дальнейшего продвижения оползня; 5 – плоскость скольжения оползня, являющаяся одновременно водоупором (звездочкой отмечен водоупор на контакте матакотанской и малокурильской свит); 6 – свежая осыпь, образовавшаяся за счет обвала части оползневого тела. Стрелкой отмечено местоположение фрагментов тыловой трещины (рис. 6.6б и 6.6в); б - трещина отрыва в тыловой части Малокурильского оползня (снимок с вертолета).



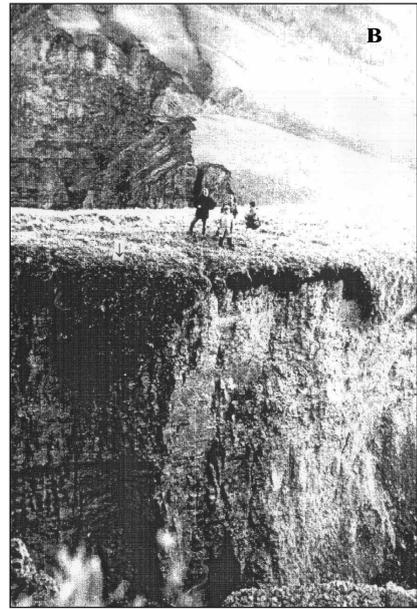
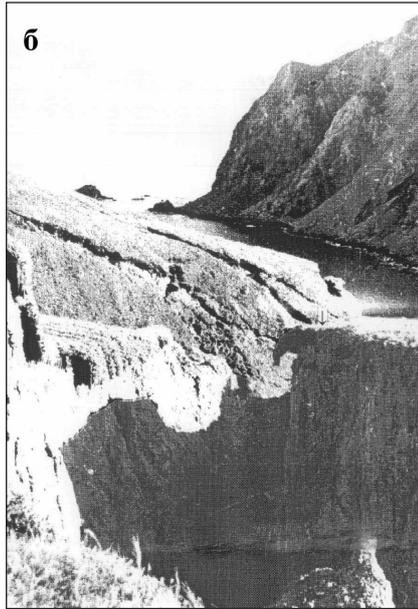


Рис. 6.6. Детали строения Малокурильского оползня: а - вал фронтальной части оползня, образовавшийся в результате смятия и дробления пород малокурильской свиты и сучивания дерна; б и в – фрагменты тыловой трещины.

Нижние горизонты флишоидно-переслаивающихся песчаников, алевролитов и аргиллитов малокурильской свиты, слагающие обрыв, остались совершенно ненарушенными, сохранившими первичное залегание. Соскальзывание оползневого блока произошло по одной из плоскостей напластования пород малокурильской свиты. Причем плоскость скольжения одновременно являлась и водоупором, вдоль которого циркуляция подземных вод имела место и ранее, задолго до землетрясения. В тыловой части оползня образовалась трещина отрыва серповидной формы протяженностью около 400 м; ее максимальная ширина – 35-40 м, видимая глубина – около 20-25 м. Восточное окончание трещины упирается в ложок, а далее наблюдается развитие на склоне нескольких менее масштабных трещин, разбивающих тело оползня на отдельные блоки. В западном направлении трещина постепенно сужается, расчленяется на ряд мелких трещин, одна из которых с заметной сдвиговой компонентой смещения постепенно переходит в вал сучивания дерна и дробления пород во фронтальной части оползня. Ширина вала и его высота постепенно увеличиваются в восточном направлении, достигая максимума в районе берегового обрыва. Положительная форма рельефа, обозначенная на рисунках и фотографиях под номером 4, явилась естественным препятствием, затормозившим дальнейшее продвижение тела оползня. Часть оползня, лишённая этого естественного препятствия, обрушилась, образовав вдоль берегового обрыва довольно внушительного размера осыпь (рис. 6.5а, 6.7). Ширина оползневого тела около 200-250 м, мощность - около 40 м, объем – около $15 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

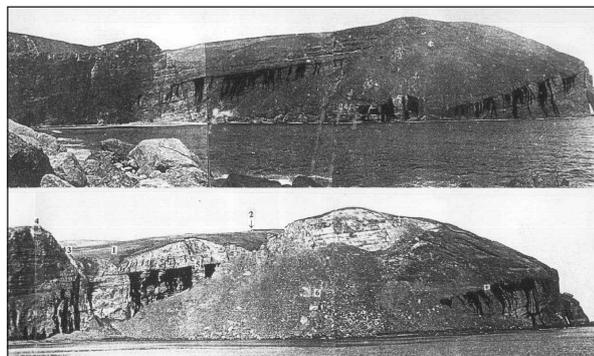


Рис. 6.7. Береговые обрывы в районе Малокурильского оползня до (вверху, снимок 1965 г.) и после (внизу, снимок 19 октября 1994 г.) Шикотанского землетрясения. В нижней части тела оползня обращают на себя внимание трещины, оперяющие плоскость скольжения; пояснения к цифрам см. на рис. 6.5а.

Можно выделить пять факторов, которые привели к оползнеобразованию: структурный, литологический, геоморфологический, гидрогеологический и сейсмологический. Структурный фактор, впрочем, как и другие факторы, сложный. Во-первых, это наклонное залегание слоев малокурильской свиты, по одному из которых происходило скольжение оползневое тела (рис. 6.8), что позволяет определить Малокурильский оползень как консеквентный.

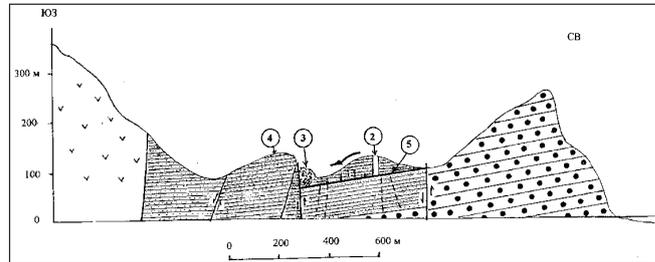


Рис. 6.8. Разрез вкост оползня. Условные обозначения см. на рис.6.1 и 6.5а.

Во-вторых, опосредованные и, возможно, даже прямые связи оползня с ранее существовавшими дизъюнктивными дислокациями. Так, разлом севернее оползня по геологическим данным – крутой взброс с относительно поднятым северным крылом. Характерно, что повторное нивелирование III класса, согласно отчету комиссии МЧС, обнаружило поднятие северного крыла на 0.08 м за период с сентября 1983 г. по октябрь 1994 г. Если полагать, что смещение по этому активному разлому имело катастрофический характер, то, вне всякого сомнения, оно не могло не сыграть решающей роли в потере устойчивости оползневое тела. Наконец, местоположение трещины отрыва в тыловой части оползня было предопределено существовавшими здесь ранее многочисленными субвертикальными разрывами и трещинами отдельности в породах малокурильской свиты.

Литологический фактор – один из наиболее существенных. Все крупные оползни на острове приурочены к полосе выходов пород малокурильской свиты. Среди последних присутствуют прослои делитифицированных аргиллитов мощностью до 10-20 см, превращенные в настоящее время в глины и глинистые сланцы, которые, выполняя роль смазки, являются наиболее благоприятными потенциальными плоскостями скольжения, что и имело место в рассматриваемом случае.

Геоморфологический фактор для Шикотана – единственного острова Малой Курильской гряды с горным рельефом, по-видимому, не нуждается в разъяснениях, ибо по определению [Косыгин, 1969]: "...оползни – дислокации, связанные с оползанием масс пород под действием силы тяжести из орографически поднятых в орографически пониженные участки". Следует добавить, что Малокурильский оползень обрел свободные поверхности за счет эрозионной деятельности и абразии.

Роль гидрогеологического фактора становится понятной при осмотре оползня со стороны береговых обрывов (рис. 6.7). Здесь можно видеть, что поверхность скольжения одновременно являлась и водупором, что существенно снижало сопротивление сдвигу.

Действие одних только перечисленных выше факторов уже могло привести к оползнеобразованию. Поэтому сейсмологический фактор, если понимать под ним лишь сотрясаемость острова, можно определить как своего рода "спусковой крючок" (триггер), приведший к потере устойчивости тела оползня. Но выше отмечалось, что вполне определенную роль могли сыграть и катастрофические смещения по активному разлому, которые также спровоцировали "преждевременное" оползание. Эти особенности позволяют определить Малокурильский оползень как сеймотектоногравитационный.

Ряд менее значительных консеквентных оползней наблюдался непосредственно в Малокурильском и на п-ове Хромова, который разделяет бухты Малокурильскую и Хромова. По нашим наблюдениям и свидетельствам очевидцев оползень на п-ове Хромова оставался долгое время "живым", постоянно обновлявшимся в процессе афтершоковой деятельности, тогда как Малокурильский оползень после главного толчка, согласно GPS-измерениям [Гусева и др., 1994], 20 – 28 октября был неподвижен.

Глава 7

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СМЕЩЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Горизонтальные деформации и смещения земной поверхности по геодезическим данным

Шикотанский геодинамический полигон был создан в начале 70-х годов прошлого столетия для изучения современных движений земной поверхности и поиска предвестников сильных землетрясений. Однако к концу 80-х годов объем исследований на полигоне значительно сократился, а с 1990 года они были и вовсе прекращены. Полигон расположен в северо-восточной части острова и охватывает территорию размером 11×3 км². В состав полигона входят 13 геодезических пунктов с расстояниями между соседними пунктами от 1.1 до 3.2 км (рис. 7.1).

Для выявления возможных крупномасштабных деформаций земной поверхности результате землетрясения 4(5) октября 1994 года на острове Шикотан был проведен комплекс геодезических работ:

- высокоточные GPS измерения в пунктах Шикотанского геодинамического полигона и их сравнение с данными светодальномерных измерений прошлых лет;
- геометрическое нивелирование между реперами в районе бухты Малокурильская;
- топографическая съемка оползня и рельефа прилегающего района с помощью GPS измерений.

Высокоточные измерения проводились тремя комплектами геодезических двухчастотных GPS приемников 4000SSE Geodetic System Surveyor (Trimble Navigation Ltd.) [Шикотанское землетрясение..., 1994]. Для обработки данных измерений использовался пакет программного обеспечения GPSurvey этой же компании. Паспортные среднеквадратические ошибки определения длин базисных линий и эллипсоидальных превышений (в системе координат WGS-84) составляют соответственно $5 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм} \times L$ (где L — длина базисной линии в км) и $10 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм} \times L$. Измерения проводились 18-29 октября 1994 года в статическом режиме с дискретностью 15 сек одновременно на трех пунктах сеансами продолжительностью от 2 до 6 часов. Всего измерено 23 линии длиной 1-7 км (рис. 7.1).

Полученные значения длин линий сравнивались с данными светодальномерных измерений 1985 года. Результаты измерений и разности длин линий приведены в табл. 7.1. По сравнению с 1985 г. длины линий уменьшились в среднем на 1.5 см, что находится в пределах точности их определения. Значимые горизонтальные смещения величиной около 20 см установлены только для линий, соединяющих пункты 5 и 6, 5 и 4. Геологическое обследование участка местности между этими пунктами на вершине горы Шикотан показало, что в результате землетрясения там образовалась линейная зона раскрытых трещин длиной около 250 м с суммарной амплитудой поперечного к ней растяжения около 18 см.

Очевидно, что изменение расстояний между пунктами 5-6 и 4-5 примерно на 20 см по сравнению с измерениями 1985 года связано с отодвиганием части массива горы Шикотан вместе с пунктом 5 в северном направлении. Вероятнее всего, и на это указывают существенно меньшие изменения длин остальных линий), смещение горы Шикотан – локальное сейсмогравитационное событие, обусловленное как ее строением, так и близостью берегового обрыва.

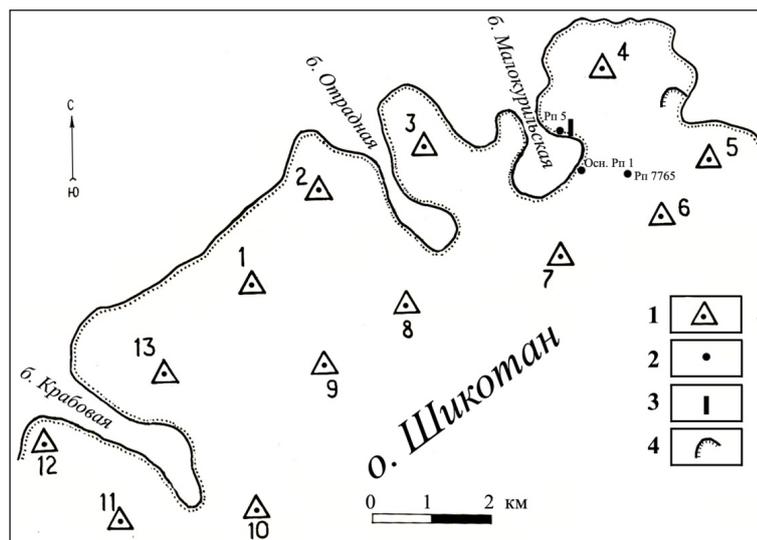


Рис. 7.1. Схема сети геодинимических наблюдений.

1 - пункт плановой сети; 2 - нивелирный репер; 3 - мареограф; 4 - оползень.

Таблица 7.1 Значения длин линий в 1994 (L_{94}) и 1985 (L_{85}) годах и их разность, (м)

№п/п	Название линии	L_{94}	L_{85}	$L_{94} - L_{85}$
1	1-4	6819.127	6819.145	-0.018
2	1-9	1786.500	1786.509	-0.009
3	1-13	2081.350	2081.357	-0.007
4	2-4	5089.625	5089.645	-0.020
5	2-8	2399.879	2399.904	-0.025
6	2-9	2855.364	2855.391	-0.027
7	3-4	3191.483	3191.498	-0.015
8	3-7	2840.150	2840.173	-0.023
9	3-8	2643.036	2643.066	-0.030
10	4-5	2350.686	2350.868	-0.182
11	4-6	2581.776	2581.769	+0.008
13	4-8	5068.102	5068.113	-0.011
14	4-9	6648.282	6648.305	-0.023
15	5-6	1078.284	1078.062	+0.222
16	6-7	1919.754	1919.761	-0.007
17	7-8	2672.774	2672.778	-0.004
18	7-9	4251.496	не измер.	—
19	8-9	1624.127	1624.133	-0.006
20	9-10	2736.770	2736.782	-0.012
21	9-11	4328.828	4328.857	-0.029
22	9-13	2699.485	2699.506	-0.021
23	10-13	2781.631	2781.639	-0.008

Примечания:

1. Данные 1985 г. приведены по результатам измерений светодальномером СГ-3, выполненных Н.Ф. Василенко (ИМГиГ ДВО РАН).
2. Название линии дано по номерам пунктов наблюдений.
3. Длины линий приведены к центрам пунктов наблюдений.

Таким образом, геодезические измерения показали, что при землетрясении остров испытал небольшие горизонтальные деформации, не превышающие 10^{-5} , что не нарушило в целом монолитности островного блока. Каких-либо катастрофических дифференцированных движений блоков земной коры внутри структуры острова не выявлено.

Вертикальные смещения поверхности о. Шикотан по мареографным данным

Данные о вертикальных смещениях земной поверхности во время землетрясения были получены при анализе мареографных записей уровня моря на уровненом посту в Малокурильской бухте. Пост расположен на причале военных судов. Футшточная рейка ржавая, неудобная для отсчетов в верхней части, требует замены. Тем не менее, этот ближайший к эпицентру уровненый пост, благодаря наблюдателю Л.Г. Юмасовой, работал без перерывов. Полученные записи – важное документальное свидетельство о положении уровня воды в бухте до, в момент и после землетрясения.

Основная идея использования мареографных записей для оценки вертикальных смещений земной поверхности состояла в том, что *среднегодовой* уровень Мирового океана есть величина постоянная (оценки изменения уровня МО за счет глобальных изменений климата составляют 1-3 мм/год). Поэтому можно предположить, что изменение среднегодового уровня в конкретном пункте наблюдений в большой мере связано с вертикальными смещениями земной поверхности, в частности – пункта установки мареографа.

На рис. 7.2. представлены графики вариаций средних годовых значений уровня моря по измерениям на береговых станциях в бухте Малокурильская и порту Ханасаки на северо-восточной оконечности о. Хоккайдо за период с 1967 по 2007 гг.

Прежде всего, обращает внимание практически идентичный характер изменения среднегодового уровня на этих станциях (коэффициент корреляции, рассчитанный по синхронным рядам 1970-2007 гг., равен 0.94).

В 1994 году на станциях Малокурильское и Ханасаки произошло существенное повышение уровня моря (примерно 46 и 18 см соответственно), что можно интерпретировать как опускание поверхности о. Шикотан и прилегающих областей в результате землетрясения 4.10.1994 г.

В данном районе и раньше (в 1969, 1973 и 1975 гг.) происходили сильные землетрясения, сопровождающиеся волнами цунами (что бывает при значительных подвижках дна в области подводного землетрясения). Однако, ничего сопоставимого со смещениями земной поверхности при Шикотанском землетрясении 1994 года по уровневым данным не наблюдалось.

На графиках уровня на станциях Ханасаки и Малокурильское от начала наблюдений и до 1986 г. можно выделить три периода, в течение которых происходило изменение направленности и скоростей вариаций уровней моря. Период 1967-1974 гг. относится только к станции Ханасаки, на станции Малокурильское он выражен неотчётливо. Остальные периоды 1974-1980 гг. и 1980-1986 гг. хорошо выделяются на обеих станциях.

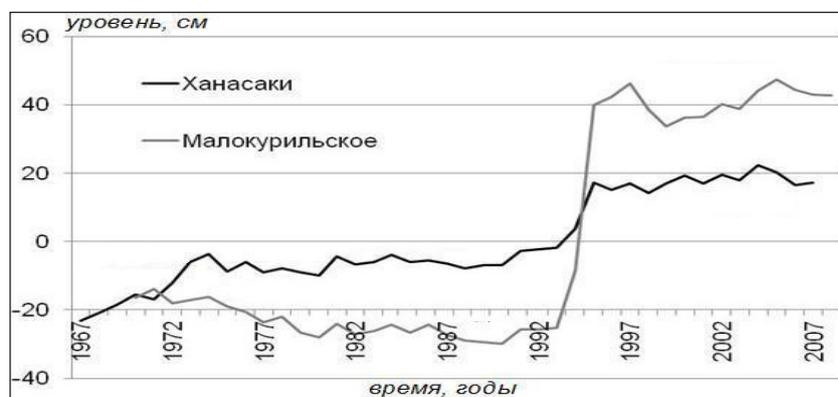


Рис. 7.2. Вариации средних годовых значений уровня моря на станциях Малокурильское (о. Шикотан) и Ханасаки (о. Хоккайдо).

В период 1967-1974 гг. на станции Ханасаки происходило отчетливое опускание земной поверхности (повышение уровня моря) со средней скоростью -2.7 см/год (смещение -19.4 см), а на станции Малокурильское в период 1970-1974 гг. наблюдалось достаточно стабильное состояние (-0.1 см) (рис. 7.2).

В период 1974-1980 гг. на станциях Ханасаки и Малокурильское происходило поднятие земной поверхности (понижение уровня моря) со средними скоростями, соответственно, $+1.0$ см/год (смещение $+6$ см) и $+2.0$ см/год (смещение $+11.7$ см), т.е. на станции Малокурильское величина поднятия земной поверхности была почти в два раза больше, чем на станции Ханасаки.

В период 1980-1986 гг. на станциях Ханасаки и Малокурильское преобладало опускание земной поверхности со скоростями -0.7 см/год (смещение -4.3 см) и -0.6 см/год (смещение -3.7 см) соответственно.

Данные о смещениях земной поверхности в районе Южных Курильских островов и северной части о. Хоккайдо во время Шикотанского землетрясения и в период с 4 октября по декабрь 1994 года относительно среднего значения за 9 месяцев (январь-сентябрь) 1994 г. приведены в работе [Седаева и др., 2012]. Наибольшее опускание земной поверхности (-54.9 см) за указанный период произошло в районе станции Малокурильское на о. Шикотан. На п-ове Немуро на станциях Ханасаки и Немуроко величина погружения поверхности составила -11.4 см и -10.6 см, соответственно. Отрицательные смещения зафиксированы также на станциях Курильск (-6.8 см) и Абасири (-2.0 см). В Южно-Курильске, наоборот, произошло незначительное поднятие земной поверхности.

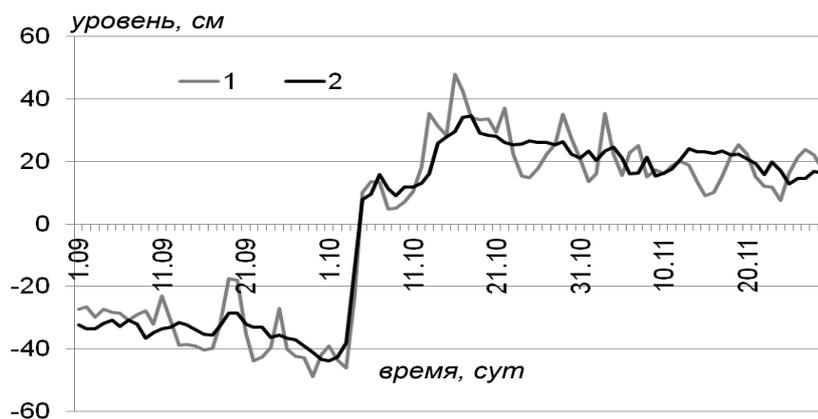


Рис. 7.3. Вариации среднесуточных значений уровня моря на станции Малокурильское (о. Шикотан) осенью 1994 г. (1 – исходный уровень, 2 – приведенный)

Были сделаны оценки вертикальных движений земной поверхности непосредственно при Шикотанском землетрясении. Для этой цели использовались ежечасные значения уровня моря на станциях Малокурильское и Ханасаки, а также данные об атмосферном давлении на уровне моря по наблюдениям на ГМС Южно-Курильск за сентябрь-ноябрь 1994 года. Последние использовались для расчета и удаления составляющей колебаний уровня моря, обусловленной вариациями атмосферного давления.

На рис. 7.3 приведены графики изменений уровня моря (кривая 1) и так называемого приведенного уровня, скорректированного на давление (кривая 2), на станции Малокурильское. Видно, что благодаря введению поправки уровень случайных колебаний заметно снизился. Это позволило более объективно оценить величину смещения земной поверхности, как разность среднесуточных значений уровней за 5 и 3 октября, которая составила 46 см. Расчет средних значений по интервалам времени за 1 сентября – 3 октября и за 5 октября – 8 ноября 1994 г. дал несколько большую величину смещения, равную 55 см. Это связано с тем, что в период с 11 по 18 октября продолжался интенсивный подъем уровня моря (опускание о. Шикотан), смещение за указанный период составило

22 см. Возможно, это обусловлено сильным афтершоком ($M=7.3$), произошедшим 9 октября 1994 г. в 7:55 GMT.

На станции Ханасаки поправка на давление также позволила существенно уточнить величину смещения поверхности, за период с 3 по 7 октября она составила 21 см (без поправки - 30 см). Подъем уровня после афтершока 9 октября был менее выраженным (общее смещение - 10 см), и наблюдался несколько позже, в период с 14 по 23 октября 1994 г.

Вопрос о том, насколько изменение уровня воды в Малокуруильской бухте отражает вертикальные перемещения береговой полосы вместе с футштоком, дна бухты или острова в целом, был решен с помощью дополнительных исследований.

Было проведено геометрическое нивелирование III класса между рейкой футштока и ближайшими к нему реперами (Рп5, основным Рп1) на берегу (рис. 7.1) и сравнение с данными за 1983 и 1993 гг. (табл. 7.2). Как видно из таблицы, превышение между футштоком и репером Рп 5 изменилось по сравнению с прежним на 0.017 м, между футштоком и Осн. Рп 1 - на 0.080 м, т.е. относительно ближайших реперов на суше футшток даже поднялся, а не опустился, что объясняло бы увеличение среднего уровня моря.

Таблица 7.2. Значения превышений между рейкой футштока и реперами на берегу до и после землетрясения, в метрах

Репер	Дата нивелирования			
	09.1983	3.11.1993	10.10.1994	28.10.1994
Верх рейки футштока –репер 5		+0.392	+0.375	+0.375
Репер 5 – осн. репер1	+0.972			+0.914
Основной репер 1 – Максимальный заплеск цунами				-0.498

Проведено определение эллипсоидальных $h(\text{эл})$ превышений между реперами с помощью спутниковых наблюдений. Сравнение ортометрических превышений, полученных геометрическим нивелированием до землетрясения, и эллипсоидальных превышений, полученных после землетрясения спутниковыми наблюдениями, показывает, что изменения превышений находятся в пределах 10 см (табл. 7.3), т.е. не обнаружены свидетельства дифференцированных вертикальных движений, сопоставимых с общим опусканием острова.

Таблица 7.3. Значения ортометрических $h(\text{орт})$ и эллипсоидальных $h(\text{эл})$ превышений между реперами, в метрах

	1994 г. $h(\text{эл})$	1977-83 гг. $h(\text{орт})$	Изменения	
			Δh	$\Sigma \Delta h$
Фундаментальный репер 7765				0
Основной репер 1	-14.999	-15.098	0.099	0.099
Репер 5	-0.999	-0.964	-0.035	+0.064
Верх рейки футштока (403.5 см)	-0.382	-0.392	+0.010	0.074
Отметка границы заплеска	-0.321			

Примечание: $\Delta h = h(\text{эл}) - h(\text{орт})$.

Проведено обследование других бухт острова Шикотан для поиска признаков изменения уровня воды, подобного установленному для бухты Малокуруильская (обследование выполнено сотрудниками Института морской геологии и геофизики ДВО РАН В.М. Кайстренко, М.И. Стрельцовым и др.). Обнаружен подъем уровня воды в бухтах относительно природных береговых объектов на 0.5-0.6 м. Таким образом, проведенные исследования в совокупности свидетельствуют о том, что во время Шикотанского землетрясения произошло общее опускание острова на 0.5-0.6 м как единого целого.

Глава 8

ДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ ЗВЕНЬЕВ СЛУЖБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ И ЦУНАМИ 4(5) ОКТЯБРЯ 1994 г.

Служба предупреждения о цунами (СПЦ) на Дальнем Востоке СССР была организована после катастрофического Камчатского цунами 1952 г.

Служба включает в себя сейсмическую и гидрофизическую подсистемы, а также системы оповещения населения об угрозе цунами.

В Сахалинской области сейсмическая часть службы возложена на сейсмические станции Сахалинского филиала ГС РАН. В их задачи входят непрерывные наблюдения за сейсмической обстановкой в Тихом океане и дальневосточных морях и передача срочных сообщений о сильных землетрясениях в Центр цунами СахУГМС и другие организации, а также объявление тревоги цунами от близких землетрясений.

Центр цунами СахУГМС отвечает за гидрофизическую часть службы предупреждения о цунами. В задачи центра входят непрерывные наблюдения за состоянием уровня моря на побережьях Сахалина и Курильских островов, выпуск предупреждений об угрозе цунами по сейсмическим и гидрофизическим данным от землетрясений в дальней зоне, выпуск оповещений об окончании угрозы цунами.

В задачи ГУ МЧС по Сахалинской области входит доведение в кратчайшие сроки предупреждения об угрозе цунами до населения района побережья, помощь в эвакуации в безопасные места, оказание помощи пострадавшим при необходимости и оказание помощи при передаче информации между сейсмическими станциями, а также информирование населения через средства массовой информации

Основным методом прогнозирования цунами был и по-прежнему остается сейсмический метод. Благодаря тому, что скорость распространения сейсмических волн в земной коре намного выше, чем скорости волн в океане, и существует принципиальная возможность прогноза цунами.

Действующая Служба предупреждения о цунами Сахалинской области отвечает за подачу тревоги на побережья островов Курильской гряды и острова Сахалин, а также на все российское побережье Японского моря.

Если сильное землетрясение происходит в радиусе 3000 км от г. Южно-Сахалинск, решение о необходимости подачи тревоги цунами возложено на сейсмостанцию «Южно-Сахалинск». По Положению о СПЦ, действующему с 1993 года, дежурные сейсмостанции «Южно-Сахалинск» должны сразу передать сообщение в Центр цунами и штаб ГО и ЧС Сахалинской области (в настоящее время ГУ МЧС по Сахалинской области) о начале регистрации сильного землетрясения с указанием времени начала его регистрации. С этого момента дежурным сейсмостанцией отводится 10 минут для определения координат эпицентра и магнитуды землетрясения и принятия решения об объявлении тревоги цунами. Сейсмостанция «Южно-Сахалинск» передает «тревожное сообщение» в штаб ГО и ЧС Сахалинской области, на Южно-Сахалинский центральный телеграф и Центр цунами СахУГМС, после чего дальнейшие действия, связанные с развитием события и отменой тревоги выполняются Центром Цунами СахУГМС совместно со штабом ГО и ЧС.

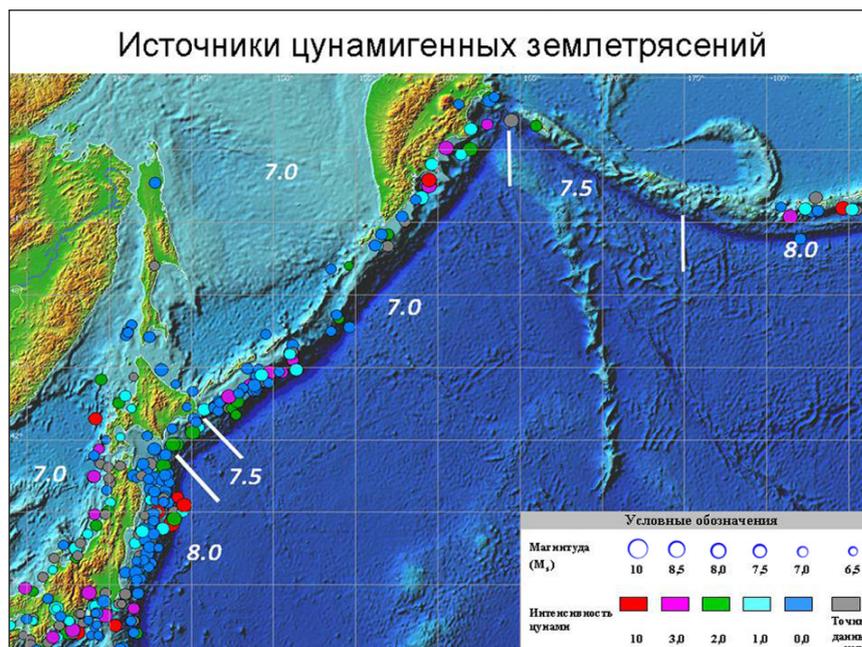


Рис. 8.1. Пространственное распределение пороговых магнитуд магнитудно-географического критерия цунамигенности по сейсмоактивным зонам северо-западной части Тихого океана. Кружками отмечены очаги цунамигенных землетрясений, их размер отвечает магнитуде, цветом указана интенсивность цунами (в метрах).

Одно из сильнейших землетрясений в истории Сахалинской области (уточнённое значение магнитуды землетрясения по поверхностным волнам $M_s=8.1$) произошло в ночь с 4 на 5 октября 1994 года. Эпицентр землетрясения располагался юго-восточнее о. Шикотан на расстоянии около 140 км. Землетрясение ощущалось практически на всей территории области, вызвало многочисленные разрушения, человеческие жертвы и сопровождалось волнами цунами, которые обрушились на побережье Курильских островов.

Действия дежурной смены сейсмической станции «Южно-Сахалинск»

В 00 часов 24 минуты сахалинского времени сработали сигнализаторы приборов гальванометрической записи. Время начала регистрации землетрясения на сейсмической станции «Южно-Сахалинск» было передано дежурным сейсмологом в Центр цунами Сахалинского УГМС не позднее 3-х минут от начала регистрации.

Дежурные сейсмологи оценили направление на эпицентр землетрясения по приборам видимой записи, установленным в механическом зале станции. Эти приборы долгое время (до установки сейсмических комплектов с цифровой регистрацией) несли основную нагрузку при регистрации сильных землетрясений. Они имели различный уровень закругления, что позволяло оперативно определять параметры сильных землетрясений, как близких, так и удаленных.

На сейсмограмме видимой записи сильного близкого землетрясения, такого как Шикотанское, уверенно определяется только момент начала регистрации и направление на эпицентр. Практически невозможно выделение момента вступления поперечной волны, что необходимо для определения эпицентрального расстояния и магнитуды землетрясения, поэтому сейсмологи вынуждены в этом случае полагаться на свой опыт для оценки всей волновой картины.

Через 8 минут с момента регистрации в Центр цунами Сахалинского УГМС и штаб ГО и ЧС по Сахалинской области дежурным сейсмологом передано тревожное сообщение об объявлении тревоги цунами в Южно-Курильском и Курильском районах. Спустя две минуты такое же сообщение последовало на Южно-Сахалинский центральный телеграф.

После проявления сейсмограмм гальванометрической регистрации, в том числе и

аппаратуры сильных движений, дежурные сейсмической станции «Южно-Сахалинск» смогли определить параметры землетрясения: 43° с.ш., 148° в.д., магнитуда 7.7.

В 00 часов 40 минут дежурной сменой было передано уточненное сообщение с параметрами землетрясения на Центральный телеграф и в 00 часов 56 минут - в Центр цунами и штаб ГО и ЧС по Сахалинской области.

Действия дежурной смены сейсмической станции (Куракиной Л.В. и Пушкиной Л.В.) были строго регламентированы действующим Положением о сейсмической части службы предупреждения о цунами. Для землетрясения с эпицентральной дистанцией до 1000 км время определения основных параметров землетрясения и передачи «тревожного сообщения» не должно превышать 10 минут от начала регистрации землетрясения. Тревога цунами во время Шикотанского землетрясения 1994 года была объявлена дежурными сейсмической станции через 8 минут.

После объявления тревоги цунами действия дежурных перешли в штатный режим, была отправлена оперативная сводка о землетрясении, дежурные стали принимать данные о макросейсмических проявлениях землетрясения, оповещать ответственных лиц и средства массовой информации.

Действия дежурной смены Центра цунами СахУГМС

В 00 час 36 мин сахалинского времени дежурный океанолог Кузнецов И.В., получив тревожное сообщение с сейсмостанции «Южно-Сахалинск», продублировал тревогу цунами по схеме 1 на Южно-Сахалинский центральный телеграф (рис. 8.2).

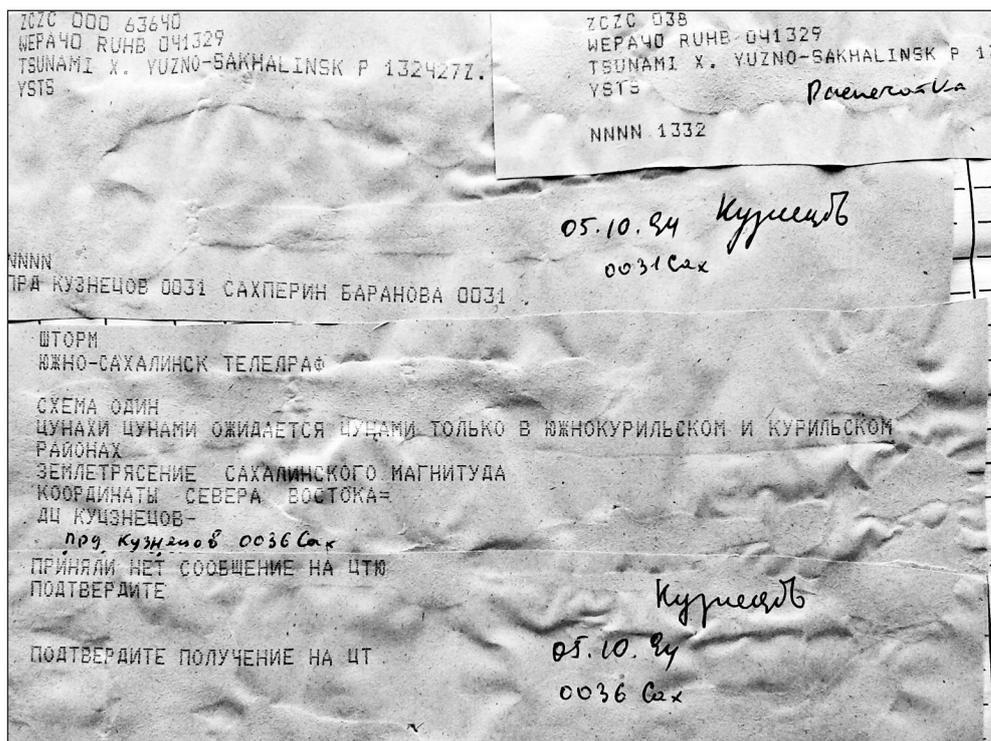


Рис. 8.2. Верхняя телеграмма: параметры Р-волны, переданные дежурным Центра цунами в международный обмен; нижняя телеграмма: тревога цунами, переданная на телеграф г. Южно-Сахалинска дежурным Центра цунами И. Кузнецовым.

В 00 час 45 мин сахалинского времени дежурный, засомневавшись, передана ли оперативным дежурным штаба ГО и ЧС тревога цунами на Курилы, позвонил в штаб и продублировал тревогу цунами по Южно-Курильскому и Курильскому районам.

В 00 час 54 мин (через 22 минуты с момента получения первого сообщения с сейсмостанции «Южно-Сахалинск») в Администрацию и организации Сахалинской области

(по списку) передан бланк (телеграмма) о тревоге цунами без координат и магнитуды землетрясения.

В 01 час 03 мин сахалинского времени (через 7 минут после получения с сейсмостанции «Южно-Сахалинск» параметров землетрясения) в те же адреса передана телеграмма с параметрами землетрясения ($M = 7.7$, координаты: 43.9° с.ш., 148° в.д.) и ожидаемым временем подхода цунами к населенным пунктам побережий.

В 01 час 10 мин сахалинского времени передана телеграмма с тревогой цунами для зарубежных центров цунами.

В период с 01 час 06 мин до 01 час 39 мин сахалинского времени тревога цунами продублирована по телефонам Администрации и оперативных служб Сахалинской области.

С момента получения с сейсмостанции «Южно-Сахалинск» параметров землетрясения дежурным океанологом выполнены все действия в соответствии с регламентирующими документами за 14 минут, что соответствует оценке «удовлетворительно», принятой на тренировочных занятиях с личным составом Центра цунами. Из-за отсутствия связи с гидрометеостанциями в районе бедствия ситуация на Курилах контролировалась по сообщениям стоявших на рейде судов Минрыбхоза (через радиостанцию Сахалинрыбпрома), пограничных застав на островах Шикотан, Кунашир и Итуруп (через штаб погранвойск в Южно-Сахалинске), непосредственно глав Администраций Южно-Курильского и Курильского районов (телефонная междугородняя связь). На рис. 8.3 представлено донесение в Росгидромет.

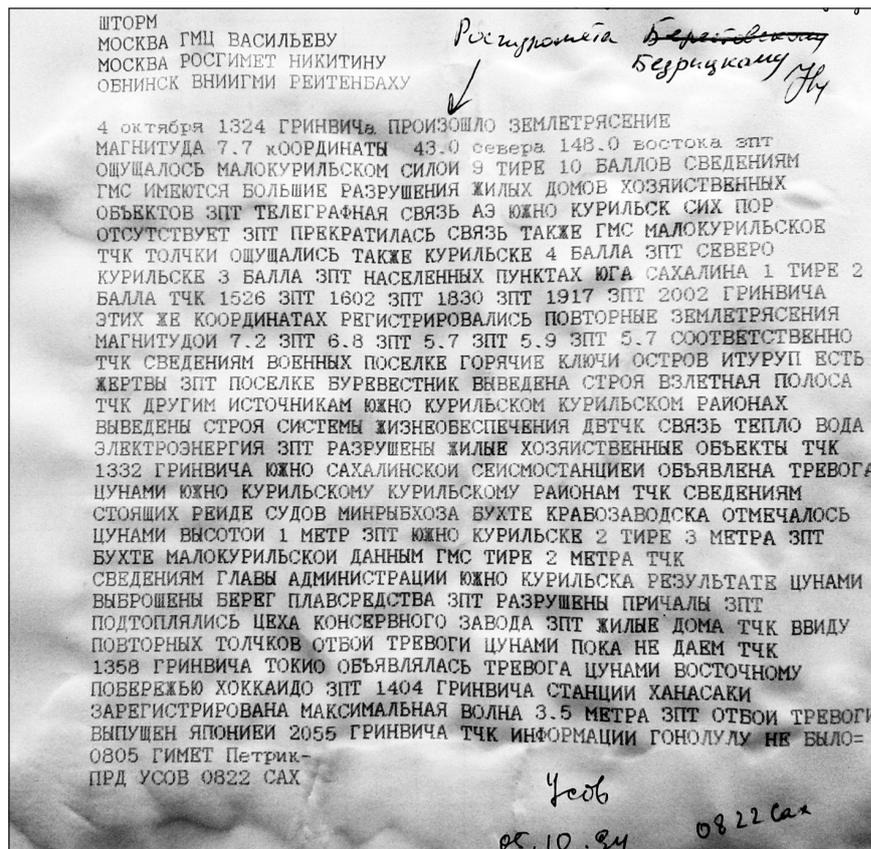


Рис. 8.3. Донесение в Росгидромет.

Первой, сначала в 04 часа 45 мин, затем в 05 час 08 мин сахалинского времени, из района бедствия сумела выйти на радиосвязь с узлом связи СахУГМС метеостанция «Малокурильское». Сообщалось об ощущаемости основного толчка (9-10 баллов), больших разрушениях в поселке и на самой станции, о невозможности поддерживать связь с СахУГМС из-за поломки радиостанции и другого оборудования. Позже поступи-

ли сообщения об ощущаемости землетрясения со станций «Северо-Курильск» (3 балла), «Курильск» (4 балла), «Матуа» (3 балла), «Симушир» (2 балла), «Корсаков» (факт землетрясения). Информации о волнах цунами не было, так как оборудование для регистрации цунами на постах отсутствовало. Сведений о визуальных наблюдениях не поступало.

Действия оперативного дежурного штаба ГО

В 00 час 50 мин сахалинского времени после сообщения сейсмостанции и контрольного звонка дежурного океанолога Центра цунами СахУГМС оперативным дежурным штаба ГО Лияскиным И.О. была передана тревога цунами по Курильскому району (с Южно-Курильским районом отсутствовала связь). В Курильском районе в 05 час 00 мин сработала система оповещения областного штаба ГО и ЧС. По сообщениям глав Администраций обоих районов, жители населенных пунктов, не дожидаясь сигнала тревоги цунами, сразу же после землетрясения покидали свои дома и уходили на возвышенные места.

Действия дежурной смены Южно-Сахалинского центрального телеграфа

Тревога цунами передавалась трижды: в 00 час 38 мин, 00 час 42 мин и 01 час 00 мин сахалинского времени по схеме 1 (за исключением Южно-Курильского района), т.е. дежурная смена оперативно отреагировала на все три сообщения сейсмостанции «Южно-Сахалинск». В г. Южно-Курильск тревога была передана телеграфистами по телефону лишь в 07 час 46 мин сахалинского времени. Тем не менее, в Южно-Курильском районе тревога цунами была объявлена главой администрации района Покидиным Н.А. по фактическим событиям сразу после землетрясения.

Глава 9

АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗАПИСЕЙ ЦУНАМИ

Записи Шикотанского цунами 1994 г. на Курильских островах были получены на мареографах в портах Малокурильское, Курильск и Северо-Курильск [Ивельская, Шевченко, 1997]. Мареограф в г. Южно-Курильск вышел из строя в результате землетрясения. Записи, полученные на о. Сахалин, большого интереса не представляют. На охотоморской стороне о. Итуруп и Северных Курилах были зарегистрированы сравнительно слабые колебания, и только на о. Шикотан высоты волн достигали больших значений – в бухте Малокурильская высота первой волны от подошвы до гребня составила 220 см (рис. 9.1а). Интенсивные колебания с высотами волн 1.5 – 2 м продолжались около 6 часов, а через 12 часов после прихода первой волны волновое поле в целом успокоилось, хотя и не пришло к уровню естественного фона.

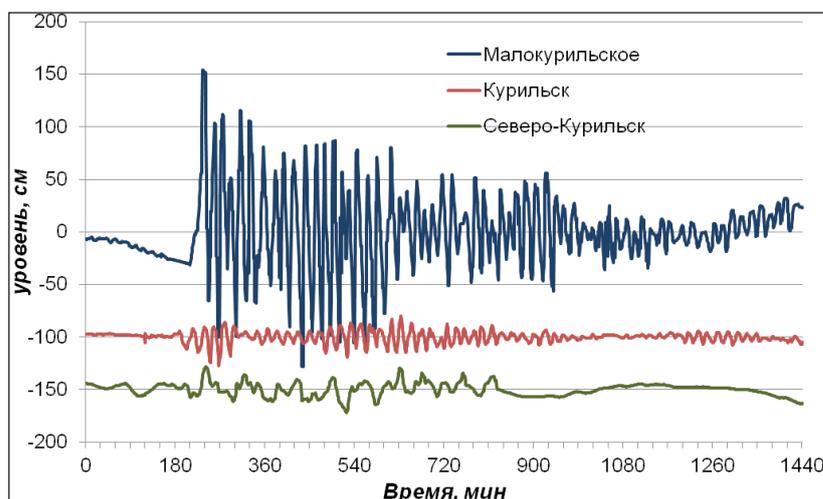


Рис. 9.1а. Суточные отрезки оцифрованных лент мареографов (вычтен предвычисленный прилив), содержащих записи Шикотанского цунами на Курильских островах. Время не синхронизировано.

В Курильске, на охотоморском побережье о. Итуруп, максимальную высоту (39 см) имела уже не первая, а пятая по счету волна, здесь наблюдалось продолжительное снижение интенсивности колебаний между выраженными волновыми пакетами, выход волнового процесса на режим, близкий к обычному, произошел раньше, чем на океанском побережье.

В Северо-Курильске (расстояние от очага землетрясения около 1000 км) высота волны составила 34 см, здесь преобладали более низкочастотные вариации уровня по сравнению с Курильском и пос. Малокурильское.

Сравнительно низкочастотные колебания были отмечены также на станциях, расположенных на побережье японских островов Хоккайдо и Хонсю (рис. 9.1б). На станции Ханасаки, расположенной на северо-восточной оконечности вытянутого в сторону Малой Курильской гряды полуострова Немуро, высота волны достигала 3.3 м, что в полтора раза выше, чем в бухте Малокурильская. После первой волны наблюдалось относительное затишье в течение примерно полутора часов, после чего вновь были отмечены мощные колебания с высотами 2.5 – 3 м. Затухание энергии цунами у берегов Японии происходило медленнее, чем на российских станциях.

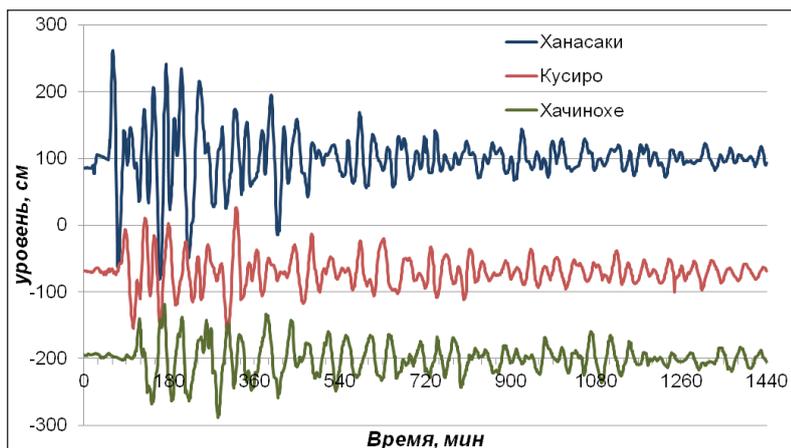


Рис. 9.1б. Суточные отрезки оцифрованных лент мареографов (вычтен предвычисленный прилив), содержащих записи Шикотанского цунами на побережье Японии. Время не синхронизировано.

Оценки преобладающих периодов колебаний и их вариаций во времени для каждой станции были получены с помощью спектрально-временного анализа (СВАН) [Ивельская, Шевченко, 1997]. На станциях Малокурильское и Курильск доминировали колебания с периодами около 20 мин (частота 0.05 цикл/мин), на периодах более 30 мин повышение энергии не наблюдалось (рис. 9.2а).

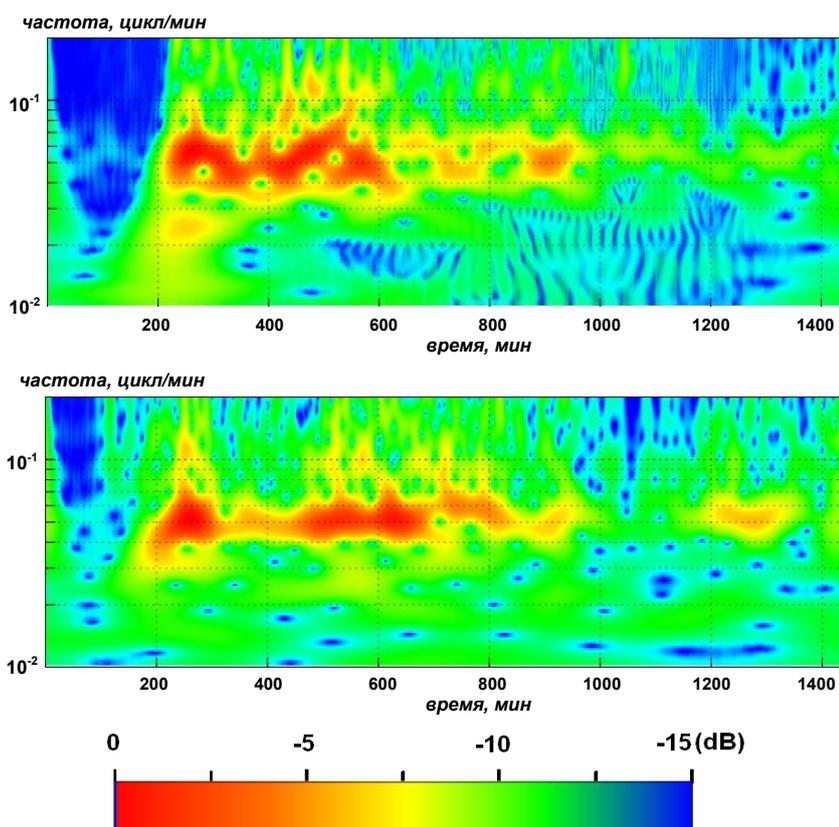


Рис. 9.2а. СВАН-диаграммы колебаний уровня моря, рассчитанные по отрезкам записи суточной продолжительности на станциях Малокурильское (вверху) и Курильск (внизу) Диаграммы нормированы на максимальные спектральные амплитуды, 100 см и 10 см соответственно. Изолинии проведены через 1 децибел.

На побережье Японии ситуация отличается: на станции Ханасаки (рис. 9.2б) спектр достаточно широкий по частоте, в то время как на станции Хачинохе и других (Кусиро, Мияко, не приведенном на рисунке) колебания с периодами меньше 30 мин практически отсутствовали. Это достаточно типичная ситуация, анизотропный характер распространения

волн цунами обусловлен ориентацией источника цунами (очаг вытянут вдоль Курильской гряды [Шикотанское..., 1996]). Вдоль короткой оси (в направлении к Южным Курилам) распространяются более короткие и интенсивные волны, в направлении большой оси (к Северным Курилам и Японии) – более длинные волны с меньшими амплитудами. Станция Ханасаки, в силу своего географического положения, испытала воздействие и коротких, и длинных волн. При Шикотанском землетрясении эта особенность генерации и распространения цунами проявилась очень четко.

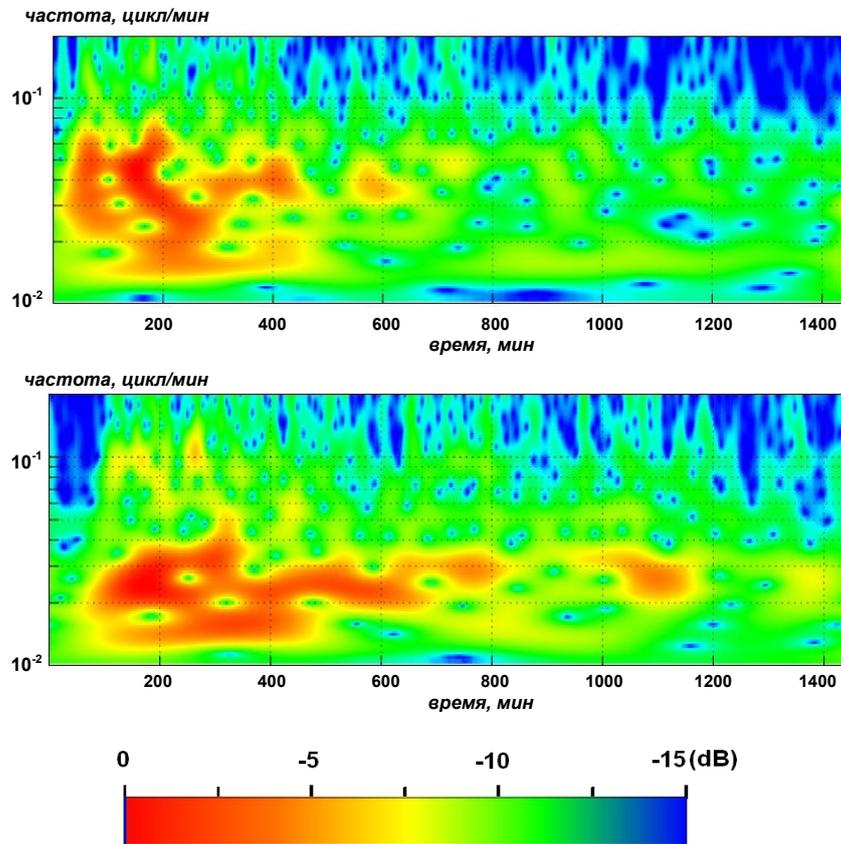


Рис. 9.26. СВАН-диаграммы колебаний уровня моря, рассчитанные по отрезкам записи суточной продолжительности на станциях Ханасаки (вверху) и Хачинохе (внизу). Диаграммы нормированы на максимальные спектральные амплитуды, 100 см и 50 см соответственно. Изолинии проведены через 1 децибел.

Глава 10

ПРОЯВЛЕНИЯ ЦУНАМИ НА о. ШИКОТАН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

Землетрясение 4(5) октября 1994 г. вызвало значительные волны цунами на побережье Южных Курил; заметные волны зарегистрированы на Сахалине и во многих пунктах на побережье Тихого океана (в Японии, США, Чили и других странах). К счастью, человеческих жертв от цунами не было, благодаря тому, что землетрясение произошло ночью, однако материальный ущерб оказался значительным. Сразу по следам землетрясения были организованы полевые экспедиционные работы для обследования побережий Южных Курильских островов и выявления последствий землетрясения и цунами.

На рис. 10.1 показано положение очага цунами и величины наиболее значительных заплесков цунами на побережьях Южных Курильских островов, полученные в ходе полевых работ. Подробное описание приведено ниже.

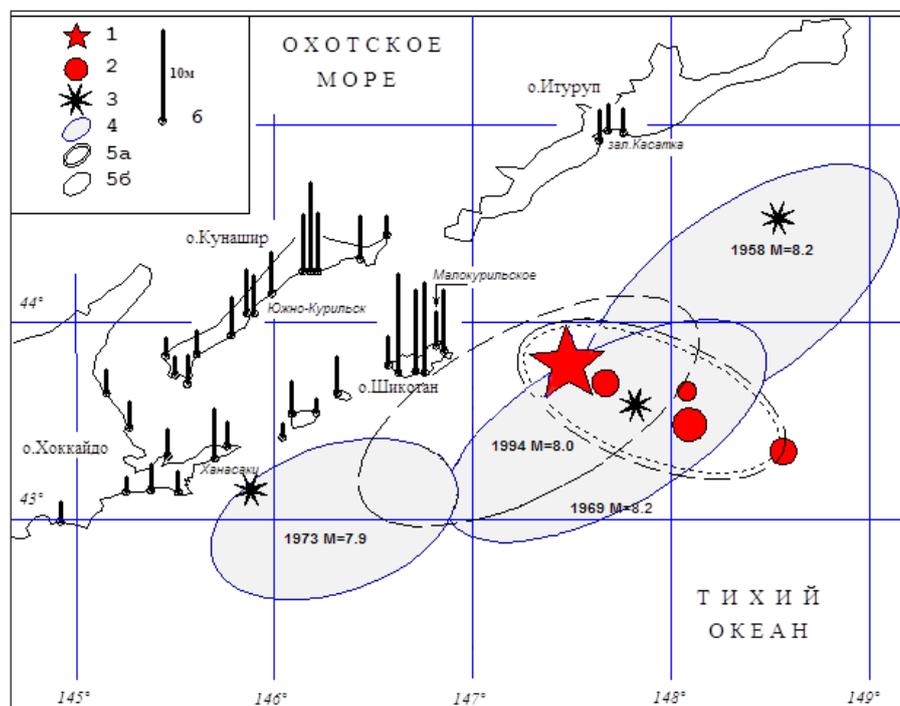


Рис. 10.1. Область очага Шикотанского цунами и максимальные наблюдаемые высоты цунами на побережье по результатам полевого обследования. Показаны эпицентры: 1 – главного толчка 4(5).10.1994 г.; 2 – афтершоков с $M \geq 6.8$ в первые 6 часов после главного толчка; 3 – сильнейших исторических землетрясений (указаны год и магнитуда); контуры очагов цунами: 4 – сильнейших исторических цунами; 5а – цунами 4(5) октября 1994 г., по сильнейшим афтершокам за первые 6 часов; 5б – то же, по области афтершоков первой недели; 6 – пункты на побережье и максимальные наблюдаемые в них высоты цунами.

Для обследования проявления цунами на Шикотан выехала группа специалистов из академических институтов России и двух университетов США через 10 дней после землетрясения. Полевые работы проводились в течение 2-х недель с использованием визуального обследования, фотографирования, геодезической съемки. Для координатной привязки базовых точек использовался портативный GPS-приемник.

Наиболее детально обследовано океанское побережье о. Шикотан, обращенное к очагу цунами, и бухты Малокурильская и Крабовая. Произвести оценку заплесков цунами

на крутых скалистых участках побережья оказалось невозможным, поскольку там следы цунами отсутствовали. Измерения высот заплесков цунами и дальности затопления на участках побережья с небольшими уклонами, как правило, не вызвали особых затруднений. В большинстве случаев граница затопления отчетливо выделялась по выбросам морской капусты и специфического морского мусора, по верхней кромке травяного покрова, испытавшего воздействие морской воды, или по иным признакам. После проведения полевых работ все результаты измерений высот заплесков цунами были обработаны специалистами Сахалинского управления Роскомгидромета с целью коррекции данных на прилив. Отдельные уточняющие работы, а также исследование «старения» и «стирания» следов цунами, проводились вплоть до осени 1997 года.

Ниже приведено описание проявлений цунами в различных пунктах острова Шикотан.

В бухте Малокурильская цунами проявилось как резонансные сейшевые колебания с амплитудой до 3.6 м и периодом около 20 мин; сильно пострадали причалы и пришвартованные суда.

Основная часть значений высот и дальности заплесков цунами в бух. Малокурильской получена из показаний очевидцев. Кроме того, на значительной части побережья хорошо проявлялся след мазута, разлившегося по акватории бухты из танков, поврежденных землетрясением. Этот след также использовался для определения заплесков цунами.

Из показаний очевидцев:

Командир бригады А.П. Милькин находился у причалов. Цунами в бухте началось с небольшого отлива, потом образовалось сильное течение против часовой стрелки. На противоположной стороне бухты около нефтеналивного пирса из воды били фонтаны. Очень сильное течение наблюдалось в горловине бухты. А.Н. Мальченко, командир корабля «Неман», который находился у причала в бухте Малокурильская, рассказал, что через 20-25 минут начался небольшой прилив, однако, притопленный корпус корабля «Ишим», используемый как причал, не затопило. После первой волны уровень воды опустился настолько, что корабль «Неман» лег на дно, наклонившись на борт, хотя обычно в любой отлив под килем оставалось около 2.5 м. В бухте возникло мощное течение примерно 6-7 узлов с водоворотами. У бака течение было направлено по часовой стрелке, на носу - против (длина корабля - 60 м). Плашкоуты, причаленные к «Ишиму», оторвало. Швартовы оплавившись и 3 плашкоута носились по бухте около 3 часов. Плавучий пирс на мертвых якорях водило.

Командир пограничного корабля 691 В.В. Капустин рассказал, что вскоре после землетрясения пришел приказ выходить в море. Примерно через 20 минут пришла первая волна. Течения, возникшие в бухте, были необычайно сильны, что очень затрудняло управление кораблем. Старались держаться в центре бухты, где корабль вертело по и против часовой стрелки попеременно с периодичностью 5-10 минут. При средней глубине бухты 5 м эхолот показывал до 8 м. Представление о силе течения дает следующий эпизод. В один из моментов, когда корабль шел на выход из бухты и впереди оказалась заякоренная бочка, то, несмотря на полный задний ход (10 узлов), течение бросило корабль с ударом на бочку со скоростью примерно 3 узла. То есть, максимальные скорости течений в бухте были порядка 10-13 узлов. Даже через 2-3 часа, когда цунами ослабло и корабль был пришвартован, между пирсом и стенкой во время отливов шла практически полная осушка.

Старший техник-метеоролог С.И. Федоров после землетрясения наблюдал сверху цунами в бухте, которая освещалась прожекторами. Цунами началось с прилива (по его словам, начальник станции видел первый небольшой отлив и сполохи на небе). Течение было сильное, как река с бурунами, доходящая до центра бухты. К выходу из бухты пошли китайское судно и пограничный корабль, но они не справлялись с течением, их медленно крутило, даже заваливало. Потом течение затихло, и он перестал смотреть на бухту, и потом,

через некоторое время, снова начался нагон воды. Вода подходила к магазину «Шикотан». Мазут, разлившийся из поврежденных землетрясением танков, стоял в бухте 2 дня.

Начальника гидроучастка А. Мырина землетрясение застало в Крабоварском. На служебном автобусе он сразу же выехал в Малокурильское. На дороге появились трещины, некоторые – большие. При въезде в Малокурильское в районе рыбозавода №96 образовался завал, автобус пришлось оставить. Находясь на мосту между заводом №96 и магазином «Шикотан», увидел цунами в виде стены выше его ростом, которая, двигаясь быстро с «чавкающим» звуком, стала заваливаться. Пришлось убежать по дороге на мыс Край Света вдоль ручья Отрада. Вода догнала его и остановилась. Бульдозерист В.П. Кукса, начавший практически сразу работу по расчистке завала на дороге, быстро восстановил тогда дорогу. Когда вода схлынула, А. Мырин возвратился к автобусу и поехал дальше. Однако на мосту у пожарной части его застала новая волна, так что автобус практически переплыл мост.

Н.М. Корогвик вышел на работу (холодильник на рыбозаводе) через час после землетрясения, т.к. беспокоился об аммиачной установке. Уровень воды был очень высоким. Вода подошла к началу старого причала рядом с холодильником и шевелила доски настила. Был прорыв трубопровода, который он починил, надев противогаз, однако все-таки отравился аммиаком. Всем повезло, что облако газа понесло в сторону бухты. Утром ветер сменился, и остатки аммиака отнесло в район стадиона. Люди, жившие там, жаловались на отравление, которое чувствовалось долго (пропадала память, ухудшился сон).

Данные о затоплениях в Малокурильской бухте приведены на рис. 10.2.

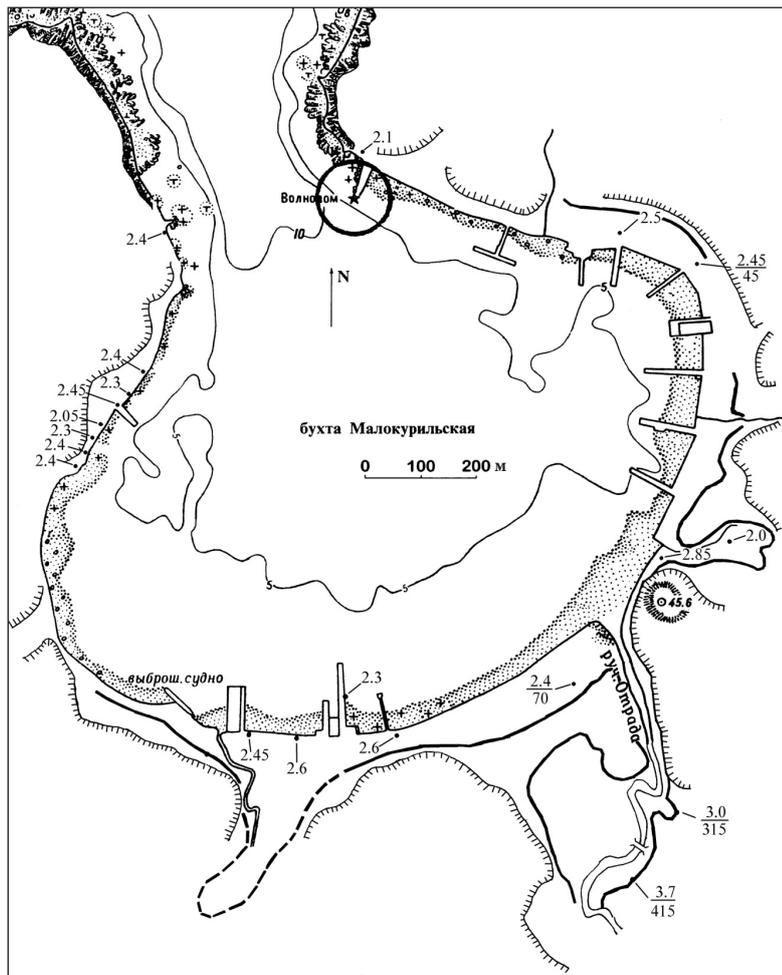


Рис. 10.2. Схема зоны затопления бухты Малокурильская (граница обозначена жирной линией), значения вертикальных (число или числитель дроби) и горизонтальных (знаменатель дроби) заплесков цунами даны в метрах.

На данном рисунке и последующих схемах приведены значения уровней заплеска цунами над мгновенным значением прилива. Значения уровня округлены до дециметров (что соответствует точности измерений). Сантиметровая «точность» используется на схемах только для различения точек с близкими значениями отметок уровня. Для значительной части периметра бухты естественной границы зоны затопления явились крутые склоны сопки и дорожная насыпь. Наиболее глубоко цунами проникло в долины ручьев.

В бухте Хромова следы цунами обнаружить не удалось. В. Громов сообщил, что его жена дежурила на насосной станции в бухте Хромова в ночь 4-5 октября. Вода до домика не дошла. Более того, вода не зашла внутрь подвального помещения по выводным трубам, и внизу насосного отсека было сухо. Последнее подтвердил главный механик рыбокомбината В.И. Мешков. Данное сообщение позволило оценить верхнюю отметку заплеска цунами – менее 2.4 м над приливом.

Бухта Отрадная. Отчетливых следов цунами найти не удалось. По свидетельству работников молочно-товарной фермы (МТФ), уровень воды в ручье около фермы поднялся на 1.5 м, что позволило примерно оценить высоту цунами. По оценке М.И. Стрельцова, затопленная часть травяного покрова указывает на общее понижение уровня в бухте примерно на 40 см

Бухта Крабовая. Первые данные по этой бухте были собраны 20 октября 1994 года. Наиболее пострадала низменная часть (улицы Заречная и Торговая).

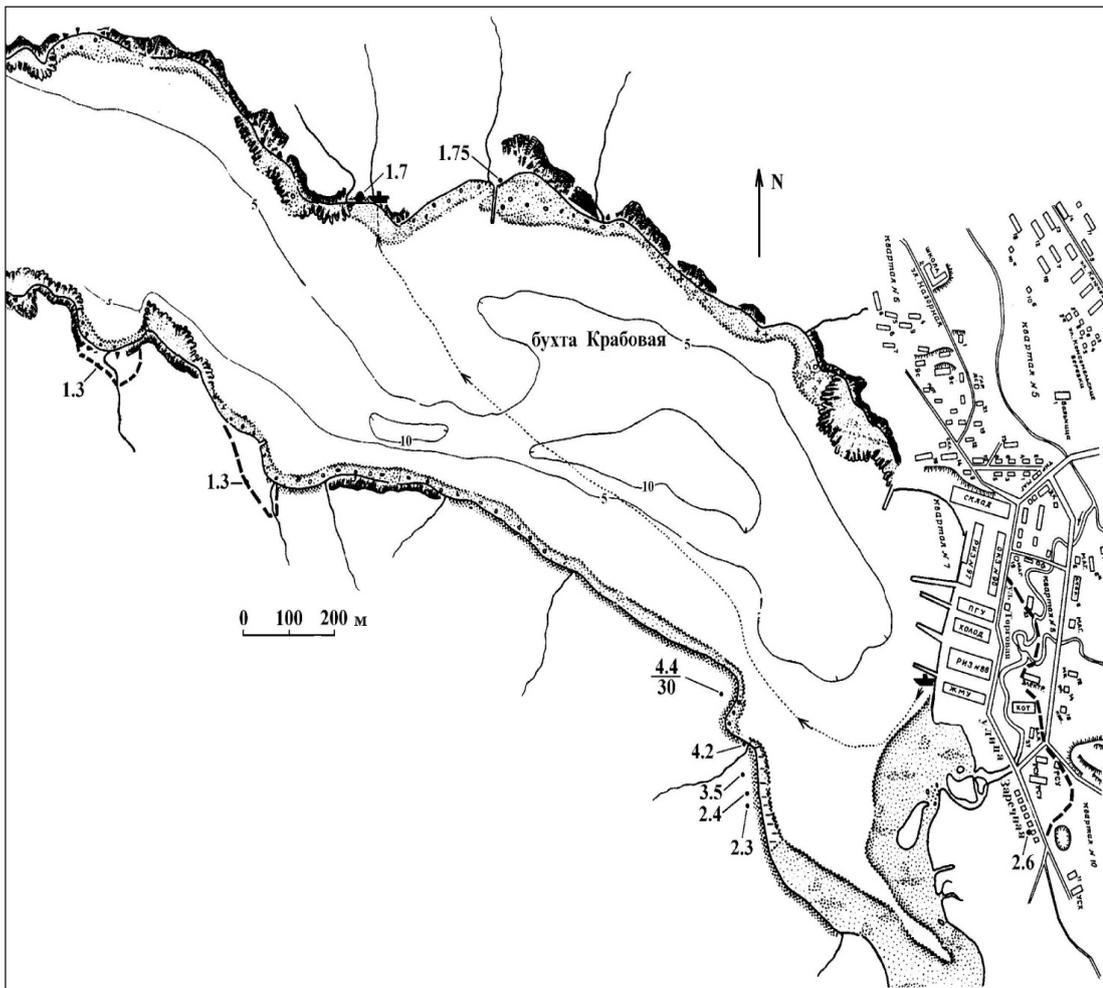


Рис. 10.3. Схема зоны затопления бухты Крабовая. Обозначения такие же, как на рис. 10.2.

Жители домов по ул. Заречная были переселены за год до события из-за цунамиоопасности района и оставленные дома использовались как дачи. Уровень улицы примерно

на 0.8 м превышает уровень моря (до землетрясения было 1.5 м). Вода залила улицу и дошла до сопки (расстояние 300 м). Всюду разбросаны бочки и доски. Дом №7 (на расстоянии 48 м от моря) был сорван с фундамента и сдвинут в сторону дома №6. На стене дома хорошо виден след уровня затопления, по нему сделан замер. Дощатый мост, ведущий к пограничникам, разрушен. Разбитая ГТС перенесена на 400 м вдоль по реке.

Продолжение улицы Заречной – улица Торговая также была затоплена цунами. К морю от нее расположены рыбозавод №86 и туковый завод. Оттуда приплыли бочки (расстояние 500 м от моря). На противоположной стороне улицы, ближе к сопкам, есть склад банкетары и дежурное помещение. Дежурившая в это время А. Толкачева сообщила, что вода доходила до склада (350 м от моря).

С.Н. Король, моторист танковоза (транспортного катера 217), был на вахте во время цунами. При землетрясении в Крабовозовском свет был, и было видно, как вода бурлит. Свет погас, когда волна цунами дошла на берегу до электрощитков на высоте 1.5-2 м. Рыбачьи суда почти все успели выйти из бухты за 7 минут до начала отлива. Танковоз лег на дно (осадка 1.2 м). Находящаяся рядом лента транспортера (на высоте около метра над причалом) была залита водой. Волны выглядели как приливы – отливы и течения. Еще в 4-5 часов утра уровень воды в бухте колебался, доходя до уровня пирса и основания транспортера. С.Н. Король отметил необычные факты: корюшка на пирсе, когда он осушился; кот и крыса на ленте транспортера с очумелыми глазами.

Наибольшие по величине заплески цунами – более четырех метров, были отмечены на южном берегу бухты Крабовой на территории погранзаставы и фильтропункта. Смыло весь запас дров. Автомобиль ГАЗ-66 протащило волной на расстояние около 50 м вдоль берега. Поднявшийся уровень воды немного не достал до матроса, дежурившего на вышке. По всем этим отметкам были произведены замеры.

На северном берегу бухты Крабовой следы заплесков были хорошо различимы. Кроме этого по бетонному причалу была измерена величина общего опускания земной поверхности на 55 ± 10 см.

На отметки заплеска ближе к горловине бухты указал Л.Н. Соломатов. Здесь высота цунами над приливом не превышала 2 метров.

Собранные по бухте данные о заплесках и зонах затопления, уточненные главой Администрации Крабовозовска В.И. Бергом, приведены на рис. 10.3.

К берегу *бухты Горобец* пройти не позволило отсутствие моста, находившегося в 200 метрах от моря и снесенного цунами. Часть моста длиной 6-7 м была сорвана и отнесена вверх по реке на расстояние около 150 м. Других следов цунами не было обнаружено. Учитывая, что мост до цунами возвышался над водой на 0.5-0.8 м, можно приблизительно оценить высоту волны цунами снизу – более 1.5 м.

В обеих долинках *бухты Маячной*, северной и южной, граница заплеска хорошо трассируется только на боковых склонах по валику выноса морского мусора и границе травы, засохшей после засолонения. В средних частях явных следов цунами обнаружить не удалось, хотя похоже, что южная долина заливалась цунами на глубину порядка 250 м (вынесенное морем бревно).

Явные следы заплесков были обнаружены в *бухте Церковная* на восточной стороне острова. Там были заложены два репера (точки 112 и 115), и на их основе проведена плановая съемка затопленной территории в Большой Церковной бухте. В небольших, примыкающих к ней бухточках, сделаны только отдельные замеры. Уровень заплеска довольно однороден, в основном 5-7 м, и хорошо трассируется по валику специфического морского мусора, местами прерывающемуся, а также по границе полыни, пожухлой после пребывания в соленой воде. Несколько замеров были произведены по морской траве, заброшенной цунами на ветви кустов и деревьев, например, отдельно стоящие точки 101, 117 и 126 на рис. 10.4 с высотами заплеска 5.83 м, 7.0 м и 5.7 м.

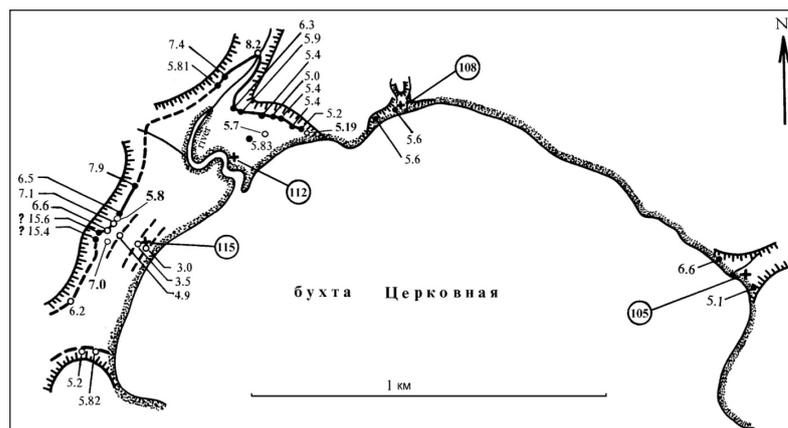


Рис. 10.4. Схема зоны затопления бухты Церковная на океанском побережье острова.

Интересным признаком в зоне затопления явилась высокая трава в левой и средней частях бухты Церковной, поваленная уходящей водой в направлении океана. Границе такой полегшей травы в середине бухты отвечает локальный аномально высокий заплеск порядка 15 м, который отнесен к неуверенным, поскольку не сопровождается специфическим морским мусором, след которого, впрочем, всегда отмечался как не сплошной, а представлял собой прерывающиеся валики.

Еще одной примечательной деталью явилось обнаружение следов повторных затоплений до уровней 4.9 м, 3.5 м и 3.0 м вблизи реперной точки 115. Долина самого крупного ручья была затоплена на 450 м в длину. Пляж около реперной точки 108 всегда песчано-галечный, где среди гальки часто встречались агаты, стал после цунами практически однородно песчаным.

Посещение *бухт Звездная и Дельфин* было кратким. На пляжной части бухты Дельфин следы цунами обнаружены не были. В то же время явно просматривались следы тектонического опускания поверхности. Работник ЖКХ В.В. Малов, который находился в бухте Дельфин во время землетрясения, рассказал, что они с друзьями быстро оделись, выскочили наружу и увидели, что вода в виде гладкой волны с шумом движется от входа в бухту с большой скоростью. Убежали в сопки. Вода унесла привязанную лодку. Высота волны была около 3 м, вторая волна была ниже и накатывалась тоже с шумом. При движении вдоль крутых берегов волна снесла с них деревья. На берегу образовались небольшие трещины. Вода при движении светилась.

Плашкоут Л.Н. Соломатова, находившийся у северного побережья бухты Дельфин, был унесен и оказался в притопленном виде почти на ее середине.

В бухте Звездная были сделаны замеры двух следов цунами, один из которых - на песчаном уступе.

Полевые обследования следов цунами производились на о. Шикотан вплоть до осени 1997 года (результаты более поздних работ представлены ниже в главе 13). Для уточнения характера проявлений цунами, и анализа «старения» и «стирания» следов цунами со временем. Уже на следующий год «травяной» след исчез. Пожухлая вследствие воздействия соленой морской воды трава не погибла, и на следующий год отличия исчезли. По крайней мере, два года сохранялся след в виде валиков морского мусора, которые, правда, уже с трудом разыскивались в траве. Такие следы удалось разыскать в бухтах Маячная и Церковная на склонах в северной части и центре бухты.

Кое-где сохранилась через год и морская трава с кусками рыболовных сетей на ветках деревьев, как например, в одиночной точке 126 в бухте Церковная с отметкой высоты следа 5.7 м. Примерно четверть хвойных деревьев в роще на берегу бухты Церковная засохла. Также сильно подсохшим выглядит багульник в низкой срединной части, пострадавшей от цунами территории, по сравнению с такими же растениями выше по склону.

Относительно редко встречающиеся следы в виде заброшенных волной на высоту бревен и досок оказались достаточно долговечными.

Глава 11

ПРОЯВЛЕНИЯ ЦУНАМИ НА ДРУГИХ ОСТРОВАХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУРИЛЬСКОЙ ГРЯДЫ

Обследование побережий островов Кунашир, Итуруп и Малой Курильской гряды выполнялось сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН, Сахалинского УГКС (г. Южно-Сахалинск) и Института океанологии РАН (г. Москва). Работы начались 16 октября, и за период с 16 по 30 октября удалось получить данные о проявлении цунами практически по всему побережью Южных Курильских островов.

Как правило, установить зоны затопления побережья не вызывало затруднений, граница хорошо выделялась в виде полос, состоящих из щепок, плавника, сухой травы, прочего морского мусора.

В городе Южно-Курильск и бухте Южно-Курильской многие следы цунами были ликвидированы при проведении аварийно-восстановительных работ, поэтому при определении отметок максимального заплеска использовалась информация очевидцев цунами или его последствий. Поскольку землетрясение и цунами произошли глубокой ночью, свидетельства о времени прихода и характере цунами практически отсутствуют.

В районе метеостанции, в северной части Южно-Курильской бухты, инструментально измеренная высота заплеска составила 2.9 м, дальность заплеска - 20 м. Берег в этом районе обрывистый, с надводными и подводными камнями (рис. 11.2). Во время цунами на берег выброшено пассажирское судно (см. приложение). К югу от метеостанции находится рыбокомбинат «Южно-Курильский» (холодильники, обрабатывающие цеха, пирс), МП «Докер», рыбколхоз «Родина», другие предприятия. По свидетельству матроса МП «Докер» А.С. Пожидаева, находившегося в конторе (деревянный домик на три комнаты), домик был подхвачен первой волной, находился на плаву 2-4 минуты и поставлен почти на прежнее место (быть снесенным в море помешала бетонная стенка). Вторая волна подошла примерно через 15 минут. Неустановленный очевидец сообщил о первоначальном отступлении воды и трех волнах цунами. По словам капитана РС «Алатау» В.В. Великана, волна цунами пришла через 50 минут после начала землетрясения, и наблюдалось три волны.

На рыбокомбинате «Южно-Курильский» (в капустном, жиромучном, посольном цехах) произошло оседание зданий вследствие вымывания фундаментов, разрушены приемные чаны; полностью уничтожены пирсы 1 и 3, размыто береговое укрепление, образовались трещины в бетонном покрытии пирса 2 (см. приложение); затонула у берега шхуна РСХ 99-57, выброшен на берег катер КЖ-325 с повреждениями корпуса, руля; разбиты и унесены волнами цунами кузнечный цех, аварийная электростанция.

В рыбколхозе «Родина» полностью или частично разрушены 19 складов (пемзоблочные и брусовые), находившихся в зоне затопления. Судно «Омуль» после удара о причал затонуло в бухте, другое судно и два плашкоута выброшены на берег. По сообщению начальника цеха В.Ф. Работяги, всего пострадало 5 плашкоутов.

В МП «Докер» унесены в море и затем выброшены на берег 5 плашкоутов. Выброшено на камни малое пассажирское судно.

На левом берегу **реки Серебрянка** (район баклаборатории) здание было поднято волной цунами, повернуто и опущено почти на прежнее место (см. приложение). Измеренная высота заплеска составляла 1.6 м при дальности 160 м от уреза.

Разрушен пешеходный мост. Одна из опор и обломки моста были обнаружены на расстоянии около 400 м выше по течению реки. Высота заплеска на левом берегу **реки Серебрянка** составила 2.3 м при дальности 340 м.

В пойме *реки Серебрянка* обнаружен перенесенный волной цунами на расстояние по прямой около 350 м жилой дом, находившийся ниже по течению на правом берегу реки напротив бакалатории. Недалеко от дома обнаружены одна из опор и обломки пешеходного моста. Высота и дальность заплеска составили 2.8 и 470 м соответственно.

В районе ул. Красноармейской, в 200 м от *р. Серебрянка*, высота заплеска по инструментальным измерениям составила 3.3 м, дальность заплеска - 200 м от уреза. Разрушено хозяйство пожарной части, другие постройки.

Южнее устья *реки Серебрянка* граница затопления проходила примерно посередине между улицами 3 Сентября и Сахалинской на расстоянии около 200 м от уреза воды. На этом участке разрушен ряд складов, жилых домов, мелких построек. Суда, выброшенные на берег тайфуном в сентябре 1994 г, перенесены вглубь берега на расстояние 50 - 70 метров. Жители домов по ул. 3 Сентября Г.К. Сапелкин и Л.А. Шувалова сообщили, что вода была в квартирах, снесены забор, ворота. Несколько домов разрушено цунами полностью. Г.К. Сапелкин, находившийся в котельной в верхней части города, после начала землетрясения бросился спасать семью, успел вывести машину и уехать в безопасное место. Время между началом землетрясения и цунами оценил в 40 минут.

На расстоянии около 1 км от устья *реки Серебрянка* высота и дальность заплеска составили 3.1 м и 140 м соответственно. Стоявшая вблизи линии уреза баржа заброшена вглубь берега на расстояние около 70 м.

На расстоянии приблизительно 4 км от устья *реки Серебрянка* высота и дальность заплеска составили 5.0 м и 45 м соответственно. 3 небольших судна были перенесены вглубь берега на 30 - 50 метров.

У поворота *дороги Южно-Курильск – Менделеево*, в 4.5 км от устья *реки Серебрянка*, высота и дальность заплеска составили 3.1 м и 35 м соответственно. Подмыта и обрушена площадка у основания стелы «Южно-Курильск».

На расстоянии 5 км от устья *реки Серебрянка*, в районе устья *р. Лесная*, высота и дальность заплеска были 2.9 м и 110 м соответственно. Стоявший на берегу в прибойной зоне плашкоут перенесен волной вверх по реке на расстояние около 200 м.

На расстоянии 5.5 км от устья *реки Серебрянка*, в районе *п. Горячий Пляж*, высота и дальность заплеска были 2.2 м и 20 м соответственно.

Облет *острова Кунашир* на вертолете от *озера Лагунное* до *мыса Докучаева* с охотской стороны показал наличие многочисленных обвалов.

В *бухте Водопадная*, район между *мысом Водопадный* и *ручьем Птичий*, наблюдался оползень крутого берега высотой около 10 метров с размерами 50х500 метров на прибрежную полосу. Снесен в море рыбацкий стан из трех домиков рыбколхоза «Родина» (бригада Э.Н. Кузнецова). Вода в море через три недели после землетрясения оставалась замутненной на площади радиусом около 1 км от оползня с четкой границей.

В *заливе Спокойный* на берегу моря до *озера Круглое* наблюдались следы цунами в виде нанесенного плавника, остатков травы на высоте 3 - 3.5 метров от уреза. По визуальным оценкам дальность заплеска около 30 метров.

В районе *реки Саратовской*, западнее *Тягинского рейда (р. Тягина)*, наблюдались аналогичные следы, по визуальным оценкам высота заплеска составила около 3 - 3.5 метров, дальность – около 40 метров.

По свидетельству очевидца В.Пантелея, в районе *реки Филатова*, между *мысом Рогачева* и *мысом Медведь*, берег высотой 3 - 4 метра был затоплен на расстоянии 300 - 400 метров от береговой черты, о чем свидетельствует мусор: плавник, бревна, бочки. Наблюдались промоины на берегах. В районе источников «Чайка» разрушены ванночки и трубы, подводившие горячую воду из скважин. Высота и дальность заплеска - 4 и 50 метров соответственно.

По свидетельству очевидца В.И. Рыбникова, в районе водопада (около 15 км от *г. Южно-Курильск*) высота заплеска составила 8.6 м на расстоянии 80 м от уреза. Приход волны произошел в 0 час 50 мин.

Обобщение данных обследования показало, что волна цунами достигла восточного побережья *о. Кунашир* примерно через 1 час после начала землетрясения. Цунами началось с понижения уровня, что подтверждается также записью мареографа в *г. Южно-Курильск*, и представляло собой три волны с интервалами около 15 минут между ними. Ввиду того, что восточное побережье *о. Кунашир* слабо изрезано, оно подверглось практически однородному, за исключением пойм рек и ручьев, затоплению. Высоты заплесков на побережьях *Южно-Курильского пролива* составляли 3 - 4 метра над мгновенным приливным уровнем в момент цунами. На южной трети побережья высоты заплесков не превышали 2 метров.

В северной половине острова побережье представляет собой достаточно крутой склон, отделенный от моря узкой полосой берега шириной около 20 метров. Рельеф южной половины побережья более пологий. Наибольший заплеск случился на крутом склоне в средней части острова южнее устья *реки Илюшина* и *мыса Петрова*.

В Южно-Курильской бухте от цунами сильно пострадала нижняя часть *г. Южно-Курильск*, расположенная на пологом берегу бухты и вдоль правого берега *реки Серебрянка*. Затоплению подверглась полоса вдоль берега шириной около 200 м с высотой заплеска 3 - 4 метра. Волна цунами прошла вдоль русла *реки Серебрянка* на расстояние до 900 м. В портовой части воздействию цунами подверглась узкая полоса между заливом и крутым берегом. Дальность затопления составила около 30 - 40 метров.

На юге *о. Кунашир* в *заливе Измены* характер цунами отличался от цунами на восточном побережье. Волна достигла берега залива Измены через 2.5 часа после начала землетрясения. Был слышен шум приближающейся волны, свидетельствующий об обрушающейся волне, возможно, в виде бора. Волнение в виде накатывающихся волн с интервалом около 10 минут продолжалось в течение ночи.

Данные о высотах и дальности заплесков вдоль побережья *о. Кунашир* приведены на рис. 11.1.

Проявления цунами на островах Малой Курильской гряды

Обследование последствий землетрясения и цунами на островах Малой Курильской гряды включало беседы с личным составом погранзастав, выездов, на побережье и облет прибрежной зоны на вертолете.

На *острове Танфильева* личный состав погранзаставы цунами не наблюдал. В *бухте Танфильева* (восточный берег острова) следов цунами, отличных от штормовых, не обнаружено.

На *острове Анучина* цунами не наблюдалось. Берега острова, кроме южного, обрывистые. У личного состава погранзаставы создалось впечатление, что средний уровень моря поднялся сантиметров на 20.

На *острове Юрий* в *бухте Широкая* сразу после землетрясения вода отступила примерно на 10 метров. Первая волна пришла в *бухту Широкая* с севера через 1 час. Самой большой была третья волна. Заплеск - на расстояние около 200 м, высота заплеска - около 1.5 м. Волны были в виде прилива. «Болтанка» в *бухте Широкая* сохранялась в течение ночи. В юго-восточной части острова, на пологом берегу, цунами не наблюдали. По сообщению одного из военнослужащих, на восточном, обрывистом, берегу (район *м. Бакланый*) видны были следы цунами на высоте около 3 - 3.5 м.

На *острове Зеленый* наблюдались следы цунами на юго-западном берегу (вблизи заставы): от *мыса Зеленый* до *озера Утиное* высота заплеска составляла около 1.5 м с

понижением к югу до прибойного уровня. О времени прихода волны не сообщалось. Визуально с вертолета от *мыса Протяжный* через *мыс Вальтона* до *мыса Ивановский* (восточный и северо-восточный берега острова) следов цунами, отличных от штормовых, не обнаружено.

На *острове Полонского* через 20 минут после толчка уровень моря со стороны *острова Птичий* (*бухта Часовня*, северный берег) понизился примерно на 4 метра. Через 1 час после начала землетрясения уровень в виде прилива стал резко подниматься до 4 метров выше исходного. Сообщали, что средний уровень моря после землетрясения поднялся примерно на 0.5 метра.

Общую картину проявления цунами на малых островах *Малой Курильской гряды* трудно составить ввиду малого количества и разрозненности сведений. В общих чертах, цунами началось с понижения уровня, первая волна пришла примерно через 1 час после первого толчка, наблюдались три волны.

Проявление цунами на о. Итуруп

Обследование побережья *залива Касатка* не выявило каких-либо разрушительных последствий цунами. Вдоль всего побережья залива отмечалось спокойное затопление. Максимальные заплески волн цунами зафиксированы в самой южной части залива (*пос. Буревестник*) и на северо-восточном побережье, где отметки вертикальных заплесков составили соответственно 2.4 и 2.0 м при глубине проникновения 70 и 12 м (рис.11.3).

Максимальные высоты заплесков цунами (по результатам полевого обследования) на побережьях Южных Курильских островов представлены выше на рис. 10.1.

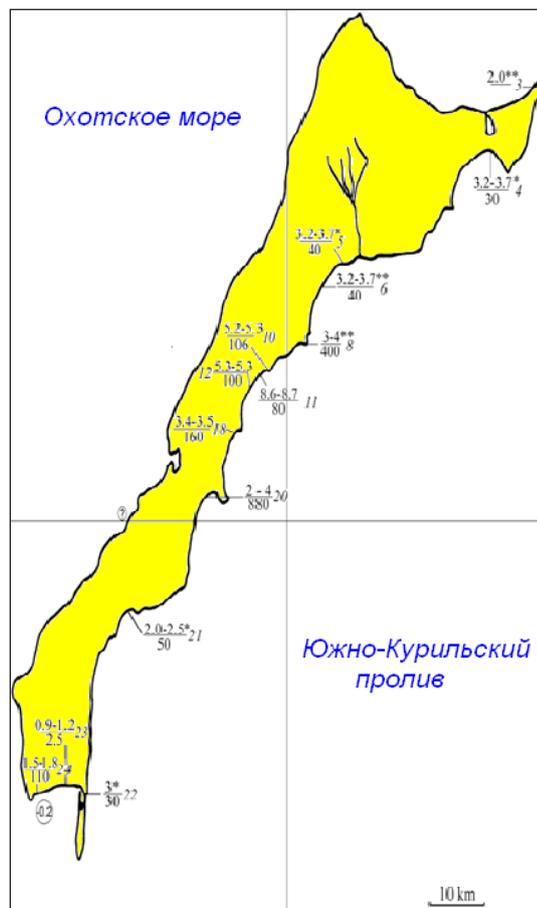


Рис. 11.1. Высоты и дальности заплесков цунами побережье о. Кунашир. Числа над чертой обозначают высоту заплеска (в метрах), отсчитываемую от уровня прилива в момент цунами; числа под чертой обозначают дальность заплеска (в метрах).

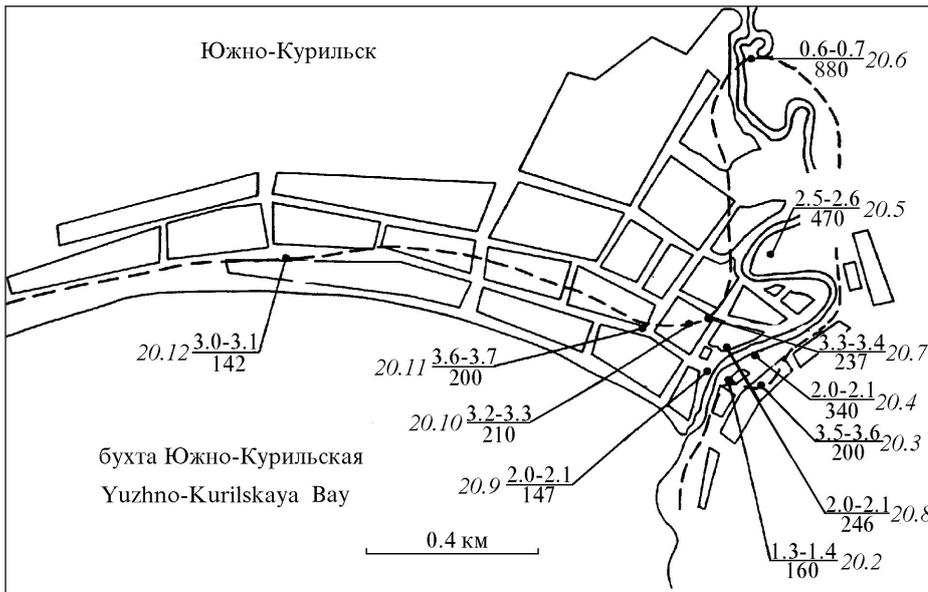


Рис. 11. 2. Граница затопления в г. Южно-Курильск.



Рис. 11.3. Высоты и дальности затопления побережья залива Касатка, о. Итуруп.

Глава 12

ОПЫТ ОПЕРАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШИКОТАНСКОГО ЦУНАМИ

В оперативной обстановке тревожного режима, когда регистрируется близкое к побережью сильное подводное землетрясение, недостаток времени не позволяет получить информацию для точного воспроизведения смещений дна в эпицентральной области, которые должны быть взяты в качестве начальных условий в задаче о возбуждении цунами. Для оперативного прогноза воздействия цунами на ближайших к источнику берегах обычно пользуются приближенными моделями «эквивалентного источника» [Пелиновский, 1996].

При землетрясении 4 (5) октября 1994 года задача оперативного прогноза цунами на побережьях Южных Курильских островов решалась с помощью имеющихся в то время программных и технических средств [Храмушин, Поплавский, 1997]. Для моделирования был выбран источник, параметры которого (размеры и закон распределения высоты начального возвышения) определялись макросейсмическими проявлениями очага происходящего землетрясения. Начальное возвышение η в эпицентральной области землетрясения определялось из соотношения

$$\lg(\eta) \approx J - 8.9, \quad (1)$$

где J – интенсивность сотрясения в баллах по шкале MSK.

Как известно [Новый каталог..., 1977], интенсивность сотрясений определяется следующим соотношением

$$J \approx mM - p \lg(r) - sr + q, \quad (2)$$

где $r = \sqrt{\Delta^2 + h^2}$ – расстояние от точки наблюдения до ближайшей к ней точки разлома в очаге землетрясения, Δ – проекция этого расстояния на поверхность Земли, h – глубина очага землетрясения, M – магнитуда; m , p , q , s – эмпирические константы, определяемые индивидуально для каждого региона. Для Курильских островов эти константы равны $m = 1.5$, $p = q = 4.5$, $s = 0$. Разлом в очаге землетрясения аппроксимируется отрезком прямой, параллельным поверхности Земли, его длина L оценивается из соотношения

$$\lg(L) \approx 0.5M - 1.8. \quad (3)$$

Из формул (1) и (2) получается выражение для начального возвышения

$$\eta \approx \eta_{\max} 10^{-s(\sqrt{\Delta^2 + h^2} - h)} \left(\frac{h}{\sqrt{\Delta^2 + h^2}} \right)^p, \quad (4)$$

где η_{\max} максимальное значение начального возвышения, получающееся из (2), при $r = h$.

В декартовой системе координат xOy с началом в середине проекции L на земную поверхность, осью Ox , направленной вдоль L , и осью Oy , направленной перпендикулярно:

$$\Delta = \pm y \text{ при } -\frac{L}{2} \leq x < \frac{L}{2},$$

$$\Delta = \sqrt{\left(x + \frac{L}{2}\right)^2 + y^2} \text{ при } x < -\frac{L}{2},$$

$$\Delta = \sqrt{\left(x - \frac{L}{2}\right)^2 + y^2} \text{ при } x \geq \frac{L}{2}.$$

Таким образом, источник представлялся в виде одномодального, всюду положительно возвышения уровня, максимум которого распределен вдоль проекции разлома на земную поверхность, а овалоподобные изолинии начальной высоты $\eta < \eta_{\max}$ составлены из отрезков прямых, равных и параллельных L, отстоящих от него на расстоянии Δ , и полуокружностей радиуса Δ с центрами на концах этого отрезка, замыкающих источник с «торцов».

Для практического использования приведенных формул необходимо знание положения эпицентра землетрясения, его фокальной глубины и магнитуды. Однако, глубина очага, как правило, в первые минуты после начала землетрясения не определяется. Для землетрясений вблизи Курильских островов это не является серьезным препятствием, так как сильные (цунамигенные) землетрясения в этом районе не происходят на глубинах менее 30 км. Это значение глубины и было принято в качестве априорной оценки. При этом прогнозируемые значения высоты волн цунами на берегу рассматривались как их верхняя оценка.

Проведение вычислительного эксперимента

Для расчетов использовался дежурный компьютер (РС-386/25 с 4 мегабайтами оперативной памяти), его возможности позволяли моделировать в Южно-Курильском проливе волну с периодом не менее 10-12 минут. Размер расчетной области выбирался исходя из скорости вычислений на данном компьютере, что не позволяло охватить единым вычислительным экспериментом очаг землетрясения и побережье Южных Курильских островов. Чтобы объединить одним экспериментом острова Шикотан, Кунашир и Итуруп (~300 км), в качестве источника цунами была выбрана одиночная волна с периодом 12 минут, входящая в Южно-Курильский пролив с юго-востока.

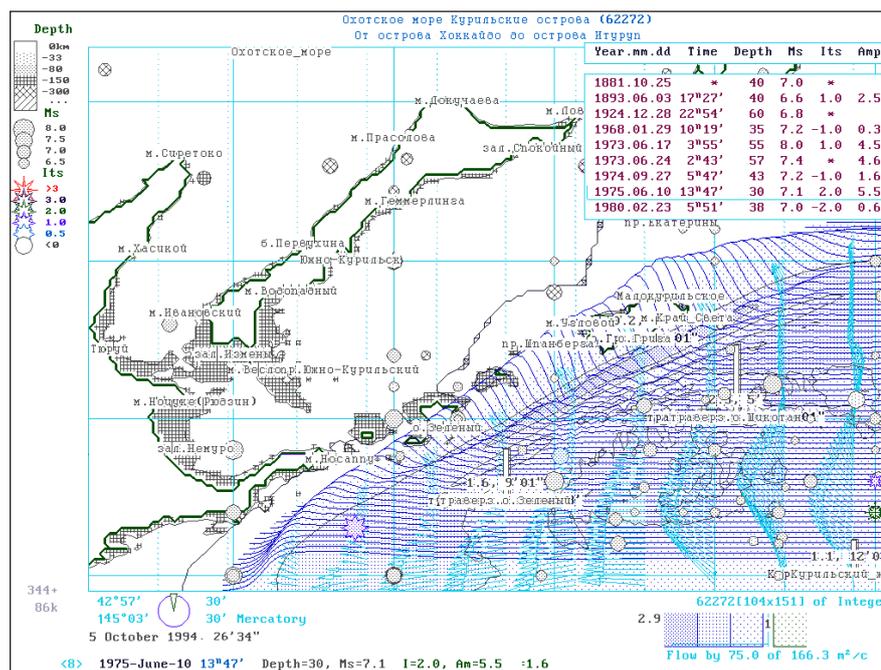


Рис. 12.1. Пример изображения на экране ЭВМ в процессе проведения вычислительного эксперимента. Показан подход волны цунами к побережью Курильских островов через 3 мин 34 сек после первого толчка, произошедшего в 0 час 23 мин. На экране также показаны исторические землетрясения и цунами (кружочки и звездочки, с легендой в левой стороне экрана), их список приведен в правом верхнем углу. Прямой штриховкой отмечена область, в которой расчеты невозможны из-за нарушения пространственных аппроксимационных критериев на мелководье.

По результатам расчетов был определен характер распределения амплитуд цунами по Южным Курильским островам, при этом коэффициент усиления амплитуды цунами был оперативно скорректирован по сообщению с судовой радиостанции о высоте цунами в Малокурильской бухте. Была определена групповая структура волновых пакетов,

которые проявлялись на побережье островов Южно-Курильского пролива максимальными заплесками с периодичностью около двух часов. По результатам расчетов последняя крупная волна цунами проходила около Южно-Курильска в 9 часов утра, а реальная тревога цунами была отменена в 8 час 45 мин сахалинского времени, что, в частности, отмечалось в процессе оперативных переговоров с наблюдателями в Южно-Курильске.

В последующем, по мере поступления данных о землетрясении и цунами с Южных Курильских островов была произведена новая серия вычислительных экспериментов с использованием более мощного компьютера IBM-PC 486/66. Наиболее показательными являются три варианта численного моделирования цунами 5 октября 1994 года, которые были сделаны до получения данных об экспедиционных наблюдениях на Курильских островах.

1. Оперативный очаг цунами строился по эмпирическим формулам, которые предназначены для оперативного использования в службе предупреждения о цунами. В качестве исходных данных использовались магнитуда землетрясения, равная 7.9, и координаты эпицентра. Очаг строился в виде эллиптического поднятия уровня воды с амплитудой 2.7 м и размерами осей 130x40 км. Ориентация задавалась с помощью направления малой полуоси, в соответствии с усредненным градиентом наклона дна под очагом, в сторону уменьшения глубины.

2. «Сахалинский» очаг цунами строился в соответствии с координатами афтершоков землетрясения, полученными на Южно-Сахалинской сейсмостанции. В данном случае использовался разлом длиной 160 км, ориентированный поперек Курильского глубоководного желоба, при этом к северу происходил подъем уровня на полтора метра, а к югу такое же опускание. В источнике цунами определялось начальное поле скоростей в направлении опускания дна. Размеры очага выбирались, исходя из требования численной аппроксимации так, чтобы период волны цунами был не менее 8 минут.

3. «Японский» очаг цунами был получен по факсу из Японии от N. Shuto (Tohoku University). Его протяженность составляла 160 км вдоль желоба, с подъемом с тихоокеанской стороны на 1.8 м и опусканием острова Шикотан на 70 см. Необходимо отметить, что японские определения координат эпицентра землетрясения сильно отличались от сахалинских, а также от координат, полученных из американских источников.

В первом варианте расчета получен период волны цунами в источнике приблизительно 3.5 минуты, что недопустимо мало по аппроксимационным критериям. Для корректировки, через двадцать минут расчетного времени была произведена смена расчетной карты в Южно-Курильском проливе на более подробную. В это время волна цунами только еще подходила к острову Шикотан и столь ранняя смена карты привела к потере большей части волновой энергии цунами, что привело к занижению расчетных амплитуд на всех Тихоокеанских мареографных точках.

Расчеты со вторым вариантом очага цунами наилучшим образом согласовались с наблюдениями цунами на побережье. Только в этом случае получилось достаточно слабое цунами в бухте Касатка и сильное цунами на тихоокеанском побережье Хоккайдо, как это и наблюдалось в действительности.

Третий вариант расчета (с японскими данными), с расположением очага вдоль Курильского желоба, дал волну цунами, которая должна существенно сильнее проявиться на островах Кунашир, Итуруп и Зеленом и не должна образовывать сильного потока энергии в сторону тихоокеанского побережья Хоккайдо.

Все три варианта расчетов в виде серии рисунков и мареографных записей были переданы членам экспедиции, выехавшей 9 октября 1994 года на Курильские острова для обследования побережья.

После сравнения с результатами экспедиционных замеров заплесков цунами, оперативное численное моделирование цунами 5 октября 1994 года было признано вполне удовлетворительным и чрезвычайно полезным для использования в оперативной службе предупреждения о цунами.

Глава 13

ОСАДКИ ШИКОТАНСКОГО ЦУНАМИ 1994 г.

Единственным способом получить данные по повторяемости катастрофических цунами является выявление следов палеоцунами, запечатленных в разрезах береговых низменностей в виде прослоев морского песка, простирающихся далеко за пределы зоны штормового воздействия. На Южных Курилах инструментальные записи проявления цунами имеются, начиная со второй половины XX века, поэтому особую актуальность имеет изучение следов цунами, оставленных в торфяниках береговой зоны, позволяющих определить возраст и повторяемость крупных событий за последние сотни и тысячи лет. Для того, чтобы знать, какую информацию можно получить, изучая осадки древних цунами [P'ev et al., 2005], важно иметь данные по известным современным событиям. Таким событием, ярко проявившимся на Южных Курилах, было Шикотанское цунами 1994 г. с максимальными величинами заплеска (до 15 м) на тихоокеанской стороне о. Шикотан [Шикотанское..., 1994; Иващенко и др., 1996; Кайстренко и др., 1997; Королев и др., 1997]. Через год после землетрясения осадки цунами были найдены на побережье юго-западной и центральной части бухты Димитрова [Иванов, 1997], где высота заплеска цунами составляла от 5.3 до 9.8 м, зона затопления достигала 600 м [Кайстренко и др., 1997; Yeh et al., 1995]. Здесь на некотором удалении от береговой линии были обнаружены небольшие пятна песка. Максимальное песчаное поле имело размер до 10 м с мощностью слоя песка до 20 см, за пределами основной зоны осадконакопления песок покрывал траву слоем не более 3 см; пятна песка встречались до высоты 2.8 м над уровнем моря, что намного меньше, чем измеренные величины заплеска [Иванов, 1997]. В бухте Церковной через год после землетрясения осадки цунами были обнаружены на склоне первого штормового вала, обращенном к морю, и в понижениях между древними штормовыми валами; песок не образовывал сплошного покрова и встречался в виде небольших пятен [Иванов, 1997]. Несмотря на то, что цунами 1994 года было одним из наиболее сильных на Южных Курилах за исторический период, осадки цунами были найдены лишь в нескольких точках на тихоокеанской стороне островов Шикотан, Танфильева и Кунашир.

Целенаправленная работа по поиску и идентификации следов исторических цунами на Курильских островах проводилась последние 15 лет сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН и ТИГ ДВО РАН. Поиски осадков цунами 1994 года, проведенные через 10-15 лет после Шикотанского землетрясения, показали, что в ряде бухт на поверхности торфяников под дерном имелись тонкие слои морского песка [Разжигаяева и др., 2007] толщиной до 2 см, залегающие пятнами или узкими полосами. Зона осадконакопления цунами Шикотанского землетрясения располагалась на разном удалении от уреза моря (от 130 до 470 м). Во всех случаях зона накопления осадков не достигала границы зоны затопления. Наиболее благоприятные условия для осаждения и захоронения осадков цунами создавались в нижней части заболоченных долин в небольших понижениях за древними штормовыми валами. Такие участки являются наиболее перспективными для поиска следов палеоцунами.

Во время экспедиционных работ 2004-2013 гг. на о. Шикотан осадки цунами 1994 г. найдены на тихоокеанском побережье острова в бухтах Димитрова, Агатова, Церковная и Малая Церковная (рис.13.1), со стороны Южно-Курильского пролива следов не обнаружено, хотя зона затопления там достигала 450 м [Кайстренко и др., 1997].

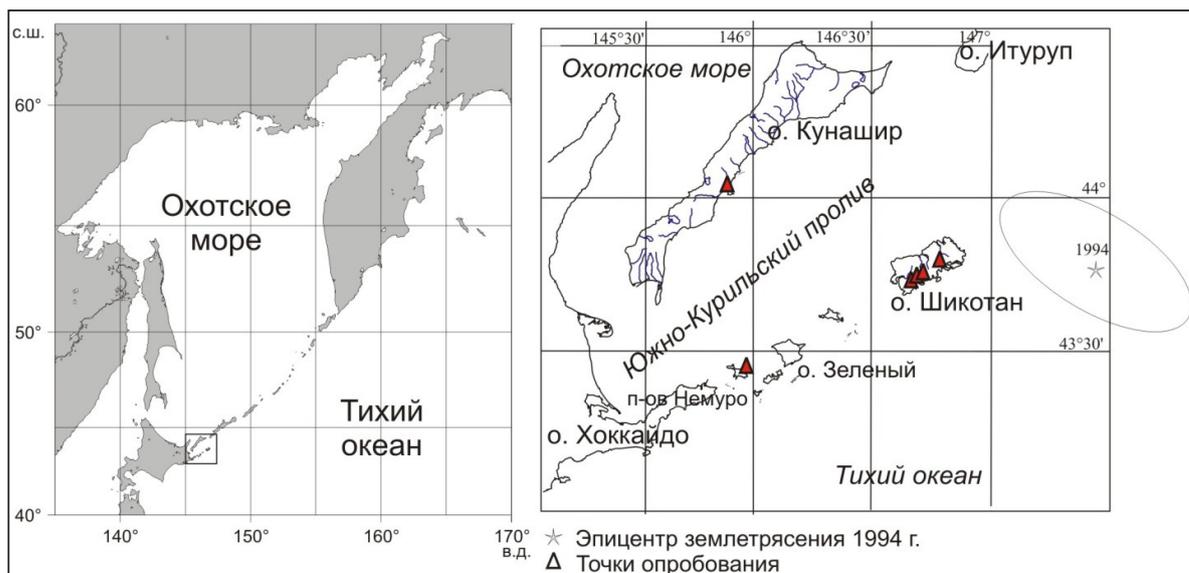


Рис. 13.1. Расположение разрезов, включающих осадки Шикотанского цунами 1994 г.

Хорошо выраженный покров осадков найден на болоте на берегу бухты Аэродромная. Торфяник здесь образовался за древним береговым валом (высотой 3 м) на месте небольшого заросшего озера. Осадки цунами 1994 г. обнаружены на расстоянии 230 м от береговой линии под травянисто-моховой подушкой (на глубине 2-5 см) и представлены прослоем зеленовато-серого мелкозернистого песка мощностью до 2 см с четкими волнистыми контактами. Прослой хорошо прослеживался в разрезах на профилях, заложенных вдоль и поперек долины – размер пятна песка примерно 70x20 м. Происхождение песка подтверждено данными диатомового анализа – в осадке обнаружено 12 видов диатомовых микроводорослей, обитающих в прибрежной зоне моря. Наличие в составе пресноводных диатомей показывало, что волна цунами захватывала не только материал из прибрежной зоны, но и осадки приустьевоего озера. Гранулометрический и минеральный состав песков, оставленных цунами, отличался от осадков пляжа, осушки и материала древней барьерной формы (рис. 13.2, 13.3.). Основным источником материала, переотложенного цунами, были осадки подводного берегового склона бухты, приустьевоего водоема и в меньшей степени материал, захваченный за счет эрозии древнего берегового вала.



Рис. 13.2. Песок, оставленный цунами 1994 г. в бухте Аэродромная.

Осадки цунами 1994 г. найдены на побережье бухты Агатовая, где под дерном обнаружен слой мелкозернистого хорошо сортированного песка, прослеженный до 170 м вглубь суши (рис. 13.4). Большое бревно, лежавшее далее по профилю, свидетельствовало, что заплеск цунами здесь был около 5 м, зона затопления имела ширину до 250 м.

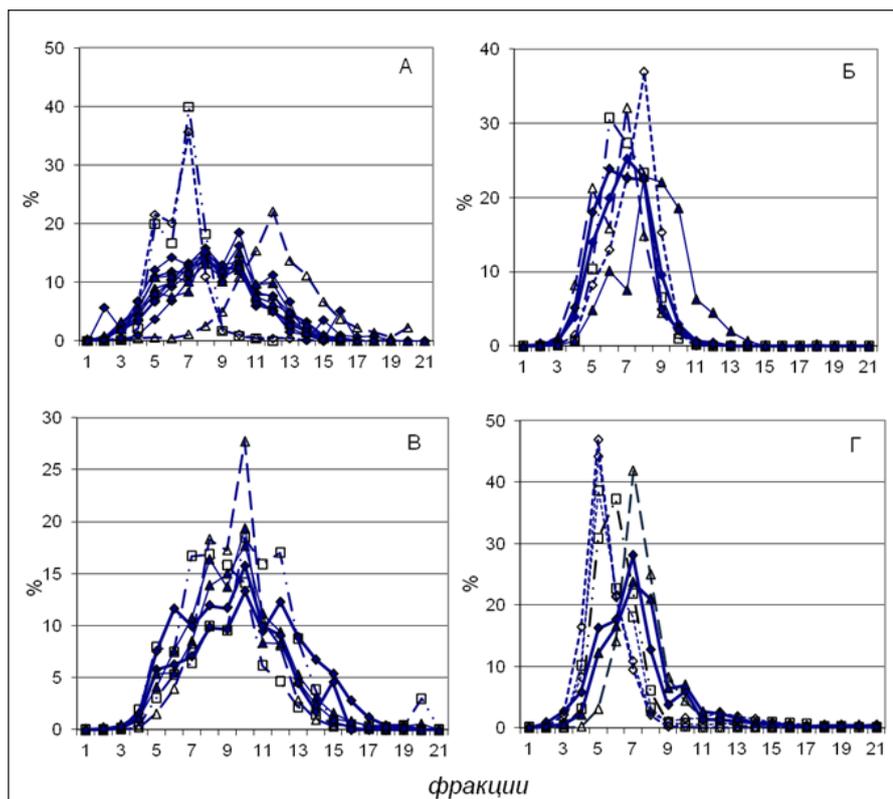


Рис. 13.3. Гранулометрические кривые цунамигенных песков и других прибрежно-морских фаций:
 (А) – бухта Аэродромная, о. Шикотан; (Б) – бухта Церковная, о. Шикотан, (В) – о. Танфильева;

(Г) – бухта Южно-Курильская, о. Кунашир.

Фракции: 1 < 0.05; 2 – 0.05-0.063; 3 – 0.063-0.08; 4 – 0.08-0.1; 5 – 0.1-0.125; 6 – 0.125-0.16; 7 – 0.16-0.2; 8 – 0.2-0.25; 9 – 0.25-0.315; 10 – 0.315-0.4; 11 – 0.4-0.5; 12 – 0.5-0.63; 13 – 0.63-0.8; 14 – 0.8-1; 15 – 1-1.25; 16 – 1.25-1.6; 17 – 1.6-2; 18 – 2-3; 19 – 3-4; 20 – 4-5; 21 > 5 мм.

Осадки: 1 – цунами 1994 г.; 2 – цунами 1975 г.; 3 – осушки; 4 – пляжа; 5 – террасы.



Рис. 13.4. Песок цунами 1994 г. и бревно, вынесенное цунами на побережье бухты Агатовая.

В бухте Церковная осадки цунами 1994 г. обнаружены в вершине бухты в почвенном покрове на низкой морской террасе (высотой 2-2.5 м) в 130 м от уреза. Высота заплеска цунами в этой части бухты была 5.7-5.8 м, по долине ручья цунами проникло на 450 м [Кайстренко и др., 1997]. Под слоем почвы на глубине 1-1.5 см найдены прослои серого мелкозернистого песка (мощностью до 1 см), расположенные пятнами в небольших понижениях на поверхности террасы. В песке обнаружено 4 вида морских диатомовых водорослей, характерных для открытых бухт и заливов. Среди пресноводных видов имелись не только почвенные, но и единичные створки эпифитов и планктонных видов, поступивших

из приустьевой части ручья, которая затапливалась цунами. Волна здесь проходила через широкий песчаный пляж и переотлагала, в основном, материал пляжа и террасы, на что указывают характеристики размерности и минеральный состав цунамигенных песков.



Рис.13.5. Побережье бухт. Церковная с отметками заплеска цунами 1994, 2011 гг. и экстремальных штормов 2006-2007 гг. Елово-пихтовая роща, подвергшаяся атаке цунами 1994 г., часть деревьев погибла после штормов 2006-2007 гг.

Осадки цунами 1994 г. были найдены на побережье бухты Малая Церковная, где в торфяниках обнаружена наиболее детальная геологическая летопись сильных цунами исторического возраста. Сравнение гранулометрического состава осадков Шикотанского цунами 1994 г. и Тохоку цунами 2011 г., обнаруженных в этой бухте, показало, что первые более крупнозернистые. Цунами 1994 г. было более сильным и вызвало большую эрозию, материал поставлялся с большей территории из разных источников, в том числе перерабатывался склоновый материал.

В 2005 году осадки цунами 1994 г. обнаружены на восточном побережье острова Танфильева (юг Малой Курильской гряды). В торфянике, залегающем на морских песках барьерной формы, отделяющей от моря небольшое озеро, найдены прослой и гнезда серого мелкозернистого песка на удалении до 185 м от уреза моря. Осадки, имеющие мощность 1-2 см, залегающие на глубине 5-13 см, были приурочены к незначительным углублениям на террасе. Пески цунами по размерности несколько отличаются от песков пляжа и штормового вала, и хуже сортированы. По-видимому, цунами захватывало материал, как с пляжа и древнего штормового вала, так и с подводного берегового склона. В 1994 году обследование на острове Танфильева не проводилось, но находки мотков морских канатов за пределами зоны штормового заплеска позволили считать, что Шикотанское цунами здесь проникало вглубь суши до 210 м и имело высоту заплеска до 2.5 м. Присутствие осадков цунами свидетельствовало, что высота цунами на побережье, открытом к проливу Танфильева, была не более 2-2.5 м, а зона затопления - около 200-250 м. Обследование, проведенное на близлежащих островах Зеленый и Юрий сразу же после цунами, показало, что там высота заплесков достигала 3.5 м, зона затопления – 200 м [Королев и др., 1997].

На тихоокеанском побережье острова Кунашир в районе г. Южно-Курильск затоплению подверглась зона шириной около 200 м, максимальное проникновение волны наблюдалось в приустьевой части р. Серебрянка. Осадки цунами 1994 г. были обнаружены в пойме р. Серебрянка в 470 м от уреза около остатков опор моста, разрушенного и перенесенного цунами. Высота заплеска волны в этом месте составляла 2.8 м. Песок залегал гнездами (мощность до 2 см) под дерном на глубине 6 см. В осадке обнаружена богатая диатомовая флора, включающая 23 морских и солоноватоводных видов. Изучение размерности песков показало, что, в основном, волна цунами переотлагала материал, образованный при размыве террасы, а также захватывала осадок с мелководья и пляжа.

На всех исследованных участках побережья осадки цунами 1994 г. отличаются от других осадков береговой зоны, их состав зависит не только от параметров и особенностей прохождения волны, но и строения побережья – конфигурации береговой линии, развития песчаных форм и других факторов. Волна цунами захватывала материал из различных источников, и образовавшийся осадок представляет собой своеобразную смесь разного материала, перенесенного и переработанного волной. Состав осадков цунами имеет наибольшее сходство с тем источником, который подвергался эрозии, и при размыве которого захватывалось большее количество материала. По размерности частиц и минеральному составу осадка можно судить, какая зона подвергалась размыву. Так, на о. Шикотан в условиях полузакрытой бухты с галечным пляжем (бухта Аэродромная) больше материала поставлялось с подводного берегового склона и из приустьевой лагуны, в бухте Церковная осадок сформировался в основном за счет эрозии обширного пляжа и песчаной террасы. На о. Танфильева осадок образовывался при размыве штормового вала, меньшую роль играла поставка материала с подводного берегового склона и пляжа. На о. Кунашир в устье р. Серебрянка основным источником был материал террасы. На всех участках побережья размыву подвергались песчаные формы рельефа со слабо задернованной поверхностью. При продвижении вглубь суши уменьшался средний размер материала осадков, увеличивалась доля частиц менее 0.1 мм.

На обследованных участках побережья в этих же разрезах обнаружены слои песков, оставленные предыдущими цунами XX века. Эти осадки трудно привязать к какому-то конкретному событию. На юге Курил крупные цунами (с высотой заплеска до 5.5 м) были в 1958, 1960, 1969 и 1975 гг. [Соловьев, Го, 1974; Леонов и др., 1973; Соловьев, 1978]. Следы не всех этих событий могли сохраниться, учитывая непродолжительные промежутки между ними. Вероятнее всего, сохранились осадки цунами 1975 г. Осадки цунами 1994 г. и предыдущих исторических событий по составу более сходны между собой, чем с другими осадками прибрежно-морской зоны – пляжа, осушки, береговых валов и т.п. Это может свидетельствовать о сходстве ситуаций на конкретных участках побережья при прохождении цунами, близких по интенсивности и захватывающих материал из одних источников.

Все изученные осадки цунами 1994 г. и предыдущих исторических событий включали морские формы диатомовых водорослей, среди которых преобладали мелководные виды, глубоководные формы встречены единично. Богатые диатомовые комплексы отмечены в осадках, основным источником которых был материал с подводного берегового склона (бухта Аэродромная, о. Шикотан, бухта Южно-Курильская, о. Кунашир). Если переотлагался, в основном, материал пляжа и древних штормовых валов, то содержание морских диатомей низкое (бухты Церковная, о. Шикотан, о. Танфильева). Состав пресноводных диатомей в осадках цунами фиксирует поставку материала из пресноводных водоемов, через которые проходила волна и эрозию континентальных осадков разного происхождения. На участках, где волна цунами затапливала территорию поселков (г. Южно-Курильск), осадок имел антропогенную составляющую, например, обломки угля и кирпича.

Глава 14

ДЕНДРОИНДИКАЦИЯ ЦУНАМИ НА о. ШИКОТАН

Для датировки и реконструкции следов прошлых цунами в последнее время нашел применение так называемый дендрохронологический метод, суть которого состоит в том, что на формирование годичных колец сильное влияние оказывает состояние окружающей среды, в том числе природные катаклизмы.

Благодаря долголетию древесных растений, этот метод позволяет получить длительные ряды наблюдений. Впервые древесно-кольцевые серии для обнаружения следов цунами были апробированы В.В. Ивановым и К.В. Симоновым (1983). Ими были проанализированы несколько срезов ольхи из прибрежной зоны Второго Курильского пролива (о. Парамушир) и отмечена эффективность этой методики для получения информации об исторических цунами.

В конце сентября 1995 года были проведены исследования по поиску следов цунами на острове Шикотан с использованием методов дендрохронологии. Работы проводились в прибрежных зонах населенных пунктов Крабовоздовское, Малокурильское, бухт Димитрова и Церковная. Для дендрохронологического анализа было отобрано 127 образцов древесины ели аянской, пихты сахалинской, рябины смешанной, ольхи волосистой, ясеня маньчжурского и березы каменной. Для взятия образцов-кernов деревьев использовался бурав Пресслера, который позволяет не только сохранить деревья живыми, но и не наносить им серьезного вреда. Прибрежная лесная растительность острова, в связи с рубками и лесными пожарами, сильно трансформирована и встречается лишь фрагментарно. В наибольшей степени она сохранилась в бухте Церковная, где и были проведены основные работы. Леса здесь сложены из ольховых, елово-пихтовых, смешанных сообществ и представлены в виде нескольких разрозненных рощиц.

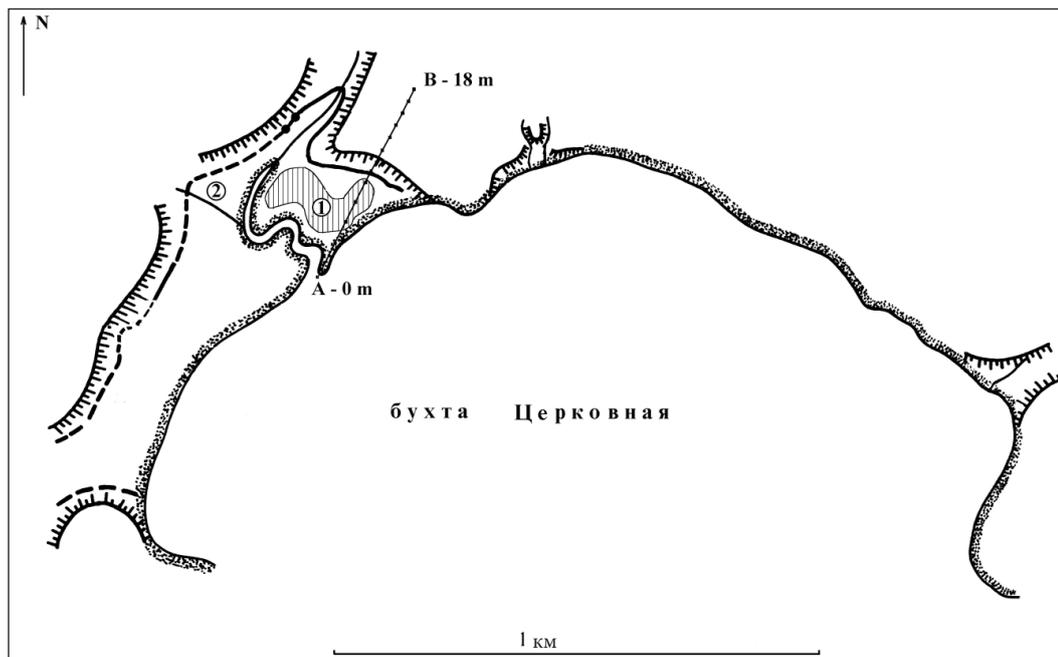


Рис.14.1. Карта-схема района исследований на о. Шикотан. 1 и 2 – сохранившиеся участки леса. А – В – трансект с пунктами нивелирной съемки и ее начальная и конечная отметки высот.

Основная роща (рис. 14.1) расположена на ровном участке первой морской террасы на высоте до 3 м над уровнем моря и занимает около 0.3 га площади. Древостой на 80% состоит из пихты сахалинской, а остальная часть - из ели аянской, ольхи волосистой, березы каменной; единично встречается рябина смешанная и ясень маньчжурский. Средняя высота древостоя – 5 м, диаметр – 16 см, полнота составляет 0.4, а средний возраст – 40 лет. Жизненное состояние насаждения - неблагоприятное, так как из 221 учтенных деревьев пихты 77 – погибли, а 74 являются больными, с усыхающей кроной. У ольхи, насчитывающей 39 экземпляров, отпад составляет около 50%. Напротив, ель находилась в хорошем состоянии, усыхающих и больных особей не обнаружено, хотя возраст их почти в два раза превышает возраст пихты (около 70-90 лет). Она обильно и регулярно плодоносит, о чем свидетельствовало множество шишек в кроне и на поверхности земли.

Похожая ситуация наблюдалась и на остальных лесных участках прибрежной зоны бухты Церковная. В древесном ярусе отпад происходил в основном за счет деревьев пихты, а затем ольхи. Среди деревьев ели, отчасти рябины, отпада вовсе не наблюдалось. Поскольку пихтовое насаждение в бухте Церковная достигло лишь среднего возраста (40-50 лет), то возможной причиной массового усыхания является не старость, а какой-либо сильнодействующий экзогенный фактор. Одним из таких факторов мог быть лесной пожар, однако его следов за последнее десятилетие здесь не обнаружено. Поэтому причиной массовой гибели деревьев было признано произошедшее 4 октября 1994 года сильнейшее цунами с заплесками в бухте Церковная до 7.9 метров. За последние 40 лет, когда формировалось нынешнее поколение пихтового древостоя, отмеченное цунами оказалось наиболее мощным, что немедленно отразилось на функциональном состоянии деревьев. При этом массовая гибель пихты была вызвана не прямым разрушительным воздействием цунами, а опосредованно - через изменение водно-солевого и гидрологического режимов экотопа. Пихта, по сравнению с остальными видами, оказалась наиболее чувствительной к воздействию цунами. Реакция других лесообразующих видов на влияние цунами внешне не столь ярко выражена. Для выявления скрытых следов цунами были проанализированы керны модельных деревьев рябины, ели, ольхи, ясеня из различных участков. Многолетняя динамика годовых приростов показана на рис. 14.2. В структуре колебаний годовых колец отчетливо маркируется влияние цунами 1994 г. Наблюдается многократное снижение годового прироста исключительно у всех представленных видов. Поскольку цунами 1994 года произошло в октябре, то есть в конце вегетационного периода, его воздействие на величину годового кольца отразилось лишь в следующем сезоне (рис. 14.2). Заметное снижение прироста после цунами 1994 года отмечалось также у молодой ели в бухте Дмитрова. Кроме того, цунами вызвало не только глубокую депрессию прироста, но и другие метаморфозы. Например, у пихты наблюдается характерная рыхлость маркируемых аномальных колец, а у ольхи - их потемнение.

Была проанализирована динамика колебаний прироста годовых колец на затапливаемых и не затапливаемых участках. С этой целью, в бухте Церковной была заложена трансекта, направленная перпендикулярно к ближайшему склону с лесной растительностью (рис. 14.1). В ней одновременно с проведением нивелирной съемки на различных высотных отметках отбирались керны деревьев. Отдельные высотные диапазоны, в связи с отсутствием деревьев, оказались не представленными. Последним пунктом нивелирной съемки и, соответственно, отбора образцов была 18 метровая отметка на второй террасе (рис. 14.1).

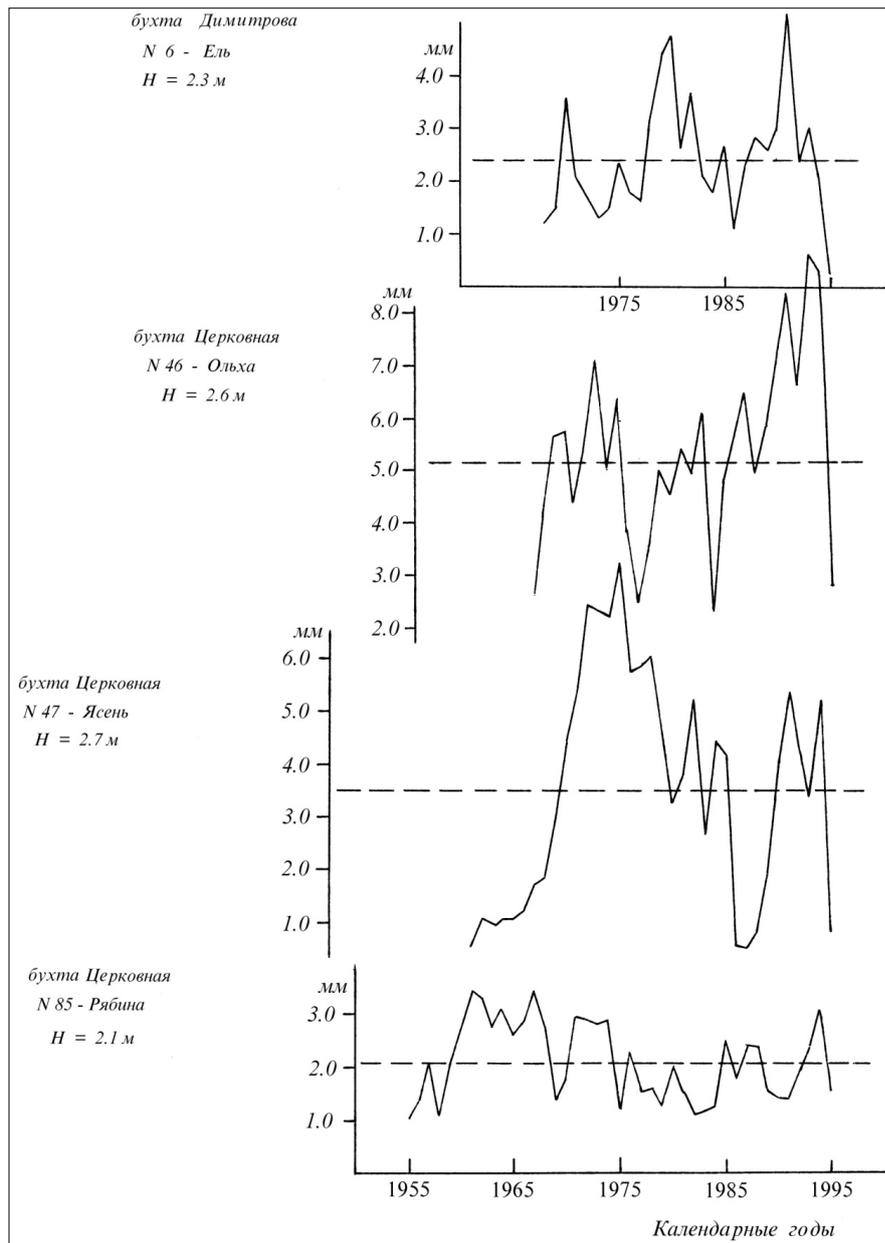


Рис. 14.2. Изменчивость ширины годичных колец различных видов деревьев в зоне влияния цунами: N – номера модельных деревьев, H – высота над уровнем моря. Вертикальная ось - ширина годичных колец (в мм). Горизонтальная пунктирная линия показывает среднееголетнее значение прироста деревьев.

Многолетняя динамика прироста деревьев ели и пихты, представляющих различные высотные уровни, показана на рис. 14.3, 14.4. На рис. 14.3 видно, что в затопляемой зоне цунами 1994 года вызвало у пихты синхронное и значительное, 2-5 - кратное снижение годичного прироста (модельные деревья № 28, 34, 44, 59). Колебания прироста пихты в зоне затопления характеризуются большими амплитудами, и вариации их составляют от 1 до 10 мм. Наиболее сильные депрессии прироста у них наблюдались в 1975-1979 гг. Отдельные индивидуальные аномалии годичного прироста пихты отмечаются также в 1959 и 1969 гг. (модельное дерево № 44), в 1967 г. (№ 28), в 1961 г. (№ 59). Возможно, они были связаны с историческими цунами 50-70-х гг. прошлого столетия [Соловьев, Го, 1974]. Рост пихты вне зоны затопления протекал более ровно, без глубоких экстремумов, со стабильной флуктуацией от среднееголетнего значения (№ 65). В 1994 году не наблюдалось заметных искажений в ходе колебаний прироста, поскольку высота заплеска цунами не достигла отметки 18 метров.

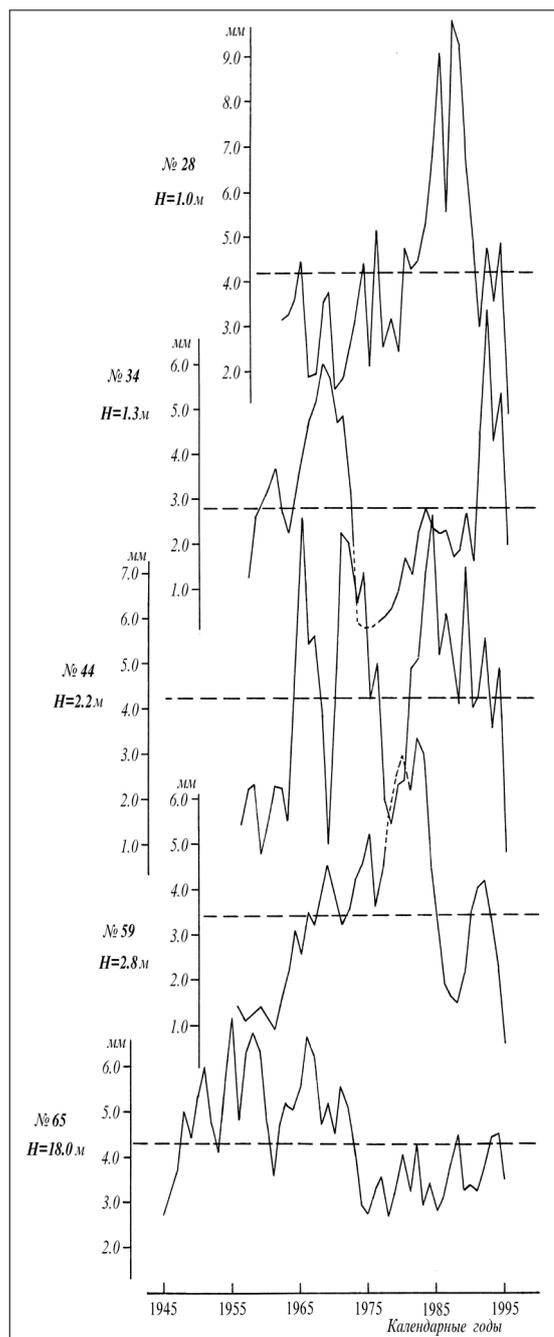


Рис. 14.3. Динамика радиального годичного прироста деревьев пихты, произрастающих на разных высотах над уровнем моря. Трансекта А-В, бухта Церковная.

Аналогичная картина наблюдалась у ели на высоте 18 метров. Изменения радиального прироста годичных колец здесь происходило плавно, слабо отклоняясь от среднеемноголетнего значения (рис. 14.4, модельное дерево № 63). Напротив, динамика прироста деревьев ели из зоны затопления имеет особые черты. До 1952-1954 гг. диапазон колебаний размеров годичных колец был незначительным, ниже средних многолетних и не превышал в среднем 1.0 мм (рис. 14.4). Наблюдалось явное угнетение роста деревьев ели со стороны мощных конкурентов. Как правило, таким угнетающим элементом в лесу служит верхний полог древостоя. Затем, после 1952 года, значения годичного прироста ели резко увеличились, что указывает на исчезновение сильной конкуренции и улучшение условий роста. Такое изменение экологических условий могло произойти лишь после распада или

гибели верхнего полога древостоя. Причиной гибели не мог быть лесной пожар, иначе он уничтожил бы молодые в тот период ели. Возможно, главным фактором гибели верхнего полога являлось сильное цунами, подобное в 1994 году. Сильное затопление могло уничтожить чувствительные к цунами пихтовые насаждения, как это произошло в прибрежной зоне бухты Церковной после цунами 1994 года. Подтверждением сказанному может служить отсутствие в затопляемой зоне деревьев и в целом насаждений пихты, возраст которых превышал бы 40-45 лет. Все нынешнее поколение пихтарников появилось в бухте Церковная после 1952 года, когда произошло сильное Камчатское цунами, вызвавшее гибель предыдущего поколения (рис. 14.3, 14.4).

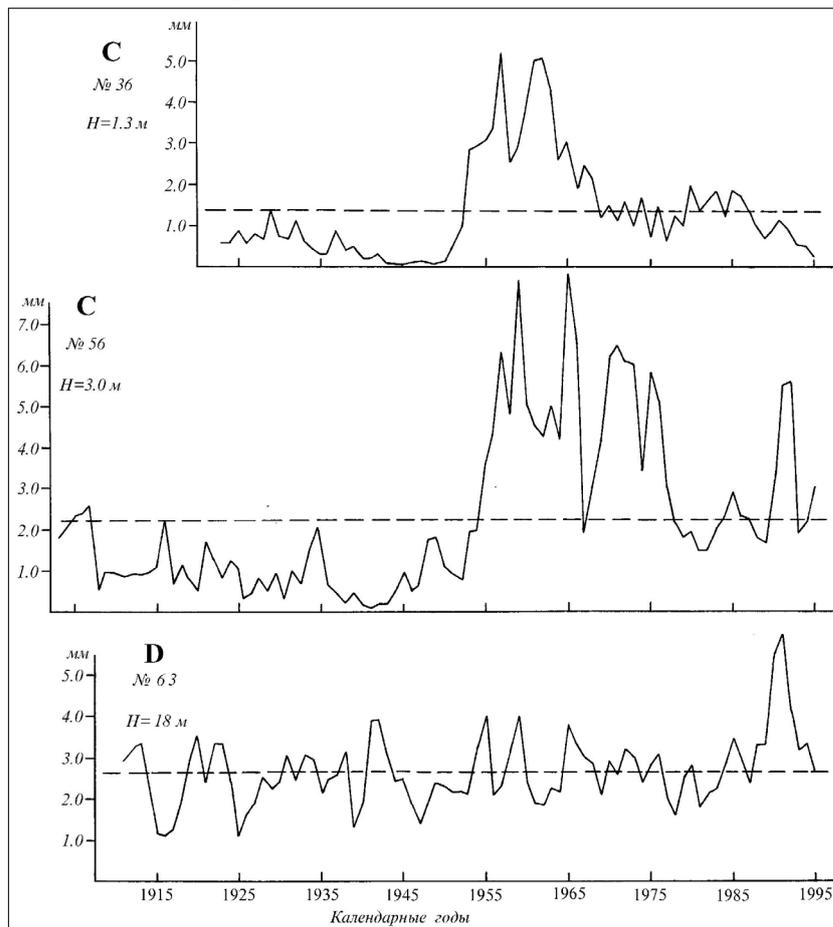


Рис. 14.4. Многолетние колебания годичного прироста деревьев ели, произрастающих в зоне затопления сильных цунами (С) и вне ее (D), бухта Церковная.

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность дендрохронологических методов в изучении проявлений исторических цунами. Наиболее чувствительным и перспективным видом для индикации и реконструкции следов цунами является пихта сахалинская. Мощные цунами вызывают массовую гибель деревьев указанного вида. Возрастная структура насаждений пихты в прибрежной затопляемой зоне определяется двумя смежными сильнейшими цунами, как, например, цунами 1952 и 1994 гг. Деревья и древостои ели являются устойчивыми к воздействию интенсивных цунами, что обусловило их сохранность даже после мощнейших цунами 1952 и 1994 гг. Рябина, ольха и ясень в затопляемой зоне синхронно реагируют на проявления цунами резким снижением годичного прироста. В целом, изучение изменений годичных колец различных видов деревьев с одновременным проведением нивелирной съемки может дать надежную информацию для оценки и прогноза зон затопления побережья во время сильных цунами.

Глава 15

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ И ЦУНАМИ В РАЙОНЕ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Во второй главе показано состояние систем наблюдений за землетрясениями и цунами в Сахалинской области, имевшее место 20 лет назад, перед Шикотанским землетрясением. В связи с трудным экономическим положением в стране оно было критическим, особенно в части сейсмологических наблюдений. Что изменилось за прошедшие 20 лет и насколько удалось извлечь уроки из катастрофы 1994 года?

Несколько лет назад сейсмологами ИМГиГ ДВО РАН было установлено, что район Южных Курильских островов в очередной раз проходит завершающую стадию подготовки сейсмического события, сопоставимого с Шикотанским землетрясением 1994 года. В результате был объявлен среднесрочный прогноз землетрясения с $M \sim 8$ для данного района.

Основными признаками грядущего события служат среднесрочные предвестники, из которых отметим следующие:

- образование и устойчивое существование во времени и пространстве зоны сейсмического затишья в сейсмоактивном регионе. В этой зоне в течение последних 15 лет почти не регистрируются землетрясения с $M \geq 5.9$ (рис. 15.1);
- 20-летняя пауза в возникновении сильнейших землетрясений в районе Южных Курильских островов при среднем интервале между такими событиями около 10 лет.

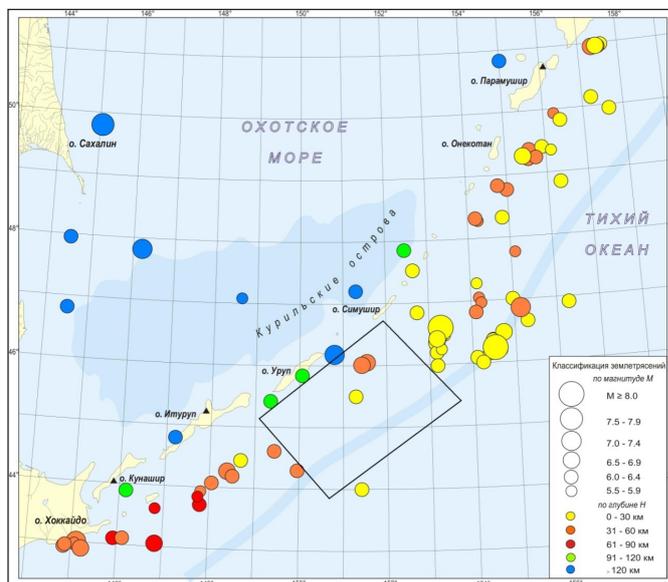


Рис. 15.1. Положение области сейсмического затишья (четырёхугольник) в районе Южных Курильских островов на момент времени апрель 2013 г. Данная область выявлена с мая 1999 г. по данным каталога американской службы NEIC для землетрясений с $M \geq 5.9$.

В свете существующего среднесрочного прогноза возникает вопрос: а насколько готовы системы современных наблюдений за землетрясениями и цунами к этому событию? Существенный прогресс в этом направлении был достигнут благодаря реализации мероприятий 18 ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации» сначала до 2010 года,

а затем и до 2015 года. В рамках ФЦП по проекту «Развитие сети сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами» в Сахалинском филиале ГС РАН была осуществлена коренная модернизация сети сейсмологических наблюдений на о. Сахалин и Курильских островах. На всех сейсмостанциях Сахалина и Курильских островов установлены и запущены в работу цифровые регистраторы зарубежного производства с передачей данных в региональные информационно-обрабатывающие центры (РИОЦ) в реальном времени, освоено программное обеспечение обработки данных, полностью прекращена регистрация землетрясений аналоговым оборудованием. Дополнительно открыты десять новых наблюдательных пунктов, работающих в автоматическом режиме без обслуживающего персонала.

Геофизической службой РАН была разработана и создана система сейсмологических наблюдений нового поколения для системы предупреждения о цунами (СПЦ) на Дальнем Востоке России - сейсмическая подсистема СПЦ (СП СПЦ). Сейсмическая подсистема включает в себя сеть из 27 специализированных сейсмических станций, в том числе пункты регистрации сильных движений (ПР СД); распределенную информационную систему принятия решения о возможности цунами по сейсмологическим данным на базе РИОЦ Геофизической службы РАН («Петропавловск», «Южно-Сахалинск», «Владивосток»). Специализированные сейсмические станции оснащены велосиметрами и акселерометрами производства компании Güralp (Англия). Все РИОЦ ГС РАН, работающие в системе предупреждения о цунами, обеспечены равным и полным доступом к данным специализированных сейсмических станций СП СПЦ в реальном времени.

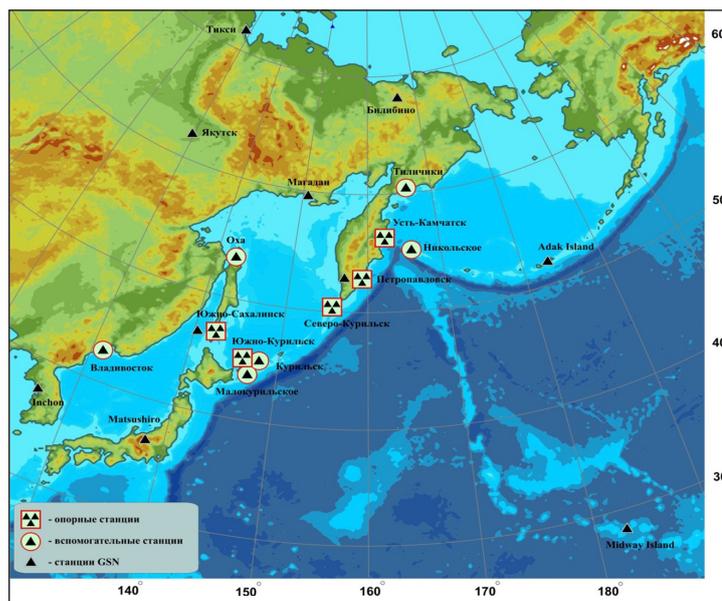


Рис. 15.2. Сеть специализированных сейсмических станций системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России.

СП СПЦ, оснащенная современными техническими средствами, методами и алгоритмами быстрой оценки признаков цунамигенности землетрясений, спутниковыми информационными технологиями, позволяет снизить число ложных тревог цунами, а также уменьшить время задержки на оповещение населения о возможном цунами.

В 2009 году на базе сейсмической станции «Южно-Сахалинск» проведены работы по установке оборудования и вводу в эксплуатацию РИОЦ «Южно-Сахалинск». В задачи центра входят: сбор сейсмических данных сети станций СП СПЦ, обработка данных о сильных землетрясениях ($M > 6.0$) локальных и телеметрических станций, формирование сигналов предупреждения о цунами по данным сети станций СП СПЦ, поддержка баз данных и результатов обработки.



Рис.15.3. Серверы сбора и обработки



Рис. 15.4. Рабочее место дежурного сейсмолога



Рис. 15.5. Зал оперативной обработки сейсмостанции «Южно-Сахалинск»



Рис. 15.6. Регистрируется сильное землетрясение

Проверка работоспособности РИОЦ «Южно-Сахалинск» в режиме «регистрация сильного землетрясения, возможно цунами» произошла во время сильнейшего землетрясения в Японии 11 марта 2011 года $M_w=9.0$ (самого сильного за всю историю наблюдений в регионе). Центр сработал надежно, тревога цунами была объявлена дежурной сменой «по всем Курильским островам» через 9 минут.

СФ ГС РАН участвует в двухсторонних и многосторонних международных соглашениях о научном сотрудничестве с зарубежными университетами. В рамках этих соглашений производится обмен сейсмологическими данными, приобретается или модернизируется иностранное сейсмологическое оборудование, осуществляются двухсторонние визиты специалистов и ученых для решения текущих научно-технических проблем и их совместное участие в международных совещаниях и симпозиумах.

В январе 2005 года было заключено Соглашение о научном сотрудничестве по проекту «Исследования сейсмотектоники Охотоморской плиты» между сообществом университетов Японии, Геофизической службой РАН и институтами РАН. В рамках этого соглашения в течение трех лет на 8 стационарных станциях СФ ГС РАН с помощью японских специалистов были установлены комплексы сейсмологического оборудования. Оборудование успешно эксплуатируется, проводится обмен данными.

С июля 2008 года действует Соглашение о научном сотрудничестве между Сахалинским филиалом Геофизической службы Российской академии наук (Южно-Сахалинск, Россия) и Факультетом геологических наук Университета штата Мичиган (Восточный Лансинг, Мичиган, США).

В сентябре 2009 года достигнута договоренность о продлении меморандума о взаимопонимании по сотрудничеству в области сейсмологии и геодинамики между Национальным научным фондом США, Геологической службой министерства внутренних

дел США, Министерством науки и технологий РФ и РАН. В рамках этого меморандума продолжает проводиться непрерывный сейсмический мониторинг цифровым комплексом «Айрис-2».

В августе 2010 года заключено Соглашение о научном сотрудничестве по проекту «Геодинамика Дальнего Востока» между Сообществом Университетов Японии и Институтами и Геофизической службой РАН.

В октябре 2007 года в пос. Южно-Курильск (о. Кунашир) прошел международный симпозиум «Проблемы и достижения в геологических и геофизических исследованиях в зоне Курильских островов и о. Хоккайдо: сильные землетрясения, цунами и извержения вулканов». С российской стороны в этой встрече ученых принимали участие сотрудники Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, Сахалинского филиала геофизической службы РАН, Сахалинского государственного университета, Тихоокеанского института географии ДВО РАН.

Японские ученые, прибывшие на Кунашир в рамках безвизовых обменов, представляли: Институт вулканологии и сейсмологии и Высшую школу наук о Земле университета Хоккайдо.

Эта была первая подобная рабочая встреча ученых. Она стала возможной благодаря подписанной в феврале 2007 года «Программе сотрудничества между правительством Российской Федерации и правительством Японии в сопредельных районах двух государств в сфере прогнозирования, предупреждения о возникновении и ликвидации последствий землетрясений, извержений вулканов и цунами».

Значительные изменения произошли в последние несколько лет и в Службе предупреждения о цунами. Она была создана после разрушительного Камчатского цунами 5.11.1952 г. – наиболее тяжелой по своим последствиям природной катастрофы в Дальневосточном регионе. Советом министров СССР в 1956 году было принято постановление об организации своевременного оповещения населения Дальнего Востока о цунами.

Существующая в настоящее время Служба предупреждения о цунами обеспечивается Росгидрометом совместно с Геофизической службой РАН, МЧС России, Министерством связи и массовых коммуникаций, администрациями субъектов Дальневосточного региона Российской Федерации. Как отмечал еще более 40 лет назад академик С.Л. Соловьев, сложность междоуведомственных отношений можно отнести к одной из основных проблем СПЦ.

До сих пор большой проблемой службы цунами остаются ложные тревоги, поскольку выполнение административных и хозяйственных мероприятий в ходе тревоги связано со значительными материальными затратами.

Так, за период с 1958 по 1994 год тревога цунами объявлялась 51 раз, из которых оправданным прогноз был только в 19 случаях, что составляет 37% [Поплавский и др., 1997]. За весь период существования службы по 2010 год включительно тревога объявлялась 79 раз, из них ложных было 57, таким образом, оправдываемость прогноза составляла всего 28%. Примерно на таком же уровне находятся показатели эффективности прогноза и в большинстве зарубежных СПЦ.

При оценке опасности цунами от близких землетрясений сейсмический метод был и остается единственным, позволяющим оперативно объявить тревогу и предупредить население. Для удаленных землетрясений в уменьшении числа ложных тревог большую роль играют гидрофизические методы обнаружения волны цунами.

Основной прогресс, как в международной, так и в отечественной службе цунами связан с развитием сети телеметрических регистраторов цунами, прежде всего глубоководных буйковых станций DART, хотя в отечественной СПЦ преобладают автоматические посты, установленные на береговых гидрометеостанциях (рис. 15.7). Измеряется придон-

ное гидростатическое давление, которое пересчитывается в высоту уровня моря. Полученные данные передаются в Центр цунами по каналам спутниковой связи (рис. 15.8), и дежурный оператор на мониторе своего компьютера может наблюдать за развитием волнового процесса в защищаемом регионе (рис. 15.9). Информация о параметрах цунами в открытом океане в случае удаленного землетрясения позволяет заблаговременно определить ожидаемые высоты волн на защищаемых участках побережья, оценить степень угрозы, и более обосновано принять решение о подаче (или не подаче) тревожного сообщения.

Наличие цифровых записей цунами в открытом океане, не искаженных влиянием мелководных эффектов, помимо задач раннего обнаружения цунами в целях предупреждения послужило мощным толчком для развития представлений о физике данного опасного природного явления.

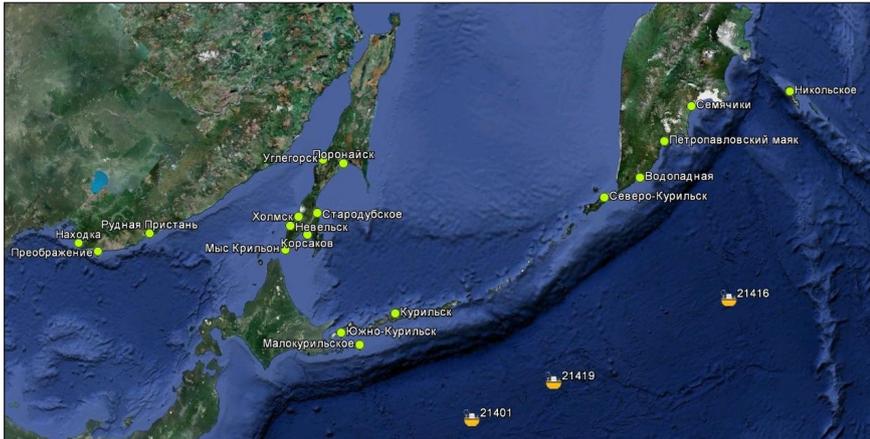


Рис. 15.7. Расположение береговых телеметрических комплексов на тихоокеанском побережье России и глубоководных станций DART в прилегающей части Тихого океана.



Рис. 15.8. Схема передачи данных о колебаниях уровня океана на компьютер дежурного оператора в Южно-Сахалинске.

До недавнего времени службу цунами на территории Сахалинской области несли всего 2 сейсмические станции - «Южно-Сахалинск» и «Северо-Курильск», входящие в систему наблюдений ГС РАН и оснащенные устаревшим специальным аналоговым оборудованием. Решение об опасности возникновения цунами от возникшего землетрясения принималось каждой сейсмической станцией автономно, обработка данных по сети станций не проводилась. Регистрация уровня моря и передача данных в Центр цунами осуществлялась одной станцией в Северо-Курильске.



Рис. 15.9. Просмотр записи цунами на мониторе дежурного оператора Центра цунами Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

В результате выполнения в 2006-2010 гг мероприятий ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий...» организована опорная широкополосная цифровая сейсмическая станция службы предупреждения о цунами «Южно-Сахалинск», которая состоит из центральной станции (ЦС) и 4 выносных пунктов на удалении от 30 до 70 км от ЦС. Установлены цифровые станции в Северо-Курильске, Курильске, Южно-Курильске и Малокурильском.

Введены в постоянную эксплуатацию центр сбора и обработки данных в г. Южно-Сахалинск (Центр цунами) и система инструментальных наблюдений за уровнем моря в составе автоматизированных постов (АП) (телеметрических регистраторов) «Корсаков», «Северо-Курильск», «Холмск», «Стародубское», «Поронайск», «Крильон». «Малокурильское», «Курильск» «Южно-Курильск» и «Невельск». В Приморском крае: АП «Находка», «Владивосток», «Рудная Пристань», «Сосуново». В Камчатском крае: «Водопадная», «Никольское», «Петропавловск-Камчатский», «Осора» и «Семячик». Расположение береговых постов на побережье Дальневосточного региона приведено на рис. 15.8.

Развитие сети телеметрических регистраторов на дальневосточном побережье России явилось крупным шагом в развитии системы предупреждения о волнах цунами, способствующим снижению риска и смягчению последствий этого катастрофического природного явления. Оперативная информация о развитии волнового процесса в защищаемом регионе позволяет более обоснованно подавать как сигнал о тревоге цунами, так и об ее отбое.

В феврале 2010 и марте 2011 года гидрофизическая подсистема СПЦ прошла серьезную проверку. В 2010 году произошло сильнейшее землетрясение у берегов Чили. Впервые в истории Российской Службы предупреждения о цунами в ходе проведения тревоги цунами в режиме реального времени поступали данные о характере колебаний уровня моря в различных пунктах Дальневосточного региона, что позволило принимать четкие и взвешенные решения на основе объективной информации. Хотя записи цунами на прибрежных станциях невозможно эффективно использовать для прогноза цунами, они важны для определения времени подачи сигнала об отбое тревоги цунами. Данные со станций дали возможность следить за развитием ситуации в защищаемом регионе, когда волны цунами, зародившиеся у берегов Чили, достигли Курильских островов. Была объявлена тревога цунами, находящимся в портах судам была дана команда выйти в открытое море, а населению – подняться на возвышенность. Эти меры были оправданы: как на Северных, так и на Южных Курилах высоты волн были около 2 м. Цунами такой интенсивности не представляет угрозы для объектов береговой инфраструктуры, но может быть опасно для оставшихся вблизи берега судов и находящихся в прибрежной зоне людей.

В ноябре 2010 года на материковом склоне Южных Курил, юго-восточнее острова Итуруп была установлена первая в истории отечественной СПЦ глубоководная станция DART 21401, которая сыграла большую роль в оценке степени опасности Тохоку цунами 11.03.2011 г. Высота волны в открытом океане составляла 67 см, что указывало на высокую степень опасности для Южных Курильских островов. Это подтвердило обоснованность подачи сигнала «тревога цунами», выработанного на основе магнитудно-географического критерия по сейсмологическим данным. Параметры цунами удалось определить примерно за 20 минут до прихода волны в Малокурильскую бухту – первый порт на пути ее распространения у тихоокеанских берегов России.

Цунами представляло реальную опасность для рыбаков – любителей подледного лова. Так, в бухте Крабовая им пришлось убежать на берег, когда под действием цунами начался взлом ледяного покрова в устье реки Анама. Мощные льдины были выброшены на территории портов, рыбокомбинатов и даже на улицы в Малокурильском, Крабовозаводском и Южно-Курильске [Кайстренко и др., 2011]. В Северо-Курильске пострадали несколько рыболовецких судов, команды которых не смогли запустить моторы и вывести их в открытое море.

В августе 2013 года ряд береговых регистраторов Службы предупреждения на Курильских островах, к сожалению, был демонтирован компетентными органами и изъят для проведения экспертизы. В настоящее время решается вопрос о восстановлении сети датчиков.

В целом, безопасность населения, оставшегося на островах, можно оценить как гораздо более высокую по сравнению с ситуацией перед Шикотанским землетрясением 4(5) октября 1994 г. Это связано как с улучшением системы наблюдений за землетрясениями и цунами, так и, главным образом, с гораздо более строгим соблюдением требований к строительству в сейсмоопасных районах. Двадцать лет назад именно несоблюдение этих требований привело к человеческим жертвам. Вторым важным моментом является высокая степень готовности населения к воздействию стихии, четкое соблюдение правил поведения в опасных ситуациях. Именно подготовленность курильчан позволила избежать жертв от цунами 1994 г. Надеемся, не подведет она жителей островного края и в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

Айзенберг Я.М., Мелентьев А.М. Инженерный анализ последствий Шикотанского землетрясения 4 (5).10.1994 г. // Шикотанское землетрясение 4 (5).10.1994 г. - М., 1994. - С. 35-41. - (ФССН: Инф.-аналит.бюлл.; Экстр.вып.)

Андреева М.Ю., Ким Ч.У. Землетрясения Курило-Камчатского региона (1737-2009). - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2012. – 384 с.

Атлас Курильских островов / ред. В.М. Котляков; Институт географии РАН, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. - М. – Владивосток: ИПЦ «ДИК», 2009. - 516 с.

Битвинская Т.Т. Дендроклиматические исследования. - Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 172 с.

Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Харламов А.А., Ивельская Т.Н. Экстремальные шторма 2006-2007 гг. на о. Шикотан: воздействие на прибрежный рельеф и осадки // Океанология. - 2010. - Т. 50, № 3. - С. 458-467.

Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // Вулканология и сейсмология. - 1990. - № 6. - С. 55-63.

Гусева Т.В., Галаганов О.Н., Яковлев Ф.Р. и др. Результаты геологического обследования и спутниковых геодезических измерений на острове Шикотан 18-30 октября // Шикотанское землетрясение 4(5).10.1994 г. - М., 1994. - С. 23-32. - (ФССН: Инф.-аналит. бюлл.; Экстр. вып.)

Долгосрочный сейсмический прогноз и развитие очага Шикотанского землетрясения 4 октября 1994 г. / С.А. Федотов, Л.С. Шумилина, Г.В. Чернышева, О.В. Потапова // Шикотанское землетрясение 4(5).10.1994 г. - М., 1994. - С. 57-67. - (ФССН: Инф.-аналит. бюлл.; Экстр.вып.)

Ершов И.А., Шебалин Н.В. Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с позиций сейсмологов // Прогноз сейсмических воздействий. - М., 1984. -С. 78-89. - (Вопросы инженерной сейсмологии; Вып.25).

Заблаговременный среднесрочный прогноз Шикотанского землетрясения 4 октября 1994 г. / В.Г. Кособоков, П.Н. Шебалин, И.Н. Тихонов, Дж.Х. Хили, Дж.У. Дьюи // Шикотанское землетрясение 4(5).10.1994 г. - М., 1994. - С. 71-73. - (ФССН: Инф.-аналит.бюлл.; Экстр. вып.)

Заключение Подкомиссии по цунами и морским наводнениям о результатах обследования последствий землетрясения и цунами 4(5).10.1994 г. в береговой зоне Южных Курильских островов / Б.В. Левин, А.И. Иващенко, Е.А. Куликов // Шикотанское землетрясение 4(5).10.1994 г. - М., 1994. - С. 5-7. - (ФССН: Инф.-аналит.бюлл.; Экстр. вып.)

Иванов В.В. Исследование влияния цунами на осадконакопление по следам цунами 4 октября 1994 года // Проявления конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. - С. 119-128. - (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; Т. VIII).

Иванов В.В., Симонов К.В. Следы цунами в прибрежной зоне Второго Курильского пролива // Оперативный и долгосрочный прогноз цунами. - Владивосток, 1983. - С.163-170.

Иващенко А.И., Гусяков В.К., Джумагалиев В.А. и др. Шикотанское цунами 5 октября 1994 г. // Доклады АН СССР. - 1996. - Т. 348, № 4. - С. 532-538.

Ивельская Т.Н., Шевченко Г.В. Спектральный анализ записей Шикотанского цунами 5 октября 1994 года// Проявления конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. - С. 105-118. - (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; Т. VIII).

Кайстренко В.М. Моретрясения 4 октября 1994 г. // Проявление конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. - Южно-Сахалинск, 1997. - С.93-104. - (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; Т. VIII).

Кайстренко В.М., Гусяков В.К., Джумагалиев В.А. и др. Проявление цунами 4 октября 1994 года на Шикотане // Проявления конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. - С. 55-73. - (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; Т. VIII).

Кейлис-Борок В.И., Кособоков В.Г. Периоды повышенной вероятности возникновения сильнейших землетрясений мира // Математические методы в сейсмологии и геодинамике. - М. : Наука, 1986. - С. 48-58. - (Вычислительная сейсмология; Вып. 19).

Королев Ю.П., Жукова Л.Д., Золотухина Н.Д. и др. Проявление цунами 4 октября 1994 года на побережье Курильских островов // Проявления конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. - С. 74-92. - (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; Т. VIII).

Кособоков В.Г., Хохлов А.В. Экспериментальный среднесрочный прогноз землетрясений в реальном времени: проверка алгоритма M8 // Математическое моделирование сеймотектонических процессов в литосфере, ориентированное на проблему прогноза землетрясений. - М. : МИТП РАН, 1993. - Вып.1. - С. 53-60.

Косыгин Ю.Ф. Тектоника. - М. : Недра, 1969. - 582 с.

Леонов Н.Н., Оскорбин Л.С., Поплавская Л.Н. и др. Шикотанское землетрясение и цунами 11 августа 1969 г. // Землетрясения в СССР в 1969 г.: сб. статей. - М. : Наука, 1973. - С. 164-179.

Меланхолина Е.Н. Габброиды и параллельные дайки в структуре острова Шикотан (Малая Курильская гряда) // Геотектоника. - 1978. - № 3. - С. 128-136.

Оскорбин Л.С. Уравнения сейсмического поля сахалинских землетрясений // Сейсмическое районирование Сахалина. - Владивосток, 1997. - С. 34-45.

Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Макросейсмические проявления землетрясений на территории южной части Дальнего Востока // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. - Южно-Сахалинск, 1997. - С. 45-74. - (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого Океана с Евразией; Т. VI).

Оскорбин Л.С., Бобков А.О., Спиринов А.И. и др. Макросейсмические проявления Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. // Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений северо-запада Тихого океана. - Южно-Сахалинск, 2001. - Том 2. - С. 80-133.

Парфенов Л.М., Попеко В.А., Попеко Л.И. Главные структурно-вещественные комплексы о-ва Шикотан и их геологическая природа (Малая Курильская гряда) // Геология и геофизика. - 1983. - № 10. - С. 24-34.

Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Харламов А.А., Ильев А.Я., Кайстренко В.М. Осадки цунами Шикотанского землетрясения 1994 г. // Океанология. - 2007. - Т. 47, № 4. - С. 622-630.

Сабиров Р.Н. Дендроиндикация цунами на острове Шикотан // Проявления конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. - С. 137-144. - (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; Т. VIII).

Саваренский Е.Ф., Кирнос Д.П. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. - М. : Гостехиздат, 1995. - 543 с.

Седаева О.С., Семакин В.П., Шевченко Г.В. Вертикальные смещения земной поверхности по уровенным данным в районе Южных Курильских островов в связи с

Шиктонамским землетрясением 4(5) октября 1994 г. // Тихоокеанская геология. – 2012. - Т.31, №6. - С. 79-86.

Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. - М. : Наука, 1974. - 310 с.

Соловьев С.Л. Основные данные о цунами на тихоокеанском побережье СССР, 1937-1976 гг. // Изучение цунами в открытом океане. - М. : Наука, 1978. - С. 61-136.

Стрельцов М.И. Дислокации южной части Курильской островной дуги. - М. : Наука, 1976. - 115 с.

Токмаков В.А. Сейсмометр СМ-2М // Аппаратура для регистрации сейсмических процессов. - М. : Наука, 1969. - С. 67-71. - (Сейсмические приборы; Вып. 5).

Фокина Т.А., Шевченко Г.В. Спектрально-временной анализ сильных землетрясений в центральной части Курильской гряды (2006-2009 гг.) // Тихоокеанская геология. - 2013. – Т. 32, № 1. – С. 85-91.

Шикотанское землетрясение 4(5).10.1994 г.: инф.-аналит.бюлл. ФССН; Экстренный выпуск / под ред. Н.П. Лаверова. - М. : ОИФЗ РАН, 1994. - 79 с.

Шикотанское землетрясение 1994 г. Эпицентральные наблюдения и очаг землетрясения: информ.-аналит. бюлл. ФССН / под ред. С.С. Арефьева. - М. : ОИФЗ РАН, 1995. - 136 с.

Шиятов С.Г. Дендрохронология, ее принципы и методы // Записки Свердловского отделения Всесоюзного ботанического общества. - 1973. - Вып.6. - С.53-81.

Щукин И.С. Общая геоморфология. - М. : Изд-во МГУ, 1960. - Т. 1. - 615 с.

The Earthquake Data Report (EDR, 1994). - U.S. Geol. Survey, Golden Colorado, 1994. - No 10-94. - P. 1-576.

Ekstrom G., Salganik M., Sianissian S. Quick central moment tensor solution. Harvard Event-File Name M100494X. 1994.

Fritts H.C. Tree rings and climate. - London, New York, San Francisco: Academic Press, 1976. - 567 p.

Global Hypocenter Data Base CD-ROM. NEIC/USGS. - Denver, Co. - 1989.

Healy J.H., Kossobokov V.G., Dewey J.W. A test to evaluate the earthquake prediction algorithm, M8 // U.S. Geological Survey Open-File Report 92-401. - 1992. - 23 p.; with 6 appendices.

Keilis-Borok V.I., Kossobokov V.G. Premonitory activation of seismic flow: algorithm M8 // Physics of Earth Planetary Interiors. - 1990. - Vol. 61. - P. 73-83.

Keilis-Borok V.I., Kossobokov V.G. Times of increased probability of strong earthquakes ($M \geq 7.5$) diagnosed by algorithm M8 in Japan and adjacent territories // Journal of Geophysical Research. - 1990. - Vol. 95, N B8. - P. 12413-12422.

Kossobokov V.G., Keilis-Borok V.I., Smith S.W. Location of intermediate-term earthquake prediction // Journal of Geophysical Research. - 1990. - Vol. 95, N B12. - P. 19763-19772.

Kossobokov V.G. Intermediate-term changes of seismicity in advance of the Guam earthquake on August 8, 1993 // EOS Transaction. - 1994. - Vol. 75, N 25. – (AGU, 1994. Western Pacific Geophysics Meeting, additional abstracts).

Murauchi S., Ludwig W.J. Crustal structure of Japan trench: the effect of subduction of oceanic crust // Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. - Vol. 56/57. Washington, 1980. P. 463-469.

Quick Epicenter Determinations (QED). The NEIC/USGS Branch of Global Seismology and Geomagnetism On-line Information System. Denver, Co. 1989.

И`ев А.Я., Каистренко В.М., Грetskaya E. et al. Holocene Tsunami Traces on Kunashir Island, Kurile Subduction Zone // Tsunamis: Sources, Monitoring and Coastal Hazards. - Kluwer Publ., 2005. - P. 171-192.

Yeh H., Titov V., Gusiakov V. et al. The 1994 Shikotan earthquake tsunamis // Pure and Applied Geophysics. - 1995. - V. 144, № 3-4. - P. 855-874.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Фотоальбом



Пос. Малокурильское, о. Шикотан. Два двухэтажных шлакоблочных здания, стоящие рядом. Одно - недостроенный клуб - разрушено землетрясением почти полностью, другое, запущенное в эксплуатацию перед землетрясением, не пострадало вовсе.

Фото В.М. Кайстренко.



Нестроенное здание клуба в пос. Малокурильское, сильно поврежденное землетрясением. Фото В.М. Кайстренко.



Недостроенное здание клуба в пос. Малокурильское, сильно поврежденное землетрясением. Фото Н. Уех.



Недостроенное здание клуба в пос. Малокурильское, сильно поврежденное землетрясением. Фото А.А. Харламова.



Недостроенное здание клуба в пос. Малокурильское, сильно поврежденное землетрясением. Фото А.О. Бобкова.



Зал – пристройка к недостроенному зданию клуба в пос. Малокурильское, сильно поврежденная землетрясением. Фото А.О. Бобкова.



Дома в пос. Малокурильское, разрушенные в результате землетрясения.
Фото В.М. Кайстренко.



Вызванный землетрясением откол стены здания средней школы в пос. Малокурильское. Фото В.М. Кайстренко



Разрушения в одном из зданий рыбокомбината «Островной» в пос. Малокурильское. Фото Г.Л. Коффа.



Разрушенный землетрясением гараж в пос. Малокурильское.
Фото А.О. Бобкова.



Разрушения в одном из зданий рыбокомбината «Островной» в пос. Малокурильское.
Фото Г.Л. Коффа.



Оползень с многочисленными трещинами в грунте и сильно поврежденное двухэтажное здание №2 по ул. Черемушки в пос. Малокурильское, о. Шикотан. Фото В.К. Гусякова.



Оползневая трещина отрыва, вызванная землетрясением, под домиком радиостанции на южном мысу, бух. Малокурильская. Фото Г.Л. Коффа.



Оползневая трещина отрыва, вызванная землетрясением, под домиком радиостанции на южном мысу, бух. Малокурильская. Фото А.А. Харламова.



Оползневая трещина отрыва, вызванная землетрясением, под домиком радиостанции на южном мысу, бух. Малокурильская. Фото А.А. Харламова.



Гигантская оползневая трещина отрыва, вызванная землетрясением, недалеко от пос. Малокурильское. Фото В.М. Кайстренко.



Гигантская оползневая трещина отрыва, вызванная землетрясением, недалеко от пос. Малокурильское. Фото А.О. Бобкова.



Разрушения, вызванные землетрясением и цунами в нижней части пос. Крабозаводское. Фото Н. Уех.



Главное здание начальной школы в пос. Крабовозовское на о. Шикотан, разрушенное землетрясением. Его фундамент, положенный на слабый наклонный грунт, был расколот и сдвинут в результате сейсмических сотрясений. Фото Н. Уех.



Главное здание начальной школы в пос. Крабовозовское на о. Шикотан, разрушенное землетрясением. Его фундамент, положенный на слабый наклонный грунт, был расколот и сдвинут в результате сейсмических сотрясений. Фото В. К. Гусякова.



Главное здание начальной школы в с. Крабовоздовское, разрушенное землетрясением.
Фото В.К. Гусякова.



Разрушения на территории военной части в с. Крабовоздовское.
Фото В.К. Гусякова.



Здание военной части с. Крабовоздское, пострадавшее от землетрясения.
Фото Н. Уех.



Оползневая трещина отрыва на северном берегу бух. Крабовая, вызванная землетрясением. Фото В.К. Гусякова.



Оползневая трещина, вызванная землетрясением на северном берегу бух. Крабовая.
Фото А.А. Харламова.



Оползневая трещина, вызванная землетрясением в районе с. Крабовоздское.
Фото А.А. Харламова.



Оползневая трещина отрыва, вызванная землетрясением, на крутом северном берегу бух. Крабовой. Фото Н. Уех.



Шхуна, получившая повреждения и выброшенная цунами на южный берег бухты Крабовой. Фото В.М. Кайстренко.



Южно-Курильск. Мост через реку Серебрянка, снесенный цунами.
Фото А.Н. Кораблева.



Южно-Курильск. Будка, разрушенная землетрясением.
Фото Е.А. Куликова.



Южно-Курильская бухта, о. Кунашир. Баржа, брошенная цунами вглубь берега на расстояние около 70 м. Фото А.А. Клочкова.



г. Южно-Курильск, о. Кунашир. Одинокий дом, сорванный цунами с фундамента и перенесенный на расстояние около половины километра по долине реки Серебрянка. Фото А.А. Клочкова.



о. Кунашир. Разрушенный причал в порту Южно-Курильск.
Слева и на заднем плане – суда, получившие при цунами повреждения от ударов о причал
и затонувшие вследствие этого. Фото А.А. Клочкова.



Район устья р. Ильюшина (Винай) на Кунашире. Будка и лодка, перемещенные цунами.
Фото Г.Л. Коффа.



Госпиталь в пос. Горячие Ключи, о. Итуруп, разрушенный землетрясением.
Фото А.Н. Кораблева.



Госпиталь в пос. Горячие Ключи, о. Итуруп, разрушенный землетрясением.
Фото А.Н. Кораблева.



Госпиталь в пос. Горячие Ключи, о. Итуруп, разрушенный землетрясением.
Фото Г.Л. Коффа.



Госпиталь в пос. Горячие Ключи, о. Итуруп, разрушенный землетрясением.
Фото Г.Л. Коффа.



Пристройка к недостроенному клубу в пос. Малокурильское.



15-секционный жилой дом в Южно-Курильске, наружные стены из мелкоштучных камней (в стадии строительства). При землетрясении обрушились внутренние перегородки и перекрытия. Фото ОАО Институт «Сахалингражданпроект».



Здание котельной, частично разрушенное землетрясением.



Поврежденные кооперативные гаражи.
Фото ОАО Институт «Сахалингражданпроект».

Сборник

**ШИКОТАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЦУНАМИ
4(5) октября 1994 ГОДА**

**ХРОНИКА СОБЫТИЙ, АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ
И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ**

Сборник статей

Составители: И.Н. Тихонов, Г.В. Шевченко

Редакторы текста:

Б.В. Левин, О.Н. Лихачева, В.Л. Ломтев, И.Н. Тихонов, Г.В. Шевченко,
Электронная верстка А.А. Филимонкина
Дизайн обложки А.А. Филимонкина
Корректор: И.П. Кремнева

Подписано в печать. 06.10.2014 г.
Усл. печ. лист. 15,5. Усл. изд. лист. 13,95
Формат 60x84/8. Бумага «Color copy»
Тираж 200 экз. Заказ №7761
Печать офсетная.

ФГБУН Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения
Российской академии наук
693022, г. Южно-Сахалинск. ул. Науки, 1Б. Офсетный цех.