

УДК 550.344.42

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПРОЯВЛЕНИЯХ ЦУНАМИ НА ТИХООКЕАНСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ 2009–2010 ГГ.

© 2011 г. Г. В. Шевченко, Т. Н. Ивельская, П. Д. Ковалев, Д. П. Ковалев, А. А. Куркин,
член-корреспондент РАН Б. В. Левин, О. Н. Лихачева, А. Г. Чернов, А. А. Шишкин

Поступило 18.10.2010 г.

В 2008 г. Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН на южных Курильских островах развернута сеть регистраторов придонного гидростатического давления, предназначенная для измерения длинных волн в диапазоне периодов цунами. В течение 2008 г. зарегистрированы одно слабое цунами и один умеренный шторм, анализ которых позволил выявить различия в характере отклика уровня моря на различных станциях на сейсмические и метеорологические события [2].

В конце 2009 г. на дальневосточном побережье России установлены телеметрические регистраторы цунами Службы предупреждения о цунами (СПЦ) Росгидромета в соответствии с Федеральной целевой программой “Снижение рисков и смягчение последствий...” [1], в том числе заменена аппаратура в Северо-Курильске и установлены новые регистраторы в Никольском (о. Беринга) и Петропавловске-Камчатском (бухта Авачинская губа), а также на ГМС Водопадная (юго-восточное побережье п-ова Камчатка) (рис. 1).

Автономные регистраторы ИМГиГ ДВО РАН, установленные на южных Курильских островах (рис. 1), предназначены для исследовательских целей и в оперативном прогнозе не участвуют. Полученные на них записи используются для апостериорного изучения особенностей проявления цунами – определения моментов прихода и высот первой и максимальной волн, основных периодов колебаний и т.д.

Появление станций СПЦ в северной части Курильской гряды и на Камчатке существенно рас-

ширило возможность изучения опасных проявлений цунами и родственных явлений.

В течение 2009 года и первой половины 2010 произошло несколько сильных землетрясений, цунами от которых были зарегистрированы сетью. В частности, получены записи одного близкого (Симушир, 15.01.2009 г.) и нескольких удаленных землетрясений (Индонезия, 03.01.2009 г.; Самоа, 29.09.2009 г.; Вануату, 07.10.2009 г.; Чили, 27.02.2010 г.). Кроме того, были зафиксированы несколько сильных штормов (23–24.01.2009 г. и 03–04.08.2010 г.), при этом в записях уровня выделены аномальные колебания, сходные по своим характеристикам с цунами. Данные события отнесены нами к разряду метеоцунами, так как, по-видимому, они были вызваны прохождением резко выраженных атмосферных фронтов.

В данной работе проведен сравнительный анализ записей цунами от двух удаленных землетрясений (Самоа, 29.09.2009, и Чили, 27.02.2010 г.), полученных в северной (датчики СПЦ) и южной (автономные станции ИМГиГ ДВО РАН) частях Курильской островной гряды. Целью является получение характеристик проявления цунами на дальневосточном побережье России и оценка эффективности использования установленных телеметрических регистраторов в деятельности СПЦ.

САМОА-ЦУНАМИ 29 СЕНТЯБРЯ 2009 ГОДА

Землетрясение с магнитудой $M_w = 8$ произошло 29 сентября в 17^h48^m UTC в районе островов Самоа, координаты эпицентра 15.56° ю.ш. и 172.07° з.д., глубина 18 км (данные Геологической службы США, USGS). Землетрясение вызвало цунами, которое проявилось во многих пунктах побережья Тихого океана. Примерно через 10 ч волны цунами достигли Курильской островной гряды, где были зарегистрированы датчиками сети. На рис. 2 приведены содержащиеся цунами отрезки записи за 30 сентября 2009 г., полученные на различных флангах Курильской гряды, в пос. Северо-Курильск и в бухте Церковная, о. Шико-

*Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Южно-Сахалинск
Сахалинское управление Федеральной службы
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды, Южно-Сахалинск
Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород*

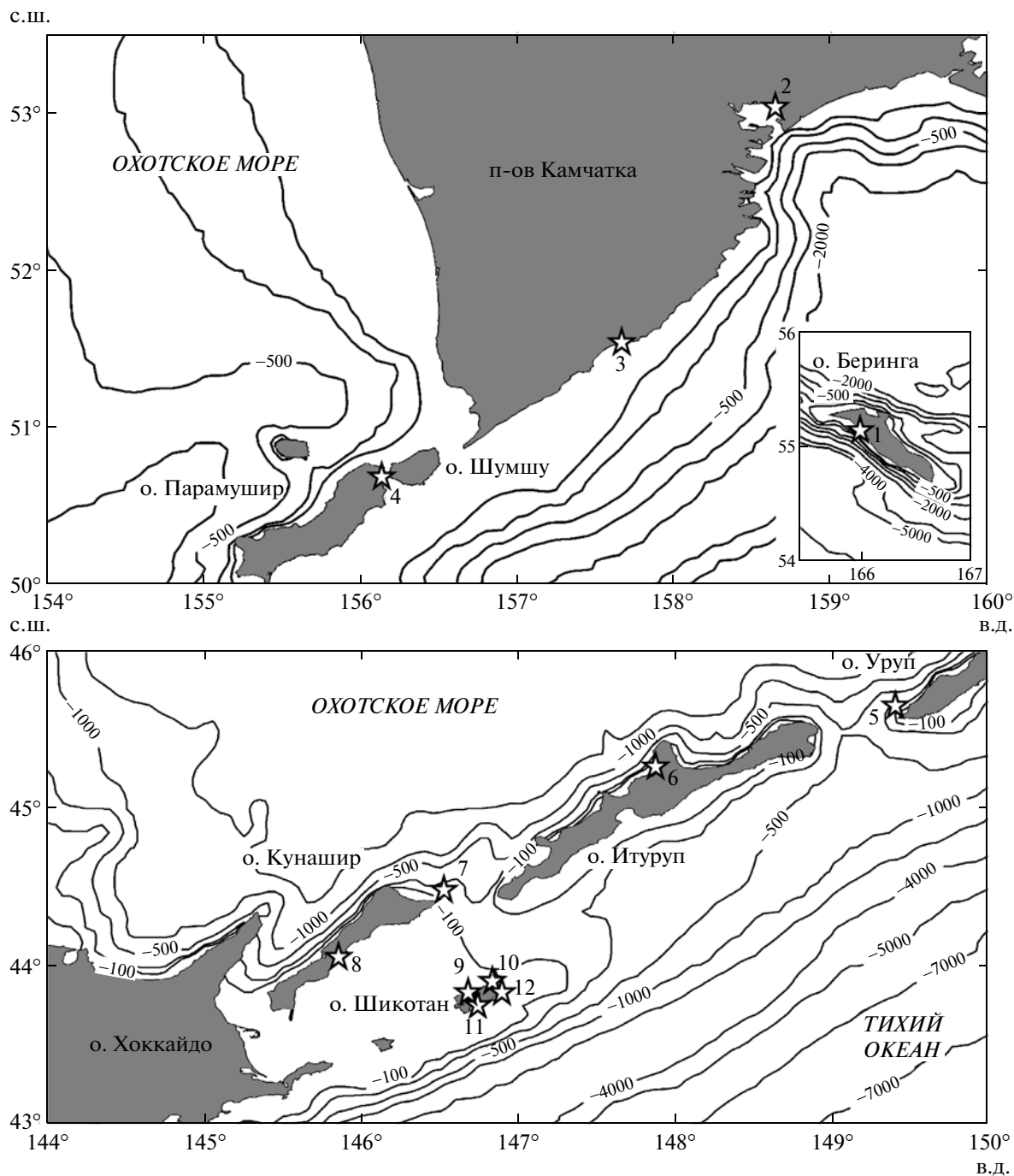


Рис. 1. Положение пунктов телеметрических регистраторов цунами: 1 – Никольское, 2 – Петропавловск-Камчатский, 3 – Водопадная, 4 – Северо-Курильск (в северной части Курильской гряды), и автономных станций ИМГиГ ДВО РАН: 5 – мыс Ван-дер-Линда, 6 – залив Китовый, 7 – мыс Ловцова, 8 – Южно-Курильск, 9 – бух. Крабовая, 10 – бух. Малокурильская, 11 – бух. Церковная, 12 – бух. Маячная (в южной части Курильской гряды).

тан (пункты 4 и 11 на рис. 1), а также спектры колебаний уровня моря. Спектры рассчитывали по отрезкам суточной продолжительности, один из которых содержал цунами, а второй предшествовал ему и использовался для характеристики фоновых условий.

В бухте Церковная сложно определить момент первого вступления цунами. С уверенностью можно отнести к цунами положительный импульс высотой 21 см, отмеченный в 05^h08^m. Максимальная волна (36 см) зафиксирована в 11^h21^m, после 13^h00^m интенсивность колебаний стала

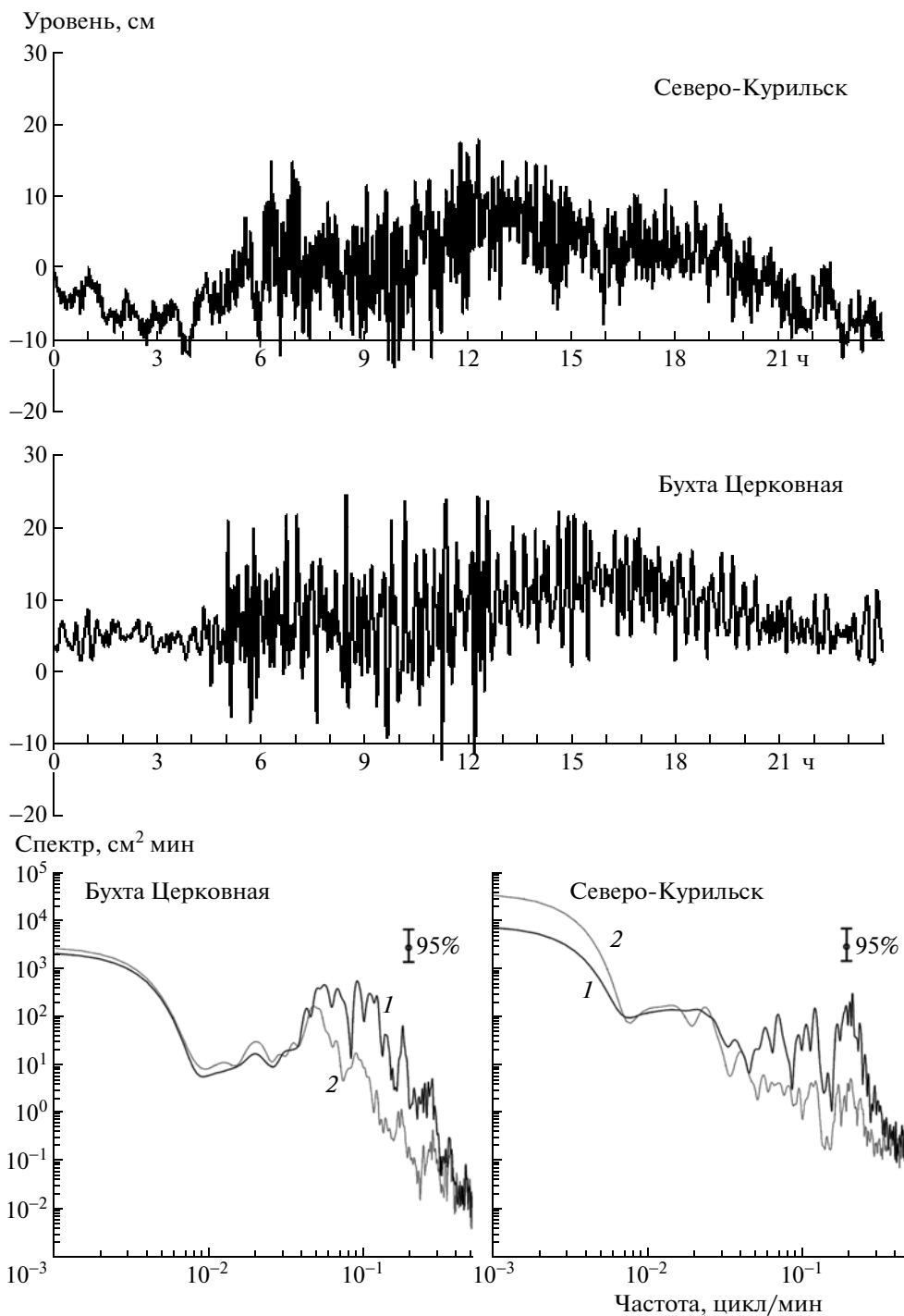


Рис. 2. Записи колебаний уровня моря 30 сентября 2009 г. (Самоа-цунами), зарегистрированных в Северо-Курильске (о. Парамушир) и бухте Церковная (о. Шикотан), и спектры, рассчитанные по отрезкам суточной продолжительности, один из которых содержал цунами (1), а второй предшествовал ему и взят как характеристика фоновых условий (2).

плавно уменьшаться и к 20^h00^m вышла на обычный уровень.

Не менее сложная ситуация с определением момента вступления цунами в Северо-Курильске. Здесь начиная с 04^h40^m UTC зарегистрирован цуг

волн с периодами около 12 мин и амплитудами 5–6 см, затем характер колебаний заметно изменился – амплитуда возросла до 15–20 см, а период, наоборот, уменьшился. Максимальная высота волны отмечена в 10^h54^m и составила 25 см.

В бухте Церковная интенсивность колебаний увеличилась в диапазоне периодов от 4 до 20 мин. Последнее колебание отвечает нулевой моде собственных колебаний бухты, хотя в спектре естественного длинноволнового фона оно несколько смещено влево. Другие резонансные пики, отвечающие периодам около 4, 6 и 11 мин, хорошо выражены как в обычных условиях, так и при цунами.

В Северо-Курильске Самоа-цунами проявилось в диапазоне периодов от 3.5 до 20 мин, но наиболее значимым оно было на периодах около 5 мин (уровень энергии колебаний вырос более чем на 2 порядка), 8 и 16 мин. Периоды 8 и 16 мин и ранее отмечались в спектрах цунами на данной станции, в то время как пик с периодом 5 мин ранее не обнаруживался. Возможно, его появление связано с проведением работ по реконструкции порта.

В целом, Самоа-цунами на побережье Курильских островов проявилось главным образом в диапазоне периодов 5–20 мин. Это нехарактерно для удаленных цунами, которые обычно вызывают низкочастотные колебания, так как короткие волны быстро затухают при распространении на большие расстояния. Вероятно, именно с этим связаны сравнительно небольшие высоты данного цунами, хотя другое свойство цунами от удаленных источников — значительная продолжительность волнового процесса — в данном случае проявилось в полной мере.

ЧИЛИЙСКОЕ ЦУНАМИ 27 ФЕВРАЛЯ 2010 ГОДА

Землетрясение с магнитудой $M_w = 8.8$ (USGS) произошло в 06^h34^m UTC 27 февраля у берегов Чили. Координаты эпицентра 35.846° ю.ш. и 72.719° з.д., глубина около 35 км. Это землетрясение вызвало волны цунами значительной высоты, которые представляли серьезную угрозу для большей части побережья Тихого океана, включая дальневосточное побережье России. Аналогичное сильнейшее землетрясение 22 мая 1960 г., произошедшее у побережья Чили, вызвало волны цунами высотой до 6–7 м на берегах Курильских островов и Камчатки.

Время распространения цунами от источника до дальневосточных берегов России составило около 21 ч, волны цунами вначале достигли Командорских островов, затем Камчатки и северных Курильских островов, существенно позже — южных. Первое вступление цунами было отмечено на ст. Никольское (пункт 1 на рис. 1, врезка) 28 февраля в 03^h15^m UTC. Однако необычный для станций открытого побережья характер и малые амплитуды колебаний (максимальная высота волны 24 см) в данном пункте заставляют отно-

ситься к использованию этих материалов с осторожностью.

Более информативной для решения вопросов оперативного прогноза является станция Водопадная на юго-восточном побережье Камчатки (пункт 3 на рис. 1). Первая волна (положительный импульс высотой 34 см) зафиксирован здесь в 3^h40^m, на 25 мин позже, чем на ст. Никольское. Первая из волн с достаточно большой высотой (89 см) достигла этой станции спустя 1 ч 25 мин, в 5^h05^m. Максимальная волна была зафиксирована еще на 55 мин позже, ее высота составила 118 см.

Еще одна станция, наблюдения на которой важны в работе СПЦ, — Северо-Курильск. Регистратор расположен в порту, который находится на берегу Второго Курильского пролива и удален от океанского побережья. Первая волна (слабый положительный импульс) здесь отмечена в 04^h28^m UTC, на 48 мин позже, чем на ст. Водопадная. Волна с максимальной высотой 228 см была зафиксирована в 08^h20^m UTC, т.е. почти через 4 ч после вступления цунами (рис. 3). Это очень значительное запаздывание — по существовавшим нормативам СПЦ за это время, как правило, объявляет отбой тревоги цунами. Аналогичная ситуация возникла при Симуширском цунами 15 ноября 2006 г. в бухте Малокурильская (пункт 10 на рис. 1), где опасная волна пришла примерно через 3.5 ч после вступления первой волны [3]. Остроту данной проблемы в определенной мере снимает установка телеметрических регистраторов, дающих возможность оперативного контроля волнового процесса в подвергающихся опасности районах.

На южном фланге Курильской гряды телеметрические регистраторы в настоящее время не установлены, поэтому инструментальные данные об изменениях уровня в данном районе, полученные при помощи автономных станций ИМГиГ ДВО РАН, не могут быть использованы в оперативных целях. Эти материалы необходимы для анализа особенностей проявлений цунами и планирования установки телеметрических регистраторов СПЦ.

В бухте Церковная первая волна цунами зафиксирована в 04^h53^m, высота от подошвы до гребня 22 см. Интенсивные колебания с высотами волн более 1 м наблюдались до 16 ч, а на обычный уровень они не вышли до конца суток. Первое значительное колебание с высотой 165 см отмечено почти на 2 ч позже, в 06^h50^m, а наибольшая волна с высотой 184 см — в 08^h16^m.

На спектрах уровня в п. Северо-Курильск наблюдается возрастание энергии колебаний при прохождении цунами в диапазоне периодов от 5 мин до 2 ч, причем наиболее существенным оно было на периодах 45 и 60 мин (примерно 3.5 порядка; рис. 3). Отметим, что при других цунами,

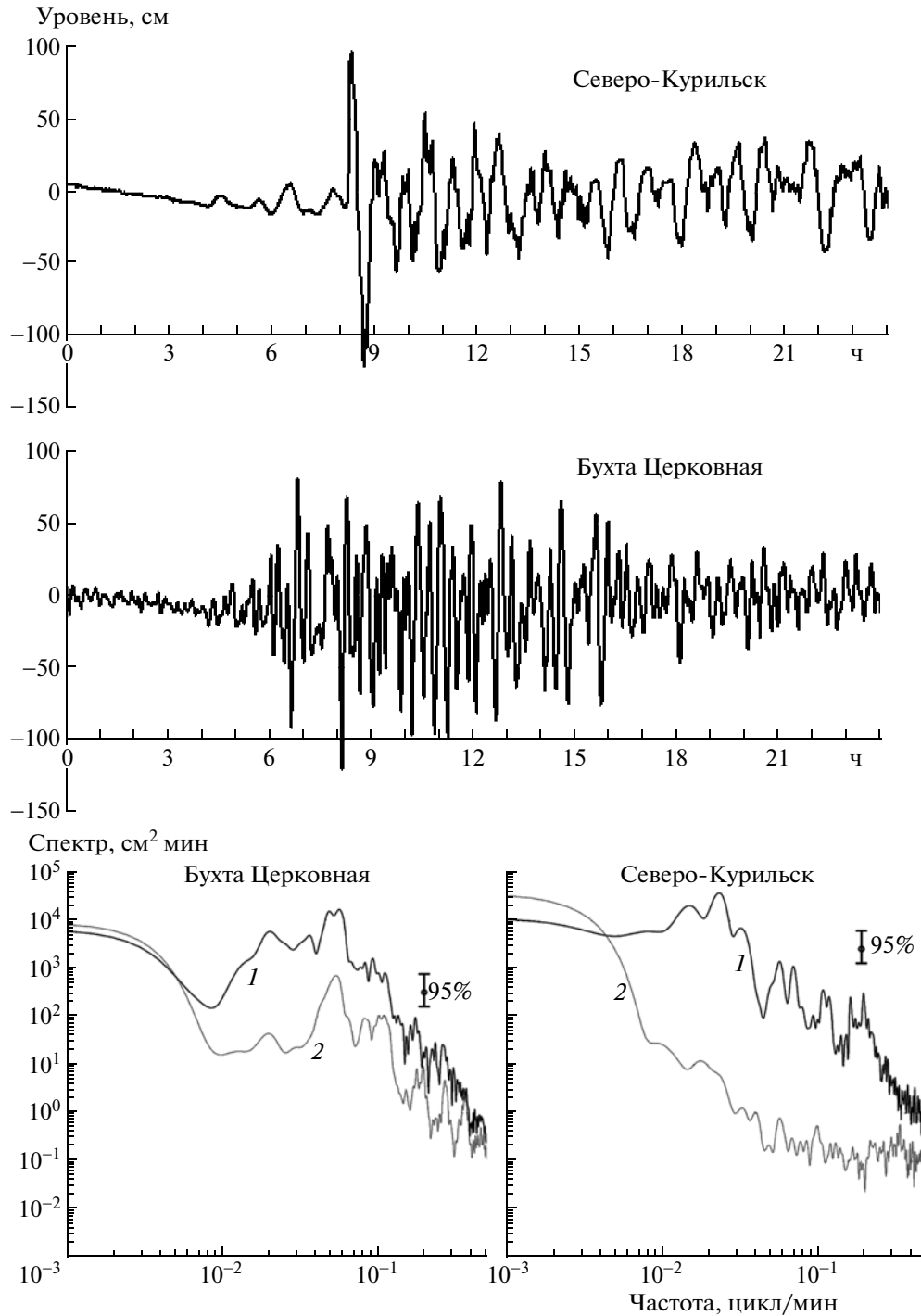


Рис. 3. Записи колебаний уровня моря 28 февраля 2010 г. (Чилийское цунами), зарегистрированные в Северо-Курильске (о. Парамушир) и бухте Церковная (о. Шикотан), и спектры, рассчитанные по отрезкам суточной продолжительности, один из которых содержал цунами (1), а второй предшествовал ему и взят как характеристика фоновых условий (2).

зарегистрированных в этом пункте, наблюдается аналогичная картина [1].

В бухте Церковная возрастание энергии наблюдается с периода 3 мин, который отвечает собственной моде бухты. Четко выделяется пик

на периоде основной моды (19 мин), причем можно отметить его расщепление, которое является характерной особенностью модулированного сигнала. Но наиболее значимое повышение спектральной плотности отмечено в низкочастот-

ной области спектра, на периодах 30–80 мин, особенно на периоде около 50 мин, на котором в спектре фона обнаруживается слабый максимум.

Выявленное различие в частотном распределении энергии Самоа- и Чилийского цунами обусловлено характером направленности излучения в источнике. В первом случае основная энергия излучения была направлена на юго-запад и северо-восток, поэтому максимальные волны отмечены на островах Тихого океана и побережье США (<http://wcatwc.arh.noaa.gov/about/tsunamimain.php>). Соответственно, в сторону побережья России и Японии распространялись более короткие и слабые волны. Во втором случае основной поток энергии был направлен на север-северо-запад и в направлении Курильской гряды двигались сравнительно низкочастотные волны [1]. Данные примеры показывают, что направленность излучения может оказывать существенное влияние на характер проявления цунами на побережье даже при удаленных источниках.

В целом, проведенный анализ показал, что Чилийское цунами 28 февраля 2010 г. проявилось на дальневосточном побережье России в широком диапазоне периодов от 5 минут до 2 ч. При этом главный максимум в спектрах на всех станциях отмечен на периодах около 45–50 мин вне зависимости от того, являлся он резонансным для района регистрации или нет. Это указывает на то, что данные колебания обусловлены процессами в источнике цунами, в то время как максимумы на периодах 30 и 60 мин на северных Курильских островах и на юго-восточном побережье Камчатки связаны с резонансными свойствами прилегающего шельфа.

Таким образом, с помощью сети телеметрических регистраторов Службы предупреждения о

цунами Росгидромета и автономных станций ИМГиГ ДВО РАН на Курильских островах зарегистрированы волны от одного близкого и нескольких удаленных землетрясений. Получена новая информация о проявлениях цунами на дальневосточном побережье России.

Главной особенностью зарегистрированных цунами является значительный временной сдвиг (3–4 ч) между моментами прихода первой и максимальной волн. Во всех случаях высокая интенсивность колебаний уровня, обусловленных цунами, сохранялась продолжительное время – 16–18 ч.

Выявлено различие периодов возбуждаемых колебаний при прохождении цунами – в случае Самоа-цунами преобладали сравнительно короткие волны с периодами менее 20 мин, при более сильном Чилийском цунами возрастание энергии колебаний уровня отмечено на периодах 30–80 мин.

Такое различие в характере проявления цунами может быть объяснено направленностью излучения в источнике. Влиянием данного фактора при удаленных землетрясениях обычно пренебрегают, что, как показывают проведенные исследования, не всегда оправдано.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09–05–00591-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивельская Т.Н., Шевченко Г.В., Храмушин В.Н.* // Пробл. анализа риска. 2010. Т. 7. № 2. С. 34–47.
2. *Левин Б.В., Чернов А.Г., Шевченко Г.В. и др.* // ДАН. 2009. Т. 427. № 2. С. 239–244.
3. *Rabinovich A.B., Lobkovsky L.I., Fine I.V., et al.* // Adv. Geosci. 2008. V. 14. № 1. P. 105–116.