

УДК 551.466.62+550.344.42(265)

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ АНДРЕЯНОВСКОГО (АЛЕУТСКИЕ ОСТРОВА) ЦУНАМИ 1996 г.

© 2011 г. Ю. П. Королев

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

e-mail: Yu_P_K@mail.ru

Поступила в редакцию 28.09.2009 г., после доработки 09.02.2010 г.

Дан краткий обзор проблемы краткосрочного (оперативного) прогноза цунами. Изложен способ оперативного прогноза цунами по данным об уровне океана в удаленных от побережья точках. Для выполнения прогноза используется сейсмологическая информация только о координатах эпицентра землетрясения. Применение способа для ретроспективного прогноза Андреяновского цунами 1996 г. показывает удовлетворительное совпадение прогнозируемой и наблюдавшейся форм цунами. Результаты сравниваются с результатами прогнозного моделирования этого же события другими авторами. Предложенный способ оперативного прогноза цунами может служить базой для создания единого программного комплекса оперативного прогноза и может быть реализован в рамках как региональной, так и локальных служб предупреждения о цунами. Способ может применяться для систем предупреждения о цунами на стадии создания этих систем.

1. ВВЕДЕНИЕ

Оперативный, или краткосрочный, прогноз цунами до настоящего времени является серьезной, не вполне решенной проблемой действующих служб предупреждения о цунами во всем мире и, в частности, в России.

Вплоть до настоящего времени основным (штатным) способом оперативного прогноза цунами является магнитудно-географический, основанный на известных эмпирических соотношениях между магнитудой землетрясения и высотой цунами на побережье. Тревога цунами объявляется, если хотя бы в одной точке ближайшего к очагу берега возможна высота волны не менее 1 м. В силу статистического характера соотношения между магнитудой землетрясения и интенсивностью цунами объявляемые тревоги являются обобщенными, не дифференцированными по участкам побережья. Однако на одних участках цунами может проявиться существенно, на других — незначительно, то есть тревога цунами будет оправданной для одних пунктов и ложной для других.

Не допуская случаев пропуска цунами, службы предупреждения в то же время подают большое (до 80%) количество ложных тревог цунами, что свидетельствует о несовершенстве базового магнитудного метода. Эти тревоги сопровождаются реальным ущербом, нередко значительным, в виде потерь при остановке производства, другой деятельности, в виде экстренных выходов судов в открытое море и т.п. Например, ущерб от ложной тревоги в 1986 г. (Андреяновское цунами) только в штате Гавайи по оценкам Департамента бизнеса, экономического развития и туризма штата со-

ставил около 40 млн. долларов. Ложные тревоги во время Шикотанского 1994 г. и Андреяновского 1996 г. цунами привели к ущербу на побережье Гавайских о-вов в 30 и 60 миллионов долларов соответственно [21].

В России в последние 7 лет объявлялись тревоги цунами в сентябре 2003 г. (эпицентр землетрясения восточнее о. Хоккайдо), в ноябре 2006 г. и в январе 2007 г. (эпицентры восточнее о. Симушир). Во время двух последних событий на ближних, незаселенных, островах цунами проявилось в виде заплесков высотой 20–30 метров [5]. Во всех перечисленных случаях тревоги цунами сопровождалась эвакуацией населения из опасных зон, выходом судов на рейд или в открытое море. Зарегистрированные амплитуды цунами в Южно-Курильске (о. Кунашир) и Малокурильском (о. Шикотан) составили 6–20 и 20–70 см соответственно [8]. Эти тревоги в силу слабой интенсивности цунами в Южно-Курильске, Малокурильском следует, видимо, отнести к ложным для этих пунктов.

Экономический ущерб в результате подобных тревог цунами в России не оценивается.

Объявление тревог цунами, оказавшихся впоследствии фактически ложными в пунктах, где ожидалось цунами, не свидетельствует о неудовлетворительной работе сейсмологической службы, ответственной за объявление тревог и действующей в строгом соответствии с регламентом, а лишний раз демонстрирует несовершенство принятого способа оперативного (краткосрочного) прогноза цунами.

Цунами относятся к немногим стихийным бедствиям, в отношении которых возможно не только

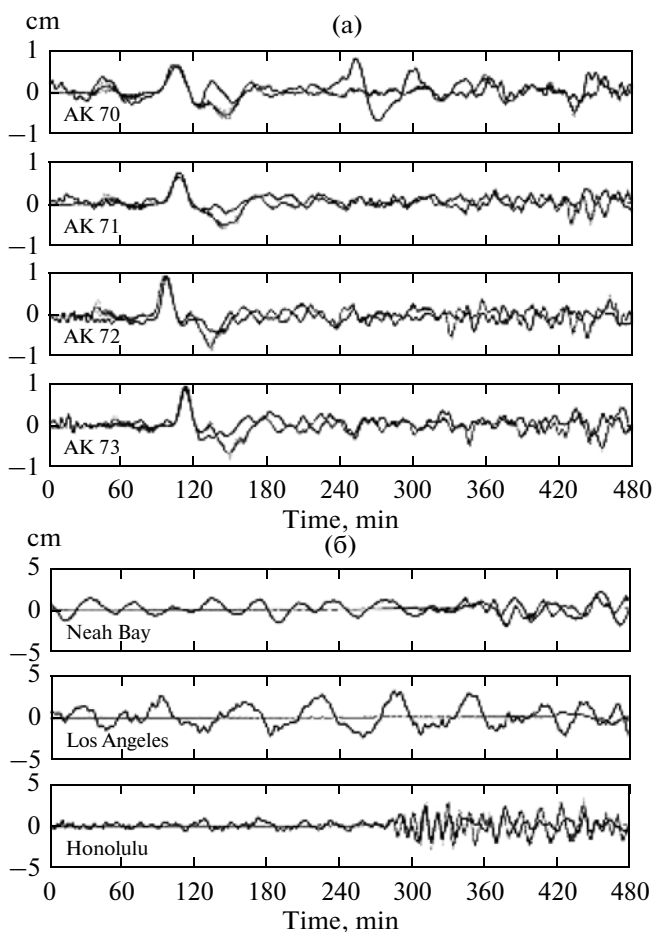


Рис. 1. Результат применения способа оперативного прогноза цунами [19].

(а) – Восстановленные и фактические формы цунами в точках расположения донных станций гидростатического давления. (б) – Прогноз в удаленных точках. Рисунки воспроизведены из [19].

своевременное оповещение, но и оперативное получение количественных оценок. По современным представлениям, тревога цунами должна подаваться заблаговременно и избирательно по участкам побережья и только в те пункты, где цунами представляет реальную угрозу. Объявление тревоги должно сопровождаться надежной информацией о времени прихода цунами, количестве, высотах волн и интервалах времени между ними, а также об ожидаемом времени отбоя тревоги. На основании сейсмологических данных такую информацию получить невозможно.

В настоящее время информацией, которая позволяет давать достоверную и своевременную количественную оценку ожидаемого цунами, является информация о сформировавшемся цунами, получаемая в удаленных от побережья точках. Впервые в России такая задача была поставлена в 1968 г. [7]. Долгое время она не имела решения,

несмотря на первую успешную опытную реализацию: в 1980 г. экспериментальная станция, установленная на шельфе о. Шикотан, впервые зарегистрировала слабое цунами [1]. В дальнейшем эти работы были прекращены.

Лишь в середине 1990-х годов вновь появились работы, посвященные оперативному прогнозу цунами. Первыми работами, в которых предлагались методы решения задачи определения степени опасности цунами для конкретных пунктов по данным об уровне океана в удаленных точках, по видимому, можно считать [10, 11, 15].

Позднее предложен другой способ оперативного предупреждения о цунами [9, 13, 18, 19]. Согласно этому способу, для выполнения расчетов необходима заранее созданная база синтетических мареограмм в точках, для которых осуществляется прогноз, и в точках в открытом океане, в которых установлены станции измерения уровня океана. При изменении парка станций или их координат база мареограмм должна корректироваться.

Способ применен для ретроспективного прогноза цунами с использованием данных станций гидростатического давления, зарегистрировавших слабое Андрияновское цунами 1996 г. [9, 18, 19]. Результаты этих работ представлены для сравнения с результатами, полученными предложенным в настоящей работе способом.

В работе [19] выполнены расчеты формы цунами в различных точках по данным 4-х станций донного гидростатического давления (AK70, AK71, AK72, AK73). Использовались ряды уровней данных длительностью 2 и 3 ч. На рис. 1а представлены результаты этих расчетов в точках расположения донных станций и мареограммы зарегистрированного цунами. Пары кривых демонстрируют хорошее совпадение форм головных частей расчетного и зарегистрированного цунами. Наблюдаются расхождения в хвостовых частях волновых пакетов. Степень согласия расчетных и фактических форм цунами количественно не оценена, но из рисунка видно, что с практической точки зрения коррелированность достаточно высока.

На рис. 1б приведены результаты расчетов (прогноз) для пунктов вблизи западного побережья США и Гавайских о-вов. Лишь верхний и нижний графики демонстрируют удовлетворительное совпадение головных частей расчетной и наблюдавшейся форм цунами.

В работе [9] по данным 4-х станций донного гидростатического давления (AK70, AK71, AK72, AK73) с длительностью записей от 3/8 до полного первого периода волны аналогичным способом рассчитаны формы цунами в точках, где были расположены эти станции. Результат расчета для станции AK72 представлен на рис. 2. Количественно степень совпадения форм волн, наблю-

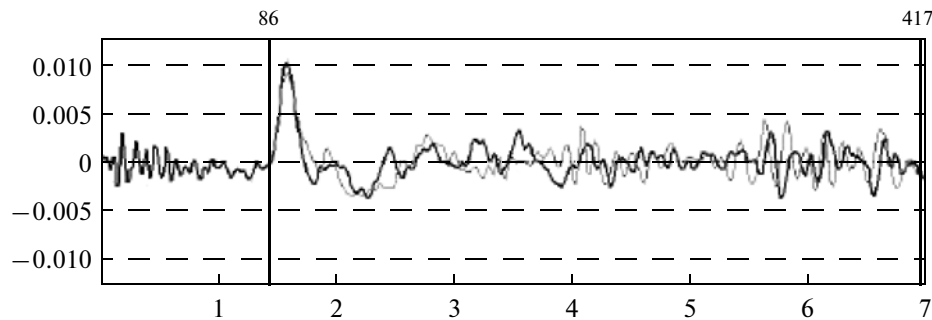


Рис. 2. Сравнение восстановленной (тонкая линия) и фактической форм цунами в точке расположения ст. *AK72*.

По вертикальной координате отложен уровень от среднего, в метрах, по горизонтальной — время, в часах от момента главного толчка землетрясения. Рисунок воспроизведен из [9].

давшейся и восстановленной, не оценена, но, как видно из рис. 2, она достаточно высока.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящей работе представлены некоторые результаты применения способа оперативного прогноза цунами по данным об уровне океана в удаленных от побережья точках. Идея этого способа впервые предложена в 1995 г. [15]. Алгоритм, позволяющий практически реализовать эту идею, описан в [2, 3, 14]. Обзор работ, посвященных проблеме оперативного прогноза цунами и опубликованных ранее, дан в [3].

Для приближенного решения задачи оперативного прогноза цунами по данным об уровне океана в удаленных от побережья точках применен известный принцип взаимности [4]. Этот принцип является следствием фундаментальных свойств симметрии функций Грина для волнового уравнения. В предположении, что численные расчеты адекватно описывают процесс распространения и трансформации волн, предложено расчетное соотношение, связывающее спектры реальных и расчетных сигналов [3]:

$$\zeta(A, s) = \zeta(M, s) \frac{\eta(A, s)}{\eta(M, s)}.$$

Здесь $\zeta(A, s)$ — образ Лапласа изменения уровня в точке A , искомая функция (форма прогнозируемого цунами); $\zeta(M, s)$ — образ Лапласа фактического изменения уровня в точке M , где находится уровенная станция, от источника цунами с эпицентром в E . Отношение в правой части равенства играет роль передаточной функции, позволяющей пересчитывать фактические данные об уровне в точке M в форму прогнозируемого цунами в точке A . Функции $\eta(A, s)$ и $\eta(M, s)$, входящие в передаточную функцию, — образы Лапласа расчетного изменения уровня в точках A и M от некоторого вспомогательного аксиально-симметричного источника с центром в точке E . Параметры

вспомогательного источника произвольны, никак не связаны с параметрами землетрясения.

В расчетное соотношение не входят функции, описывающие источник, поэтому оно может быть применимо для расчета цунами от источников различного происхождения, например, от подводного оползня.

Для выполнения прогноза согласно предложенному способу необходимо получение данных о координатах эпицентра землетрясения, построение передаточных функций для каждого оповещаемого пункта, прием информации о проявлении цунами в удаленной от побережья точке. Обратное преобразование Лапласа расчетного соотношения может быть выполнено способами, описанными в [3].

Результатом прогноза будет изменение уровня океана, т.е. форма ожидаемого цунами, в заданной точке. Длительность прогнозного ряда равна длительности сигнала станции измерения уровня.

Данные о цунами на российском Дальнем Востоке, пригодные для проверки предложенного способа оперативного прогноза цунами, к сожалению, отсутствуют. Поэтому способ оперативного прогноза цунами был применен для ретроспективного прогноза Андрияновского цунами 1996 г. (Андрияновские о-ва Алеутской гряды). Выполнены численные эксперименты с использованием реальных данных об уровне океана. Координаты эпицентра землетрясения, вызвавшего слабое цунами, по данным Национального Центра геофизических данных США, — $51^{\circ}33'50''$ с.ш., $177^{\circ}37'55''$ з.д. [20].

Цунами было зарегистрировано рядом глубоководных датчиков (станций) донного гидростатического давления первого поколения [12]. В численных экспериментах использовались данные станций *AK70*, *AK71*, *AK72*, *AK73* и *WC67*. Местонахождения станций (обозначены одноименными символами прямым шрифтом) и положение очага цунами (символ T) изображены на рис. 3. Координаты станций приведены в [12]. Времена

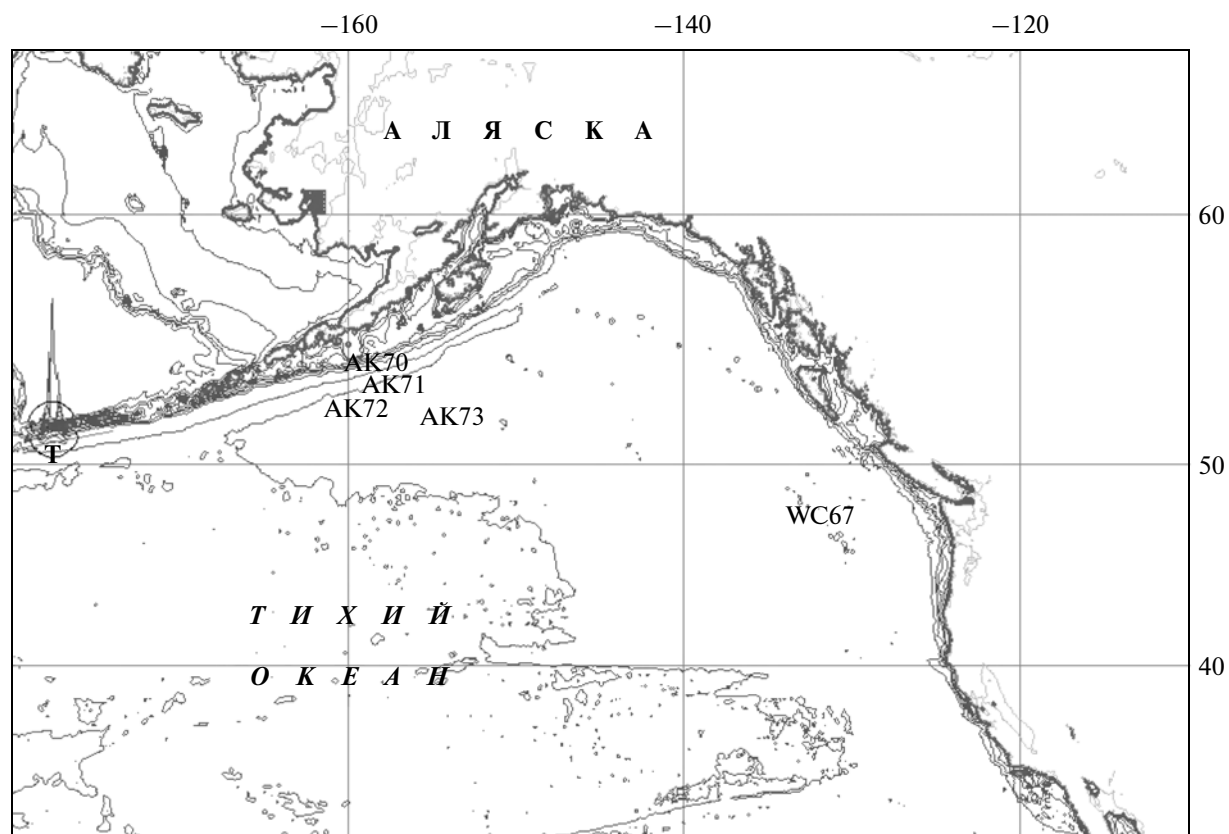


Рис. 3. Расчетная схема численного эксперимента.

Местоположения точек измерения уровня океана — в центре соответствующих надписей.

пробега цунами от очага до станций равны соответственно 92, 97, 88, 102 и 264 мин.

В численных экспериментах использовались данные об уровне океана, из которых удалены приливные составляющие с периодами свыше 2 ч и высокочастотные колебания с периодами, меньшими 4 мин, взятые из [17].

При расчетах передаточной функции использовалась батиметрия [16], интерполированная в сетку с шагом 2000 м по обеим координатам. Вспомогательный источник в виде кругового начального возвышения свободной поверхности диаметром 50 км помещался в очаговую область, центр источника совмещался с эпицентром землетрясения (символ Т в левой части рис. 3). Глубина воды в эпицентре по батиметрической сетке равна 176.6 м. Для построения передаточных функций выполнялся расчет формы волны от этого источника в точках AK70, AK71, AK72, AK73 и WC67 с дискретностью 1 мин. Расчеты проводились с использованием программы ANI, описанной в [6]. В качестве критерия согласия прогнозируемой и фактической форм цунами выбран коэффициент корреляции между этими функциями.

Предложенным способом по данным каждой из станций AK70, AK71, AK72 и AK73 восстановлены формы волны цунами в точках, где находились эти станции. На рис. 4 представлен результат восстановления формы волны цунами в соответствующих точках по данным станции AK72.

На рис. 4а изображен результат расчета (прогноза) формы волны цунами (сплошная линия) в точке AK70 по данным об уровне станции AK72. Видно, что первые полуволны расчетной и зарегистрированной форм цунами хорошо совпадают. Несовпадения в моменты времени 40 и 150 мин объясняются тем, что эти волны, как предполагается в [17], не обусловлены цунами.

На рис. 4в представлен результат восстановления формы волны в точке AK72 по данным ст. AK72, находившейся в этой же точке. Восстановленные формы волны в других точках по данным станции AK72 представлены на рис. 4б и 4г.

В целом, как представляется, применение предложенного способа расчета дает вполне удовлетворительный результат, что подтверждается достаточно высоким значением коэффициента корреляции: 0.77–0.97.

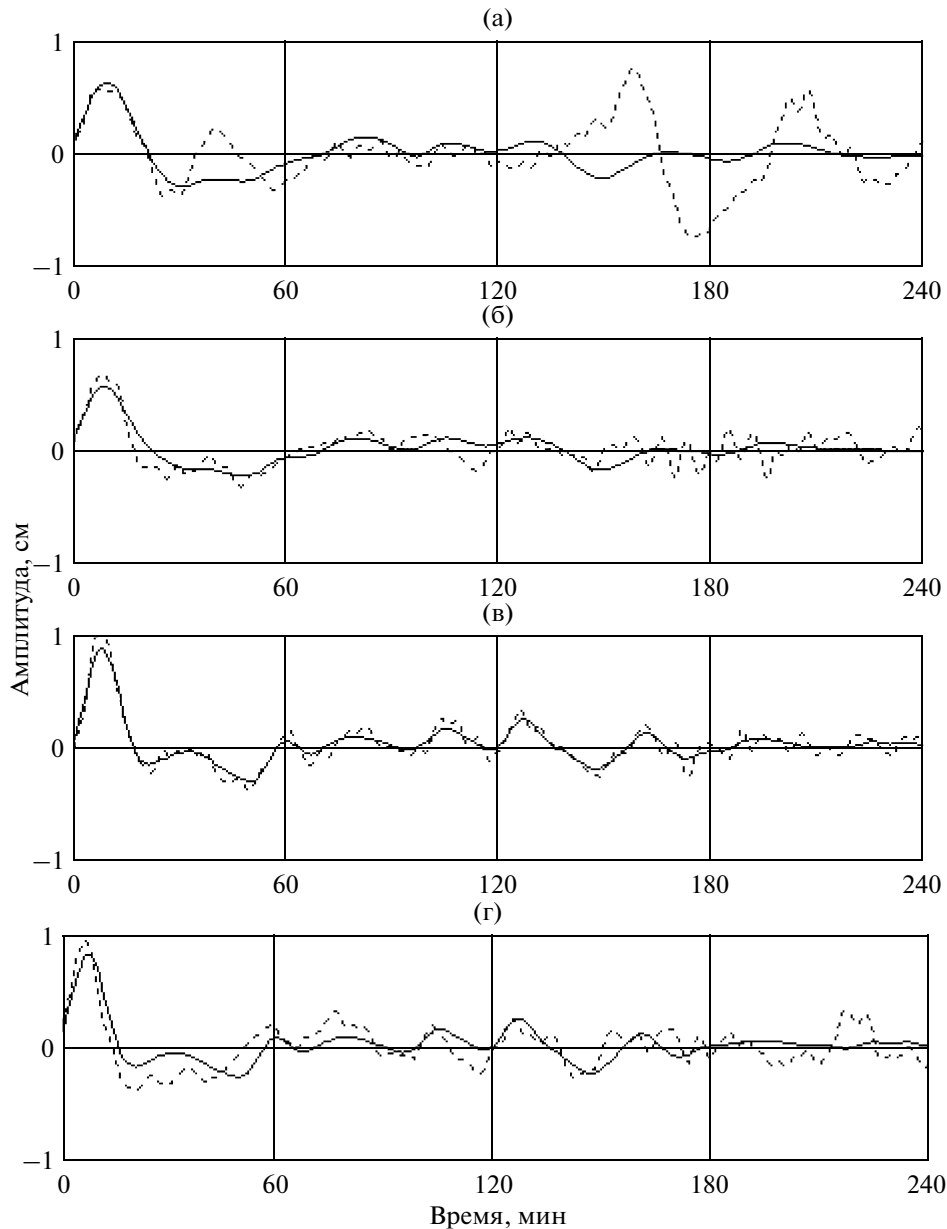


Рис. 4. Восстановленные формы волны цунами по данным ст. АК72.

Здесь, а также на следующих рисунках пунктиром изображены фактические данные, сплошной линией — результаты расчетов.

(а) — Восстановленная форма волны цунами в точке АК70. Коэффициент корреляции $\rho = 0.37$. (б) — Восстановленная форма волны цунами в точке АК71, $\rho = 0.80$. (в) — Восстановленная форма волны цунами в точке АК72 по данным ст. АК72, находившейся в той же точке, $\rho = 0.97$. (г) — Восстановленная форма волны цунами в точке АК73, $\rho = 0.77$.

Выполнен прогноз для точки вблизи западного побережья США, в которой находилась глубоководная ст. *WS67*. Численный эксперимент имитировал получение данных от станций и выполнение расчета в режиме реального времени. Длительность расчета передаточной функции достаточна для того, чтобы к моменту прихода цунами в точку ближайшей к эпицентру станции все данные были готовы к расчету прогнозируемого

цунами. Расчеты формы прогнозируемого цунами в эксперименте выполнялись по информации о цунами станций донного гидростатического давления длительностью 10, 20, 30 мин и т.д. от момента вступления цунами в соответствующую точку. В расчетах формы прогнозируемого цунами на каждом последующем временном шаге использовались все полученные на момент расчета фактические данные об уровне. Результаты про-

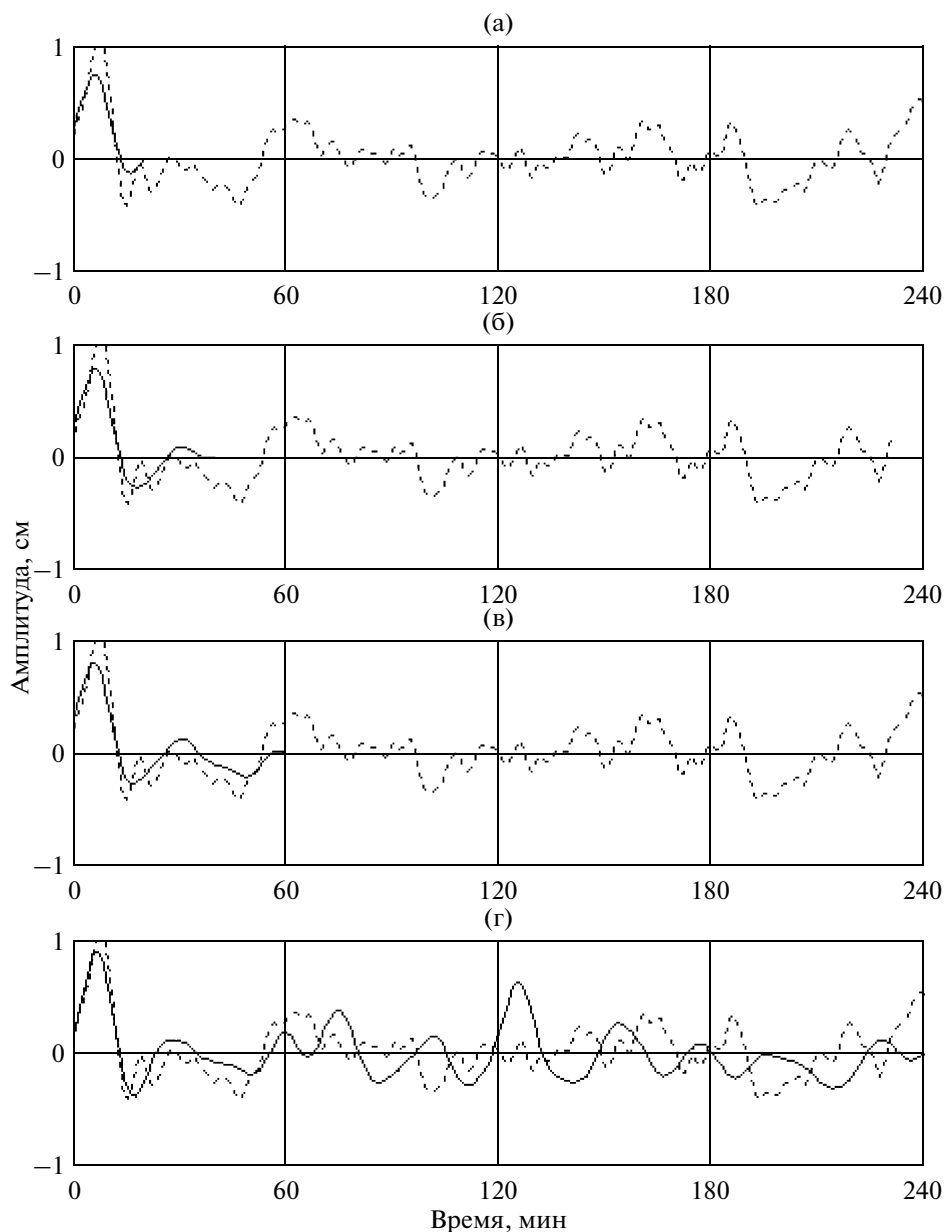


Рис. 5. Прогноз для точки WC67 по данным ст. АК72 при различной длительности исходной уровенной информации. Прогнозируемая форма цунами – сплошная линия, наблюдавшееся впоследствии цунами (данные ст. WC67) – пунктир. Время отсчитывается от момента прихода цунами в соответствующую точку.

(а) – Прогноз через 20 мин после прихода цунами в точку АК72. Коэффициент корреляции между формами прогнозируемого и наблюдавшегося цунами за 20 мин $\rho = 0.95$. (б) – Прогноз через 40 мин. Коэффициент корреляции между формами прогнозируемого и наблюдавшегося цунами за 40 мин $\rho = 0.92$. (в) – Прогноз через 60 мин. Коэффициент корреляции за 60 мин $\rho = 0.90$. (г) – Прогноз через 240 мин. Коэффициент корреляции за 240 мин $\rho = 0.41$.

гноза по данным ст. АК72 представлены на рис. 5. Уровенная информация, использовавшаяся для прогноза, изображена на рис. 4в (пунктир).

Как видно, предложенный способ дает хорошее совпадение прогнозируемой и наблюдавшейся форм цунами для основной части волны длительностью до 60 мин. Расчеты, выполненные с использованием рядов уровенных данных различной длительности, показывают, что предло-

женный способ может работать в режиме реального времени.

Прогноз для точки WC67 выполнен также по данным других станций, результаты представлены на рис. 6.

Представленные результаты численных экспериментов с использованием данных каждой из четырех станций показывают удовлетворительное совпадение прогнозируемой формы волны и

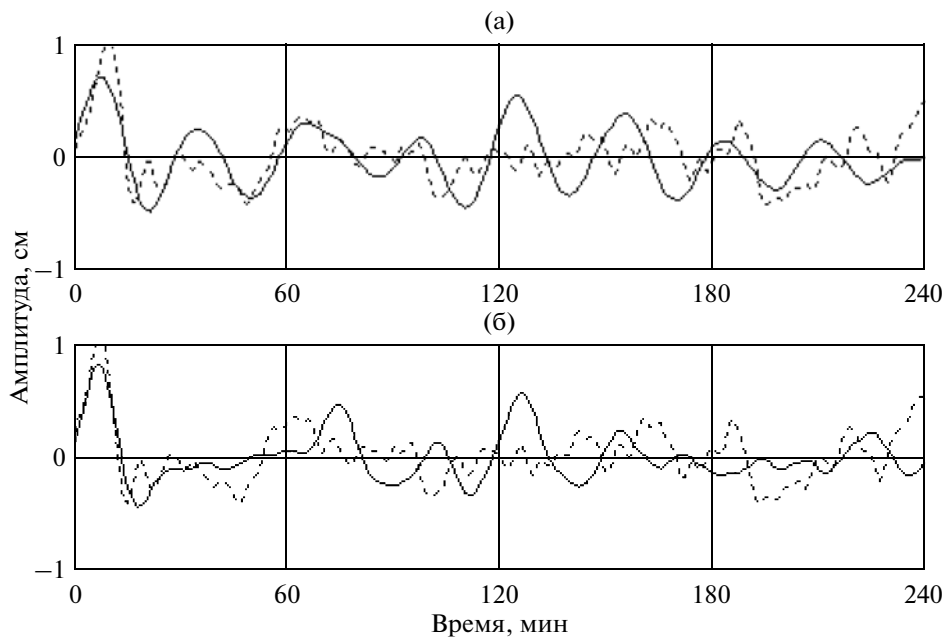


Рис. 6. Прогноз для точки WC67 по данным ст. AK71 и AK73.

(а) – Прогноз по данным станции AK71. Исходная уровневая информация изображена на рис. 4 (б) (пунктир), $\rho = 0.52$.
 (б) – Прогноз по данным ст. AK73. Исходная уровневая информация изображена на рис. 4 (г) (пунктир), $\rho = 0.46$.

формы наблюдавшегося в точке WC67 цунами. Коэффициенты корреляции, рассчитанные по длительности процесса около 60 мин, превышают 0.9, при большей длительности составляют 0.5–0.7. Амплитуды головной волны совпадают с достаточно высокой точностью. Расхождения наблюдаются в хвостовой части волны. Представляется, что степень совпадения форм прогнозируемого и наблюдавшегося цунами достаточно высока для практической оценки опасности цунами. Для учета возможных вторичных, отраженных волн время регистрации в режиме 1 мин должно быть достаточно длительным. Эта длительность может быть оценена в каждом конкретном случае путем численных экспериментов.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Способ оперативного прогноза цунами по данным об уровне океана применен для моделирования процесса прогнозирования Андреевского цунами 1996 г. При расчете прогнозируемой формы цунами использовалась сейсмологическая информация только о координатах эпицентра землетрясения. Априорная детальная информация об очаге землетрясения не требуется. Необходимы лишь время начала и координаты эпицентра землетрясения (эта задача оперативно решается сетью сейсмостанций). Для определения координат эпицентра землетрясения необходимо небольшое количество сейсмостанций. Использовались фактические данные о проявлении

цунами, полученные удаленными от побережья станциями донного гидростатического давления во время события. Расчетные (прогнозируемые) формы цунами, полученные с использованием данных каждой из станций, хорошо совпадают с фактическими данными о цунами вблизи побережья. Результаты, представленные в работе, их сравнение с результатами работ, полученными другим способом, показывают, что предложенный способ оперативного прогноза цунами по данным об уровне океана в удаленных от побережья точках вполне работоспособен.

К сожалению, в работах [9, 19] не приведены результаты расчета (прогноза) для точки, в которой была установлена ст. WC67, хотя эти данные опубликованы. Такие расчеты могли бы быть эталоном для сравнения различных подходов к оперативному прогнозу цунами.

В расчетах получено хорошее совпадение головных частей форм прогнозируемых и наблюдавшихся цунами. К сожалению, получить хорошего согласия для хвостовых, высокочастотных, частей волн не удалось. По-видимому, это обусловлено приближенным характером используемой в расчетах батиметрии. Следует отметить, что глубины океана в точках нахождения донных станций, реальные и полученные из цифровых батиметрических массивов, не всегда совпадают. Расхождения в глубинах меняются от незначительных (около 2 м для точки AK72) до заметных (около 400 м для точки WC67 при фактической глубине океана 1565 м).

Расчеты, выполненные с использованием рядов уровенных данных различной длительности, показывают, что предложенный способ может работать в режиме реального времени. Длительность прогнозируемой формы цунами в заданной точке определяется длиной ряда уровенных данных глубоководной станции.

Построение передаточных функций выполняется непосредственно после получения информации о координатах эпицентра землетрясения. Нет необходимости в заранее подготовленной базе данных, поэтому способ может применяться для любого района. Более того, в период создания системы краткосрочного предупреждения о цунами способ может применяться, если введена в действие хотя бы одна станция слежения за уровнем океана.

Прием уровенной информации во время события должен осуществляться в режиме реального времени с дискретностью 1–2 мин. В более детальной информации нет необходимости. Предполагается, что информация об уровне проходит предварительную фильтрацию от низкочастотных и высокочастотных составляющих. В итоге результаты прогноза должны быть наложены на актуальный предвычисленный уровень моря в точке расчета.

Предложенный в настоящей статье способ оперативного прогноза цунами в силу линейности принципа взаимности имеет линейный характер. Прогноз, как и в способах, описанных в [9, 13, 18, 19], выполняется для точек, глубина воды в которых не менее 10 м. Дальнейшие расчеты формы цунами на урезе воды, зоны затопления могут быть выполнены на основе результатов, полученных предлагаемым способом. Последняя задача в настоящей работе не рассматривается.

Условия, в которых выполнялись численные эксперименты, таковы, что уровенные станции и пункт, для которого выполняется прогноз, находились в пределах некоторого одного лучевого сектора, по одну сторону от эпицентра. Представляет интерес выяснить, какими будут результаты, если направления лучей, соединяющих эпицентр с точкой уровенной станции и пунктом прогноза, сильно различаются, особенно, если эти лучи направлены в противоположные стороны.

4. ВЫВОДЫ

1. Применение предложенного способа оперативного прогноза цунами не требует априорной детальной информации об очаге землетрясения. Для расчетов необходима сейсмологическая информация лишь о координатах эпицентра землетрясения. Расчет формы прогнозируемого цунами может выполняться в режиме реального времени.

2. Преимуществом предлагаемого способа с непосредственной подготовкой передаточной функ-

ции во время события является возможность применения его в тех областях, для которых нет заранее подготовленной базы расчетных мареограмм.

3. Способ оперативного прогноза может служить базой для создания единого программного комплекса оперативного прогноза цунами, включающего блок фильтрации от приливных и высокочастотных составляющих и блок предвычисления прилива в заданных точках. Он может быть реализован в рамках региональных или локальных служб предупреждения о цунами. При этом алгоритм действий оператора крайне прост: при возникновении землетрясения достаточно ввести координаты эпицентра землетрясения; прием и обработка информации об уровне океана в удаленных от побережья точках осуществляется в автоматическом режиме. Вмешательство оператора в процесс расчета не требуется. При реализации предложенный способ оперативного прогноза цунами может применяться в системах предупреждения о цунами на стадии их создания.

4. Предложенный способ может являться инструментом, позволяющим своевременно и достоверно давать информацию об ожидаемом цунами и объявлять тревогу только в тех пунктах, в которых цунами будет представлять реальную угрозу.

Автор благодарит В. Титова за предоставленные массивы цифровых данных и В. Кайстренко за полезные обсуждения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 06-05-96139-р, № 08-05-99098-р_офи), а также Дальневосточного отделения РАН (проект № 06-III-A-07-248).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дыхан Б.Д., Жак В.М., Куликов Е.А. и др. Первая регистрация цунами в открытом океане // Докл. АН СССР. 1981. Т. 257. № 5. С. 1088–1092.
2. Королев Ю.П. Об оценке цунами по измерениям уровня моря в удаленных точках // Математические методы в геофизике. Труды Международной конференции. В 2 частях. Ч. I. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2003. С. 229–234.
3. Королев Ю.П. Расчет цунами по измерениям уровня моря в удаленных точках при оперативном прогнозе // Океанология. 2004. Т. 44. № 3. С. 373–379.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 томах. Т. VI. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736 с.
5. Левин Б.В., Кайстренко В.М., Рыбин А.В. и др. Проявления цунами 15 ноября 2006 г. на центральных Курильских островах и результаты моделирования высот заплесков // Докл. РАН. 2008. Т. 419. № 1. С. 118–122.
6. Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Непон К.И. и др. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ДВО РАН, 1997. 272 с.

7. *Соловьев С.Л.* Проблема цунами и ее значение для Камчатки и Курильских островов // Проблема цунами. М.: Наука, 1968. С. 7–50.
8. *Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Золотухин Д.Е. и др.* Симуширские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 года и 13 января 2007 года // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 1. С. 3–16.
9. *Bezhaev A.Yu., Lavrentiev M.M. (Jr.), Marchuk An.G., Titov V.V.* Determination of tsunami sources using deep ocean wave records // Bull. of Novosibirsk Computing Center. Mathematical Models in Geophysics. Novosibirsk: NCC Publisher, 2006. № 11. P. 53–63.
10. *Chubarov L.B., Shokin Yu.I.* Mathematical modeling in mitigating the hazardous effect of tsunami waves in the ocean. A priori analysis and timely on-line forecast // Science of Tsunami Hazards. 1995. V. 13. № 1. P. 27–44.
11. *Chung J.Y., Kim S.D., Ivanov V.V.* Tsunami Wave Hindcasting in the Japan Sea // Tsunamis: Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning (Advances in Natural and Technological Hazards. V. 4). Kluwer Academic Publishers, 1995. P. 85–98.
12. *Eble M.C., Newman J., Wendland J. et al.* The 10 June 1996 Andreanov Tsunami Database: Technical memorandum ERL PMEL. Seattle: NOAA PMEL, 1997. 33 p.
13. *Gonzalez F.I., Titov V.V., Avdeev A.A et al.* Real-time tsunami forecasting: challenges and solutions // Математические методы в геофизике. Труды Международной конференции. В 2 частях. Ч. I. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2003. С. 225–228.
14. *Korolev Yu.* The Method of the Early Tsunami Warning Using Data of Remote Level Gauges // Proc. of the 22nd International Tsunami Symposium. Chania, Crete Island, Greece, 27–29 June, 2005. P. 113–119.
15. *Korolyov Yu.P., Poplavsky A.A.* A Method of Tsunami Estimation for Short-Range Forecast Service // IUGG, XXI General Assembly, Boulder, Colorado. 1995. P. A335.
16. *Smith W.H.F., Sandwell D.T.* Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. № 21. P. 803–824.
17. *Titov V.V., Gonzalez F.I.* Implementation and Testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) Model: Technical Report NOAA Tech. Memo. ERL PMEL-112 (PB98-122773), NOAA/PMEL. Seattle, WA. 1997. 11 p.
18. *Titov V.V., Gonzalez F.I., Bernard E.N. et al.* Real-Time Tsunami Forecasting: Challenges and Solutions // Natural Hazards. 2005. V. 35. № 1. P. 35–41.
19. *Wei Y., Cheung K.F., Curtis G.D. et al.* Inverse Algorithm for Tsunami Forecasts // Journal of waterway, ports, coastal and ocean engineering. ASCE. 2003. V. 129. № 2. P. 60–69.
20. http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml.
21. <http://www.magazine.noaa.gov/stories/mag153.htm>.

Retrospective Short-Term 1996 Andreanov (Aleutian Islands) Tsunami Forecast

Yu. P. Korolev

The brief review of tsunami short-term forecast is given. The method of tsunami short-term forecast using sea level data at remote points is presented. The only seismological information about earthquake epicenter coordinates is used. Applying this method to retrospective 1996 Andreanov tsunami forecast shows satisfactory concurrence of predicted and observed tsunami waveforms. It was demonstrated that offered method can work in real-time mode. Results are compared with results of the same event simulation by other authors. The offered method of tsunami short-term forecast can be a base for uniform program complex creation. This method may be used by regional and local tsunami warning services. The method may be used in areas where tsunami warning systems are just developing.