

УДК 551.466.62+550.344.42

© Ю. П. Королёв

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск
yu_p_k@mail.ru

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ЛОКАЛЬНЫХ ЦУНАМИ НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ

Статья поступила в редакцию 28.04.2018, после доработки 11.10.2019

Одной из проблем оперативного прогноза цунами является большое (свыше 75%) количество ложных тревог. Согласно современным представлениям, службы предупреждения о цунами должны объявлять не только обоснованные общие тревоги, но и дифференцированные по степени опасности для конкретных участков побережий. Тревога цунами должна объявляться с разумной заблаговременностью только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную угрозу, и сопровождаться информацией о временах прихода первой, максимальной волн, их амплитудах, а также об ожидаемом времени окончания цунами. Прогноз цунами, отвечающий этим требованиям, возможен при использовании информации о цунами, получаемой в открытом океане глубоководными станциями измерения уровня. В случаях локальных цунами станции измерения уровня океана, расположенные вблизи очага, содержат шумы сейсмического происхождения, наложенные на полезный сигнал о цунами, что может затруднить получение адекватного прогноза.

Представлены результаты численного моделирования процесса оперативного прогноза локальных цунами 2006 и 2007 гг. на Курильских островах по данным ближайшей к островам глубоководной станции измерения уровня океана. Расчет выполнен по данным станции, осложненным помехами сейсмического происхождения. Показана принципиальная возможность оперативного прогнозирования цунами, возникающих в районе центральных Курильских островов, по данным ближайшей к очагам станции измерения уровня даже при наличии сейсмических шумов. Заблаговременность прогноза для населенных пунктов северных и южных Курильских островов составляет 0.5–1.5 ч, что обеспечивает своевременную подачу тревоги и эвакуацию населения в безопасные места.

Ключевые слова: тревога цунами, ложная тревога цунами, магнитудно-географический критерий, гидрофизический способ прогнозирования цунами, глубоководные станции измерения уровня океана, заблаговременный прогноз цунами, волны Рэлея.

Yu. P. Korolev

Institute of Marine Geology and Geophysics of FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

ON OPPORTUNITY OF SHORT-TERM FORECAST FOR LOCAL TSUNAMIS IN THE KURIL ISLANDS

Received 28.04.2018, in final form 11.10.2019

One of the problems of operational tsunami forecasting is a large (more than 75%) number of false alarms. According to modern ideas, tsunami warning services should declare not only reasonable general alarms, but also differentiated by the degree of danger for specific areas of the coast. A tsunami warning should be issued with a reasonable advance warning only at points where a tsunami poses a real threat, and should be accompanied by information on the arrival time of the first, maximum waves, their amplitudes, as well as the expected time of the end of the tsunami. Tsunami forecasting that meets these requirements is possible using tsunami information obtained in the open ocean from sea level measurement stations. In the case of local tsunamis, ocean level measurement stations located near the focus contain noise of seismic origin superimposed on the useful tsunami signal, which can make it difficult to obtain an adequate forecast.

The results of numerical simulation of the process of operational forecasting of local tsunamis of 2006 and 2007 on the Kuril Islands according to the data of the closest to the islands deep-ocean level station are presented. The computation was performed according to the station data complicated by seismic interference. The principal possibility of operational

Ссылка для цитирования: Королёв Ю.П. О возможности оперативного прогноза локальных цунами на Курильских островах // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12, № 4. С. 14–20.

For citation: Korolev Yu.P. On opportunity of short-term forecast for local tsunamis in the Kuril Islands. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2019, 12, 4, 14–20.

DOI: 10.7868/S2073667319040026

forecast of tsunamis arising at the Central Kuril Islands, according to the data of closest to the centers level station, even in the presence of seismic noise, is shown. Advance forecast for settlements of the Northern and Southern Kuril Islands is 0.5—1.5 hours, which ensures timely submission of alarm and evacuation of the population to safe places.

Key words: tsunami alarm, false tsunami alarm, magnitude-geographic criterion, hydrophysical method for tsunami forecast, deep ocean level station, forecast lead time, Rayleigh waves.

1. Введение

Как известно, проблема оперативного прогноза цунами на Дальнем Востоке является актуальной, не вполне решенной задачей, в особенности это касается ситуаций с ложными тревогами цунами.

Проблема состоит в том, чтобы давать адекватный, заблаговременный, дифференцированный по участкам побережья прогноз времен прихода первой, максимальной волн цунами в заданный пункт и их амплитуд. Прогноз должен своевременно предоставлять информацию для принятия решения об объявлении тревоги цунами в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную угрозу.

В случаях локальных цунами, возникающих в районе глубоководной Курило-Камчатской впадины, с пробегом до побережья 1—3 ч, службы предупреждения о цунами располагают только сейсмологической информацией о координатах эпицентра и магнитуде землетрясения, используют магнитудно-географический критерий, предложенный в середине XX в., поэтому подают большое количество ложных тревог (свыше 75% от общего числа).

Высоты цунами на одних участках побережья могут быть значительными, на других — несущественными. В таких случаях тревоги цунами, объявляемые одновременно на всех Курильских островах, являются оправданными для одних и ложными для других участков.

Ложные тревоги цунами, объявляемые зачастую с излишней заблаговременностью, хоть и не несут прямых потерь, но причиняют значительный ущерб, связанный с остановкой производства в опасных местах, эвакуацией населения, выводом судов в открытое море. Причем всякого рода деятельность в прибрежной полосе останавливается на несколько часов. В силу большого количества ложных тревог суммарный ущерб от них сравним с ущербом от состоявшегося цунами.

Немаловажным негативным фактором является создание неоправданной стрессовой ситуации для населения. Частые ложные тревоги цунами вызывают негативное к ним отношение, недоверие вплоть до полного игнорирования сигналов служб предупреждения. Это ярко проявилось во время цунами Тохоку 11.03.2012, когда часть населения прибрежной зоны не отреагировала на сигналы тревоги, что привело к многочисленным жертвам.

Согласно современным представлениям, службы предупреждения о цунами должны объявлять не только обоснованные общие тревоги, но и дифференцированные по степени опасности для конкретных участков побережий. Идеально тревога цунами должна объявляться с разумной заблаговременностью только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную опасность, и сопровождаться информацией о времени прихода первой волны, максимальной волны, их амплитудах, а также об ожидаемом времени окончания цунами (отбой тревоги цунами) [1]. Именно эти характеристики цунами перечислены в определении прогноза цунами, сформулированном Межправительственной океанографической комиссией (МОК) ЮНЕСКО в 2013 г. [2]. На основании магнитудно-географического критерия такой детальный прогноз невозможен.

В настоящее время службами предупреждения о цунами в Тихом океане внедряется новый регламент оценки опасности цунами [3], который основан на предварительных расчетах с использованием упрощенной модели источника. Прогноз дается для крупных регионов, позволяет лишь ориентировочно оценить опасность возникшего цунами. Принятие решения об объявлении тревоги цунами возлагается на региональные центры предупреждения о цунами. Эти центры должны, видимо, самостоятельно разрабатывать способы детального прогнозирования цунами в своем районе.

Предлагаемый новый регламент не отвечает определению оперативного прогноза цунами, данному МОК ЮНЕСКО.

Подобный подход предлагался еще в 1996 г. [4] в начале развития системы регистрации цунами в океане. Впоследствии от такого подхода как неперспективного отказались в пользу гидрофизического способа, основанного на данных о сформировавшемся цунами в открытом океане.

Гидрофизические способы прогнозирования цунами не опираются на магнитуду землетрясения. Достоверной для оценки степени опасности цунами является информация о сформировавшемся цунами, получаемая в океане станциями системы DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis — оценка и передача данных о цунами в океане) [5].

В случаях локальных цунами одной из проблем является идентификация цунами в записях ближайших к очагу уровенных станций. Станции, измеряющие уровень океана с помощью донного датчика гидростатического давления, регистрирует также эффекты, связанные с прохождением сейсмических волн Рэлея. На записях близких к очагу станций при временах пробегах цунами до станции, не превышающих 30 мин, отмечается наложение сейсмического шума на сигналы о цунами. Разделение сигналов в таких случаях в условиях оперативного режима, по-видимому, затруднено или невозможно. Это обстоятельство может стать препятствием для получения адекватного прогноза.

Обзор работ, посвященных различным способам оперативного прогноза цунами, дан в [6]. Современное состояние в области оперативного прогноза представлено в [7].

Ранее в работе [1] представлен результат расчета волновых форм цунами 2006 и 2007 гг. в точках в океане вдоль Алеутских островов, Западного побережья США, а также у побережья Японии по данным станции DART 21414. Расчетные формы хорошо совпали с зарегистрированными в этих точках станциями системы DART. Правильно рассчитаны начальные фазы (положительная или отрицательная амплитуды головной волны) цунами. Расчет выполнен по данным о собственно цунами, не содержащим предшествующий сейсмический шум.

2. Цель и задачи

Целью настоящей работы являлось исследование возможности оперативного прогноза цунами, возникающих в районе центральных Курильских островов: определение времен их прихода к населенным пунктам южных и северных Курильских островов, амплитуд волн, длительности тревожного режима, — при условии получения уровенной информации о цунами в открытом океане. Такой информацией являются данные глубоководной станции измерения уровня океана, расположенной в районе центральных Курильских островов к востоку от глубоководной впадины в месте нахождения в настоящее время станции DART 21419. С точки зрения заблаговременности прогноза в данных условиях положение станции DART 21419 является оптимальным. К сожалению, станция установлена лишь в 2009 г.

Решалась задача реконструкции формы цунами в точке 21419 по имеющимся данным других станций системы DART.

Для анализа влияния сейсмического шума на возможность и качество прогноза цунами выполнена реконструкция возможного сейсмического шума в записях станции DART 21419 также по данным других станций системы DART.

Реконструкция формы цунами в точке 21419 и расчеты волновых форм ожидаемого цунами выполнялись способом оперативного прогноза цунами, кратко описанным в следующем пункте.

3. Способ оперативного прогноза цунами

Для выполнения оперативного прогноза требуется по данным о сформировавшемся цунами в одной точке в открытом океане рассчитать форму ожидаемого цунами в заданном пункте. В такой постановке задача решения не имеет. Тем не менее, найдено простое приближенное решение задачи оперативного прогноза цунами по данным об уровне в открытом океане.

Исходным для вывода расчетного соотношения является соотношение подобия спектров двух различных цунами с одним и тем же эпицентром T , зарегистрированных в точках M и X :

$$\frac{\zeta_T(X, s)}{\zeta_T(M, s)} = \frac{\eta_T(X, s)}{\eta_T(M, s)}. \quad (1)$$

Здесь под спектром понимается образ интегрального преобразования Лапласа.

Предложенное соотношение выведено на основе принципа взаимности. Принцип взаимности для волн в акустике известен в течение более чем 140 лет, начиная с исследований Гельмгольца и Рэлея.

Соотношение взаимности, как и законы сохранения, позволяет во многих случаях получить результат без точного решения задачи. Для длинных волн на мелкой воде, к которым относятся цунами, справедливость соотношения взаимности не очевидна. Детальное исследование применимости соотношения взаимности к волнам на мелкой воде представлено в [8]. Показано, что соотношение взаимности справедливо и для длинных волн на мелкой воде при выполнении определенных условий подобия взаимных источников. Соотношение взаимности, несмотря на асимптотический характер, справедливо при расстояниях между источниками, сравнимых с горизонтальными размерами источников. Это позволило применить соотношение взаимности для решения задачи оперативного прогноза цунами.

Из соотношения подобия спектров следует расчетная формула

$$\zeta_T(X, s) = \zeta_T(M, s) \cdot \frac{\eta_T(X, s)}{\eta_T(M, s)}. \quad (2)$$

Это соотношение позволяет по данным об уровне океана в точке M (функция $\zeta_T(M, s)$) с помощью передаточной функции (отношение в правой части) рассчитывать форму ожидаемого цунами ($\zeta_T(X, s)$) в любой точке X побережья.

Передаточная функция строится в режиме реального времени после получения информации о координатах эпицентра землетрясения. Выполняется расчет функций $\eta_T(M, s)$ и $\eta_T(X, s)$ от вспомогательного источника простой круговой формы с центром, совпадающим с эпицентром землетрясения, произвольной амплитуды и достаточно произвольным диаметром 50—100 км.

Обратное численное преобразование Лапласа завершает решение задачи. Результатом является форма ожидаемой волны, в которой отражается вся необходимая для оценки степени опасности цунами информация.

Для выполнения прогноза от сейсмологической службы не требуется никакой другой информации, кроме координат эпицентра землетрясения.

4. Численный эксперимент

Землетрясения с магнитудами $M = 8.3$ и $M = 8.1$ произошли 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г. восточнее о. Симушир с эпицентрами на западном и восточном склонах глубоководного желоба. Согласно регламенту (при магнитуде более 7.5), немедленно была объявлена тревога цунами на всем побережье Курильских островов, проведена эвакуация населения из опасных мест. На ближайших к очагу центральных, не заселенных в настоящее время, Курильских островах заплески цунами составили до 20 м. Цунами 2006 г. нанесло ущерб в Кресент Сити на Западном побережье США. В то же время оба цунами на северных и южных Курильских островах проявились незначительно, не причинив никакого ущерба.

Для решения задачи моделирования процесса оперативного прогнозирования выполнен численный эксперимент по расчету (в дальнейшем — прогнозу) волновой формы цунами в населенных пунктах Курильских островов и острова Хоккайдо по восстановленным (реконструированным) данным о цунами в точке 21419 (местонахождение станции DART 21419 в настоящее время). Реконструкция формы цунами в точке 21419 производилась по данным о цунами, полученным станцией DART 21414, пробег цунами до которой составлял около 2 ч. Местоположение станций, пунктов прогноза, а также положения эпицентров землетрясений представлены на рис. 1 (см. вклейку).

Для построения передаточной функции выполнен расчет волновых форм в точках, для которых осуществляется прогноз, и в местах нахождения станций DART 21414 и 21419 от вспомогательных источников диаметром 75 км с максимальной амплитудой 10 м с центрами, совпадающими с эпицентрами землетрясений 2006 и 2007 гг. Расчет выполнялся в сферических координатах с шагом разностной сетки 0.9 км на широте 45° .

На рис. 2 (а, б) представлены сигналы, зарегистрированные станцией DART 21414 в 2006 и 2007 гг., включающие шум, обусловленный сейсмическими причинами [9]. Из записей удалены низкочастотные приливные составляющие методом наименьших квадратов с помощью полиномов 4-5 степени. Дискретность записей станций DART в режиме регистрации цунами равна 1 мин. Ввиду удаленности станции DART 21414 от очага шум и собственно цунами хорошо разделяются. Высокочастотный

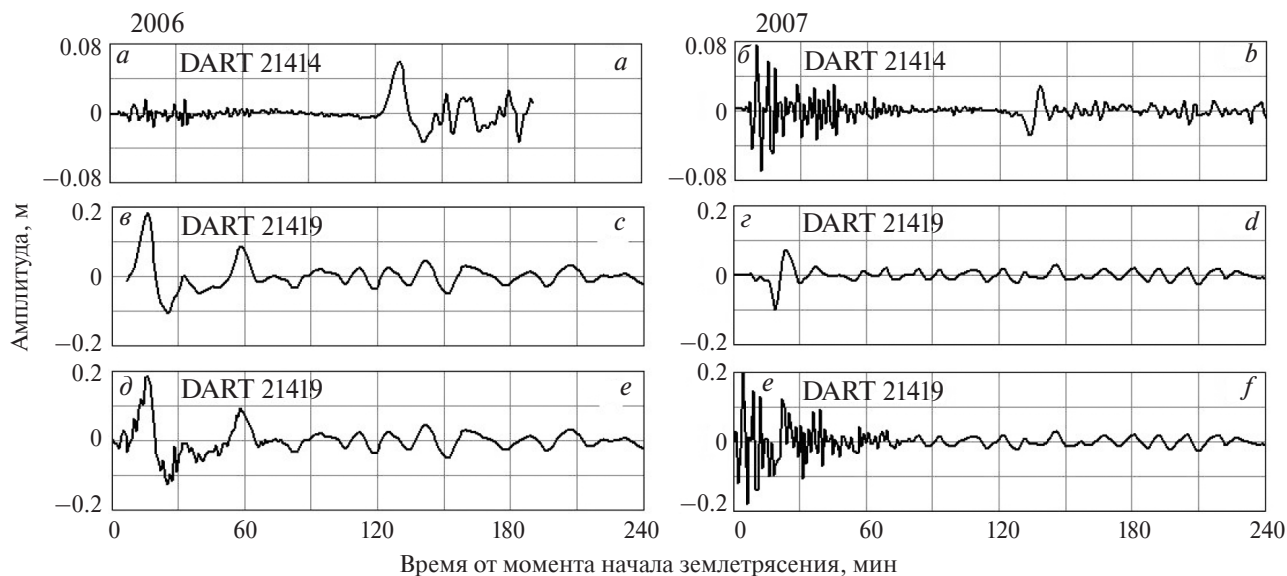


Рис. 2. Исходные и реконструированные данные.

a, б – запись станции DART 21414, содержащая сейсмический шум; *в, г* – реконструированная форма «чистого» цунами в точке 21419; *д, е* – реконструированная форма цунами в точке 21419, включающая сейсмический шум.

Fig. 2. Original and reconstructed data.

a, b – signals recorded by DART station 21414 containing seismic noise; *c, d* – a reconstructed tsunami waveform at the point 21419; *e, f* – a reconstructed tsunami waveform at the point 21419 including seismic noise.

шум, регистрируемый донным датчиком, обусловлен сейсмическими причинами (результат действия волн Рэля, характерный период которых порядка 10 с) и проявляется в виде выбросов с периодичностью около 4 мин, в то время как характерные периоды собственно цунами находятся в интервале 15–30 мин. На записях близких к очагу станций, в частности DART 21419, должно происходить наложение шума на полезный сигнал.

Для решения задачи прогнозирования цунами произведена реконструкция формы цунами в точке нахождения станции DART 21419 описанным выше способом оперативного прогноза цунами.

На рис. 2 (*в, г*) изображены восстановленные формы цунами 2006 и 2007 гг. («чистые» цунами) в точке 21419 по данным станции DART 21414. Для расчетов использовались данные этой станции (первые периоды) от 123 до 148 мин, рис. 2 (*а*), и от 122 до 141 мин, рис. 2 (*б*). Видно, что механизмы возбуждения цунами 2006 и 2007 гг. различны: в первом событии головная волна положительна, во втором – отрицательна.

Для учета сейсмического шума в записях станции DART 21419 к рассчитанным формам цунами добавлены шумовые составляющие записей станции DART 21414 длительностью 70 мин от момента первого вступления. При расчете этих составляющих учтено изменение амплитуды волны Рэля за счет цилиндрической расходимости с расстоянием от эпицентра до точки регистрации. На рис. 2 (*д, е*) представлены волновые формы, составленные из реконструированных форм (рис. 2, *в, г*) и возможных шумов сейсмического происхождения (цунами с шумом).

5. Результат

Прогноз цунами 2006 и 2007 гг. способом оперативного прогноза цунами, описанным выше, для пунктов Курильских о-вов и о. Хоккайдо выполнен с использованием реконструированных данных в точке 21419, как «чистого» цунами, так и цунами с шумом.

На рис. 3 представлены результаты прогноза цунами 2006 г. (*а*) и 2007 г. (*б*) по реконструированным данным с шумом станции DART 21419 (рис. 2, *д, е*) длительностью 32 и 35 мин от момента начала землетрясения соответственно, и сравнение с реальными записями.

Результаты прогнозов в Ханасаки для событий 2006 и 2007 гг. хорошо совпадают с зарегистрированными формами цунами. Для события 2007 г. прогноз по данным с шумом отличается от прогноза

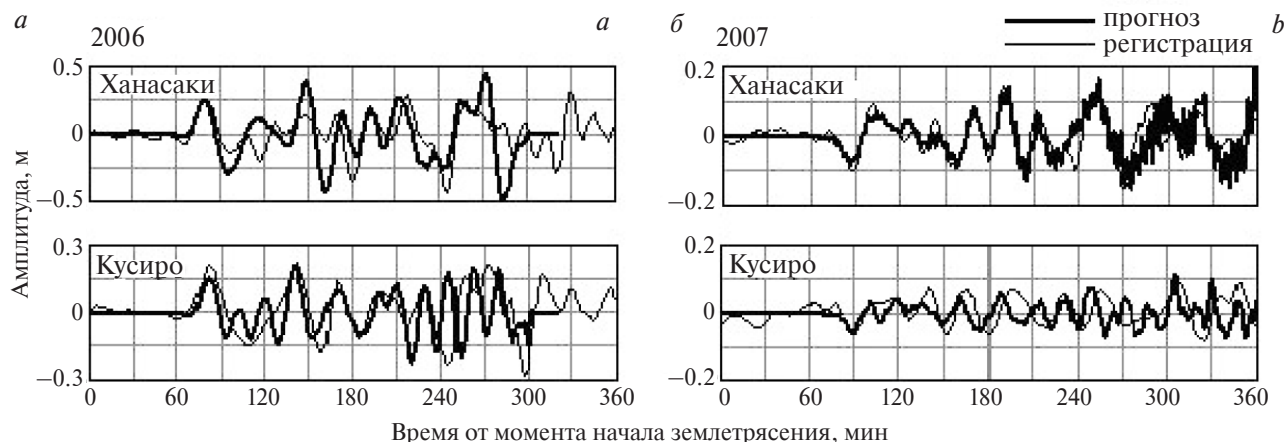


Рис. 3. Результаты прогноза цунами 2006 (а) и 2007 (б) гг.

Fig. 3. Results of 2006 (a) and 2007 (b) tsunami forecast.

по «чистым» данным наличием высокочастотных колебаний после 180 мин, не имеющих отношения к цунами. Впрочем, наличие таких колебаний не может повлиять на принятие решения об объявлении тревоги цунами.

Расчетные формы цунами в Куширо для обоих событий достаточно хорошо совпадают с реальными. Прогнозы, выполненные по данным с шумом и без шума, практически не различаются.

Вопреки опасениям, прогноз для Ханасаки и Куширо по данным, осложненным шумом сейсмического происхождения, вполне адекватен. Качество прогноза позволяет достоверно оценить опасность ожидаемого цунами и принять решение об объявлении тревоги в этих пунктах.

Результаты прогноза для населенных пунктов Курильских островов не приведены ввиду отсутствия регистрации цунами в этих точках и невозможности сравнения расчетных и фактических форм цунами. Тем не менее, возможно оценить заблаговременность прогноза для этих пунктов.

Заблаговременность, т.е. интервал времени между временем прихода цунами в заданный пункт и временем выработки прогноза, определяется следующим: получение данных о координатах эпицентра землетрясения – через 11–15 мин после начала землетрясения, время от момента получения информации о координатах эпицентра, необходимое для построения передаточной функции, – около 15 мин. Суммарно момент времени готовности прогноза – через 26–30 мин после начала землетрясения. К этому моменту времени станцией DART 21419 может быть получена информация, позволяющая идентифицировать цунами (в условиях эксперимента для расчетов выбирался первый период волны). В итоге заблаговременность прогноза с учетом времен добегания цунами до населенных пунктов составляет для Ханасаки 45 мин, Куширо – 50 мин, Южно-Курильска – 1.5 ч, Буревестника (зал. Касатка о. Итуруп) – 34 мин, Курильска – около 20 мин и Северо-Курильска – около 1 ч.

Времена пробега цунами 2006 и 2007 гг. до берегов ближайших к очагу центральных Курильских островов (Матуа, Симушир и др.), не населенных в настоящее время, составляли около 20 мин, меньше, чем время, необходимое для регистрации и идентификации цунами станциями системы DART. В таких случаях прогноз по данным об уровне океана не может быть выполнен заблаговременно.

6. Заключение

Выполнено моделирование процесса оперативного прогноза цунами 2006 и 2007 гг. по реконструированным данным станции DART 21419, расположенной на широте центральных Курильских островов восточнее глубоководной Курило-Камчатской впадины. Показано, что в случаях возникновения цунами в районе центральных Курильских островов возможен заблаговременный достоверный прогноз для населенных пунктов северных и южных Курильских островов, а также о. Хоккайдо за 0.5–1.5 ч до прихода цунами в эти пункты: достаточно хорошо оцениваются времена прихода цунами, структура и амплитуды волн. В подобных ситуациях для центральных Курильских островов (Матуа, Симушир и др.), время пробега цунами до которых составляет 15–20 мин, гидрофизические способы прогноза, основанные на информации о цунами в океане, не позволяют давать заблаговременный

прогноз. В таких случаях тревога цунами должна объявляться немедленно после получения первичной информации о землетрясении в соответствии с действующим в настоящее время регламентом.

Станции измерения уровня океана, расположенные в непосредственной близости от очага цунами, времена пробега цунами до которых менее 30 мин, регистрируют высокочастотные помехи, обусловленные сейсмическими причинами, наложенные на сигнал собственно цунами. Численный эксперимент показал, что, вопреки опасениям, наличие таких помех не оказывает серьезного влияния на результат прогноза. Прогнозируемые по данным о цунами с шумом формы цунами по структуре, амплитудам волн хорошо совпали с зарегистрированными в Ханасаки и Кусиро.

В целом численный эксперимент, несмотря на то что способ расчета дает приближенное решение о форме ожидаемого цунами, показывает результат, получаемый заблаговременно, с качеством, достаточным для принятия решения об объявлении тревоги цунами только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную угрозу. Прогноз, полученный предложенным способом, полностью соответствует определению прогноза цунами, сформулированному МОК ЮНЕСКО.

Реализация способа при наличии глубоководных станций измерения уровня океана позволит существенно снизить количество ложных тревог.

Литература

1. Королёв Ю.П. О гидрофизическом способе оперативного прогноза цунами // Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8, № 2. С. 32—47.
2. Intergovernmental Oceanographic Commission. Rev. Ed. 2013. Tsunami Glossary, 2013. Paris, UNESCO. IOC Technical Series. N 85. (IOC/2008/TS/85rev). URL: http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=10442 (дата обращения: 08.10.2019).
3. User's Guide for the Pacific Tsunami Warning Center Enhanced Products for the Pacific Tsunami Warning System. IOC Technical Series. N 105, Rev. ed. UNESCO/IOC. 2014. URL: http://itic.ioc-unesco.org/images/stories/ptws/ptwc_new_enhanced_products/ts105-Rev2_eo_220368E.pdf (дата обращения: 08.10.2019).
4. Whitmore P.M. and Sokolowski T.J. Predicting tsunami amplitudes along the North American coast from tsunamis generated in the Northwest Pacific Ocean during tsunami warnings // Science of Tsunami Hazards. 1996. V. 14, № 3. P. 147—166.
5. NOAA Center for Tsunami Research. URL: <http://nctr.pmel.noaa.gov/> (дата обращения: 09.10.2019).
6. Королёв Ю.П., Шевченко Г.В. Оперативный прогноз цунами // История науки и техники. 2016. № 6. С. 28—41.
7. Королёв Ю.П. Оперативный прогноз цунами в Тихом океане // Геосистемы переходных зон. 2017. № 2. С. 3—17.
8. Королёв Ю.П. Принцип взаимности для длинных волн на мелкой воде с учетом вращения Земли // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9, № 2. С. 3—14.
9. National Data Buoy Center. URL: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml> (дата обращения: 09.10.2019).

References

1. Korolev Yu.P. Hydrophysical method for real-time forecast of tsunami. *Issues of Risk Analysis*. 2011, 8, 2, 32—47 (in Russian).
2. Intergovernmental Oceanographic Commission. Rev. Ed. 2013. Tsunami Glossary, 2013. Paris, UNESCO. IOC Technical Series. N 85. (IOC/2008/TS/85rev). URL: http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=10442 (date of access: 08.10.2019).
3. User's Guide for the Pacific Tsunami Warning Center Enhanced Products for the Pacific Tsunami Warning System. IOC Technical Series. N 105, Rev. ed. UNESCO/IOC. 2014. URL: http://itic.ioc-unesco.org/images/stories/ptws/ptwc_new_enhanced_products/ts105-Rev2_eo_220368E.pdf (date of access: 08.10.2019).
4. Whitmore P.M. and Sokolowski T.J. Predicting tsunami amplitudes along the North American coast from tsunamis generated in the Northwest Pacific Ocean during tsunami warnings. *Science of Tsunami Hazards*. 1996, 14, 3, 147—166.
5. NOAA Center for Tsunami Research. URL: <http://nctr.pmel.noaa.gov/> (date of access: 09.10.2019).
6. Korolev Yu.P., Shevchenko G.V. The short-term tsunami forecast. *Istoriya Nauki i Tekhniki*. 2016, 6, 28—41 (in Russian).
7. Korolev Yu.P. Short-term tsunami forecast in the Pacific Ocean. *Geosistemy Perekhodnykh Zon*. 2017, 2, 3—17 (in Russian).
8. Korolev Yu.P. The reciprocity principle for the shallow water waves, taking into account the Earth's rotation. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2016, 9, 2, 3—14 (in Russian).
9. National Data Buoy Center. URL: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml> (date of access: 09.10.2019).

К статье *Королёв Ю. П.* О возможности оперативного прогноза локальных цунами на Курильских островах

Korolev Yu. P. On opportunity of short-term forecast for local tsunamis in the Kuril Islands

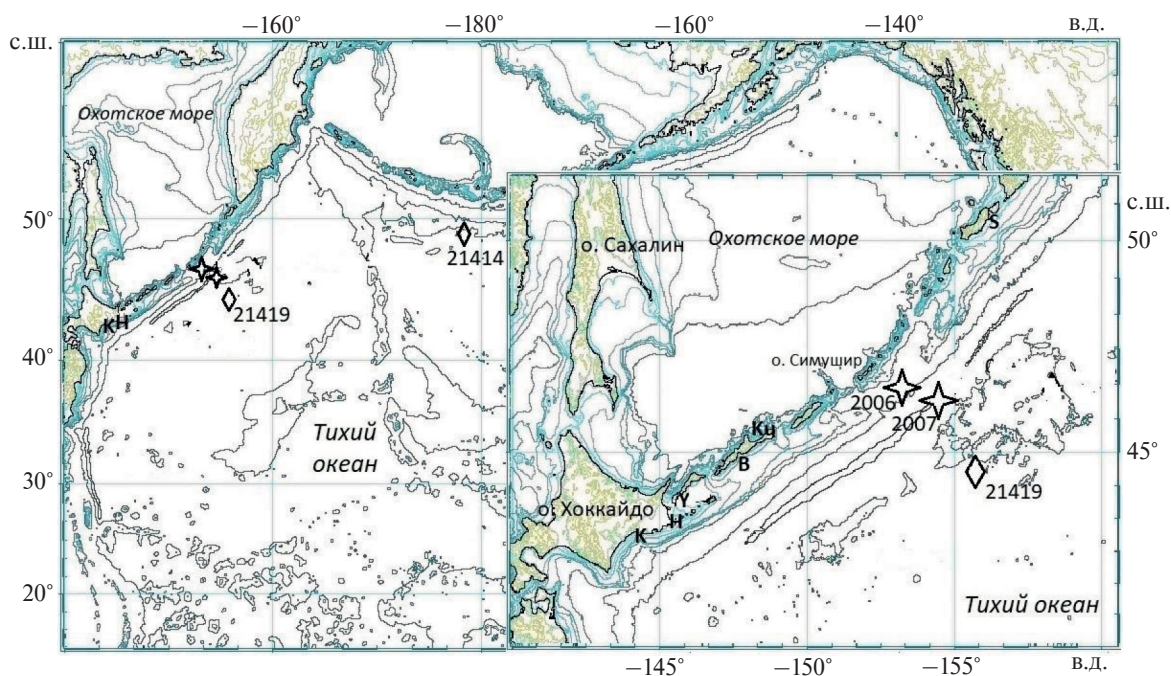


Рис. 1. Расчетная схема численного эксперимента. Звездочками обозначены эпицентры землетрясений, ромбами – положения станций системы DART. На схеме обозначено: Н – Ханасаки, К – Кусиро, Y – Южно-Курильск, В – Буревестник, Ку – Курильск, S – Северо-Курильск.

Fig. 1. Calculation scheme of numerical experiment. Asterisks denote the epicenters of earthquakes, diamonds-the position of DART stations. The diagram shows: H – Hanasaki, K – Kushiro, Y – Yuzhno-Kurilsk, B – Burevestnik, Ku – Kurilsk, S – Severo-Kurilsk.