

Всероссийская научная конференция
«ВОЛНЫ ЦУНАМИ: МОДЕЛИРОВАНИЕ, МОНИТОРИНГ, ПРОГНОЗ»
Москва, 17 мая 2019 г.

**УСТОЙЧИВОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ЦУНАМИ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ОЧАГА И
ДИСТАНЦИОННЫХ ТОЧЕК РЕГИСТРАЦИИ**

Ю.П. Королёв



*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
Южно-Сахалинск*

ПРОБЛЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ЦУНАМИ

Главным недостатком оперативного прогноза в настоящее время является низкая эффективность: количество ложных тревог, подаваемых службами предупреждения о цунами, превышает 75% всех тревог.

Проблема заключается в том, чтобы службы предупреждения объявляли 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.

Такие требования к оперативному прогнозу сформулированы в работах автора в 2004 – 2011 гг. [1, 2, 3].

Такие же требования перечислены в обновленном определении понятия “**прогноз цунами**”, сформулированном МОК ЮНЕСКО в 2013 г. [4]:

«A quantitative estimate of any property of the tsunami hazard that is made in advance. Properties that may be forecast include the time of initial wave arrival, the time of maximum wave arrival, *the amplitude* of the maximum tsunami waves, and the duration of the tsunami hazard».

На основании сейсмологической информации о землетрясении такой прогноз невозможен.

Внедряемый в настоящее время новый регламент оценки опасности цунами в Тихом океане [5], основанный на предварительных расчетах с использованием упрощенной модели источника не отвечает приведенному определению.

Гидрофизические способы прогнозирования цунами не зависят от точности определения магнитуды 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 сообщение о цунами в океане) [6].

Удивительно, но, несмотря на существование развитой сети станций DART, новые регламенты не подразумевают использование уровенных данных в оперативном прогнозе!

СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ЦУНАМИ

Предлагаемый ИМГиГ ДВО РАН способ оперативного прогноза цунами позволяет по данным о цунами в одной точке в океане рассчитывать форму ожидаемого цунами в любой заданной точке.

Исходя из принципа (соотношения) взаимности для нестационарных волн, выведено соотношение подобия спектров (образов интегрального преобразования) волновых форм двух разных источников с одинаковыми эпицентрами:

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

Из приведенного соотношения подобия спектров следует соотношение для расчета формы ожидаемого цунами в точке X:

$$\zeta(X, s) = \zeta(M, s) \cdot \frac{\eta(X, s)}{\eta(M, s)}$$

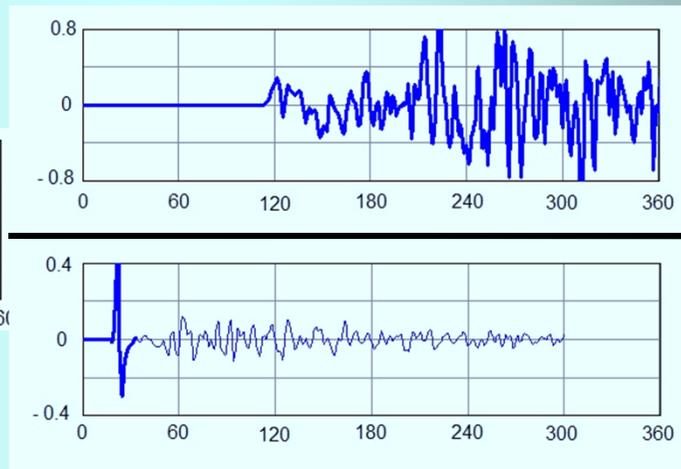
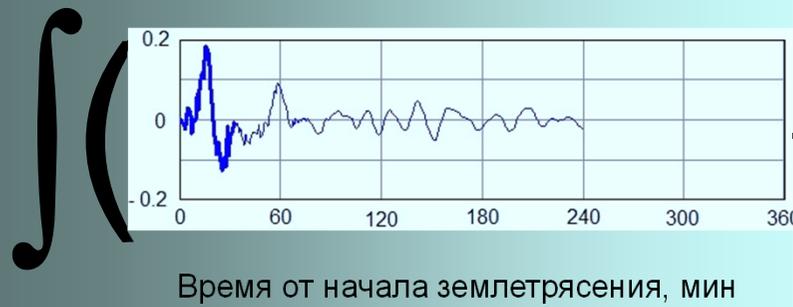
Соотношение позволяет по данным об уровне океана в точке М (функция $\zeta(M, s)$) с помощью передаточной функции (отношение в правой части) рассчитывать форму ожидаемого цунами ($\zeta(X, s)$) в любой точке X побережья.

Передаточная функция строится в режиме реального времени после получения информации о координатах эпицентра землетрясения. В силу отсутствия какой-либо иной информации о землетрясении предположено, что функциями, составляющими передаточную функцию, могут быть волновые формы $\eta(M,s)$ и $\eta(X,s)$ от вспомогательного источника простой аксиально-симметричной формы с центром, совпадающим с эпицентром землетрясения, с произвольной амплитудой и достаточно произвольным диаметром.

Ранее было показано, что величина диаметра кругового источника в диапазоне 40 – 100 км не влияет на качество прогноза.

Для построения передаточной функции требуется **сейсмологическая информация только о координатах эпицентра землетрясения.**

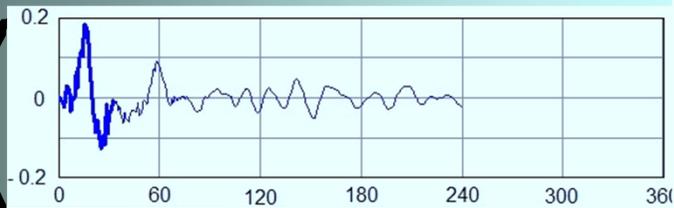
Обратное численное интегральное преобразование дает форму ожидаемого цунами в точке X .



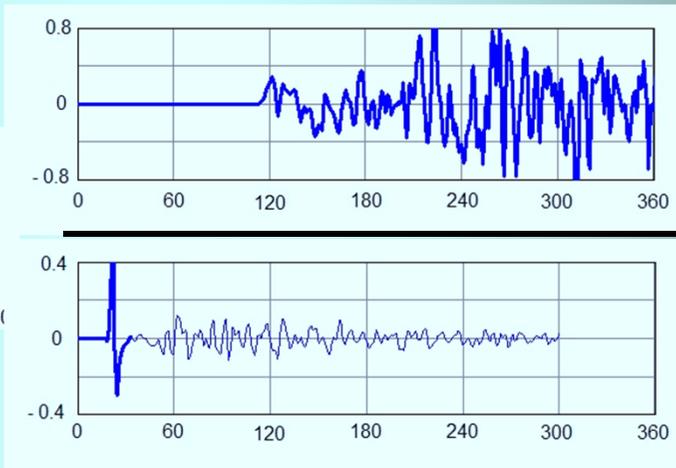
$$) e^{st} ds =$$

= ?

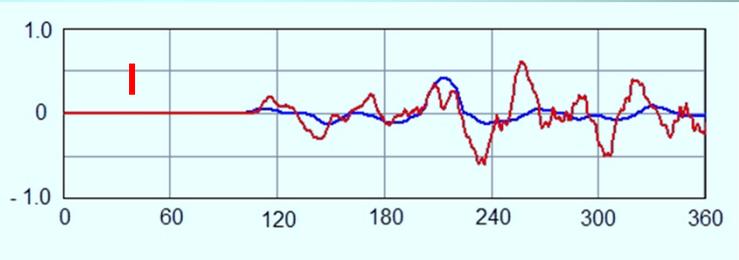
\int



Время от начала землетрясения, мин



=



$)e^{st} ds =$

Прогноз выполняется заблаговременно: если по результатам расчета ожидаемого цунами необходимо объявление тревоги цунами, то времени для эвакуации населения населенных пунктов Курильских островов достаточно.

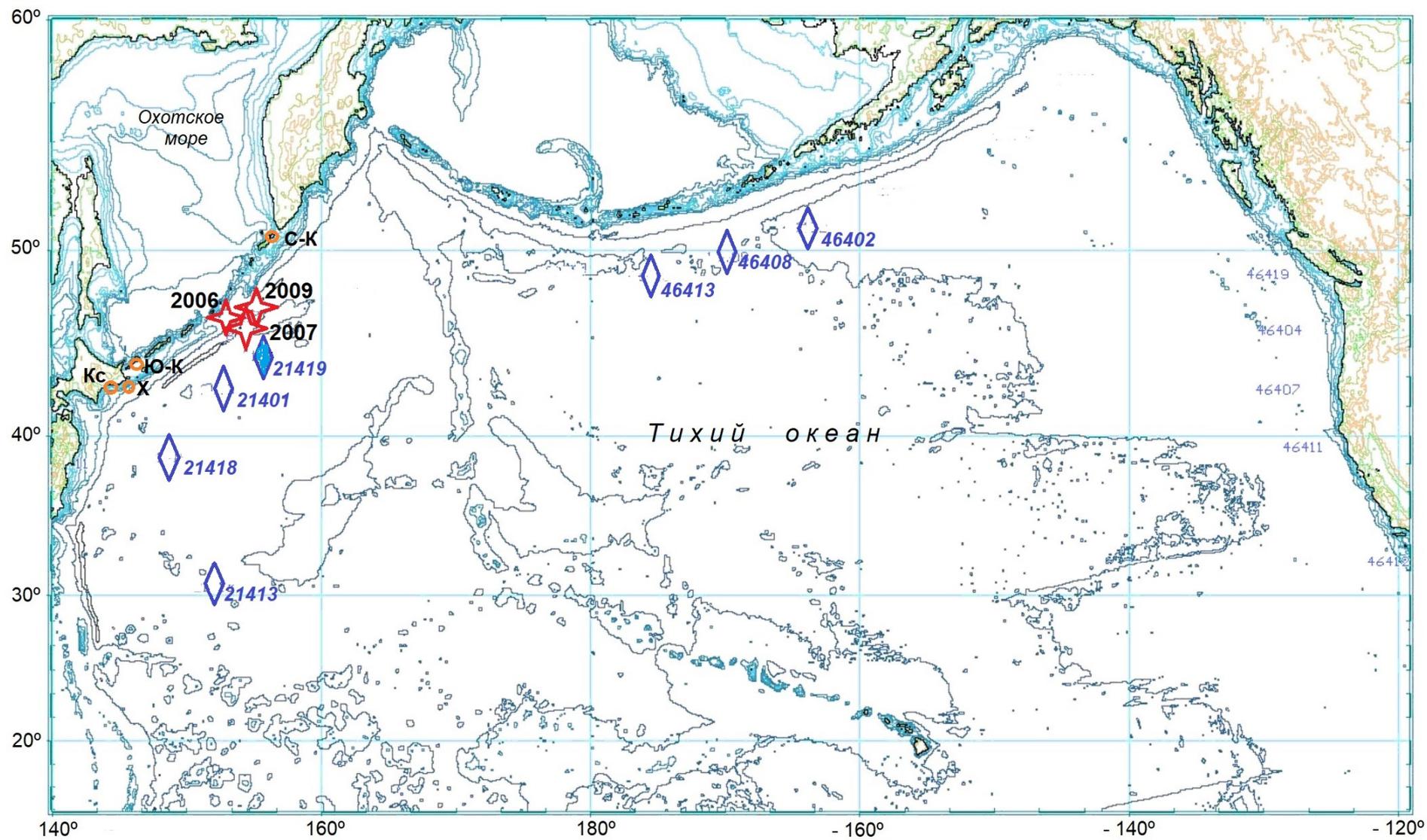
Момент выработки прогноза определяется моментом получения информации о цунами от уровенной станции (после регистрации первого периода/первого полупериода волны) в оперативном режиме. Процесс построения передаточной функции осуществляется в пределах этого интервала времени.

Формальные, количественные, критерии успешности любого прогноза цунами в настоящее время отсутствуют, не только в России.

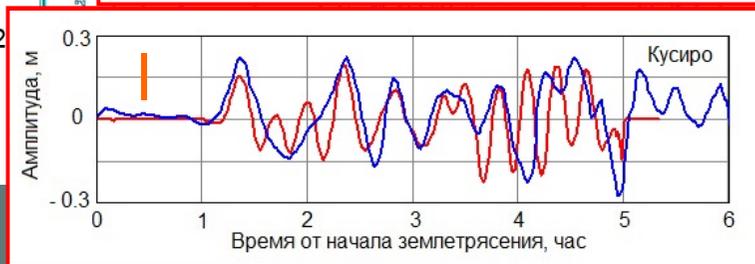
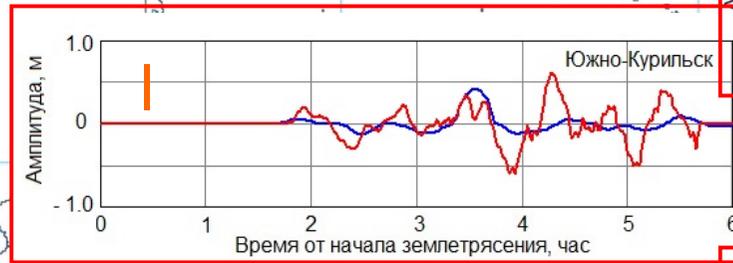
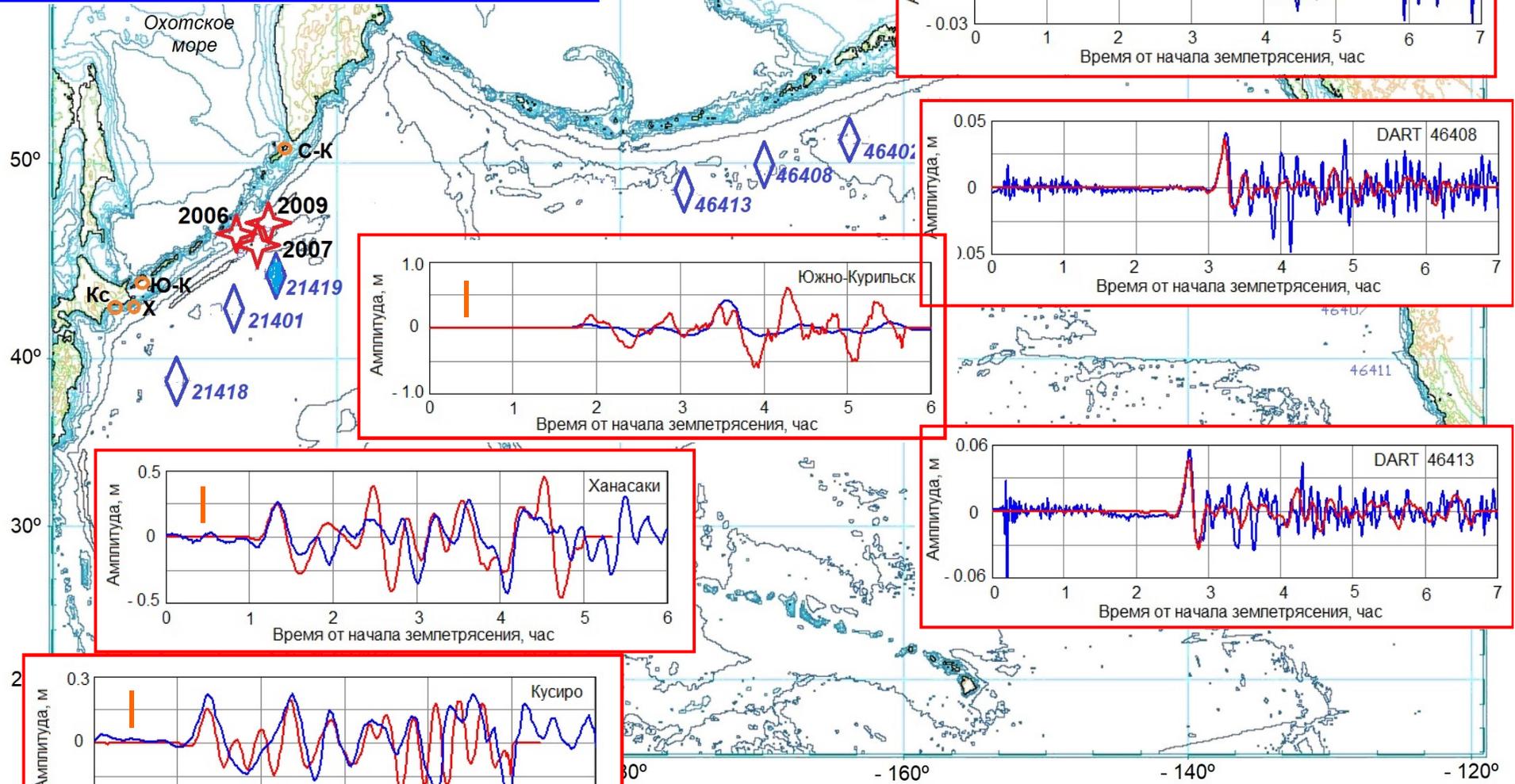
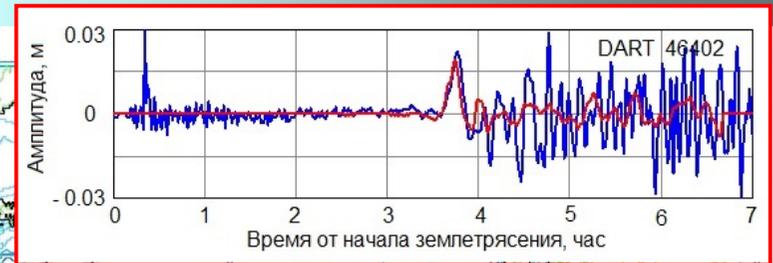
Применительно к предложенному способу оперативного прогноза качество может оцениваться ответом на вопрос: достаточно ли информации об ожидаемом цунами для принятия решения об объявлении тревоги цунами в конкретном населенном пункте.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

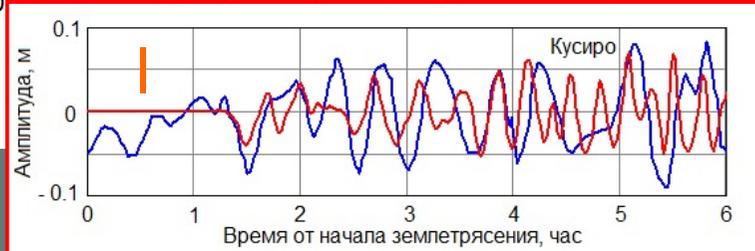
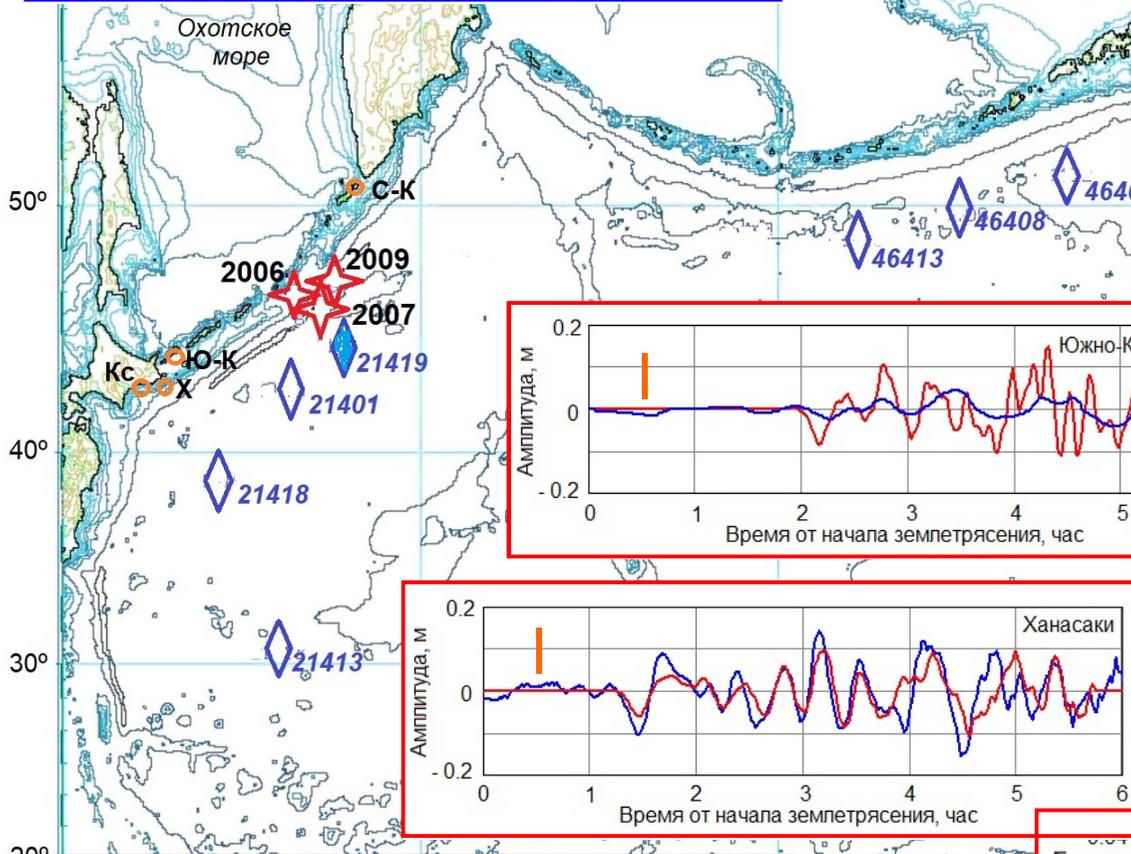
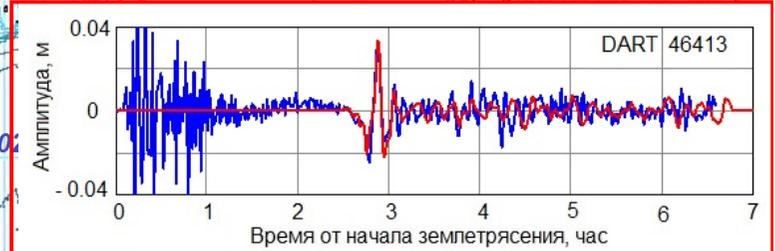
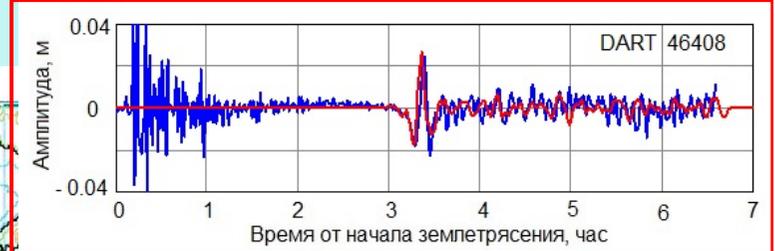
Оценка результативности прогноза цунами для пунктов, находящихся в различных направлениях от очага и точек регистрации цунами, при использовании расчетных данных волны от вспомогательного кругового источника.



Симуширское цунами 2006 г.

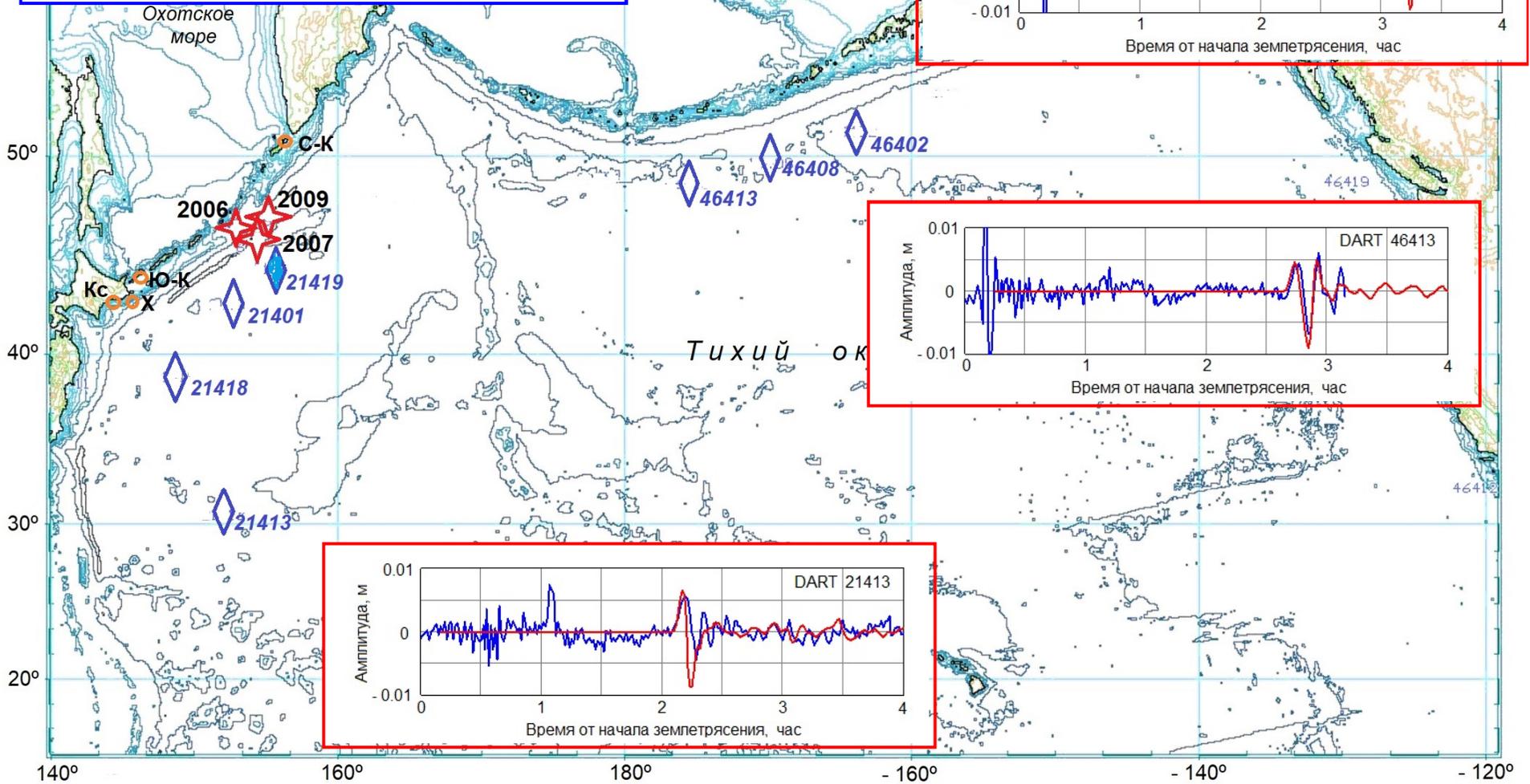
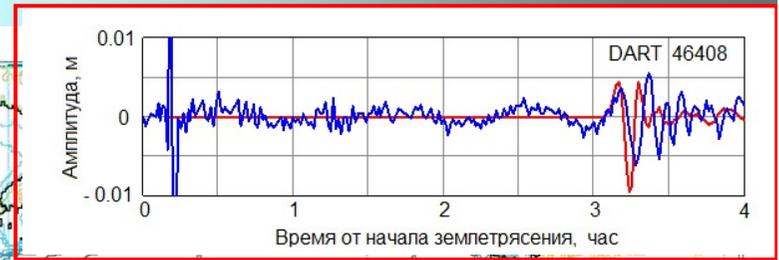
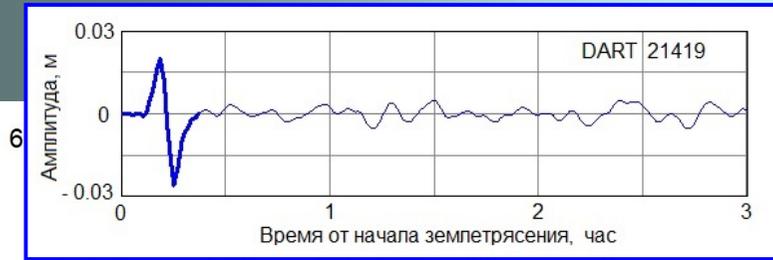


Симуширское цунами 2007 г.

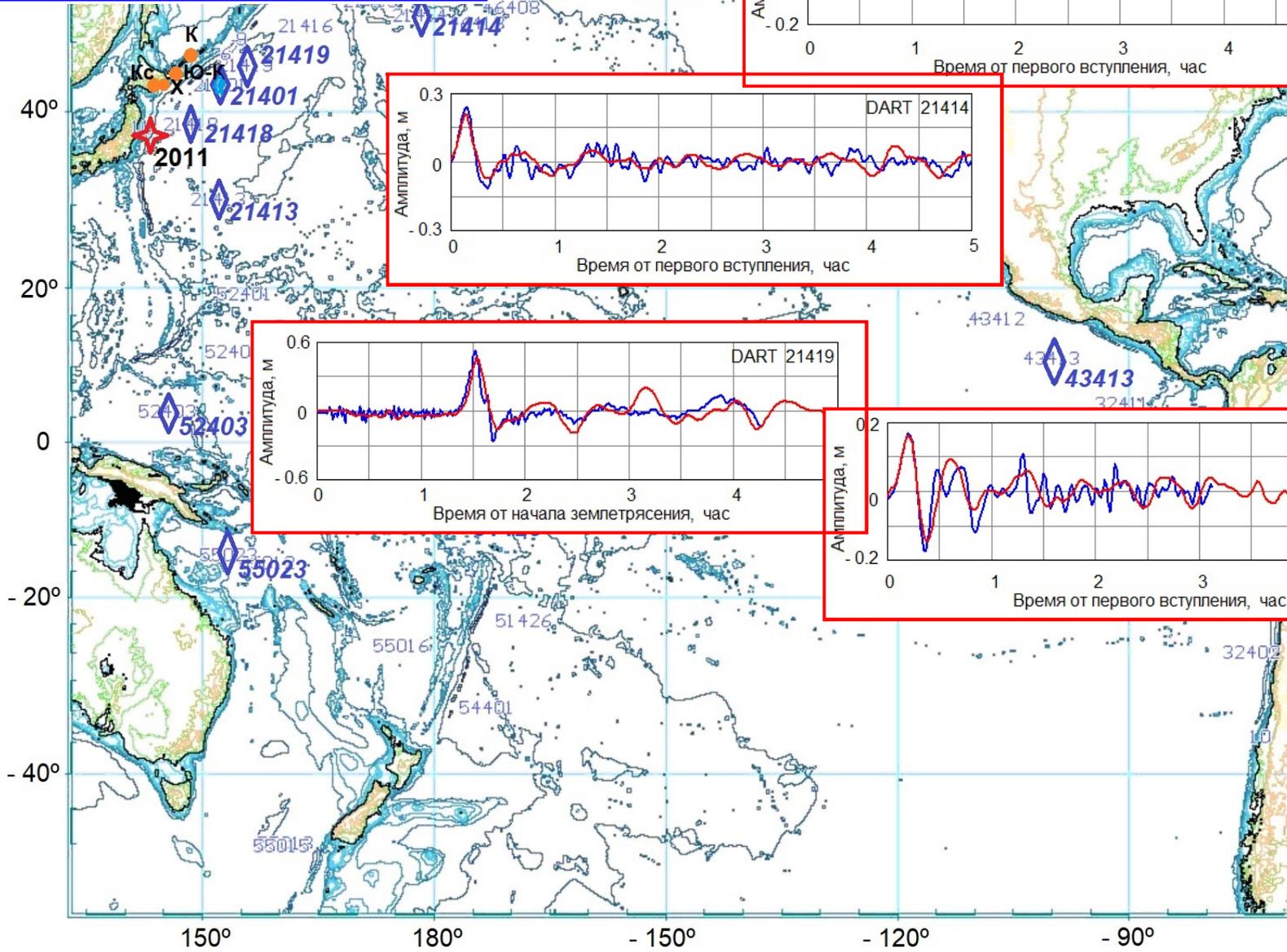


- 120°

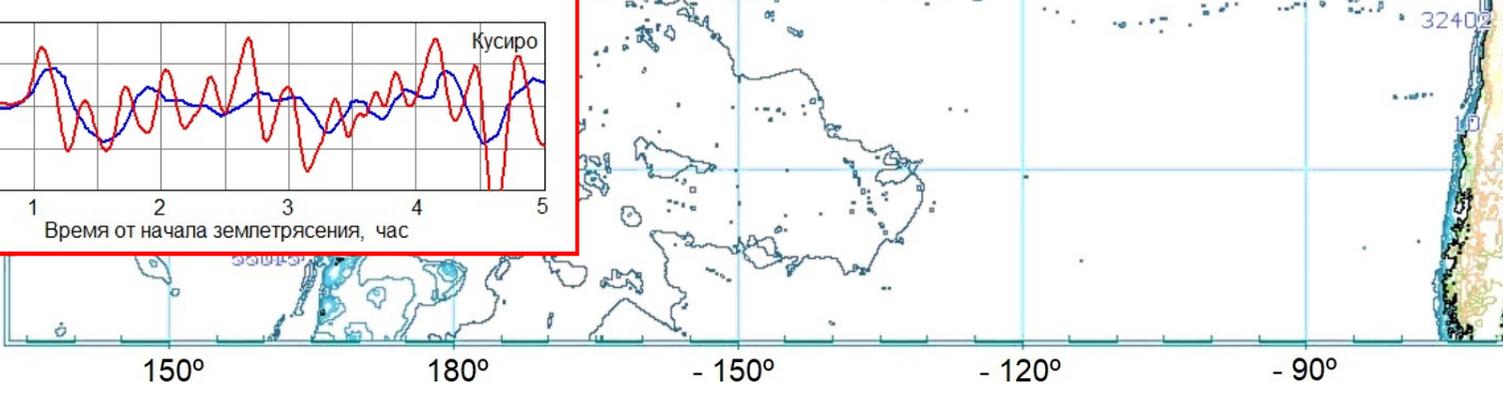
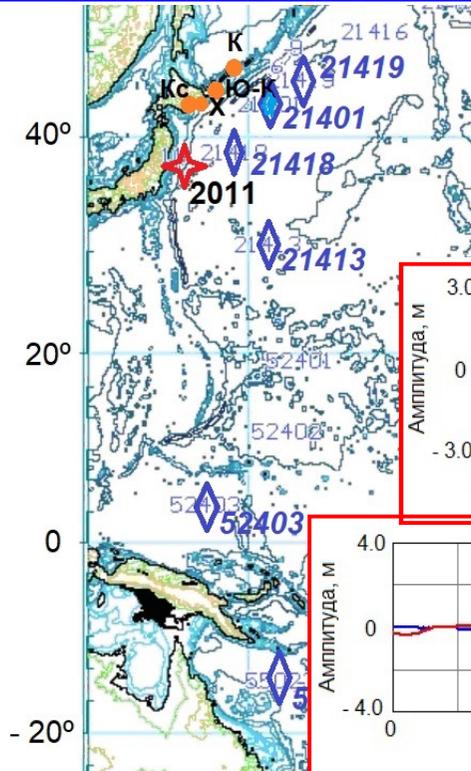
Симуширское цунами 2009 г.



Цунами Тохоку 2011 г.



Цунами Тохоку 2011 г.



150° 180° -150° -120° -90°

Перспективы

ВЫВОДЫ

Продемонстрированы возможности способа оперативного прогноза цунами по данным о цунами в открытом океане.

Несмотря на приближенный характер и использование для построения передаточной функции результатов расчета волнового поля от вспомогательного аксиально-симметричного источника, способ позволяет выполнять прогноз в заданных пунктах, независимо от взаимного расположения очага цунами, защищаемых пунктов и точки измерения уровня в открытом океане.

Способ позволяет в оперативном режиме с достаточной заблаговременностью получать информацию об ожидаемом цунами в заданном пункте, на основании которой принимается решение об объявлении тревоги только в том пункте, в котором цунами представляет реальную угрозу.

Литература

1. Королев Ю.П. Расчет цунами по измерениям уровня моря в удаленных точках при оперативном прогнозе // Океанология. 2004. Т. 44, № 3. С. 373–379.
2. Королев Ю. П. О гидрофизическом способе оперативного прогноза цунами// Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8, № 2. С. 32-47.
3. Korolev, Yu.P. An approximate method of short-term tsunami forecast and the hindcasting of some recent events // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2011. V. 11. P. 3081–3091. (Doi:10.5194/nhess-11-3081-2011).
4. 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.
5. 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: 27.11.2018).
6. NOAA Center for Tsunami Research. URL: NOAA Center for Tsunami Research. URL: <https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>.



Спасибо за внимание!