

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ УДАЛЕННЫХ ЦУНАМИ У ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ *

С.А.Бейзель^{1,2}, В.К.Гусьяков³, д.физ.-мат.наук, Л.Б. Чубаров^{1,2}, д.физ.-мат.наук

¹Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

NUMERICAL RESEARCH OF MANIFESTATION OF THE DISTANT TSUNAMIS AT THE FAR EAST COAST OF RUSSIA

S.A.Beisel^{1,2}, V.K.Gusyaikov³, D.Sc., L.B.Chubarov^{1,2}, D.Sc.

¹Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

³Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Содержание доклада основано на результатах численного моделирования цунами, порожденных удаленными относительно Дальневосточного побережья России сейсмическими источниками, примыкающими к Тихоокеанскому побережью Америки. Обсуждаются особенности распространения волновой энергии от ряда модельных сейсмических источников, часть которых может быть сопоставлена с известными историческими событиями. Анализ показал, что наиболее опасным для защищаемого побережья является источник, моделирующий Чилийское цунами 1960-го года, когда основная часть энергии направилась к Японии, Курилам и Камчатке.

The paper is based on results of numerical modeling of tsunamis, generated by the distant (relative to the Far East coast of Russia) seismic sources near the Pacific coast of America. Features of distribution of wave energy from the set of model seismic sources, the part of which can represent known historical events, are discussed. The analysis has shown, that the most dangerous to the protected coast is the source modeling the 1960 Chilean tsunami, when the main part of energy was directed to Japan, Kuriles and Kamchatka.

Как было показано авторами ранее [1], для Дальневосточного побережья России наиболее опасными удаленными цунамигенными зонами являются зоны, примыкающие к Тихоокеанскому побережью Америки.

Для Курило-Камчатского побережья особого рассмотрения требует оценка опасности цунами от южноамериканских землетрясений. Благодаря специфике взаимного расположения области источника и области воздействия (удаленность по направлению почти точно на 180°, в силу чего происходит заметная конвергенция фронта цунами при распространении на сфере) и малому затуханию с расстоянием, сильнейшие южноамериканские цунами оказывают разрушительное воздействие на побережье Японии, Курильских остров и Камчатки. Дополнительным фактором усиления является также наличие обрывистого побережья и крутого континентального склона у берегов Южной Америки, который служит весьма эффективным отражателем энергии цунами, сравнительно со всеми другими цунамигенными зонами Тихого океана.

Другим районом с потенциальной угрозой возникновения трансокеанских цунами следует считать западное побережье США вблизи штатов Вашингтон и Орегон. По сравнению с расположенным к югу от них штатом Калифорния, этот район обладает существенно более слабой фоновой сейсмичностью, однако геологическими работами

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 09-05-00294, 10-05-91052-НЦНИ, 09-07-00103, 08-07-00105), программы Интеграционных исследований СО РАН (проект 116) и президентской программы «Ведущие научные школы РФ» (грант № НШ-931.2008.9).

и изучением следов палеоцунами было доказано, что здесь также возможны сильные (с магнитудой до 9.0) землетрясения, период повторяемости которых варьируется в интервале 250 – 300 лет. Последнее по времени такое землетрясение произошло в районе залива Пуджет Саунд (штат Вашингтон) в конце января 1700 года. Письменных свидетельств о нем не осталось (поскольку землетрясение произошло еще до прибытия первых европейцев на эти земли). Само событие было идентифицировано исключительно по геологическим признакам, его точную дату удалось установить путем корреляции с японскими хрониками, сообщавшими о необычных волнах с высотами до 4 – 5 метров, наблюдавшихся в различных пунктах восточного побережья Японии, причем о каких-либо сейсмических событиях в то время не сообщалось.

При выполнении настоящего исследования авторами использованы начальные возмущения, рассчитанные с использованием модельных очагов землетрясений, произошедших у берегов Чили и США. Один из них («Chile-S») моделировал Чилийское землетрясение 22-го мая 1960-го года с магнитудой 9.5 и координатами гипоцентра 42.2 градуса ю.ш., 74.2 градуса з.д., второй («Chile-N») – географически размещен вблизи города Икике, где в 1877 году произошло землетрясение с магнитудой 9.0. Параметры очага «Chile-N» соответствовали первому, более сильному очагу «Chile-S», а координаты его гипоцентра были выбраны так, чтобы примерные верхняя и правая границы его положительной части возмущения (край разрыва) проходили вдоль побережья. Третий очаг («Cascadia») моделирует январское 1700 года землетрясение в районе залива Пуджет Саунд (штат Вашингтон) с магнитудой 9.1 и гипоцентром в точке 44.5 градуса с.ш., 124.6 градуса з.д.

В качестве расчетной области использовалась акватория Тихого океана в пределах от 127 градусов в.д. до 70 градусов з.д. («290 градусов в.д.» – с учетом перехода через 180 градусов) и от 50 градусов ю.ш. до 65 градусов с.ш.

Выполненные с помощью системы WinITDB расчеты изохрон показывают, что для источника «Chile-S» передний фронт цунами подходит к берегам Камчатки через 21 час после начала события, к Курильским островам – спустя еще 40 минут, а к берегам Сахалина – через 23 часа. При смещении очага к северу (очаг «Chile-N») соответствующие времена составляют 19:40, 20:20, 22:40. Волны, порожденные очагом «Cascadia», приходят к побережью России значительно быстрее – 7:20 (Камчатка), 8:00 (Курильские острова), 10:00 (Сахалин). Конечно, эти значения являются оценочными и необходимы для постановки задач уточняющего моделирования.

Предварительные расчеты динамики волн цунами были проведены на сетках с шагом 5 и 2 минуты до момента времени 150000 секунд (~42 часа). Согласно полученным результатам, для модельного очага «Chile-S» основная часть энергии распространяется на северо-запад: к Филиппинам, Японии, Курилам и Камчатке. Для очага «Chile-N», расположенного севернее, энергия больше рассеивается по всему Тихому океану. В случае очага «Cascadia» распространения значительной части волновой энергии в сторону Российского побережья не наблюдается.

Как показывают полученные на сетке с шагом 2 минуты предварительные распределения максимальных и минимальных высот волн в защищаемых пунктах, наибольшие волны (амплитуды до 3.5 – 4.5 метров) к дальневосточному побережью Российской Федерации приходят от источника «Chile-S», причем значительные амплитуды (порядка 1 метра и больше) наблюдаются на побережье Камчатки, Курильских островов и восточной части Сахалина, а у западной его части и вдоль побережья Приморского края амплитуды незначительны (не более 30 см). Для очага «Chile-N» амплитуды несколько меньше (до 3 метров), а для «Cascadia» не превышают 1 метра. Экстремальные значения амплитуд наблюдаются в пунктах Кроноки, Семячки, Северо-Курильск, Буревестник, Южно-Курильск.

Предварительные расчеты по двухминутной сетке показали заметное разделение совокупности защищаемых пунктов по степени проявления волн цунами. Анализ результатов позволил выделить две группы пунктов, в которых проявление волн цунами при наиболее опасном цунами («Chile-S») оказывается существенным – от 0.5 м до 4 м и более. Так, в первую группу входят пункты, расположенные на побережье п-ва Камчатка, на Курильских островах и на о-ве Беринга. Исключение составляют три пункта, расположенные на побережье Карагинского залива: Ильпырское, Кострома и Карага, а также пункт Курильск, расположенный на северо-западном побережье о-ва Итуруп.

Вторая группа защищаемых пунктов с существенными проявлениями волн включает защищаемые пункты, расположенные у побережья о-ва Сахалин. И в этой группе имеют место исключения, они касаются аномально низких амплитуд в пунктах Макаров и Стародубское, расположенных на восточном побережье. В эту же группу входит пункт Ильинский с аномально высоким для западного побережья острова значением высоты волн.

В ходе уточняющих расчетов с использованием технологии «заморозка» [2] принимались во внимание результаты изложенного выше анализа распределений экстремальных волновых характеристик. Расчетная подобласть на одноминутной сетке включает фрагмент акватории Тихого океана, простирающийся с Юга на Север от 18 до 63 градусов Северной широты и с Запада на Восток от 135 до «190» градусов Восточной долготы.

Картины свечений, характерные для различных источников, демонстрируют особенности распространения волновой энергии. В том числе, формирование сгустков волновой энергии в акватории Охотского моря, пробившихся сквозь островную Курильскую гряду к побережью в случае источника «Chile-S». Сравнивая полученные распределения экстремальных высот волн с результатами предварительного расчета, можно сделать вывод о незначительном влиянии двукратного увеличения разрешающей способности сетки. Сохраняется также и характер изменения исследуемых значений от пункта к пункту.

С целью обоснования выбора модельных источников, использованных в ходе расчетов, как наиболее цунамиопасных для защищаемого побережья, был построен набор дополнительных модельных источников, расположенных вдоль западного побережья Южной и Северной Америки. Их параметры близки соответствующим параметрам трех базовых модельных источников, которые, в свою очередь, были выбраны на основе анализа сейсмической обстановки. Так, в северном полушарии были рассмотрены три модельных источника с параметрами, соответствующими источнику «Cascadia», первый из которых примыкал к источнику «Cascadia» с севера, второй – с юга, а третий располагался вблизи тихоокеанского побережья Мексики. Четвертый источник с параметрами, соответствующими источнику «Chile», располагался между рассмотренными ранее источниками «Chile-S» и «Chile-N». Последние два источника по своей длине вдвое короче источника «Chile» и располагались внутри источника «Chile-S» в северной и южной его половинах.

С целью сравнительного анализа с полученными ранее результатами расчетов для трех исходных источников («Cascadia», «Chile-S», «Chile-N»), расчеты для новых шести источников были проведены на двухминутной сетке до момента времени 150000 секунд (~42 часа) во всей расчетной области для всех защищаемых пунктов. Полученные при этом картины свечения убедительно показывают, что для группы источников типа «Cascadia» только базовый источник приводит к распространению волновой энергии по направлению к Дальневосточному побережью России. Смещение очага подводного землетрясения к северу, к югу и в район мексиканского побережья

приводит к существенному изменению этого направления к югу. Так, для северного варианта основной удар волны цунами принимают на себя острова Гавайского архипелага. Волна, порожденная южным вариантом источника, задевает эти острова своей северной периферийной частью, а мексиканский вариант генерирует волну, основная энергия которой уходит значительно южнее, частично затрагивая побережье Новой Зеландии.

Картины свечения от чилийских источников также подтверждают обоснованность выбора в качестве основного, наиболее опасного для защищаемых пунктов побережья России, источника «Chile-S». Порожденная им волна обладает ярко выраженной направленностью распространения энергии, сосредоточенной в относительно узкой полосе, упирающейся в побережье Камчатки и Курильских островов (Рис. 1). Как показывают распределения экстремальных высот, волнам от этого источника удается проникнуть сквозь проливы в акваторию Охотского моря и заметно проявиться у берегов о-ва Сахалин. Наименее опасным, как и ожидалось, является промежуточное положение очага этого типа. Несколько большие амплитуды волн порождаются источником, расположенным севернее.

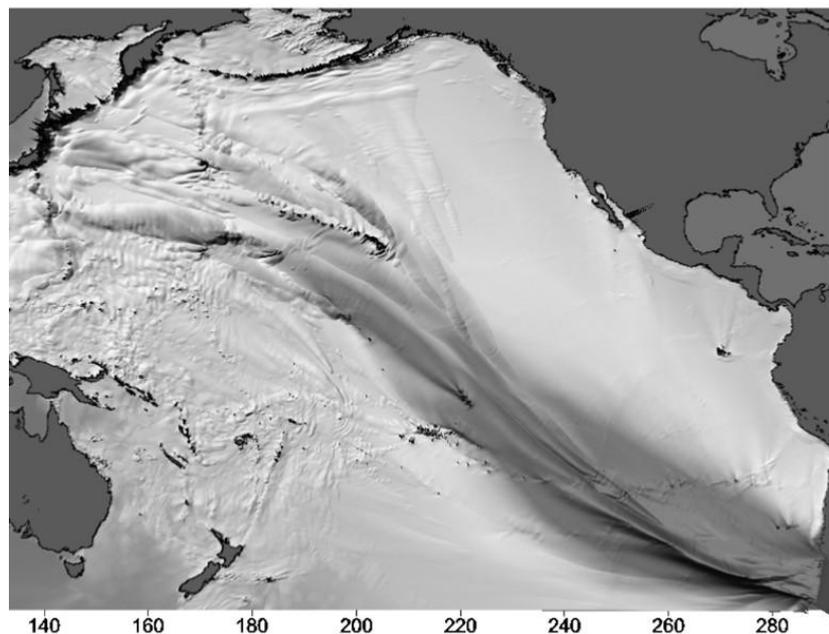


Рис. 1. Картина свечения цунами от модельного очага цунамигенного землетрясения «Chile-S».

Характеристики распределения максимальных и минимальных высот волн от модельных источников, параметры которых связаны с историческим цунамигенным землетрясением вблизи г. Икике, показывают, что их значения уступают «чилийским». Смещение источника к югу приводит к изменению трассы распространения волновой энергии, которая в отличие от незначительно сдвинутого к северу варианта обходит Гавайские о-ва с юга, при этом несколько возрастает ширина зоны основного потока энергии.

Литература

1. Babajlov V., Beisel S., Chubarov L., Eletsy S., Fedotova Z., Gusiakov V., Shokin Yu. Some aspects of the detailed numerical modeling of tsunamis along the Far East coast of the Russian Federation. Programm and Abstracts. 24th International Tsunami Symposium. July, 14-16, 2009. Novosibirsk, Russia. P.52.
2. С.А.Бейзел, С.В.Елецкий, З.И.Федотова, Л.Б.Чубаров Вычислительные особенности моделирования волн цунами в реальных акваториях. В кн.: Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Наука, 2008. 750 стр., С. 432-436.