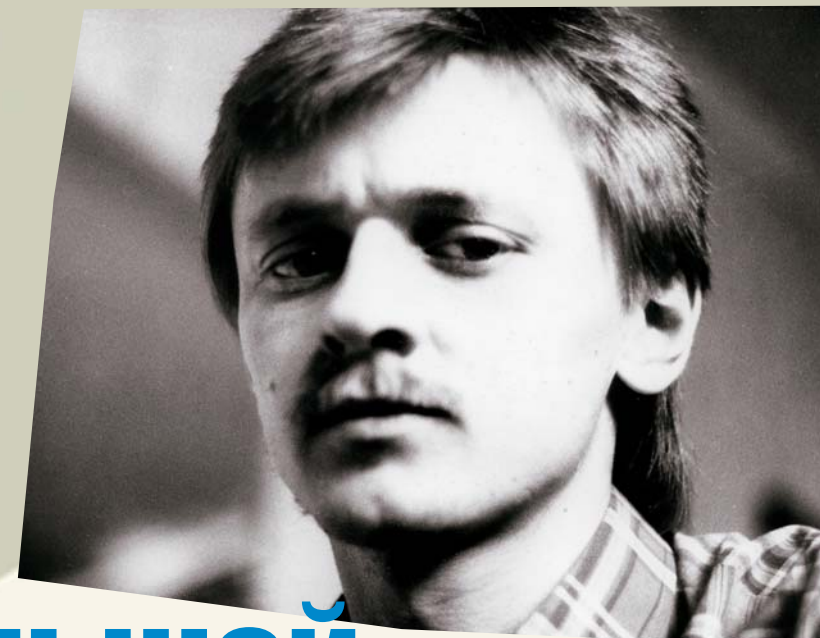
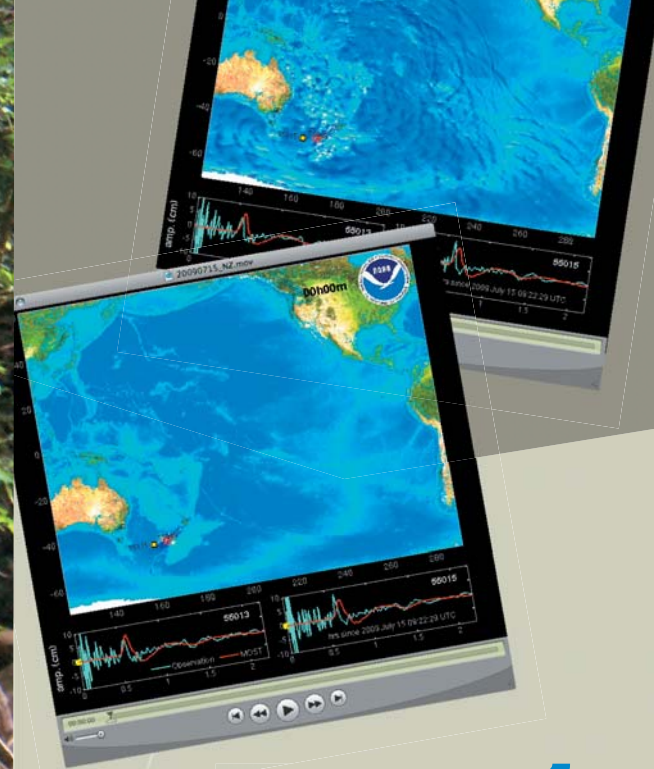




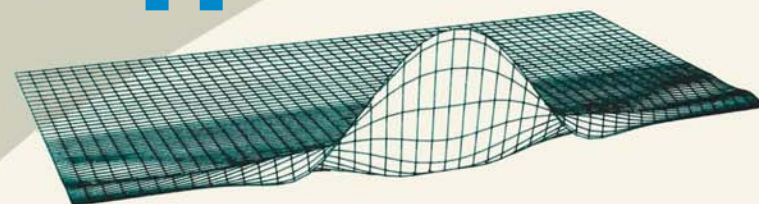
За полчаса

«Русские специалисты по моделированию цунами воспользовались неожиданной возможностью после новозеландского землетрясения. Мощное землетрясение силой 7,8 балла, потрясшее юго-западное побережье Новой Зеландии, дало ученым уникальную возможность продемонстрировать свое умение прогнозировать цунами в реальном времени. В момент, когда началось землетрясение, в 21:22 местного времени, 90 ведущих специалистов по цунами завершали заседание секции в Новосибирске (Россия), расположенном практически на противоположной от Новой Зеландии стороне земного шара (6 часовых поясов, 8500 километров). Председатель секции Василий Титов, ведущий ученый Центра по исследованию цунами при Национальной океанической и атмосферной администрации (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) в Сиэтле (Вашингтон), быстро осознал опасность и научную возможность. Менее чем через полчаса после начала землетрясения он продемонстрировал изумленной

аудитории точный модельный прогноз цунами, которое возникнет в результате этого землетрясения. «Поразительно, это был самый захватывающий прогноз цунами в реальном времени, который я когда-либо видел», – говорит Костас Синолакис, директор Центра по исследованию цунами Университета Южной Калифорнии в Лос-Анджелесе. Титов, руководитель разработки NOAA веб-версии системы прогнозирования цунами, ввел данные о местоположении и силе землетрясения в модель регионального воздействия цунами. Учитывая измерения, отправленные с глубоководных датчиков, расположенных на дне океана около Новой Зеландии, он предсказал, что цунами не представляет опасности для берегов Новой Зеландии и Австралии – еще до того, как первая волна достигла каких-либо крупных береговых объектов. Он оказался прав. Измерительные приборы на побережье Новой Зеландии сообщили, что амплитуда цунами была меньше полуметра, и обошлось без наводнения. Волны заметно отличались от обычных,



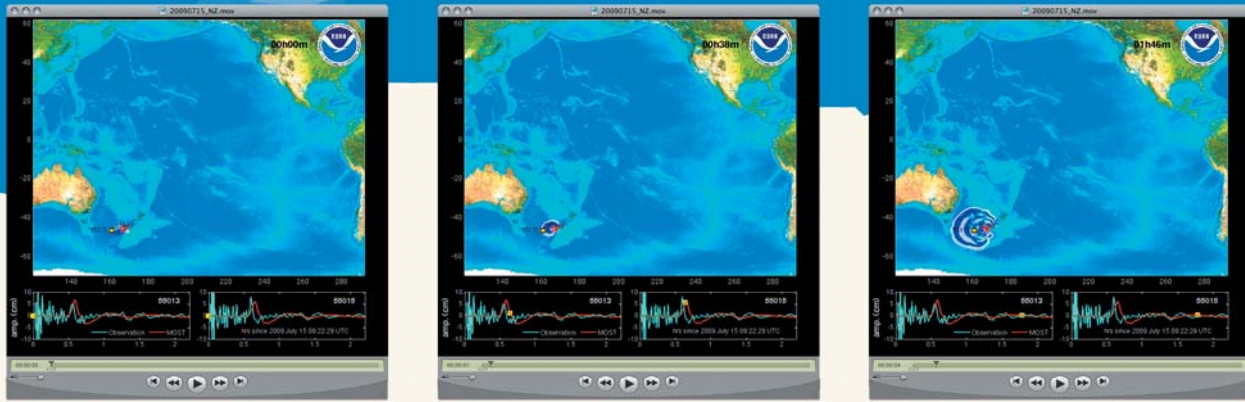
ДО «БОЛЬШОЙ» ВОЛНЫ



но все же были недостаточно большими, чтобы причинить ущерб. Сообщение о цунами было сделано Тихоокеанским центром по предупреждению цунами на Гавайях спустя 2,5 часа после начала землетрясения. «Живое» вычисление последствий цунами, выполненное Титовым, было в центре внимания конференции. На заседании секции этим утром он предоставил более детальный анализ вчерашнего события. «Это показывает, что мы на правильном пути, что наша методика действительно работает», – говорит Синолакис. Синолакис надеется, что такие точные прогнозы могут способствовать росту доверия людей к предупреждениям о цунами. Тихоокеанская система действует примерно 50 лет, и подобная же система создается для Индийского океана после цунами 26 декабря 2004 года, когда наводнение затопило прибрежные территории и погибли более 220 000 человек». (Quirin Schiermeier, Nature News, published online 16 July 2009, nature.com)

ТИТОВ Василий Владимирович – выпускник НГУ 1984 г. После окончания университета работал в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск) над проблемой моделирования цунами. В 1997 г. окончил аспирантуру в Университете Южной Калифорнии (Лос-Анджелес). Работал в Национальной лаборатории NOAA по изучению Тихого океана. С 2005 г. возглавляет Центр по исследованию цунами при Национальной океанической и атмосферной администрации в Сиэтле (США) и работы по разработке оперативного прогноза цунами для национальной и международной систем предупреждения

Подробнее об огромной научно-исследовательской и организационной работе, предшествовавшей этому событию, нам рассказал сам «режиссер» прогноза Василий Титов, директор и ведущий ученый американского Центра по исследованию цунами при Национальной океанической и атмосферной администрации (NOAA) и выпускник математического факультета Новосибирского государственного университета



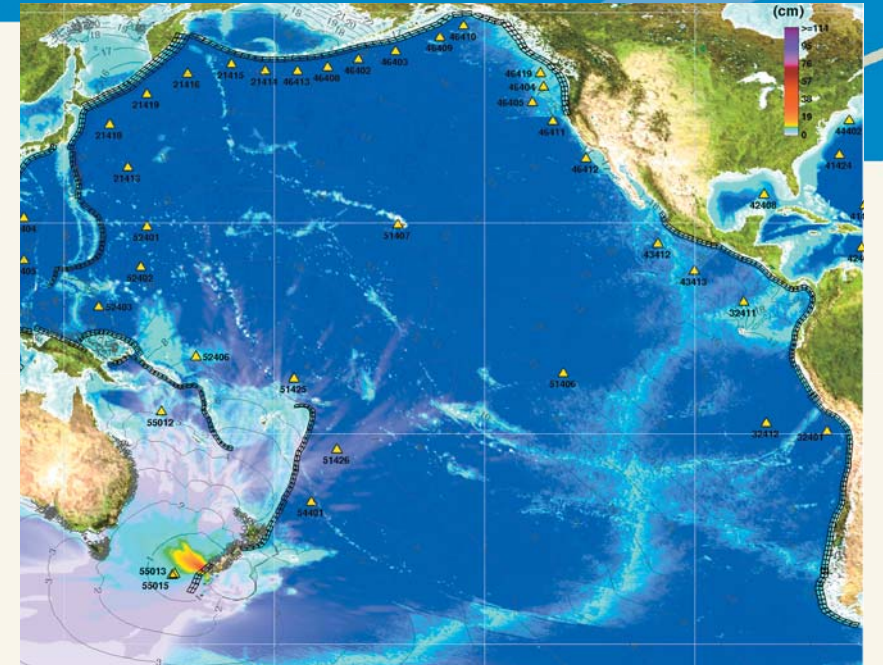
Расчетные амплитуды цунами в определенные моменты времени (время после землетрясения показано в правом верхнем углу экрана). На графике – измеренные (голубая линия) и расчетные (красная линия) амплитуды в точке расположения DART (глубоководной установки по предупреждению цунами), желтый маркер на графике обозначает текущее значение амплитуды в данной точке

Научная сессия, на которой я был председателем, уже подходила к концу, когда кто-то сообщил о только что произошедшем землетрясении в довольно пустынном районе Новой Зеландии. Я кинулся к своему компьютеру – у нашей организации есть интернетовский интерфейс, предназначенный пока для собственного пользования. И на глазах у изумленной публики мы сделали прогноз развития цунами – в реальном времени. Вывели показатели наших систем на экран: красной линией была показана предсказанная волна, которую, по нашим расчетам, через полчаса должен был зарегистрировать один из наших австралийских датчиков. И вот ровно через полчаса черная линия, которая обозначала реальные данные, точно «прошла» по нашей красной прогностической. Таким образом, наш прогноз полностью подтвердился.

Это событие было не просто удивительным – оно было невероятным. Хотя, конечно, у цунамистов есть шутка, что, если собирается достаточно большая и представительная группа цунамистов, происходит цунами. Типичная картина: посреди конференции раздается звон бишперов (тревога по цунами), и руководители центров начинают бегать, звонить по телефону... Во время такой же конференции в Японии в 1998 г. произошло серьезное цунами в Новой Гвинее. Я, один из немногих цунамистов, не присутствовавших на этой конференции, находился дома в Соединенных Штатах, куда и смогли дозвониться журналисты.



Результаты тестового прогноза распространения цунами, возникшего в результате мощного землетрясения 15 июля 2009 г. на юго-западном побережье Новой Зеландии, были получены с помощью системы оперативного прогноза, использующей модель цунами MOST. Треугольники обозначают расположение буев DART. Максимальные рассчитанные амплитуды волны цунами во время распространения в глубоком океане показаны цветными заполненными контурами, которые иллюстрируют направленность энергии цунами при распространении от очага. Максимальные амплитуды показаны на фоне карты подводного рельефа (голубые полтона), который во многом определяет направленность энергии цунами. Черные изолинии показывают время распространения фронта цунами

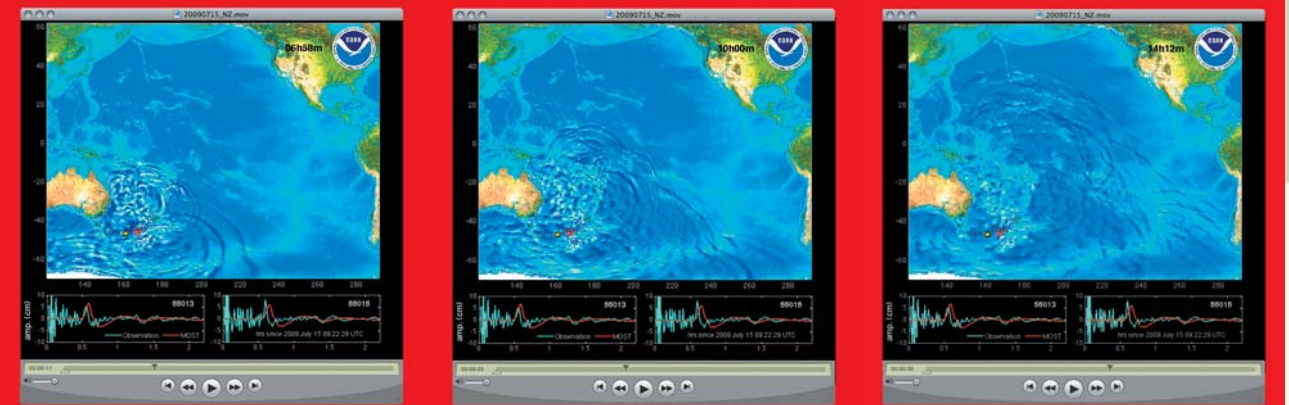


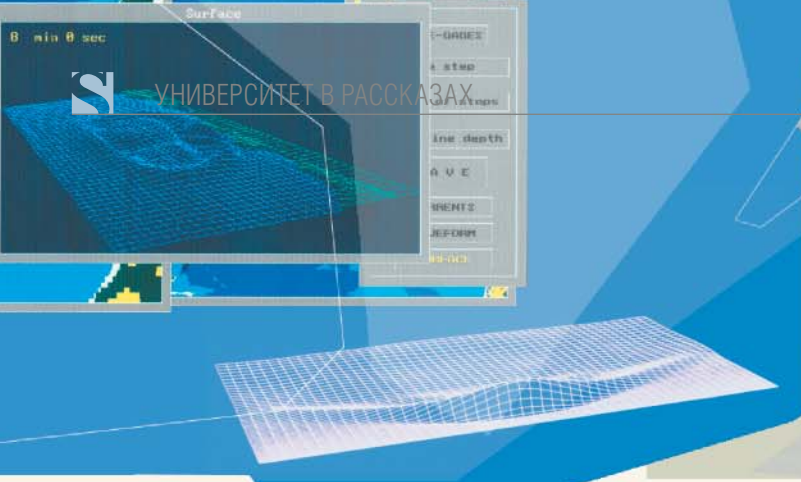
Ставить недостижимые цели

Когда я двадцать лет назад впервые продемонстрировал свою модель по прогнозированию цунами, оказавшуюся впоследствии уникальной по ряду параметров, я только-только начал работать после окончания матфака НГУ. Практически это было мое первое знакомство с международным научным сообществом.

Инициатором создания подобной модели, в которой были бы использованы все имеющиеся на то время математические наработки, был своего рода научный триумвират специалистов по математическому моделированию геофизических явлений из Института

Удивительно, что возможность показать эффективность нашей модели по прогнозированию цунами нам представилась через двадцать лет после ее первой презентации на такой же конференции по цунами, состоявшейся в 1989 г. здесь же, в Новосибирске. Как будто специально для демонстрации нашего прогресса за эти два десятилетия кто-то сверху нарочно организовал все так, чтобы показать результаты нашей работы за последние 20 лет. И цунами оказалось «идеальным», настоящим «исследовательским» – без разрушений, без жертв...





Тестовые расчеты распространения цунами на модельном рельефе дна. Сделаны во время ранней стадии разработки модели MOST. Новосибирск, 1989 г.

вычислительной математики и математической геофизики СО РАН – А.С. Алексеев, А.Н. Коновалов, В.К. Гусяков. Меня взяли стажером, чтобы я эту модель разработал. Получилось все достаточно случайно: ведь, живя в Новосибирске, вряд ли будешь с детства мечтать об изучении цунами. Но в результате все вышло замечательно. Работал я непосредственно с Гусяковым, а у Коновалова была группа «вычислителей» очень высокого класса, которые мне помогали при разработке модели и вычислительных методов.

Благодаря имевшемуся в нашем распоряжении математическому аппарату удалось выстроить практически всю цепочку, начиная от вывода уравнений и заканчивая их применением на практике – для прогноза и предупреждения. Получить подобный результат в математике – редкая удача. Даже в вычислительной математике такое редко случается, потому что темы там всегда крупные, например сейсмология. Но вот задача прогнозирования цунами оказалась вполне обозримой. И сегодня мы уже столько знаем о природе цунами, что можем действительно использовать нашу модель для спасения людей.

Самое интересное, что 20 лет назад идея о прогнозировании цунами с помощью математического аппарата даже нам казалась фантастической, а реализация ее – совершенно недостижимой. И просто удивительно, что поставленные задачи удалось, по крайней мере наполовину, выполнить. Сейчас уже во многих странах разработаны и осуществляются программы по цунами-районированию, причем с использованием хороших моделей.

Данные со дна морского

Что мы сегодня действительно можем? Сделать краткосрочное предсказание о развитии цунами, когда цунами уже зародилось в реальности. Если мы знаем, где произошло землетрясение, знаем его предварительные параметры (главное, магнитуду), то можем



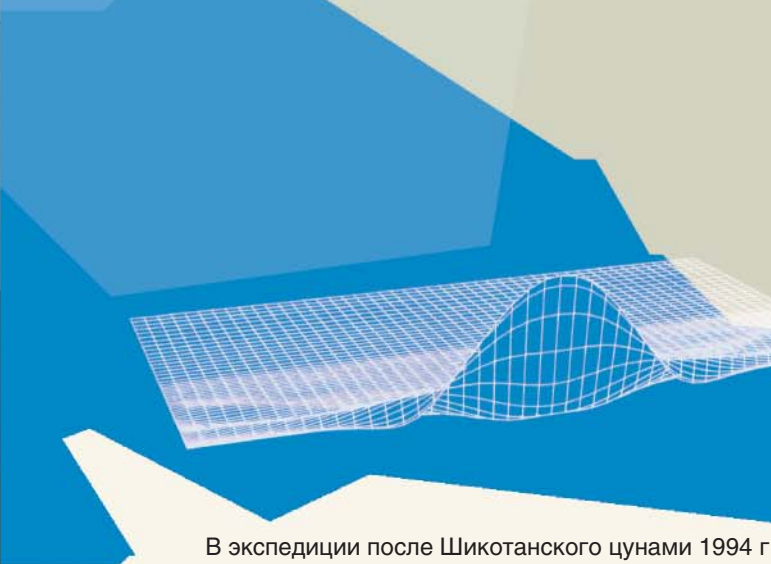
А. Марчук, В. Титов, В. Гусяков во время Международного симпозиума по цунами. Новосибирск, 1989 г.

практически сразу выдать предварительный прогноз только что образовавшемуся цунами; когда это цунами регистрируется на одном из глубоководных датчиков, наш прогноз уточняется до такой степени, что мы можем предсказать амплитуду (и другие параметры волны) для конкретного участка побережья с точностью до сантиметров.

Этого удалось добиться благодаря усилиям всего международного сообщества цунамистов, кстати сказать, довольно небольшого и сплоченного. Ведь для того, чтобы оценить прогностические свойства той или иной модели, нужно очень многое сделать. В том числе провести массу экспериментов в лаборатории – ведь в контролируемых условиях можно сделать волну, у которой точно известны «вход» и «выход».

В качестве такой лабораторной установки в США мы используем огромный бассейн 30 м длиной, оборудованный мощнейшей гидравлической установкой – очень сложным генератором волн. Таких больших модельных установок в мире немного: они есть, помимо США, в Японии и Европе, а вот в России нет. Для исследований по цунами особенно важно иметь установки именно больших масштабов, потому что само это природное явление грандиозно.

Алгоритм исследований таков: сначала разрабатывается математическая модель, потом проводится лабораторный эксперимент и сравнивается с данными модели; и только затем собираются и анализируются данные по реальному цунами. Для получения подобной информации используется уникальное оборудование, состоящее из размещенного на больших (до 5 км) глубинах донного датчика, очень сложной акустической системы передачи данных и буя-ретранслятора, посылающего данные в реальном времени на спутник. Вся система представляет собой такое же чудо инженерной мысли, как и космический аппарат, ведь датчикам надо «выживать», работать и передавать информацию в морской среде, гораздо более агрессивной по отношению



В экспедиции после Шикотанского цунами 1994 г., о. Шикотан. Фото В. Гусякова



к металлам, чем космическое пространство, и к тому же непроходимой для электромагнитных волн.

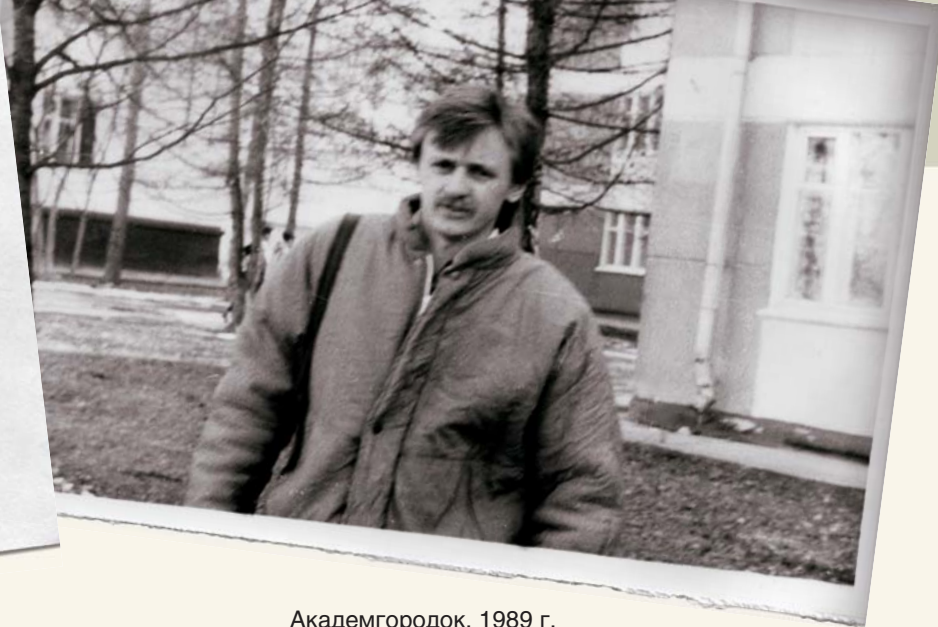
Сегодня такие устройства контролируют достаточно большие акватории. Большая часть датчиков (около сорока), принадлежащая американской системе оповещения о цунами, охватывает большинство потенциально опасных районов в Тихом и Атлантическом океанах. Кроме того, такие датчики либо приобрели, либо сами разработали и некоторые другие страны.

Несколько датчиков уже «стерегут» Индийский океан, подобные устройства планируются даже в Средиземном море. В Японии используются свои разработки, при этом датчики соединены с берегом кабелем. Это намного более дорогостоящий вариант, но зато он дает безлимитное энергетическое обеспечение и большой объем данных.

В. Титов (в центре) с персоналом индонезийского отряда спасателей во время поездки для сбора данных после цунами на о. Ява 28 марта 2005 г.



НАУКА из первых рук <https://scfh.ru/papers/za-polchasa-do-bolshoy-volny/>



Академгородок, 1989 г.

Цель – спасти всех

Что это значит – иметь хороший краткосрочный прогноз цунами? Зародившаяся волна доходит до ближайшего побережья за 15–30 минут. Минуты – это очень мало, но чем больше этих минут будет в распоряжении человека, тем больше жизней удастся спасти.

Собственно, сам прогноз развития цунами сегодня можно сделать очень быстро, практически через минуту. Основное время уходит на получение предварительных данных о землетрясении, его эпицентре – как минимум пять минут. Таким образом, через шесть минут после землетрясения мы уже получаем предварительный прогноз по цунами. Конечно, потом он постоянно уточняется, с приходом все новых и новых данных измерений непосредственно о цунами. Датчики американской системы предупреждения засекают цунами примерно через 15 минут после его возникновения, для систем других стран это время пока по разным причинам больше. В территориальные воды России вообще нельзя поставить датчик, потому что нет соответствующего соглашения.

Большая проблема заключается в том, что цунами довольно редкое явление. Потому что оно, как говорят, low probability, high impact, то есть вероятность события мала, но последствия могут быть очень значительными. Поскольку происходит цунами редко, то очень непросто поддерживать научную активность, обеспечивать необходимый бюджет и поддерживать систему предупреждения на должном уровне.

Поэтому мы практически «гоняемся» по всему миру за каждым цунами, даже маленьким. Сейчас с нашей системой датчиков мы можем фиксировать цунами, которые раньше просто прошли бы незамеченными. Но, тем не менее, в среднем два раза в год происходят и сильные цунами с разрушительными последствиями.

Сейчас мы поставили перед собой новую задачу – долгосрочного прогноза цунами, т. е. прогноза для конкретного побережья, но без конкретного очага. Указать границу разрушительного воздействия самого

большого цунами, которое может произойти в данном районе. Пока мы только можем предупредить людей о приближении цунами и рекомендовать поведение на ближайшие минуты в зависимости от ожидаемой силы волны: либо убежать, либо просто не заходить в воду. А задача, которую необходимо решить, заключается в создании глобальной системы предупреждения цунами в реальном времени. Решить такую задачу трудно, но возможно.

Будущая система предупреждения будет основана, очевидно, на использовании сотовой связи. Результаты моделирования на суперкомпьютерах должны передаваться на мобильный телефон конкретному человеку на конкретном побережье, причем в таком виде, чтобы любой человек понял, что он должен сейчас делать, чтобы спасти свою жизнь. В любой момент все люди, которые находятся в опасных районах, должны получать такую информацию. Цель наша проста: спасти всех людей. Никто не должен погибать от цунами. Цель, конечно, идеальная и полностью вряд ли достижимая в ближайшее время, но я считаю, что цель нашей программы должна быть именно такой.

Родом из Сибири

Каковы наши основные проблемы на сегодня? Конечно, нужны новые модели. Модели, которые используются для нашей системы предупреждения, созданы давно. Они очень быстро считаются, потому что хорошо оптимизированы, но при этом в них заложено очень много предположений.

Существуют модели более точные, но в реальном времени просчитывать их пока не удастся. Проблема в том, что можно сейчас приложить огромные усилия, чтобы оптимизировать эти модели для быстрого расчета больших областей. А можно четыре года подождать – и компьютер сам, и в восемь раз быстрее, посчитает.

Двадцать лет назад уверенно можно было сказать, что выдающаяся математическая школа Новосибирска, очень далекого от морей и океанов, помогла разработать эффективные решения задачи моделирования цунами. Марчук, Алексеев, Коновалов создали очень авторитетную группу по геофизическому моделированию в ВЦ СО АН. Мне крупно повезло, что я попал именно в сибирскую математическую школу. С. К. Годунов, классик теории вычислительных методов, читал у нас лекции, и свою численную модель я создавал по записям его лекций.

Высочайший уровень преподавателей определял уровень образования, который получали математики в НГУ. Курсы, которые нам читали, были поистине уникальны. Поскольку я закончил еще аспирантуру в Университете Южной Калифорнии в Лос-Анджелесе, то могу сравнивать. То, что нам давали на матфаке, было заоблачными высотами по сравнению с тем, что я изучал в аспирантуре. Совершенно определенно могу сказать, что такой математический фундамент, какой мы получили за пять лет в НГУ, невозможно было бы получить в Америке. И хотя не все из той горы знаний, что в нас вложили, используется в каждодневной прак-

тике, этот огромный математический кругозор серьезно помогает в оценке перспективных направлений, поиске потенциально новых решений и применении нестандартных методов из других областей.

И сегодня российские исследователи, и в первую очередь новосибирские, вносят заметный вклад в исследования и прогнозирование цунами – недаром очередная конференция цунамистов состоялась именно в новосибирском Академгородке.

Так случилось, что сам я, скорее, американский ученый и работаю на Американское национальное агентство. Но корни мои как ученого, безусловно, здесь, на сибирской земле, где остались мои друзья, коллеги, учителя, мой матфак; здесь я когда-то поставил перед собой недостижимую цель – поймать «большую волну», пока она не нанесла непоправимого ущерба. И пусть сегодня в моей работе математики, к сожалению, становится все меньше и меньше, а организационной деятельности – все больше и больше... Но есть моя личная цель – успеть внедрить глобальную систему предупреждения до прихода следующего большого цунами.



Во время экспедиции по сбору данных на о. Суматра (Индонезия) после цунами в Индийском океане 26 декабря 2004 г.