

Глава 1

Краткая история инструментальных автономных измерений цунами открытого океана

ВЕРСИЯ 3

В ПЕЧАТЬ НА САЙТ НПО ДЭКО

Краткая история инструментальных автономных измерений цунами в открытом океане не рассматривается здесь как некое бесконечное соревнование держав в отдельно взятых направлениях морского инструментария. Автор базирует свои представления о прогрессе науки и технологий как лишенных строгой привязки к какому либо флагу. Однако, это не отменяет очевидные успехи или проблемы отдельных стран в обсуждаемой тематике по цунами по разным причинам. Кроме того, ниже будет показано, как много противоречивого, консервативного, и, в то же время, случайного и личного в успехах технологии по мониторингу цунами открытого океана.

Из чего и почему, собственно, возник стандарт наблюдений цунами открытого океана DART – отчасти предлагаемая глава и отвечает на поставленные вопросы.

На настоящий момент, странами мира используются базисные подходы к наблюдениям цунами - от автономных систем DART (Австралия, Индия, Колумбия, Таиланд, Тайвань, Чили, Эквадор, страны Карибского бассейна, США), до прибрежных станций в сочетании с DART (Россия) или специализированные кабельные разветвленные сети датчиков на шельфе и свалах глубин, с переключением на DART в исключительных случаях (Япония). Как видим, так или иначе, технология DART задействована практически везде - там, где есть угроза цунами для прибрежного населения, городов и береговых сооружений.

Возможно что, в конце концов, успешная история исследований цунами, увенчанная созданием DART и он-лайн моделированием заплесков цунами, моментальным доведением результатов до населения и органов власти для принятия решений представляет особый интерес в настоящее время для организации исследований и техники в других и близких областях геофизики.

Похоже, что к 70-ым годам прошлого века проблема исследования колебаний открытого океана для задач цунами представляла собой научный вызов, сравнимый, например, с ведущимися пионерскими разработками и НИОКРами по исследованию предвестников землетрясений с целью их предсказания в настоящее время – когда требуется и теория явления, и технология его наблюдений, и реагирование на реальную угрозу, отбросив мнимые.

И эта проблема, как показано в предлагаемой главе, успешно решена с технологической точки зрения.

В целом, история инструментальных наблюдений за цунами оценивается исследователями как период от 150 лет (Mofjeld, 2009 in Bernard, Robinson 2009) до 200 лет (Rabinovich, 2016). Неотъемлемая от нее развитие автономных измерений уровня открытого моря по исследованию цунами в северной части Тихого океана более коротко и охватывает период порядка 50 последних лет. Автор базирует такой отрезок по времени, начиная с успешных испытаний кварцевых резонаторов для измерений больших нагрузок (Paros, 1973) в начале компьютерной эпохи в океанографии и первых публикаций наблюдений цунами открытого океана аналоговой аппаратурой. Кварцевые цифровые датчики постепенно вытеснили аналоговую технику исследований, включая и измерения гидростатического давления открытого океана. Но они появились и завоевали свое место не сразу.

Для общего представления об истории глубоководных измерений открытого океана для задач цунами автор рекомендует концентрированную сводку (Rabinovich, Eble 2015), и вышедшую ранее 7 главу Harold J. Mofjeld монографии Tsunamis, The Sea, Volume 15 под редакцией Bernard, Robinson (Bernard, Robinson 2009).

Измерения открытой воды, например, начинались с середины 60-ых гг. прошлого века. Так, авторы первого указанного источника отмечают успешную 4-месячную работу кабельного датчика гидростатического давления обсерватории OBS-II открытого океана еще в 1965 году, выполненной в 180 км от побережья Калифорнии (Novroozli et al., 1966).

Но, регистрация и выявление волн цунами не входило в приоритетные задачи обсерватории. К тому же, период 1965-1972 гг. являлся относительно не цунамиопасным. Однако, в это период, под руководством Гейлорда Миллера испытан ряд датчиков гидростатического давления для задач глубокого океана (Vitousek 1965; Vitousek и Miller 1970). В СахКНИИ ДВНЦ АН СССР опубликована работа Жака, Соловьева (1971) касательно вибротронного датчика гидростатического давления. Указанные группы или отдельные исследователи, конечно, были не одни.

При разработке и опытных работах систем для наблюдений цунами в режиме реального времени в 70-80-ые годы прошлого века два гигантских препятствия являлись настоящими технологическими тупиками – в частности, автономные системы не рассматривались как перспективные, поскольку отсутствовал сегмент связи с берегом для моментальной передачи сигнала на берег. Вторым ограничением виделся температурный шум кварцевых датчиков давления (Iwasaki et al., 1997). К указанным двум главным ограничениям присоединялись вопросы о способах хранения собранных данных и энергопотреблении, ожидая своего технического решения. Возможно, поэтому такой акцент в первоначальных и последующих работах по измерениям цунами в открытых водах ложится на датчики с кабельным выходом на берег. Устоялось представление о преимуществе кабельных систем перед автономными, например, в Японии. Казалось бы, кабельная система намного дороже автономной буйковой и даже группы станций. Но считается надежнее, по ней можно не просто передать информацию с прибора, но также и направить на него команды, т. е. управлять датчиком или измерительной системой с берега. Далее, в следующих главах книги, мы обсудим проблему передачи сигнала о цунами в дальней и ближних зонах разными системами.

Кроме технических работ по датчикам цунами, точнее по измерителям гидростатического давления открытого океана, наблюдалась и выраженная активность научного сообщества в этом направлении. Несомненно, что внешним драйвером развития международных работ в направлении цунами и интенсификации измерений стало хрестоматийное и трагичное Чилийское землетрясение и цунами 1960 г. Страны признают очевидную необходимость развития системы предупреждения о цунами и организуют специализированную Комиссию в 1960 году с первым заседанием в Хельсинки, Финляндия. Начинается периодическое, раз в 2 года, общение ученых и специалистов со скоростью коммуникаций, немыслимо неторопливых в наше время. Однако, у автора нет сомнений в том, что, несмотря на противоречивую, крайне медленную и разнонаправленную работу Комиссии, началось прямое общение ученых по цунами. Без которого, вне зависимости от реалий того времени, дальнейший

достигнутый прогресс в измерениях цунами открытого океана виделся бы большим вопросом.

Параллельно активности по исследованиям цунами, в 60-70-ых гг. прошлого века приливы открытого океана вдали от берегов становятся предметом углубленного открытого международного обмена и обсуждения в научной среде для создания соответствующей измерительной техники. Одной из целей исследований вынужденных и иных колебаний уровня свободной поверхности открытого моря становится разработка технических платформ их измерений (см. например http://www.scor-int.org/SCOR_Publications.htm). Сразу отмечу, что несколько меньше документов именно с технической точки зрения находятся в открытом доступе по заседаниям Международной Комиссии по цунами <http://research.jisao.washington.edu/tsunamicommission/tchistory.html> или <http://www.ioc-tsunami.org/>.

Сравнивая источники исходных материалов рабочей группы 27 (WG 27 SCOR) по приливам открытого океана и Международной комиссии по цунами не трудно заметить, что в 70-ые годы прошлого века основные успехи приходились на измерения приливов открытой воды. В то время как для Комиссии по цунами существенной частью работы стало развитие модельного подхода к исследованию явления цунами, его очагам, распространению волн и их заплесков на берег. У автора сложилось мнение, что технический прогресс в измерителях для цунами двигался от исследований приливов открытого моря, никак не пересекаясь с усилиями Комиссии по цунами, которая и не могла спонсировать передовые технические разработки приливов открытого моря, являясь, по сути, дискуссионным, консультационным и информационным ресурсом. Т.о., основная техническая работа по разработке глубоководных измерителей гидростатического давления – предшественников измерителей цунами открытого океана, похоже, велась по линии SCOR.

Например, просматривая результаты заседаний 27 рабочей группы SCOR, находим, что автономные приборы для измерения приливов открытого океана выставлялись в 75, 190 и 500 морских милях от побережья Калифорнии (Munk, Snodgrass & Wimbush 1970); в том же году Snodgrass ставил амбициозную для своего времени задачу измерения приливов автономными приборами (capsules) на 40, 50 и 60 параллелях Южного полушария в течение года между Австралией и Антарктидой (SCOR, 1970).

Находим удивительно раннюю для своего времени - 1972 год! в трудах SCOR оценку спутниковой альтиметрии (GEOS) для задач измерения высоты приливных волн океана, которая признана пока несостоятельной, из-за существенной ошибки альтиметра, от 1 до 5 метров (SCOR, 1972).

В этом же году создана компания по высокоточным кварцевым резонаторам Paroscientific, которые могут быть и запрограммированы, и также быть подсоединены к цифровым устройствам. Но, пока только в разрабатываемых проектах находится невидимый широкой публике прогресс в микроэлектронике, приведший, постепенно, к новому поколению автономных океанографических приборов и не только для задач измерений цунами или приливов открытого океана.

Здесь же (Труды SCOR 1972 г.) оставлены в истории начальные диспозиции разных групп исследователей по приборам открытого океана для приливов. Они важны для понимания, что происходило дальше по времени с разработкой систем наблюдения за цунами от исходной точки в 70-ых, которые, в конце концов, через 20 лет приведут к стандарту DART.

Итак, в 1972 году группы исследователей из разных стран находились на следующих диспозициях по измерению уровней моря вдали от берегов: Германия (ФРГ- прим. автора) разрабатывает свой собственный прибор на уровне Министерства по Науке через частную компанию; Франция усилиями группы CNEXO (Hyacinthe) добилась точности измерения приливов и температуры 0.5 м и 0.001 гр. С соответственно, на глубинах до 6000 м; СССР (Войт) заявил об отсутствии планов по созданию измерителя глубоководных приливов, т. к. акценты сделаны на теоретическую работу; Radok (Университет Южной Австралии) сообщает о создании шельфового прибора в сочетании дифференциального и абсолютного датчиков давления и считает, среди прочего, что необходимо исследовать приливы ина озере Байкал; Dohler (Канада) доложил о создании шельфового уровнемера с точностью до 2 см и базы данных с компьютерным доступом по приливным материалам Канады; Teramoto (Япония) рассказал об измерителе для шельфа (до 150 м) как модификации гидрографического прибора используемого еще до II Мировой войны в Японии, и измерителе течений (видимо - точном – прим. автора) с акустическим датчиком 10^7 Гц; Cartwright (Великобритания) показал результаты исследований автономным уровнемером на шельфе островов с датчиками Bell и Howell, оснащенных цифровым выходом измерений уровня 10^{-5} , кроме того обсуждены планы по регистрации данных через многоканальные магнитофонные регистраторы Marconi и разрешением $5/10^{-6}$ для Вибротрона, датчиков температуры Hewlett-Packard и кварцевых сенсоров давления той же компании; Munk (США) подвел итоги работы группы IGPP за последние три года: в частности, касаясь технических аспектов измерителей, замечено, что Snodgrass разрабатывает новый измеритель открытого океана с кристаллическим датчиком Hewlett-Packard, логикой COSMOS и регистрацией на магнитном стержне; здесь же впервые вскользь упомянуты разработки Г. Миллера (Гавайи) по глубоководному измерителю давления открытого океана без привязки к проблеме цунами.

В материалах заседаний 1972 года SCOR находимоценку Уолтера Манка, который упомянул, внимание!, о необходимости переключения режима измерений глубоководного программируемого прибора с заданной дискретностью на более частые, если есть «событие более высокого уровня энергии». Раз в сутки предполагалось по акустическому каналу передавать ключевые данные на поверхностный буй, а затем, на берег - по спутниковому каналу (Munk, 1972).

До своего роспуска, в 1976 году WG 27 SCOR собирается еще несколько раз, где, самой главной информацией для настоящей книги, становится интеркалибровочный эксперимент восьми типов уровнемеров, выполненный на глубине 2200 м (SCOR-1974,75,76) к западу от порта Брест (Франция). Как следует из опубликованной информации, к середине 70-ых гг. прошлого века, в процессе разработки и непрерывного тестирования находилась важнейшая часть будущей системы DART: глубоководный датчик давления для измерения столба воды над прибором. Решение поиска измерителя глубокого океана шло методом проб и ошибок. В частности, испытывались 8 типов измерителей: FMSW на основе кристаллических датчиков Hewlett-Packard; COB (CNEEXO) струнный; NOAA (Filloux) трубка Бурдона с оптическим рычагом; IOS (Bidston) – мульти: 2 кристаллических датчика Hewlett-Packard+1 вибротрон+1 тензометр; IOS (Wormley) – емкостный+тензометр; Канада – два сильфонных датчика разных моделей; SHON (Франция) – струна под нагрузкой.

Как показали последующие события, наилучшими свойствами для наблюдений колебаний уровня открытого океана с необходимой точностью и стабильностью обладали кристаллические датчики. Но, 40-50 лет назад это не выглядело очевидным. Без особых сомнений, в 1972 году именно Уолтер Манк в рамках работы SCOR опубликовал внятное видение системы для наблюдений приливов в открытом океане с акустической связью между донной станцией и поверхностным буюм и космической – между буюм и берегом. Иное воплощение долговременных наблюдений в океане по приливам он считал «психологически неприемлимым» из-за огромного напряжения ожидания удачной или неудачной постановки прибора после годичной серии наблюдений прибором, установленным в удаленном месте океана и жесткой необходимости обновления данных на компьютерной модели. Как увидим далее, именно так и будут выглядеть основные части системы DART для раннего диагностирования, измерения и передачи данных о цунами.

После начального заседания Комиссии по цунами в 1960 году и последнего заседания SCOR проходит 21 год и 5 лет соответственно, когда появляется первая публикация о цунами, зафиксированной обсерваторией СахКНИИ

ДВНЦ АН СССР через кабельную систему на шельфео. Шикотан (Дыхан и др. 1981 г.).

Еще через год выходит в свет публикация о цунами открытого океана Жана Филлу, Университет Калифорнии, Институт Океанографии Скриппса.

Итак, первое измерение цунами в океане автономным прибором произвел Жан Филлу, опубликовав свою работу в 1982 (Filloux, 1982 а), б)). О ней более подробно мы расскажем далее. Здесь только отметим технические детали - его работа посвящалась анализу регистрации цунами с помощью аналогового прибора, в частности имевшего оптическую версию рычага датчика давления в трубке Бурдона (Beardsley et al., 1977) или, как указывалось выше, одного из 8 вариантов измерителей прилива глубокой воды, прошедших интеркалибровку (SCOR, 1974).

После успеха с аналоговыми датчиками для регистрации длинных волн, важным шагом в сторону современных систем наблюдений цунами в открытом океане, становится разработка высокоточного и малогабаритного датчика гидростатического давления на основе кварцевого резонатора (Paros, 1975). Его успешное применение в конце 70-ых гг. совершенно для другой задачи - на глубинах не превышающих 500 м в ходе долгопериодных исследований Циркумполярного течения пролива Дрейка в Антарктиде оказалось прорывным для последующих приложений в океанографии по измерению уровня столба воды над прибором из-за высокой точности и малозначительного дрейфа датчика давления, не превысившим нескольких сантиметров в год (Warren, Wunsch, 2007).

Но, говорить о том, что с 70-ых гг. произошло повсеместная замена на высокоточные кварцевые датчики, с малым и практически отсутствующим дрейфом в измерениях параметров, не приходится. Она шла постепенно и лишь к 80-90 гг. произошло близкое к полному, вытеснение компанией Paroscientific (www.paroscientific.com) остальных конкурентов в области высокоточных глубоководных измерений, которая насчитывает сейчас 26 компаний-производителей во всем мире (<http://stbuyersguide.epubxp.com/t/33126-sea-tech-buyers-guide>).

Таким образом, решение глубоководной задачи по измерениям цунами начиналось и шло через создание глубоководных регистраторов гидростатического давления для приливов открытого океана.

Следует отметить, что на рубеже 60-70-ых гг. прошлого века признано ограничение механических приборов/регистраторов - трубок Бурдона или аналогичных, для измерения гидростатического давления. Прежде всего это касалось точности датчиков для глубин, превышающих шельфовый

диапазон. Феноменальный расцвет микроэлектроники, персональных компьютеров и переход на кварцевые датчики давления во многом определил дальнейшие успехи исследований и измерений цунами. Видимо, создание цифрового кварцевого резонатора (выше) с процессором для его программирования и явилось тем новым технологическим шагом, способствовавшим последующему прогрессу в измерениях цунами открытого океана 40 лет назад.

Кроме технического прогресса по датчикам гидростатического давления, к началу 70-ых годов прошлого века оформилось теоретическое обоснование необходимости измерений уровня открытого океана для широкого круга задач по цунами (Соловьев 1972, а), б)). Главным становится понимание того, что не каждое землетрясение выше определенного значения своей магнитуды генерирует цунами, а также необходимость точного измерения волн приборами на удалении от берега для последующей оценки заплеска на побережье. Поэтому так и была теоретически обоснована необходимость применения измерений длинных волн, включая цунами, в открытом океане, вдали от влияния берегов и прочих шельфовых эффектов.

Среди активности исследователей разных стран в деле апробации новых датчиков уровня открытого океана важным с точки зрения всех последующих усилий по созданию автономных систем измерений длинных океанских волн явилось проведение двух совместных экспедиций по цунами в Тихом океане СССР и США. Они выполнены в ходе реализации Соглашения о сотрудничестве в области охраны окружающей среды от 23 мая 1972 года между СССР и США, раздел IX-2 «Создание объединенной системы США-СССР по предупреждению о цунами (приливных волнах, вызываемых землетрясениями)» (Соловьев, Лаппо, Миллер 1977).

Автору не удалось найти достоверных исторических фактов – в чем состояла необходимость сотрудничества по цунами тогда идеологических соперников, если не сказать больше, - СССР и США в 1970-ые годы. Тем не менее, продуктивная работа и научно-техническая кооперация двух стран по цунами состоялись. И, похоже, она получилась, благодаря и во-многом, личному знакомству Гейлорда Миллера и Сергея Соловьева (Bernard, Rabinovich, Pool reg.com.). Тем не менее, среди формальных документов взаимодействия между учеными СССР и США по цунами находим специальный пункт о взаимодействии по цунами (Robinson, 1988), выделенный в тексте обширного документа «The U.S. - U.S.S.R. Agreement to Protect the Environment» (далее Соглашение...) отдельно.

Известно, что в рамках Соглашения... всего проведены две совместные экспедиции – в 1975 и 1978 гг. (Гидрофизические..., 1977), в которых удалось выполнить инструментальные измерения длинных волн на глубокой

воде и провести совместный анализ данных. Хотя обе экспедиции не зафиксировали цунами, они способствовали, в какой-то мере, делу создания первых прототипов автономных измерителей цунами открытого океана. Кроме того, работа в рамках Соглашения... является редким примером результативного взаимодействия разных политических систем во время «холодной войны», что актуально и в настоящий исторический момент.

Но, все-таки, первичным интересом для автора в примеревзаимодействия групп ученых и инженеров Миллера и Соловьева стал вопрос: является ли технология DART следствием совместной работы СахКНИИ АН ДВНЦ СССР – Института Геофизики (Институт Геофизики, Гавайи).

Ответ очевидно отрицательный по причине того, что DART – другое поколение морских измерительных систем цунами открытого океана. Оно основано на иных датчиках, композиции и технических характеристик автономных станций, спутниковой передачи сигнала, гидроакустических модемов и интернета, отсутствовавших в 70-ые годы 20 века – в период совместной работы СССР – США по цунами в Тихом океане.

В тоже время, персонал института Геофизики, вовлеченный в обсуждаемые совместные работы по цунами 70-ых, продолжил какой-то своей частью работу и дальше, уже в PMEL NOAA (Seattle), создав, примерно через 20 лет совместных СССР-США экспедиций, прототип приборной системы, которую назвали DART. Не остались в стороне и сотрудники СахКНИИ и других научных организаций, продолжающие работу по цунами в части обработки информации и поиском новых подходов к измерениям цунами открытого океана. Работы сосредоточены в ИМГиГ ДВО РАН, Росгидромете, ИО им. Ширшова РАН, Институте Вычислительной Математики СО РАН, Институте Прикладной Физики РАН и МГУ.

Автор считает, что история взаимодействия групп Соловьева и Миллера ждет своего исторического исследователя, который ответит на вопрос о его причинах. Кроме, как личным знакомством и договоренностью Гейлорда Миллера и Сергея Соловьева, совпадающим научным интересом, наличием и доступностью судна для проведения экспедиций по измерению цунами открытого океана автономными приборами, автор не видит иных и явных оснований по проведению совместных работ в Тихом океане СССР и США в 70-ые годы прошлого века.

Т.о. личное знакомство двух научных лидеров послужило беспримерной экспедиционной работе, но она осталась далекой от причин создания DART.

Вернемся к нашей истории инструментальных измерений цунами в открытом океане.

В 1979 г. цунами впервые фиксируется автономным прибором в районе Калифорнийского залива. Открытием становится измерение не только одиночной начальной волны, а целого семейства волн, имеющего свою длительность, измерение малой высоты цунами (1 см), запас по времени более часа до прихода волны на берег, признаки метеоцунами (Filloux, 1982). С этого принципиального момента научного и технологического успеха начинается дальнейшее развитие технологии измерений цунами с помощью автономных платформ. Но уже на основе цифровой техники, переход на которую предопределили разнонаправленные усилия и успехи разных групп исследователей в рамках SCOR.

В 1980 г. СахКНИИ (ДВНЦ АН СССР, в настоящее время - ИМГиГ ДВО РАН) выявил первый инструментальный сигнал о цунами по данным кабельного датчика, установленного в 8 км от берега (Дыхан и др., 1981).

Спустя 10 лет, в начале 1990 гг., первые записи цунами фиксируются японскими учеными с помощью кабельной системы (Okada, 1995).

В 1980 г., уделяя особое внимание явлению цунами для Дальнего Востока страны, Совет Министров СССР выпустил отдельное постановление*, где сформулировал государственное задание по созданию Единой автоматизированной системы предупреждения о цунами (ЕАСЦ), разработке и производству для неё необходимых технических средств. Научно-методическая часть программы выполнялась, в основном, учёными АН СССР (<http://www.sbras.ru/HBC/article.phtml?nid=655&id=12>), а также составом Росгидромета (в то время - Государственный комитет по гидрометеорологии и контролю природной среды СССР (Госкомгидромет СССР)). Программа планировалась на 10 лет, выполнена частично и не была завершена, включая прекращение работ по созданию инструментального измерителя цунами. Ее научные результаты, к какой-то мере, обобщены, например, монографией Поплавского (Поплавский, 1988).

Среди прочих команд разработчиков и исследователей уровнемеров открытого океана в Австралии, Великобритании, Германии, Голландии, Канады, Норвегии, СССР, Франции, Японии остановимся на четырех центрах исследований длинных океанских волн в США (Сан-Диего, Майами, Сиэтл и Гавайи). Среди них, в 1970-ые годы, выделялась группа Института Геофизики (Гавайи) под руководством Гейлорда Миллера (Рабинович, персональное сообщение). В 1980 году разработка технологии наблюдений цунами передается из университетской науки (Институт геофизики, Гавайи) в подразделение NOAA – PMEL (www.pmel.noaa.gov, Seattle). Таким образом, разработки, во много пионерские по автономным инструментальным измерениям цунами, фактически свернуты на Гавайях по

разным причинам к 1980 г. Еще ранее практически завершается и совместная работа ученых СССР и США по цунами в открытом океане.

Спустя некоторое время, именно в Сиэттле, начинается история рождения автономной системы измерений цунами. Здесь, в конечном итоге, создается известная современная система DART[®] (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami), которой посвящается отдельная глава. В ней мы рассмотрим компоненты и эволюцию системы DART[®] - от предшественников середины 60-ых, апробации прототипов в 80-90 гг., создание и постепенный расцвет технологии DART[®] до настоящего времени.

2004 г. явился знаковым событием для разработчиков систем наблюдений цунами - по причине катастрофического цунами в Индийском океане (о.Суматра). Отсутствие системы наблюдения цунами реального времени возобновляет интерес к разработке DART. Так, именно после землетрясения и цунами на о. Суматра и многочисленных жертв, важности измерений цунами открытого океана с целью предотвращения жертв и разрушений придается новый импульс на глобальном уровне усилиями правительств, ООН, ЮНЕСКО и МОК. В частности, в течение 5 лет после события 2004 г. развернута глобальная сеть датчиков по цунами в Индийском и Тихом океанах, созданы второе и третье поколения DART[®] (DART-II[®] и, позже, ETD[®]), а сейсмические пояса Тихого и Индийского океанов, включая глубоководные зоны до 5 км, охватываются системами наблюдений цунами реального времени (www.ndbc.noaa.gov).

Среди прочих компаний и институтов, предпринимавших усилия или пытающихся коммерциализировать НИОКР в части создания автономных платформ измерения цунами для поставок на мировой рынок, отметим несколько групп и брэндов, создавших свои автономные аутентичные измерители – Fugro Oceanog (Норвегия), Mooring Systems (США), SeaBird (США), Sonardyne (Великобритания), германский консорциум из 16 организаций (<http://www.deutsche-meeresforschung.de/en/members>).

И, наконец, Япония, после землетрясения и катастрофического цунами Тохоку (2011 г.), принимает решение о закупке автономных систем стандарта DART[®] (2012-2013 гг.) у корпорации SAIC[®]. Кроме того, приступает к разработке прототипа собственного автономного измерителя цунами (Vector Tsunameter, JAMSTEC) в 2013-2014 гг.

Но есть и другие примеры организации наблюдений цунами для открытого океана в настоящее время. Немецкий консорциум, поставивший систему предупреждения цунами для юго-восточной Азии стоит отдельным порядком, т.к. результаты работы датчика цунами открытого океана ничем не подтверждены и неизвестны широкой публике. Китай, запустив DART-II в

2009-2011 гг., по непонятным причинам запретил доступ к своим данным и, позже, прекратил свою программу наблюдений цунами с использованием DART.

После 2004 г., Российская Федерация, являясь членом Комиссии МОК по цунами, разработала и запустила в эксплуатацию ряд мероприятий по ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года» и «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций ... до 2015 года» в части, касающихся цунами. Переоснащены сейсмологическая служба РАН и прибрежные мареографные станции Росгидромета (<http://rtws.ru>). Исключение представляет сегмент прибрежных станций наблюдений уровня моря и цунами на Курилах**. Касаясь открытого океана, отмечу, что РФ установила собственные станции наблюдений для раннего предупреждения цунами (WMO ## 21401, 21402) 09 ноября 2010 года и продолжает их поддерживать усилиями Росгидромета, которые также доступны в интернете, www.ndbc.noaa.gov.

В настоящий момент, в северо-западной части Тихого океана дорабатывает только одна российская станция (WMO#21402) за пределами регламентного срока службы вместо запланированных по ФЦП «Снижение... до 2015 года» 4 станций открытого океана. Деталю эксплуатации и необходимости продолжения работ DART посвящается отдельная глава в книге.

Там же приведены история, уроки и перспективы работы по раннему предупреждению цунами в РФ. Материалы собраны автором вместе в связи с малой доступностью информации из-за ведомственной разобщенности и закрытости, отрывочности и противоречивости информации по мониторингу цунами на Дальнем Востоке РФ для придания этим разработкам наконец-то должного внимания вследствие жизненной необходимости знаний и последовательности действий при цунами в таких прибрежных районах Дальневосточного региона как Владивосток, Находка, Ванино, Де-Кастри, Корсаков, Холмск, Невельск, Углегорск, порты Курил, Магадана и Камчатки, сахалинские нефтегазовые проекты.

Общий тренд в оснащении системами предупреждения о цунами заключается в постепенной установке систем DART в практику наблюдений Таиландом, Австралией, Новой Зеландией и новыми странами – Перу, Эквадором, Колумбией, а также странами Центрального Карибского бассейна и, возможно, Средиземного моря

Технология DART стала эталоном по составу приборов для наблюдений в глубоком океане. Так, вне зависимости от производителя, составные части измерителей цунами, как правило, состоят из донной станции с процессором,

высокоточным датчиком давления и поверхностного буя с процессором, оснащенных гидроакустическим модемом, блока телеметрии на поверхности океана для передачи сигнала на берег через спутник. Все остальное оборудование, применяемое на автономных станциях цунами, является, как правило, вспомогательным и служит для операций постановки и подъема на борт судна для обслуживания.

Со времени опубликования Уолтером Манком в 1972 г. своего видения какой именно должна быть система измерений уровня открытого океана и которое подтвердилось полностью, три фактора определяли техническую разработку и состав системы измерения цунами на глубокой воде – (А) развитие микропроцессорной техники, датчиков гидростатического давления и буйковых систем, (Б) передача данных измерений через гидроакустический канал и, далее, спутники или их группировки (GOES, Inmarsat или Iridium) до наземных станций и распространения об угрозе по наземным каналам связи, включая Интернет; а также (В) моделирование очага цунами, распространение его волн на реальных данных распределения глубин и расчеты заплеска на берег, суперпозицию волн при набеге на разного рода препятствия подводного рельефа дна.

Следует отметить, что все три основных составляющих развития технологии мониторинга цунами открытого океана развиваются и сейчас (Paros et al., 2011; Bernard et al., 2014), раскрывая все новые возможности для науки, инжиниринга и мониторинга этого опасного явления.

В общем, истории возникновения DART, сотканной из многих попыток наблюдений уровня открытого океана разными группами исследователей, способствовали: принципиально важные публикации по теме, включая развитие теории, свободное общение специалистов и ученых, включая персональное, обмен информацией о новых разработках, бюджетная поддержка направления каждой из вовлеченных стран, агентств и ведомств; технический прогресс в датчиках и коммуникационных решениях передачи сигнала от удаленных мест измерений, включая космический сегмент, программирование и моделирование.

Одновременно, последовательность событий в истории инструментальных измерений открытого океана по цунами показывает, что наличие всех казалось бы составляющих технологии как DART, собранных в одном месте, не всегда приводили к успеху - созданию полноценной и действующей системы раннего предупреждения цунами. Это касается прежде всего уроков по наблюдениям цунами СССР (России), Австралии, Великобритании, Германии, Норвегии, Чили в этой области и, отчасти, США и Японии. Япония применила DART в течение 2011-2016 гг., но затем снова вернулась к кабельной системе мониторинга цунами.

Это также показали разработки отдельных компаний, добившихся результата, но по разным причинам не получившим спроса и дальнейшего развития на океанографическом рынке.

Таким образом, развитие средств мониторинга цунами открытого океана автономными методами шло и идет неравномерно, разными группами, периодами специализированных успешных и безрезультатных НИОКР, импульсами, связанными как с крупными сейсмическими событиями и последующими катастрофическими цунами с 60-ых гг. прошлого века, особенно такими как Чили, 1960, Суматра, 2004 и Тохоку, 2011, так и с переходом количества в качество новых измерительных сенсоров или способов коммуникаций.

60-70-80 годы прошлого века показали, что до создания DART в 90-ых с технической стороны зрелую основную роль сыграли усилия разных групп ученых по линии SCOR, в то время как заседания по линии Комитета цунами больше способствовали обмену информацией и развитию моделей явления. Уолтер Манк впервые сформулировал видение основных параметров системы, пригодной и для решения задач наблюдений цунами открытого океана в 1972 году. Совместные усилия групп Соловьева и Миллера не ставили своей целью создание системы DART. Для уровня развития техники появление такой системы в середине 70-ых гг. было просто невозможно. Тем не менее, взаимодействие Соловьева-Миллера по линии цунами все еще ждет своего исторического исследования. Но уже никак не связанного с техническим описанием работ по предшественникам и созданию самого DART.

Приведенная краткая история по измерениям цунами также показывает нам, что развитие темы невозможно без международного сотрудничества. Например, на начальном этапе, оно базировалось на обмене информацией ученых и инженеров разных стран - в основном США, Канады, Великобритании, Франции, Германии, Японии и, отчасти, СССР (затем России). До 1980-ых гг. страны находились совершенно в разных условиях по технической оснащенности наблюдений цунами, но, примерно, в равных теоретических позициях благодаря налаженному обмену информацией.

Дальнейшие результаты по исследованию цунами и развитию новых технологий по их предупреждению показывают, что часть стран - США, Япония, Канада, и, отчасти, Норвегия и Германия продвинулись далеко вперед от России, существенно нарастив научное, технологическое и программное преимущества в исследованиях и мониторинге цунами по крайней мере, по наличию технологий, приборов и производств, предназначенных для создания такого рода техники. Именно история с

DART показывает нам, что, собственный измеритель цунами открытого океана мог появиться и у нас в стране, но, оговорюсь, с большим сомнением. Возможно, что у РФ еще остается возможность не остаться в стороне от разработки, применения и использования современных средств наблюдений форс-мажорных природных явлений, таких как землетрясения, подводные оползни, вулканическая деятельность и падения в океан космических тел, приводящих к возникновению цунами.

В заключение главы 1 стоит повторить абзац из начала о том, что в 70-ых годах прошлого века проблема исследования колебаний открытого океана для задач цунами представляла собой научный вызов, сравнимый, например, с ведущимися пионерскими разработками и НИОКРами по исследованию предвестников землетрясений с целью их изучения, расчета и предсказания. Как показывает краткая история измерений цунами открытой воды, эта проблема может быть успешно решена.

На взгляд автора, сейчас существенным и обязательным к обсуждению является вопрос о дальнейшем применении технологии мониторинга и предупреждения цунами у берегов Дальнего Востока РФ. Следует признать период апробации DART в 2010-2017 гг. состоявшимся и переходить к планомерной работе по обеспечению непрерывных наблюдений цунами открытого океана, а также организацией таковых на акваториях Японского и Охотского морей и, возможно, морях европейской части страны (далее, Глава 4). Что, безусловно, представляет собой отдельную работу и содержит в себе потенциал теоретического и технологического развития для подразделений Академии Наук, Росгидромета, специализированных предприятий по разработке океанской техники.

Коротко, вот чему и учит приведенная история инструментальных автономных измерений цунами открытого океана с 70-ых годов прошлого века по настоящее время. Кстати, на повестке дня остается применение новых подходов к решению вопроса идентификации и измерения длинных волн на поверхности океана для задач цунами. Прежде всего, речь идет о дистанционных методах измерений. Но это уже совершенно другая история.

Сноски:

* Постановление Совмина СССР от
23.09.1980 N 821

"О мерах по дальнейшему совершенствованию организации своевременного предупреждения населения приморских районов Дальнего Востока о морских волнах, вызываемых подводными землетрясениями (цунами)»

** часть прибрежной сети наблюдений цунами на Курилах фатально и необъяснимо уничтожена УФСБ по Сахалинской области РФ в августе-сентябре 2013 г.