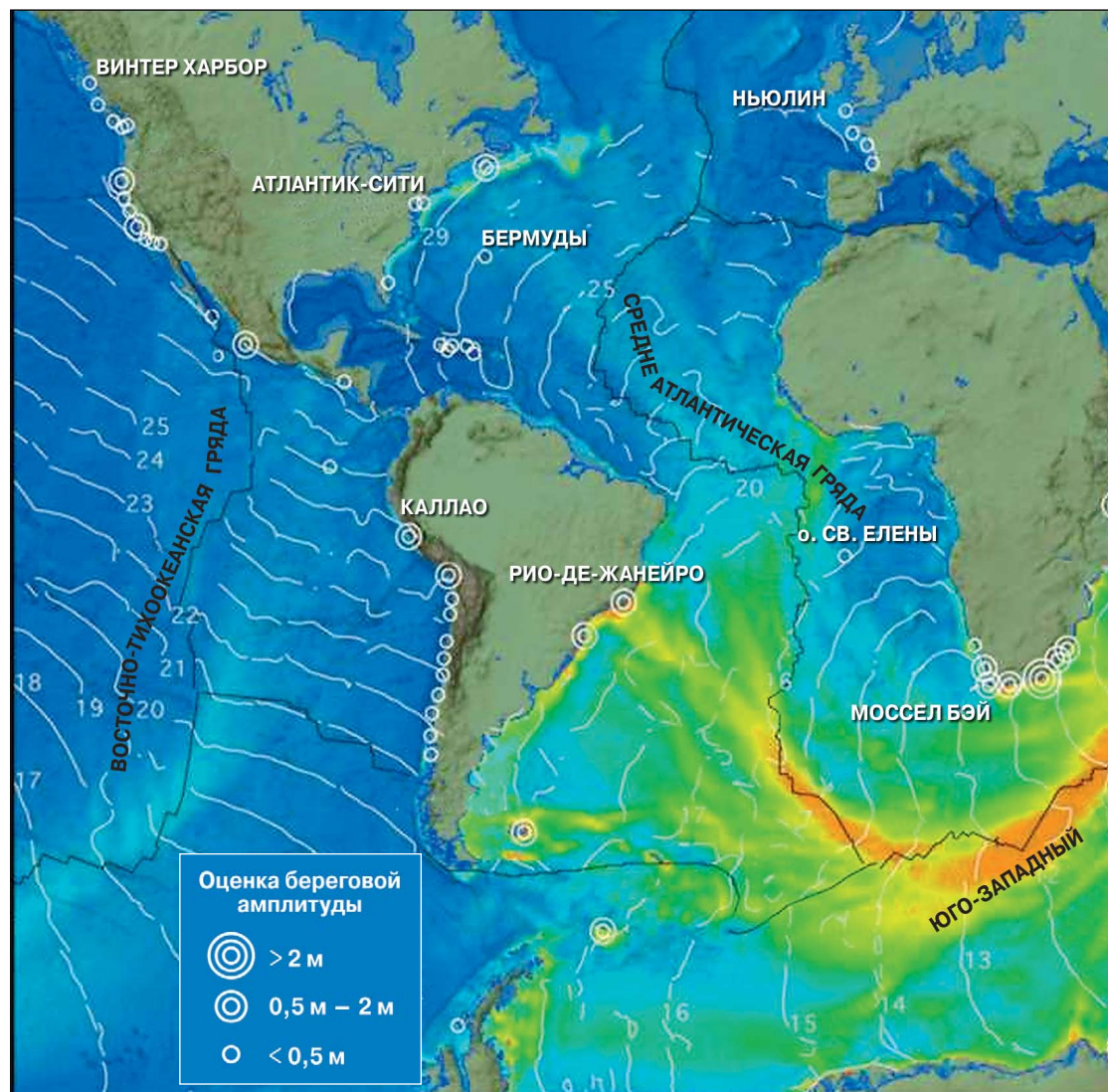


Верстка:	Имена, цифры, факты — сверены Редактор:	Художник	Отв. секр.	Ред. колл.1	Ред. колл.2	Корректор.1	Корректор.2	Глав. ред.
----------	--	----------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------



## ЦУНАМИ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

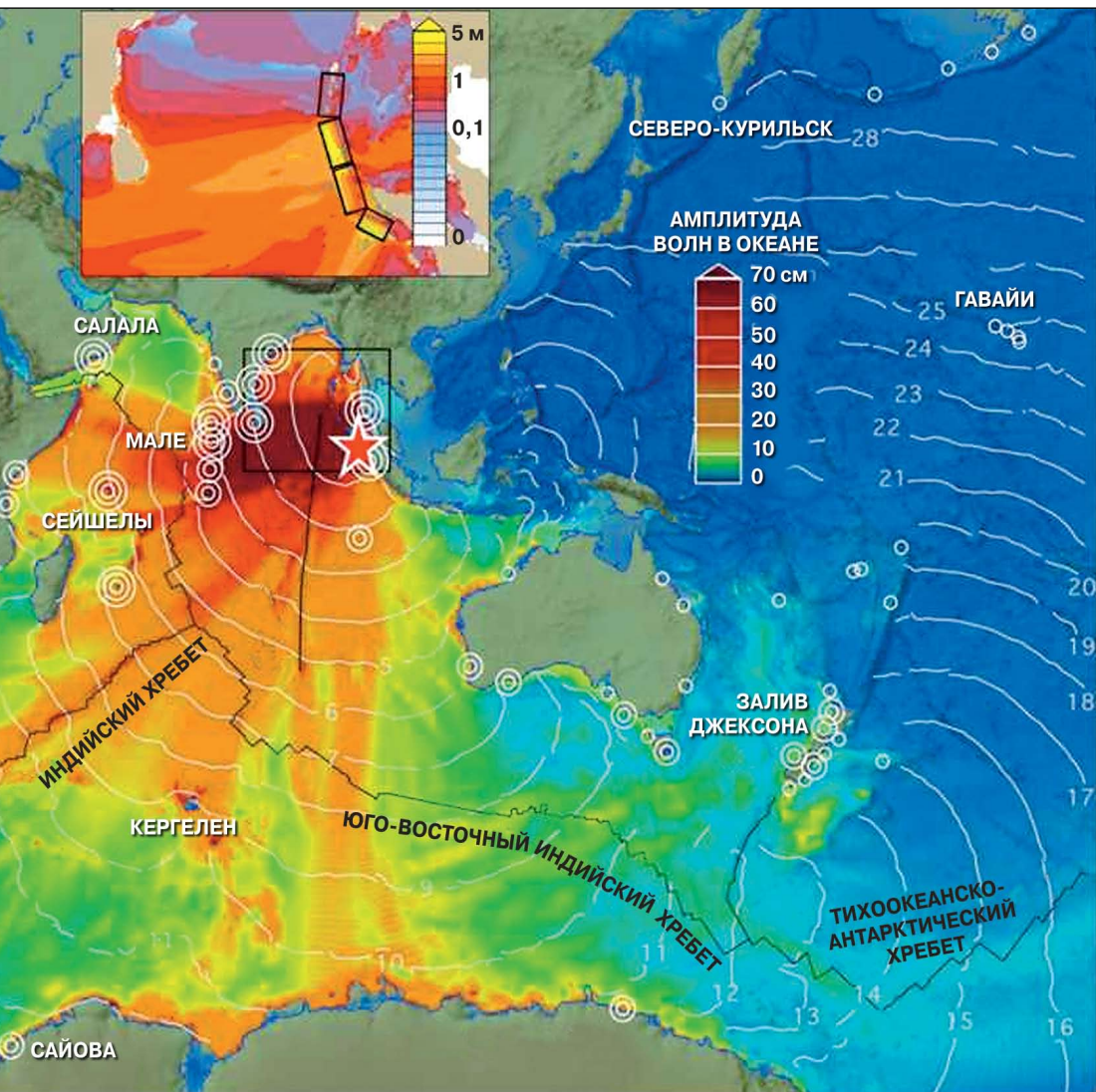
**Член-корреспондент РАН Борис ЛЕВИН,  
директор Института морской геологии и геофизики ДВО РАН,  
председатель Сахалинского научного центра ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск).**

Природные процессы и катаклизмы, на фоне которых развивается наша цивилизация, неизбежны. Весьма популярный сегодня термин «природные катастрофы» отражает наше недостаточное понимание того, как возникают высокоэнергетические природные процессы. Когда мы научимся понимать физику этих процессов и прогно-

зировать их приближение, они перестанут считаться катастрофическими явлениями. Однако процесс обучения пока ещё далёк от завершения.

«При полном незнании земли своей утвердилась у всех гордая уверенность, будто знают её» — такими словами Н. В. Гоголь охарактеризовал в письме от 20 октября 1849 года своё понимание ситуации, которая с тех пор изменилась довольно слабо.

### ● ГРОЗНЫЕ СИЛЫ ПРИРОДЫ



# БУДУТ ВСЕГДА

## ЯВЛЕНИЕ ЦУНАМИ

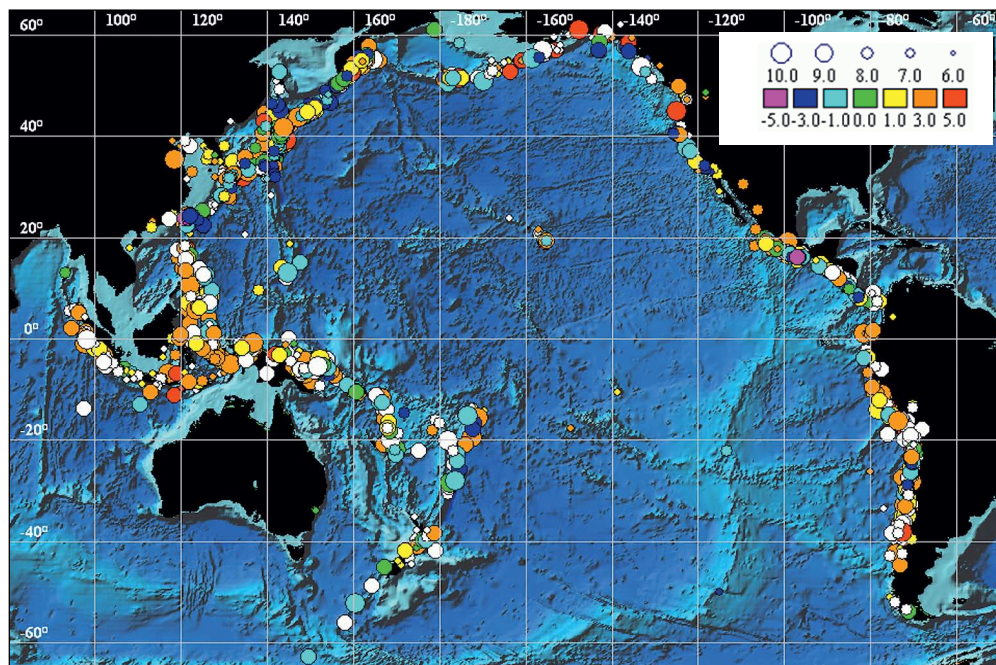
Землетрясения, согласно современным воззрениям, возникают в результате разрушения локализованного объема среды, в котором произошло накопление напряжений до некоторого критического уровня. Сброс накопленного напряжения приводит к образованию сейсмических разрывов и множественных микроразрушений в среде. Современные исследователи связывают процесс накопления напряжений в породах как с внутренними (эндогенными) явлениями, так и с внешними (экзогенными) периодическими процессами, например с приливными воздействиями Солнца и Луны на Землю.

*Цунами 2004 года обошло весь земной шар. Глобальная карта распределения энергии цунами 24 декабря 2004 года, составленная на основе вычислений с применением модели MOST (Method of Splitting Tsunami), разработанной в Университете Южной Калифорнии (США).*

Помешать развитию подобных процессов человечество пока явно неспособно.

Другой природный катаклизм, цунами, — это серия волн, возникающих в океане или другом обширном водоёме как отклик водного слоя на сильное подводное землетрясение или на мощное возмущение поверхности воды от иного источника — например удара метеорита, подводного взрыва, вулканического извержения, оползня.

Волны цунами образуются в источнике (или очаге), который обычно имеет протя-



*Распределение очагов цунами в Тихоокеанском регионе за период с 47 г. до н. э. по 2004 год. Размер кружков соответствует магнитуде землетрясения, цвет — интенсивности цунами.*

жённую форму — его длина составляет от 100 до 400 км. От источника волны цунами распространяются в водоёме как длинная гравитационная волна\* малой амплитуды.

Высота такой волны в открытом океане практически не превышает 1 м, и потому эти волны остаются незамеченными для экипажа корабля. Но в отличие от ветровых волн (поверхностных волн на воде, вызванных ветром), захватывающих только поверхностный водный слой, волны цунами вовлекают в движение всю толщу воды от дна до поверхности. Скорость распространения таких волн определяется глубиной океана и составляет в среднем (при глубине 4 км) примерно 720 км/ч. Когда цунами приближается к берегу и выходит на мелководье, скорость волны резко уменьшается, донная часть потока тормозится из-за трения о дно, крутизна волны быстро увеличивается и на берег устремляется поток со скоростью порядка 70 км/ч, обрушиваясь на береговую линию длиной в десятки километров. Представьте себе тысячу скорых поездов, вылетевших одновременно из океана и ударивших сразу по всей линии берега. Высота наката волны способна преодолеть отметку 30 м, а дальность заплеска нередко превышает 2—3 км.

\* Гравитационная волна — колебания поверхности воды, связанные со стремлением силы тяжести вернуть её в невозмущённое состояние.

Цунами — одно из немногих стихийных природных явлений. Для его предупреждения в СССР была создана специальная служба, которая существует более 50 лет и базируется на оперативной сейсмической информации (магнитуде землетрясения, координатах эпицентра и его глубине), а также на экспертных оценках океанологов. В настоящее время на побережье Дальнего Востока России разворачивается сеть телеметрических регистраторов цунами, передающих информацию о волновом режиме в цунамиопасных районах, что должно повысить надёжность работы этой службы.

### ТРИДЦАТЬ ЛЕТ НАЗАД

Советская школа исследователей цунами, организатором и признанным лидером которой был академик Сергей Леонидович Соловьев (1930—1994), прочно занимала передовые позиции в мировом научном сообществе в течение всей второй половины XX века. Проблема цунами привлекала таких известных учёных, как математики М. А. Лаврентьев и Ю. И. Шокин, геофизик А. С. Алексеев, математик-механик Н. В. Зволинский, океанолог С. С. Лаппо, физик Л. Н. Рыкунов. Лаборатории академических институтов и научные группы, занимавшиеся изучением цунами, активно работали в Москве, Ленинграде, Минске, Обнинске, Киеве, Севастополе, Горьком, Новосибирске, Красноярске, Южно-Сахалинске, Владивостоке, Петропавловске-Камчатском.

В те далёкие романтические годы многие сильные выпускники престижных вузов и столичных университетов уезжали работать на Дальний Восток, потому что это было интересно, модно, отважно и вызывало уважение. Известные строчки Юрия Кукина «А я еду, а я еду за туманом, за туманом и за

запахом тайги» сманили на Восток немало талантливых и смелых людей. Изучение землетрясения и цунами сулили исследователям встречи с тайнами природы, удивительными открытиями, а может, и удачу заполучить свою «научную» жар-птицу.

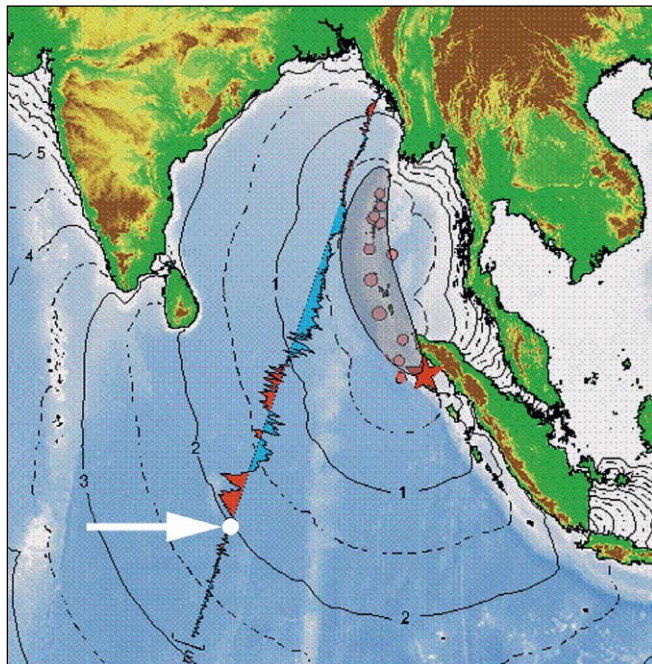
Интерес к цунами подогревался также и творческой активностью наших заокеанских коллег, которые тогда старательно разрабатывали методы создания искусственных цунами для поражения берегов потенциального противника. Да и советская команда тоже не обходила стороной подобные задачи. Сахалинские учёные под руководством Сергея Сергеевича Лаппо вместе с исследователями из Ленинграда под руководством Юрия Сергеевича Яковлева решали прикладную проблему генерации искусственного цунами. Исключительно, конечно, для научных целей.

Пробившись через дебри теоретических и численных решений (а также финансовых рогаток), они вышли на крупномасштабный эксперимент. Его ключевой идеей было создание изохроны — теоретической кривой, в точках которой одновременно возникают волновые возмущения, порождающие в процессе распространения волну типа цунами.

Испытательные бассейны, лабораторные гидростенды, модельные водоёмы и даже экспедиционные полунатурные исследования в Приморье поставляли советским учёным ценнейший экспериментальный материал, который способствовал построению физических моделей и организации вычислительных экспериментов. Оригинальные взрывные эксперименты и генерация модельных цунами в испытательном водоёме «Новиково» на Сахалине и на полигоне «Мячково» в подмосковных Люберцах привлекали внимание научного сообщества.

Исследователи в разных институтах самозабвенно искали экспериментальные подтверждения эффектов, предсказанных теорией точечного взрыва, развитой физиком Леонидом Ивановичем Седовым. Казалось, ещё одна серия экспериментов — и будет обнаружена именно та уникальная конфигурация функционального заряда, который продемонстрирует искусственную или модельную волну цунами со всеми её удивительными свойствами.

Помимо важной проблемы генерации цунами учёные активно занимались развитием вычислительных методов, решая задачи распространения волн в океане и набегания их на берег. Последние задачи считались особенно сложными. В развитие вычислительных экспериментов по цунами большой вклад внесли учёные горьковской и ново-



Карта северо-восточной части Индийского океана с изохронами (от греческого *isos* — равный и *chronos* — время), показывающими положение фронта цунами 24 декабря 2004 года. Звёздочкой обозначено место землетрясения с магнитудой 9.0. Розовые кружки — афтершоки.

сибирской научных школ. Тогда же впервые была проведена натурная регистрация волн цунами в открытом океане.

Первые работы по созданию единой базы данных по этому катастрофическому явлению были начаты в СССР и затем продолжены в России под руководством новосибирского геофизика Вячеслава Константиновича Гусякова (Институт вычислительной математики и математической геофизики — ИВМиМГ СО РАН). Эти работы активно поддерживали Международная океанографическая комиссия ЮНЕСКО и Российский фонд фундаментальных исследований.

## И В НЕБЕ И В МОРЕ

Сильнейшие землетрясения и цунами, произошедшие на рубеже двух веков (Окушири, Япония, 1993; Шикотан, Россия, 1994; Измит, Турция, 1999; Суматра, Индонезия, 2004), стали естественным стимулом для обобщения наших знаний в области сейсмологии и цунами. Ведущие сейсмологи России — академики А. С. Алексеев и С. В. Гольдин, члены-корреспонденты РАН А. В. Николаев и Г. А. Соболев — разрабатывали научные проекты и программы государственного масштаба, собирали представительные научные форумы, инициировали создание электронных каталогов событий, баз данных и развитие вычислительных методов в геофизике.



*Лиссабонское землетрясение и цунами 1755 года. Старинная гравюра неизвестного автора.*

Появилось новое научное направление — поиск следов древних цунами, или палеоцунами. Обнаружение следов и датирование древних цунами на побережьях океанов и морей позволяет значительно пополнить каталоги подобных событий, тестировать предложенные модели цунами и давать существенно более точные оценки цунамиопасности пунктов побережья. Конечно, рыть вручную траншею глубиной 2—3 м на береговых откосах не очень увлекательное занятие, но обнаружение на стенке траншеи светлого прослойка морского песка среди тёмных слоёв торфяника и вулканической тefры сродни находке самородка. Особенно, если окажется, что возраст этого прослойка более 8000 лет.

Сотрудники Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС, г. Петропавловск-Камчатский) детально исследовали многокилометровые участки побережья Камчатки, Северных и Центральных Курильских островов. Существенных успехов в изучении отложений палеоцунами на Южных Курилах добились учёные из Владивостока (Тихоокеанский институт ДВО РАН) и Южно-Сахалинска (Институт морской геологии и геофизики — ИМГиГ ДВО РАН). Полевая экспедиция этих специалистов в Индонезию после события 2004 года дала важные научные результаты.

*Спутниковая регистрации цунами* — ещё одно активно развивающееся направление. Исследователи из Института океанологии РАН и Института прикладной физики РАН на основе альтиметрических наблюдений (измерение высоты поверхности) в радио-

диапазоне из космоса и вычислительных экспериментов по распространению волн обнаружили несколько цунами в открытом океане. Они впервые получили надёжные данные об амплитуде цунами в 2004 году в Индийском океане, величина которой составила около 1 м. Очевидно, совершенствование вычислительных методов и программ, позволяющих моделировать распространение цунами в океане, открывает новые возможности для изучения опасного явления и своевременного предупреждения населения об опасности.

*Методы гидроакустики*, развиваемые в Лаборатории цунами им. академика С. Л. Соловьева ИО РАН, весьма перспективны для раннего обнаружения такого наипаснейшего явления, как *локальные цунами*, возникающие очень близко к побережью. Например, для восточного побережья Камчатки среднее расстояние между источником цунами и берегом составляет всего 18 км. Гидроакустические антенны и системы гидрофонов\* позволяют обнаружить слабые специфические сигналы, возникающие в районе эпицентра в процессе подготовки сильного землетрясения, и оценить уровень опасности готовящегося события задолго до его начала. Российские сейсмологи и цунамисты вместе с военными специалистами по гидроакустике впервые в мире распознали сигналы, зарегистрированные в открытом океане, и определили

\* Гидрофон (от греч. *hydro* — вода и *phone* — звук) — прибор для приёма звука и ультразвука под водой, специализированный микрофон. Применяется в гидроакустике как для прослушивания подводных звуков, так и для измерительных целей.

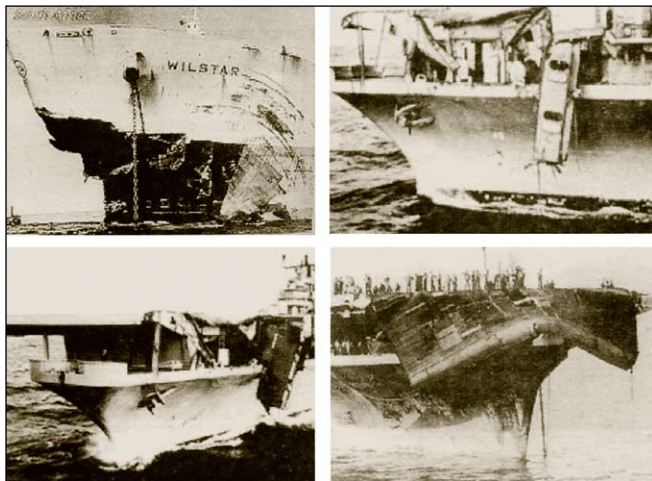
местонахождение эпицентра подводного землетрясения.

В последние годы бурное развитие статистического анализа особенностей возникновения цунами и землетрясений привело к обнаружению шестилетнего периода возникновения цунами попеременно в Северном и Южном полушариях Земли. Исследователи установили, что сейсмическая активность в течение года в большинстве субрегионов Тихоокеанского пояса и прилегающего побережья неравномерна. В зимние месяцы (декабрь — март) сейсмические процессы активизируются как в Северном, так и в Южном полушарии. Этот период совпадает с периодом прохождения Землёй области, близкой к точке перигелия (3 января Земля находится на минимальном расстоянии от Солнца).

### ПАРАДОКС ЧАРЛЬЗА ДАРВИНА И ВОЛНЫ-УБИЙЦЫ

Чарльз Дарвин во времена плавания на корабле «Бигль» (1831—1836) описал многократно отмечавшуюся связь между землетрясением и последующим выпадением дождя в засушливых районах Чили. Однако этот феномен оставался необъяснённым до нашего времени. Изучение высокоэнергетических процессов в океане — моретрясений, акустической кавитации, локальных выбросов воды, которые считаются родственными цунами, — привело к открытию нового эффекта: охлаждения поверхности океана в зоне действия сильного подводного землетрясения. Он и объясняет парадокс, замеченный великим учёным. Турбулентный перенос придонной холодной воды к поверхности из-за колебательных движений дна, получивший название *сейсмоапвеллинг*, детально исследовали член-корреспондент РАН Лев Николаевич Рыкунов и профессор Михаил Александрович Носов с физического факультета МГУ с учениками. Научный коллектив изучил эффекты моретрясения на лабораторной установке. Им удалось понять, как на поверхности воды образуются параметрические волны, вызываемые колебаниями дна. Оказалось, что в процессе генерации цунами

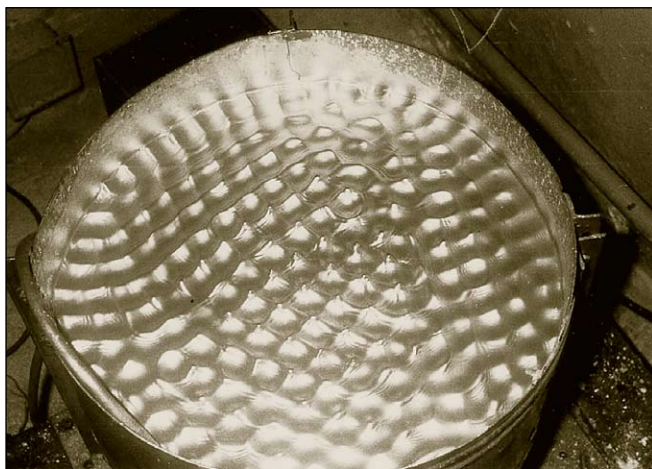
*Моделирование моретрясения на лабораторном стенде. На фотографии хорошо видны квадратные и шестиугольные ячейки параметрических стоячих волн на поверхности колеблющейся жидкости.*



*Разрушения кораблей после встречи с волнами-убийцами.*

определяющую роль играет сжимаемость воды.

Позже к изучению сейсмоапвеллинга подключились сотрудники ИМГиГ ДВО РАН и Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института (ДВНИГМИ, Владивосток). Они создали интегрированную базу данных, содержащую вертикальные профили температуры в Мировом океане, полученные в результате более чем 7 млн зондирований, и материалы сейсмических каталогов. С помощью этой базы можно вести поиск информации о температуре, измеренной вблизи эпицентра подводного землетрясения до и после сейсмического события. Так было замечено много случаев, когда в верхнем слое воды после землетрясения температура понижалась на 2—3 градуса, при этом на горизонте глубиной 200 м величина аномального изменения составила более 4 градусов.





«Бозон Хиггса»

Сборник.

Издательство «Снежный Ком». — 480 с.

ISBN: 978-5-904919-13-9

На сей раз издательство «Снежный Ком» радует поклонников необычным новогодним подарком: сборником повестей авторов, целенаправленно работающих в жанре научной фантастики.

Заглавная повесть сборника Игоря Минакова и Ярослава Верова с романтическим названием «Сугнус Деи» переносит читателей в отдалённое и отнюдь не светлое будущее. Знакомый многим российским туристам Крымский полуостров превращается в подобие заброшенного и смертельно опасного полигона, заполненного немирными продуктами генных экспериментов.

Повесть известного популяризатора отечественной космонавтики Антона Первушина «Вертячки, помадки, чушки» — печальная история-предупреждение о странном пришельце из космоса — обращает внимание читателя на

хрупкость привычных для наших современников морально-этических установок и социальных норм перед диктатурой будущего.

Основное фантастическое допущение в тексте талантливой дебютантки Натальи Лесковой — технологическая инновация по усовершенствованию человеческого мозга посредством внедрения искусственной логической машины. По духу это произведение напоминает рисованные фильмы в стиле аниме, однако за нарочитой пестротой художественных решений и адресалиновой динамикой сюжета скрывается серьёзный философский «подстрочник».

Ну а такие корифеи НФ, как Павел Амнуэль и патриарх отечественной фантастики Евгений Войскунский вовсе не нуждаются в представлениях. Читайте и откроется вам...

**Светлана ПОЗДНЯКОВА.**

В последние годы всё больший интерес в научных кругах вызывают волны-убийцы. Это таинственное явление — причина гибели кораблей — было известно довольно давно, но серьёзно его не изучали из-за теоретических трудностей. Недавно сотрудники ИПФ РАН под руководством профессора Ефима Наумовича Пелиновского и профессора Андрея Александровича Куркина выполнили цикл исследований и опубликовали книгу «Волны-убийцы», получившую широкую известность. Они установили, что такая волна может рассматриваться как результат случайного сложения амплитуд различных ветровых волн на шельфе. Высота волны может достигать 25 м, при этом время, в течение которого волна возникает на поверхности моря, составляет не более 5 секунд.

### ЧТО ДАЛЬШЕ?

Какие направления исследований в области цунами будут развиваться в ближайшем будущем? Новые возможности даёт спутниковая регистрация волн цунами в океане. Анализом этих данных занимаются в Институте океанологии РАН и Институте прикладной физики РАН. Создание карт цунами-опасности для различных регионов страны очень важно как для фундаментальной науки, так и для практических приложений.

Наряду с этим будет продолжена работа по созданию каталогов древнейших цунами (палеоцунами), гидроакустическому анализу процессов, предваряющих подготовку силь-

ного подводного землетрясения, созданию моделей процессов генерации цунами и набегания волн на берег.

Большой интерес у научного сообщества вызывают так называемые космогенные цунами, вызываемые падением в океан космического тела — астероида, метеорита и др. Вероятность такого события очень мала, но, если оно произойдёт, не исключена всемирная катастрофа. Поэтому исследования по космическим источникам цунами будут, конечно, развиваться.

С помощью современных карт, содержащих аномалии температуры океанической поверхности, предполагается разработать методы оперативного анализа динамических процессов в океане, по которым можно судить о подготовке сильного сейсмического события в придонной части океана.

К 2015 году должна заработать система оценки и анализа макросейсмических проявлений ощутимых землетрясений, а также сеть сейсмостанций сильных движений. В регионах с высокой сейсмической активностью предусмотрено создание единой системы информационно-обрабатывающих центров. Всё это поможет улучшить работу службы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России. В ближайшее время, по-видимому, будет создана Всемирная организация предупреждения о цунами наподобие уже давно и успешно функционирующего агентства «Всемирная метеорологическая организация».