

Доктор физико-математических наук
Л.И.Лобковский,
доктор географических наук
Д.Я.Фащук

Великие ВОЛНЫ

Цунами внутренних морей

«Страшный удар потряс землю. Берег раскололся, и взбешенное море поглотило город». Это несчастье случилось отнюдь не на побережье Камчатки, Курил или Суматры — цитата взята из древней колхидской легенды и повествует о катастрофе, произошедшей, как предполагают ученые, в 20 году до н.э. на побережье Черного моря в районе современного Сухуми. Тогда в Сухумскую бухту после девятибалльного землетрясения погрузился античный город Диоскурия. Действительно, волны, вызываемые подводными землетрясениями, вулканическими извержениями или оползнями, случаются не только в океанах, но и в менее крупных водоемах — морях. Единственное отличие: морские цунами не такие большие, как океанические и число их жертв не исчисляется сотнями тысяч человек.

Землетрясения в земной коре под дном Черного моря происходят на глубинах 5–35 км. Их эпицентры обычно приурочены к границам раздела тектонических структур — прогибов, платформ, впадин, возникших здесь в период бурной тектонической и вулканической деятельности на заре формирования геологического лика Земли.

Специалисты по истории катастроф установили, что в Черном море за последние 2000 лет отмечено 26 сильных цунами, большая часть которых была связана с землетрясениями. Из них 22 установлены по данным археологов и историков, а 4 зафиксированы приборами. Так, в житии св. Климента сообщается о том, что в Крыму в 109 году н. э., во время землетрясения, море в Севастопольской бухте не раз отступало на 3–4 км! Такое возможно только при повышении его уровня на несколько метров. Эту информацию подтверждают и множество археологических данных I–II веков н. э., свидетельствующих о внезапном разрушении в Юго-Западном Крыму многих поселений.

Византиец Феофан свидетельствует о том, как в 544 году при очень силь-



ном землетрясении на побережье Болгарии «море вышло из своих пределов на три мили (6 км) во Фракии, уничтожило много сел и усадеб, погубило бесчисленно людей и затем ушло обратно».

Из фольклорных данных следует, что в XV веке у южных берегов Крыма также случилось землетрясение силой до 9 баллов, поскольку описанные разрушения побережья и смыв деревень могла совершить волна высотой не менее 3–4 метров. У берегов Юго-Западного Крыма в Азове в середине XVII века случилось землетрясение после которого, несмотря на мелководность моря — всего-то 11–13 метров, сообщалось о «разлитии Азовского моря и его временном соединении с Сивашом на западном побережье».

«Послышался сильный отдаленный гул, как бы от десятка пушечных выстрелов, за которым последовало волнообразное колебание почвы. Наконец, каменные дома, построенные на каменистой почве, дали трещины. Мебель,

посуда и другие предметы были сдвинуты с места. На море образовались такие большие волны, что подбросило пароход. Ощущалось пять толчков». Это сообщение, пришедшее с Кавказского побережья Черного моря (Анапа), датируется 4 октября 1905 года, когда случилось первое в новой истории черноморских катастроф шестибалльное землетрясение, породившее волну цунами. Второе сильное (6–7 баллов) землетрясение случилось там же в Анапе 21 октября 1905 года. После этого, с 1911 года, в восточной части Черного моря начались регулярные наблюдения за цунами. Ждать пришлось 60 лет: 12 июля 1966 года в Анапе зарегистрировали третье в восточной части Черного моря сильное (5,5 баллов) землетрясение — генератор цунами. Отметим, что высота волны в 1966 году не превышала 0,53 метра, поэтому фиксировалась она только по данным приборов (мареографов) и, естественно, никаких разрушений на побережье не вызвала.



В Среднем Каспии очаги землетрясений располагаются, как и в Черном море, на глубинах до 80 км при средней глубине 10–15 км. В Южно-Каспийской впадине, где много подводных грязевых вулканов, причиной цунами могут быть их извержения. Подводные оползни тоже могут вызывать цунами на Каспии. 9 мая 1933 года, например, на восточном побережье Каспия в 40 км к северо-западу от Красноводска без видимой причины уровень моря поднялся на 1,35 м – в море были смыты все плавсредства. Сведений о землетрясениях в это время нет

☀ — цунамигенные землетрясения

0–50 м 50–100 м 100–150 м более 500 м



Рефракционные карты волн для цунами после Ялтинского (1927) землетрясения. Числа на изолиниях — время распространения волновых фронтов в минутах

ми прибрежного горного хребта Динарид Балканского полуострова относительно дна Адриатического моря.

Сражение каменных гигантов

Толща морских вод хранит множество сюрпризов, однако не меньше их скрыто и под чашей океанов и морей. Дело в том, что нижняя граница земной коры залегает под континентами в среднем на глубине 35 км, иногда погружаясь в недра планеты до 50–60 км, а под океанами средняя толщина земной коры оказалась в пять с лишним раз меньше — 6,6 км. Самая «старая» океаническая земная кора имеет возраст всего 200 млн. лет, в то же время большая часть ее континентального аналога в пять раз старше, а многие породы, слагающие континенты, — в 10–15: им по 2–3 млрд. лет. Наконец, горы суши сложены из древнейшего материала на Земле: его возраст около 4,6 млрд. лет!

Несовпадение сроков образования океанической и материковой земной коры, а также их различная структура долгое время не давали покоя исследователям. Наконец в 1912 году на собрании Геологического общества во Франкфурте-на-Майне метеоролог Альфред Лотар Вегенер выдвинул гипотезу, по которой океаны представлялись огромными польнями, образовавшимися после расползания частей суши — осколков некогда единого материкового массива Пангеи. В дальнейшем направление исследования эволюции океанических бассейнов, заложенное А.Вегенером, стали называть «мобилизмом».

В основе этой гипотезы лежало визуальное сходство очертаний западного (американского) и восточного (европейского и африканского) берегов Атлантического океана, сходство их геологического строения, а также

Цунами Средиземного моря

Впрочем, самая большая статистика накоплена в Средиземном море (все-таки колыбель европейской цивилизации), а систематический сбор сведений о цунами начал еще император Константин. Фрагментарные данные за последующие почти 1800 лет свидетельствуют о том, что за это время случилось около 300 цунами и сходных с ними явлений. Первый случай имел место в Мраморном море и относится к 344 году. Как оказалось, чаще всего — раз в 10 лет цунами случаются в Эгейском море, на побережье Западной Греции, и в районе Сицилии в зоне Калабрийской островной дуги. На побережьях Северной и Восточной Греции, Малой Азии, Албании, Далмации, в Лигурийском море, в зоне Эллинской островной дуги и у Кипра цунами отмечались раз в 20–25 лет. Один раз в 50 лет аномальные подъемы уровня моря зафиксированы в Тирренском

море (Восточная и Западная Италия) и на побережье Африки. Реже всего — раз в 100 лет — цунами случалось в Мраморном море, на побережье стран Ближнего Востока и Испании.

Из всех 300 событий 79% цунами были вызваны землетрясениями, по 2% связаны с вулканическими извержениями и обвалами, а в 17% случаев природа цунами не была установлена. В 95% случаев эпицентры землетрясений греческих цунами (75 событий) располагались на глубинах 10–15 км под дном моря. В остальных случаях их глубина была 70 км. Сила порождающих цунами землетрясений в бассейне Средиземного моря обычно составляет 6,5 баллов.

Тектонические механизмы средиземноморских землетрясений у западного побережья Греции состоят в движении дна Ионического моря под материк. На северо-западе вдоль побережья Адриатического моря вертикальные движения плит литосферы сменяются горизонтальными сдвига-

Художник Н. Краштин



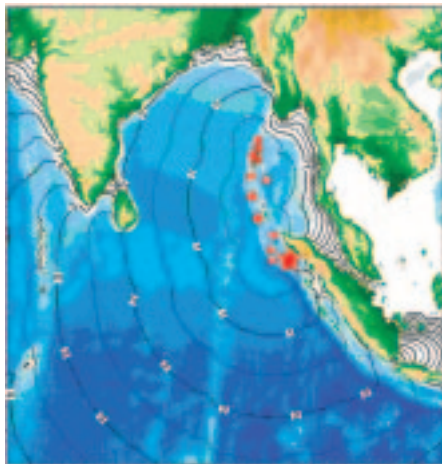
ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

общность развития домезозойской (более 280 млн. лет назад) фауны и флоры Америки и Старого Света.

Материковые глыбы, оставшиеся от Пангеи, по первоначальному мнению А.Вегенера, передвигались под действием сил вращения Земли и приливных сил. Но геофизические расчеты показали, что энергии для дрейфа будущих континентов явно не хватает. Поэтому была предложена новая гипотеза, согласно которой движение материков вызвано тепловой конвекцией (подъемом нагретого вещества) из недр Земли. В 1928 году английский геолог Артур Холмс предположил, что это происходит в зоне рифта — оси срединно-океанических хребтов. Цепь таких возвышенностей растянута по дну всех океанов планеты.

В 60–70-е годы XX века это предположение получило развитие в виде гипотезы «новой глобальной тектоники», согласно которой именно в рифтовых зонах постоянно образуется океаническая кора. По мере извержения из недр новых порций раскаленной магмы ранее поступивший материал перемещается в стороны от рифтовой зоны. Скорость такого расширения параллельно земной поверхности составляет от 2 до 16 см в год. Этого оказывается достаточно для создания дна, например, Тихого океана за 200, а Атлантического — за 80 млн. лет, что совпадает с предполагаемым возрастом этих океанов. Достигнув подводной окраины материков, в области глубоководных желобов, уже остывшая «старая» земная кора погружается под плиту континента и смешивается в недрах Земли с раскаленным веществом мантии. Таким образом, границами движущихся плит с одной стороны служат срединно-океанические хребты с активной вулканической деятельностью, а с другой — глубоководные желоба, совпадающие с поясами землетрясений (Япония, Курильские, Анtilьские и Марианские острова, ар-

26 декабря 2004 года эпицентр землетрясения в Индийском океане протянулся на 1000 км. Числа — время распространения фронта волны в часах



хипелаг Тонга, юг Индонезии, Карибское море и многие другие).

Сегодня из множества гипотез, объясняющих механизм формирования океанических бассейнов, гипотеза расширения дна океанов лучше других объясняет многие геологические явления на поверхности Земли. Впрочем, по мнению ее противников, она далека от совершенства.

Последний ужас океана

«Иной раз, когда стены и крыши уже падали в пыли и пламени, посреди крика и тишины, когда все казалось уже навсегда успокоенным в смерти, выходила из Моря, как последний ужас, Великая Волна, гигантская рука моря, которая, грозно надвигаясь, подымалась вверх, как башня мести, смывая жизнь во всю ширину своего пути». Так Пабло Неруда описывает в своем очерке «Скитаясь по Вальпараисо» одну из величайших катастроф XX века, произошедшую во время землетрясения 22 мая 1960 года в Чили.

Сведения о встречах человека с волнами-убийцами уходят корнями в глубокую древность. При археологических раскопках поселка Ра-Шамра в Сирии были обнаружены глиняные таблички XV века до н. э. (то есть времени взрыва вулкана Санторин в Восточном Средиземноморье) с клинописным рассказом о том, как «неожиданной волной невиданной высоты» была уничтожена столица государства Угарит. В Центральной и Южной Японии сохранились записи о цунами с VII века, в Центральной и Южной Америке и на Филиппинах — со времени завоевания этих территорий испанцами (XVI век), в Индонезии — после прихода сюда голландцев (XVII век). Из других районов океана (побережье США, Гавайские острова, Новая Гвинея, Новая Зеландия, Канада) сведения о цунами стали поступать с середины XIX века.

После открытия, исследования и присоединения к России Камчатки, Курильских и Алеутских островов стали известны факты и последствия цунами и в этих краях. Вот как описал через восемь дней после катастрофы (14 октября 1737 года) волну, обрушившуюся на побережье Камчатки и северную часть Курильских островов, их первый исследователь С.П.Крашенинников: «Через пришедших с Курил... людей известился я, что великое трясение земли было... а потом как перестало трясение, то воды вдруг с моря с великим

шумом сажени на три прибыло, которая тотчас в море ушла. Спустя с четверть часа в третий раз воды моря с превеликим шумом сажени на десять выше прежних мест прибыло, которую многие иноземческие жилища унесло».

Свидетелем сильнейшего алеутского землетрясения в июле 1788 года оказался доверенный человек купца Андреяна Толстого — одного из первооткрывателей Алеутских островов и основателя Российско-Американской



компании. Вот выдержка из его сообщения начальству: «Было землетрясение великое, и думали, скоро ли земля провалится. Нельзя было на ногах устоять. И не успели после трясения в чувство прийти, как с моря сделалось наводнение... всяк человек искал место, чтобы спасти свою жизнь. Снесло барабору с оставшимся товаром и прочее мелкое строение с палисадом. На огороде Вашем землю с овощами всю снесло, а на то место нанесло дресвы и землю ямами вырыло. Возвышение воды было почти до половины Вашей горницы окошек. С великою быстринной только вода недолго была: большой волн было две, а прочие поменее...»

Наконец, очевидец цунами 1952 года, разрушившего город Северо-Курильск на острове Парамушир, сообщал: «Через 40 мин после прекращения землетрясения послышался грохот со стороны океана и на город обрушился водяной вал, двигавшийся с большой скоростью... Через 15–20 мин на город (Северо-Курильск) снова надвинулась водяная стена, достигавшая 10-метровой высоты. Она практически смыла все на своем пути, оставляя от строения в лучшем случае бетонные фундаменты. Из земли были вывернуты и разбросаны по сторонам старые доты, в порту опрокинут экскаватор, а находившиеся там катера заброшены на сотни метров на берег. Отразившись от окружающих город сопков, волна стала скатываться в низину, где ранее на-

ходился центр города. Здесь образовался огромный водоворот, в котором с большой скоростью вращались всевозможные обломки строений и мелкие суда. Через несколько минут после этой, наиболее сильной волны на опустошенное побережье нахлынула сравнительно слабая третья волна...»

Последствия большой волны 2004 года на побережье Андаманских островов



Генераторы цунами

Очаги сильных подводных землетрясений располагаются в так называемых районах субдукции — на участках дна Мирового океана, где, согласно теории тектоники плит, одна литосферная плита движется под другую. Такие зоны охватывают кольцом Тихий океан, проходя по Алеуто-Аляскинской, Курило-Камчатской, Японской и другим островным дугам. Далее пояс распространяется на западные и юго-западные границы океана, тянется вдоль побережий Южной и Центральной Америки. Тихоокеанское кольцо очагов сильных землетрясений (они же источники цунами) ответвляется в Индийский океан вдоль побережья Индонезии и в Атлантический — у островов Карибского моря.

Из каждых 100 сильных землетрясений, случающихся, например, в Тихом океане, только одно порождает цунами. Период великих волн составляет от 2 до 40 минут, а на средней для океана глубине 4 км их скорость может достигать 700 км/час! Заметить или почувствовать цунами в открытом море практически невозможно, поскольку здесь их высота составляет около одного метра, а длина — от нескольких десятков до сотен километров. Так, при катастрофическом цунами 3 марта 1933 года, обрушившемся на побережье Санрику (Япония), длина волны (то есть расстояние между ее гребнями) составляла около 20 км, а при землетрясении в Чили в 1960 году возникли

волны длиной 300–400 км. Кроме того, с удалением от центра зарождения периоды волн возрастают. При алеутском землетрясении 1 апреля 1946 года, например, у первых волн, поразивших канадский город Викторию, период был 9 минут, а когда эти волны достигли чилийского Вальпараисо, расположенного на расстоянии около 9000 км от Канады, он увеличился до 18 минут.

Над подводными хребтами и по мере приближения к берегу высота волн цунами возрастает. Особенно интенсивно она увеличивается при их вхождении в суживающиеся бухты треугольной или воронкообразной формы. В результате на побережье могут обрушиваться горы воды высотой 10–15 метров с отдельными заплесками до 30–50 м. Последствия таких сюрпризов ужасны.

Из 400 вулканов, действующих на нашей планете, 330 расположены в бассейне Тихого океана. Неудивительно, что 80% сильнейших землетрясений в мире происходят именно в этой зоне. За последнее тысячелетие Тихоокеанское побережье цунами поражали около 1000 раз. До недавнего времени считалось, что акваториям Атлантического и Индийского океанов везло больше — волны-убийцы здесь возникали всего несколько десятков раз. Но 26 декабря 2004 года эта статистика была нарушена.

В 3 часа 58 минут по московскому времени в результате столкновения Индийской, Бирманской и Австралийской литосферных плит произошло самое крупное в истории Индийского океана подводное землетрясение. Его сила составила 9 баллов по шкале Рихтера, мощность — $2 \cdot 10^{25}$ эрг, что соответствует десятой водородных бомб по 10 Мт каждая и на четыре порядка превышает мощность трагически знаменитого спитакского землетрясения в Армении 7 декабря 1988 года. Скорость Индийской плиты, двигающейся в северо-восточном направлении и погружающейся под Бирманскую, составляет 6,5 см/год. Напряжения в зоне взаимодействия плит, по мнению ученых, накапливались уже сотни лет. В день землетрясения наблюдался максимальный прилив и (в полном соответствии с наблюдением ученых из НИИ ядерной физики МГУ им.М.В.Ломоносова, см. «Химию и жизнь», 2001, №2. — Примеч. ред.) было полнолуние.

Очаг катастрофы располагался на глубине около 20 км под дном океана и протянулся вдоль побережья Суматры на 1000 км! Столь огромный очаг возник из-



ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

за крайне редкого стечения обстоятельств. Обычно нависающая плита — островная дуга или окраина континента — состоит из блоков протяженностью до 100 км; их границы — поперечные к берегу разломы. При типичном подводном землетрясении с поверхности контакта плит срывается только один блок. Но иногда, например при косом надвиге плит, отдельный блок задевает соседние блоки и по принципу домино развивается каскад аналогичных срывов вдоль кромки нависающей плиты. Именно по этой причине процесс вспарывания поверхности между литосферными плитами 26 декабря 2004 года длился 8 (!) минут в отличие от обычной минуты.

Вертикальный сдвиг пластов земной коры в эпицентре землетрясения на протяжении более 1000 км составил 8–10 м. После окончания подвижки на всем пространстве очага сейсмические станции России зафиксировали 40 афтершоков (более мелких землетрясений силой до 4 баллов). Аналогичные службы США насчитали их 85, а служба слежения за ядерными испытаниями, расположенная в Вене, — 678 (!).

В результате землетрясения в океане образовалось гигантское цунами. Его высота в открытом океане составила 0,8 м, в прибрежной зоне 15 м, а в зоне заплеска — 30 м. Скорость волны в открытом океане достигла 720 км/ч, снизившись по мере торможения в прибрежной зоне до 36 км/час. Через 15 минут после первого толчка волна достигла и смела северную оконечность Суматры. Через полтора часа она обрушилась на побережье Таиланда, через два часа достигла Шри-Ланки и Индии, за восемь часов прошла Индийский океан, а за сутки — впервые в истории наблюдения волн цунами! — обогнула весь Мировой океан. Даже на тихоокеанском побережье Мексики ее высота составила 2,5 м. Рождественская волна 2004 года унесла жизни около 300 тыс. человек.

Что читать о цунами

Доценко С.Ф., «Известия РАН., Физика атмосферы и океана», 1994, т.30, № 4, с.513–519

Соловьев С.Л., «Природа», 1981, № 5, с.54–67

Соловьева О.Н., Доценко С.Ф., Кузин И.П., Левин Б.В., «Океанология», 2004, т.44, № 5, с.679–685

Рисунки взяты из этих источников