

С.В. Мишин

(Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н.А.Шило ДВО РАН; e-mail: mishin@neisri.ru)

О ЦУНАМИ

Анализируются процессы формирования водных потоков в результате сильных землетрясений. Выявляются связи наблюдаемых явлений с распространением механического импульса в жидкой среде.

Ключевые слова: землетрясение, механический импульс, поверхностные волны, удар, потоки воды.

S.V. Mishin

ON THE TSUNAMI

The processes of water flows' formation in consequence of large earthquakes are considered. The connections of observed phenomena with propagation of momentum in liquid are identified.

Key words: earthquake, momentum, surface waves, blow, water flows.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 июня 2016 г.

Цунами – широко известный опасный эффект сильных подводных землетрясений [7]. Вот как описывается цунами, сопровождавшее Чилийское землетрясение 1960 г., в "Википедии":

"Вскоре после главного толчка начался отлив, сменившийся перемещающимся со скоростью около 800 км/ч цунами. Оно обрушилось на прибрежную линию Чили с высотой волны около десяти метров и сровняло с землей рыбацкие деревушки Аноуд, Лебу и Квелин. Ряд мелких прибрежных городков и поселений в Чили были полностью уничтожены. Были смыты все строения и дорожные покрытия в Пуэрто-Сааведра и Пуэрто-Монта, а часть домов была отброшена вглубь материка на три километра. Отхлынув, волна двинулась в противоположном направлении и с почти той же разрушительной силой ударила в берег Японии. Здесь от цунами погибли 150 человек. Было разрушено шесть тысяч и затоплено сорок тысяч зданий. Спустя 15 часов после землетрясения цунами достигло гавани Хило, пройдя путь в десять тысяч километров со скоростью около 700 км/ч. Затем волны цунами обрушилось на Калифорнию, удаленную от Чили на 17 тыс. км". На рис. 1 приведена схема распространения энергии этого цунами, приведенная в [1].

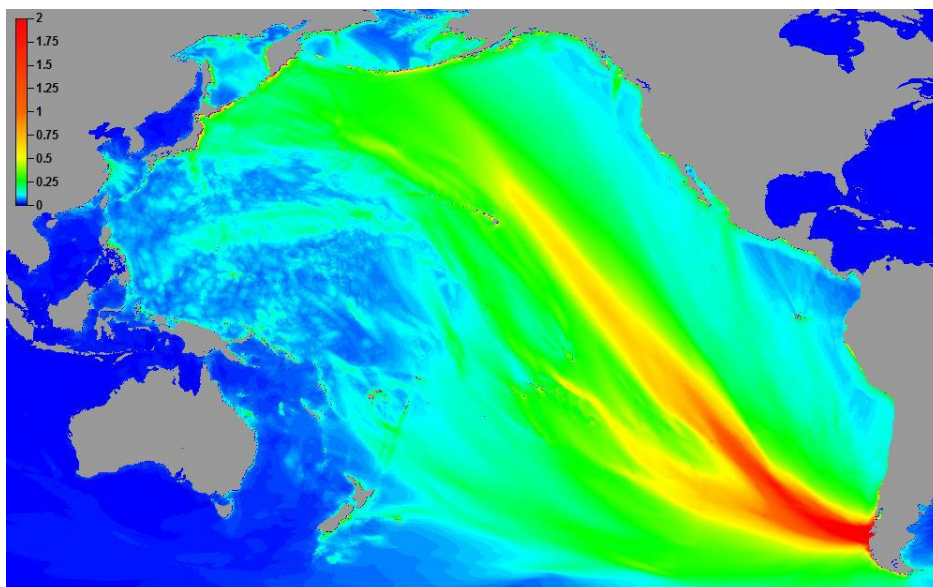


Рис. 1. Распространение энергии Чилийского цунами 1960 г. в Тихом океане.

Отвлекаясь от способов оценки энергии, использованных авторами, отметим, что это может быть только кинетическая энергия движения водных масс. Наиболее таинственное свойство цунами – скорость распространения волн от источника – волны перемещаются в океане со скоростью самолета. "Википедия" сообщает:

"При средней глубине 4 км скорость распространения получается 200 м/с или 720 км/ч. В открытом океане высота волны редко превышает один метр, а длина волны достигает сотен километров и поэтому волна не опасна для судоходства. При выходе волн на мелководье, вблизи береговой черты их скорость и длина уменьшаются, а высота увеличивается. У берега высота цунами может достигать нескольких десятков метров. Наиболее высокие волны, до 30-40 м, образуются у крутых берегов, в клинообразных бухтах и во всех местах, где может произойти фокусировка. Районы побережья с закрытыми бухтами являются менее опасными".

Очевидно, что вода из эпицентра не могла перемещаться с такой скоростью, то есть на берег обрушивается вода из областей, недалеких от берега. С точки зрения ортодоксальной сейсмологии, совершенно не ясно, какие причины вызывают перемещение водных масс в прибрежных зонах. Этот эффект довольно просто объясняется с точки зрения ударной модели землетрясения, разрабатываемой автором настоящей статьи. Сейсмическое излучение представляет собой распространение механического импульса из источника в сплошной среде по законам удара [3, 4]. Механический импульс жёстко

связан с кинетической энергией масс. Для жидкой среды импульс представлен количеством движения $M \cdot V$ – произведением значений движущейся массы M на скорость движения V . То есть землетрясение формирует водный поток на поверхности океана. Причем движутся массы именно по поверхности, так как на глубине частицы отдают приобретённый импульс соседним частицам, не успевая сместиться. На поверхности океана частицы приобретают скорость и текут со скоростями, значительно меньшими скорости звука, с которой распространяется импульс.

Различают **два типа цунами: первый** – движение воды вблизи эпицентра, второй – вдали от очага землетрясения. В первом случае – наглядный пример в бухте Литуя в 1958 г., где заплеск следовал непосредственно за ударом падающей массы льда и грунта – вода приобрела количество движения и хлынула на берег. Вблизи очага сильного землетрясения вода сначала уходит от берега, создавая мощный вал, а затем возвращается, заливая прибрежные ландшафты. Подобные эффекты можно наблюдать, бросая в воду тяжелые предметы.

Второй тип цунами – волна в районах, удалённых от очага, имеет совершенно другую природу. Именно такие процессы создают впечатление о распространении волн со скоростью самолета. В этих случаях цунами формируются за счёт потоков, возникающих в жидкой среде. Сейсмограмм, характеризующих движение воды в океане, у сейсмологов нет, однако принцип формирования потоков можно понять, рассматривая сейсмограммы сильных землетрясений, полученные на твердой Земле.

Сейсмограмма сильного землетрясения

На рис. 2 приведена сейсмограмма землетрясения, зарегистрированного 1 июня 2016 г. станцией "Магадан" (МА2). Очаг землетрясения располагался в районе Южной Суматры (Индонезия) на глубине 60 км. Магнитуда землетрясения – 6,2. Эпицентральное расстояние $72,8^\circ$ – около 8100 км. На рисунке верхняя линия – смещения грунта север-юг; средняя линия – смещения восток-запад; нижняя линия – вертикальные смещения вверх-вниз. На сейсмограмме четко выделяются группы волн разной природы. Сначала регистрируются продольные волны P , с некоторым запозданием – поперечные волны S , ещё позже вступает цуг поверхностных волн Q и R . В соответствии с концепцией [3], волны P интерпретируются как приход поступательного импульса – количества движения, волны S – как вращательный импульс – момент количества движения. Что же представляют собой поверхностные волны R и Q ?

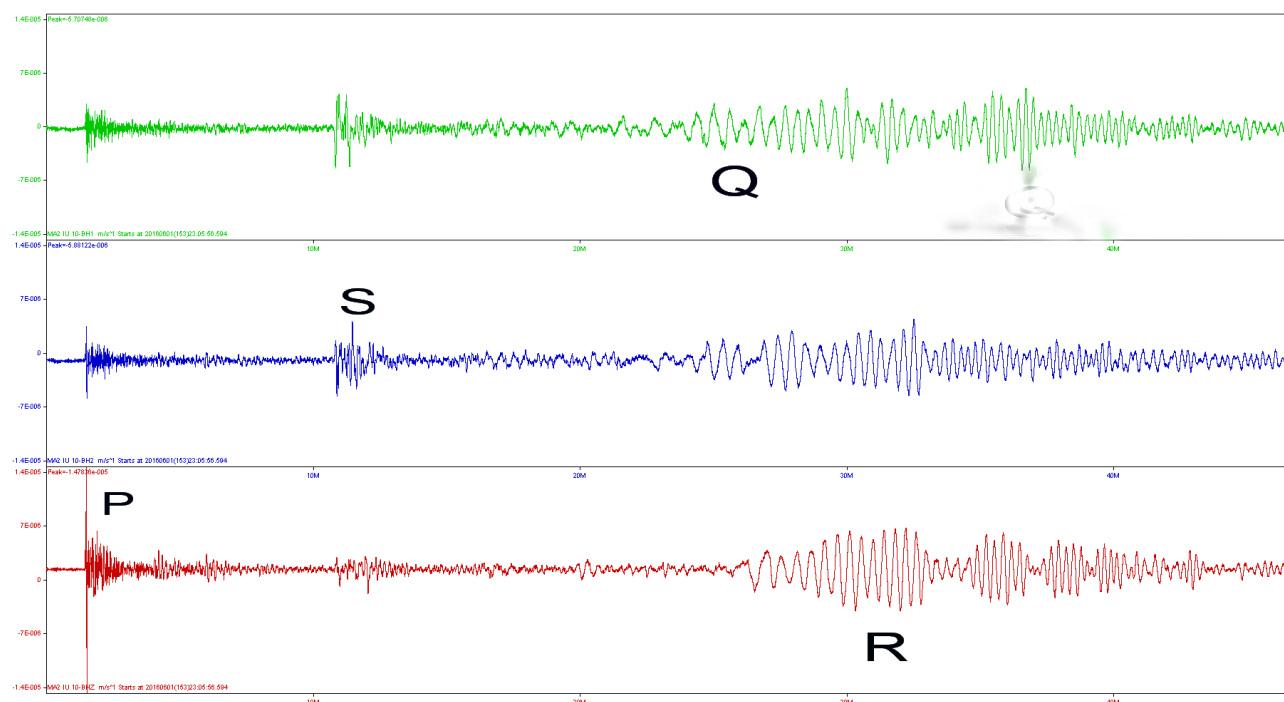


Рис. 2. Сейсмограмма сильного землетрясения (время слева направо)

В современной литературе поверхностные волны интерпретируются как результат интерференции распространяющихся объёмных волн *P* и *S* [2]. Автор настоящей статьи рассматривает процесс иначе. При распространении продольной волны *P* вертикальная составляющая количества движения приводит к перемещению элементов "грунта" вверх и вниз, причем смещения частиц оказываются тем больше, чем ближе к дневной поверхности она находится – при тех же силах приходится поднимать больший вес. Перемещения массивных элементов происходят значительно медленнее, чем распространение импульса, поэтому горбы и впадины на поверхности отстают от возбуждающих сигналов, складываются с очередными порциями количества движения и формируют поверхностные эффекты. Е.Ф. Саваренский писал: "Известный физик Рэлей обнаружил в конце прошлого века особый тип колебаний поверхности полупространства – волны Рэля, которые в некоторой степени подобны волнам на поверхности жидкости" [5, с. 249]. Рэлей показал, что движения твердых частиц в рэлеевской волне подобны движениям частиц воды при волнении моря. Возвращаясь к проблеме цунами, можно уверенно утверждать, что потоки воды на поверхности океана при распространении сейсмических волн вызываются теми же причинами, что и поверхностные волны в твердой среде. Приближаясь к берегу, потоки воды, возбужденные поверхностными волнами, создают эффекты, характерные для цунами второго типа. Важнейшее отличие

поверхностных волн R от процессов цунами второго типа в том, что в твёрдой среде потоков не возникает – по окончании возбуждения твёрдые частицы возвращаются на привычные места. В случае жидкой среды приповерхностные частицы воды, получившие импульс, продолжают движение в виде потоков. Поперечные волны в жидкости не распространяются, поэтому волны Лява не имеют отношения к проблеме цунами. В твердой среде волны Лява Q формируются в поверхностных зонах подобно рэлеевским R за счёт горизонтальных составляющих пакета сейсмического излучения.

Заключение

Сложные и разнообразные процессы, объединяемые названием "цунами" и приводящие к сходным последствиям, можно разделить на две (а, может быть и на три) группы по генезису процессов. Во всех случаях частицы воды приобретают количество движения и формируют потоки. Причины цунами первого типа (бухта Литуя) очевидны – это результат удара при падении массивного тела. В процессе удара количество движения тела передаётся тормозящей удар воде, отчего формируются потоки. Подобные явления наблюдаются в водной среде вблизи очага сильного землетрясения. Цунами, происходящие в зонах, удаленных от очага сильного землетрясения, формируются потоками воды, аналогичными рэлеевским волнам землетрясений. Приповерхностные воды приобретают количество движения при распространении сейсмических волн в жидкой среде.

Литература

1. *Бейзель С.А. и др.* Предварительный анализ цунамиопасности побережья Охотского моря по материалам исторических исследований и численного моделирования. Новосибирск. 24 с.
2. *Инструкция* о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР. М.: Наука, 1981. 272 с.
3. *Мишин С.В.* О физике сейсмического излучения // Успехи современного естествознания. 2013. № 1. С. 83-87. <http://search.rae.ru>.
4. *Мишин С.В.* О физике сейсмических процессов. Эксперименты и модели. Lambert Academic Publishing. 2013. 196 с.
5. *Саваренский Е.Ф.* Сейсмические волны. М.: Недра, 1972. 360 с.
6. *Цунами* // Википедия. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Цунами>.
7. *Щетников Н.А.* Цунами. М.: Наука, 1981. 88 с.