

ВОЛНО-ВИХРЕВАЯ РЕАКЦИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ОКЕАНА
НА ПОДВОДНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

С. Ф. Доценко

Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь, Украина

Анализ влияния вращения Земли на генерацию цунами подводными землетрясениями представляет особый интерес, поскольку более 90% исторических цунами на западном побережье Тихого океана вызвано подобными сейсмическими событиями [1]. В работе [2] показана принципиальная возможность возбуждения геострофических вихрей в океане цунамигенными источниками различных типов. Представляет интерес исследование искажающего влияния вращения Земли на волны цунами и изучение связи интенсивности генерируемых вихрей с магнитудой землетрясения.

В рамках поршневой модели генерации цунами рассмотрим волно-вихревой отклик баротропного вращающегося океана постоянной глубины на подводные землетрясения.

Предположим, что безграничный по горизонтальным координатам x, y однородный океан постоянной глубины H вращается с угловой скоростью $l/2$ (l – параметр Кориолиса) относительно вертикальной оси Oz . В моменты времени $t < 0$ океан невозмущен. При $0 \leq t \leq T$ дно бассейна деформируется по закону $z = -H + h(x, y, t)$, совершая малые и локализованные в пространстве вертикальные смещения. После прекращения сейсмического события ($t > T$) возникают остаточные деформации дна $h = h_0(x, y)$.

В рамках линейной теории длинных волн движение океана описывается задачей

$$u_t - lv = -g\zeta_x, \quad v_t + lu = -g\zeta_y, \quad \zeta_t + H(u_x + v_y) = h_t, \quad (1)$$

$$u = v = \zeta = 0 \quad (t=0), \quad (2)$$

где $\{u, v\}(x, y, t)$ – проекции горизонтальной скорости на оси Ox и Oy ; $\zeta(x, y, t)$ – вертикальные смещения свободной поверхности относительно равновесного $z=0$.

Выражение для формы свободной поверхности океана ζ находится из задачи (1),(2) с помощью преобразования Лапласа по t и двумерного преобразования Фурье по x, y . Гидродинамические поля в моменты времени $t > T$ записываются в виде

$$\zeta = \zeta^g(x, y) + \zeta^w(x, y, t), \quad u = u^g(x, y) + u^w(x, y, t), \quad v = v^g(x, y) + v^w(x, y, t), \quad (3)$$

где верхними индексами w и g отмечены поля, соответствующие волнам и стационарному геострофическому движению соответственно. Все поля описываются двойными интегралами. Поля в вихре определяются распределением $h_0(x, y)$ и связаны геострофическими соотношениями

$$u^g = -\Gamma^{-1} \zeta_y^g, \quad v^g = \Gamma^{-1} \zeta_x^g.$$

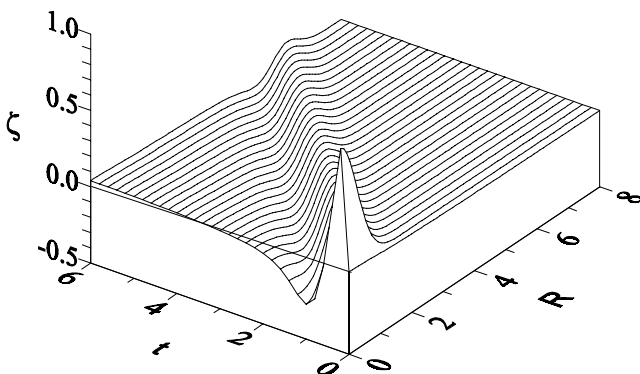


Рис. 1. Процесс излучения длинной поверхностной волны из зоны мгновенного осесимметричного поднятия участка дна океана ($T=0$). Отклонения свободной поверхности ζ и радиальная координата R нормированы соответственно на максимальное вертикальное смещение и радиус зоны деформаций дна бассейна. В окрестности точки $R=0$ со временем формируется стационарное поднятие поверхности океана $\zeta^g(x, y)$.

Анализ волно-вихревой реакции океана на подводные землетрясения проводился численно, путем расчета интегралов для модельной подвижки дна конечной длительности T . В соответствии с (3), отклик вращающегося океана на сейсмическое событие проявляется в форме двух движений: поверхностных гравитационных волн (цунами), распространяющихся из района подводного землетрясения, и стационарного геострофического вихря в эпицентральной зоне землетрясения (рис. 1). Необходимое условие возникновения последнего – существование остаточных деформаций дна после подводного толчка [2]. Временной закон движений дна может сказываться на форме волн цунами, но является несущественным для геострофического вихря. Влияние вращения Земли на длинные волны наиболее значительно для протяженных очагов цунами и(или) на мелководье. Естественно, что в этих случаях вихрь, возникающий в океане над зоной деформаций дна, обладает наибольшей интенсивностью.

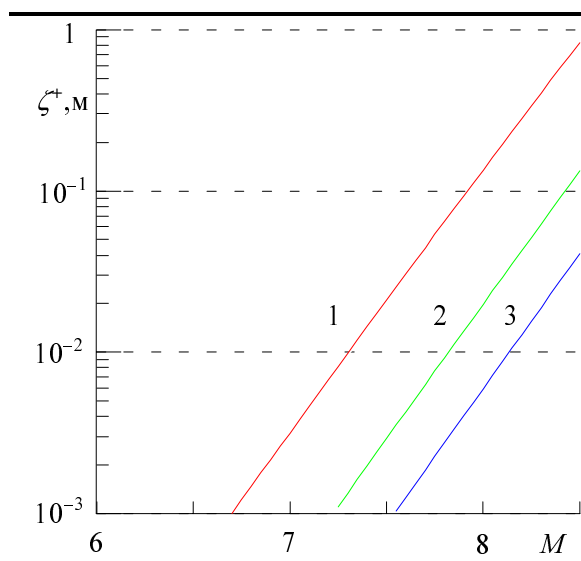


Рис. 2. Зависимости максимального смещения поверхности океана в геострофическом вихре $\zeta^+ = \max|\zeta^g(x,y)|$ от магнитуды подводного землетрясения M по Рихтеру для глубин бассейна $H=100, 1000$ и 4000 м (кривые 1–3 соответственно).

Выполнен анализ зависимости параметров вихря (смещений уровня и скорости течения) от магнитуды (по Рихтеру) M подводного землетрясения. Используются эмпирические зависимости от M горизонтальной протяженности очага цунами и вертикального смещения дна океана в диапазоне $6,7 \leq M \leq 8,5$ [3]. Установлено, что генерация вихрей подводными землетрясениями в глубоководных районах океана малоэффективна (рис. 2). При сильных землетрясениях в мелководных районах океана, например, в шельфовой зоне, могут возбуждаться крупномасштабные геострофические вихри со смещениями уровня океана до 1 м и скоростями горизонтального течения до $0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Не исключена возможность генерации более интенсивных вихрей при передаче океану горизонтального импульса [4], связанного, например, с горизонтальными сдвигами подводных склонов. Подобные вихревые образования можно рассматривать в качестве "маркеров" очагов цунами и эпицентров сильных подводных землетрясений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев С. Л., Го Ч. Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океан. М.: Наука, 1974. 308 с.
2. Доценко С. Ф., Шокин Ю. И. Условия генерации вихревого поля в очагах цунами // Вычислительные технологии. 1997. Т. 2. № 2. С. 48-54.
3. Пелиновский Е. Н. Нелинейная динамика волн цунами. Горький: ИПФ АН СССР, 1982. 226 с.
4. Бобрович А. В. Генерация волн и вихрей в океане подводными землетрясениями // Исследования цунами. М.: 1990. № 4. С. 33-41.