

НАКАТ ЦУНАМИ НА БЕРЕГ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ПОБЕРЕЖЬЯ

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г.
Новосибирск.

Ан.Г.Марчук

Основным разрушающим фактором при атаке волной цунами побережья является высокоскоростной водный поток, сила которого зависит от толщины водного слоя и его скорости, что в свою очередь определяется параметрами приближающейся к берегу волны. Эти параметры могут быть оценены с помощью методов математического моделирования процессов распространения и наката волн цунами на берег. Отличительной особенностью волн цунами по сравнению с ветровыми является их значительно большая длина (период), который может достигать нескольких десятков минут. При этом волной цунами в движение вовлекается вся толща воды от поверхности до самого дна. К тому же при выходе этих волн на мелководье происходит значительный рост амплитуды. Этим объясняется способность цунами проникать далеко вглубь берега, затапливая значительные пространства и производя на них разрушения.

Если береговая линия имеет достаточно прямолинейные очертания, то ввиду рефракции волн над склоном дна направление атаки цунами на берег будет близко к ортогональному к береговой линии. Поэтому в некотором приближении процесс наката волны цунами на такой берег можно описывать одномерной моделью мелкой воды [1]:

$$\begin{aligned} u_t + uu_x + g\eta_x &= 0, \\ \eta_t + (u(\eta + H))_x &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Для этой системы дифференциальных уравнений поставим следующую задачу. Предположим, что в начальный момент времени ($t = 0$) жидкость находилась в состоянии покоя:

$$u(x,0) = \eta(x,0) = 0. \quad (2)$$

Исходная волна цунами генерируется принудительным движением воды и перемещением свободной поверхности на левой границе расчетной области

$$\eta(t) = 1 + \sin(b \cdot t - \pi/2), \quad u(t) = \eta(t) \cdot \sqrt{g/H}, \quad t \in (0, 2\pi/b). \quad (3)$$

После того, как волна сформируется полностью (это произойдет, когда значение t станет равным $2\pi/b$), принудительное движение жидкости у левой границы прекращается, и в дальнейшем там ставятся граничные условия свободного выхода волны из расчетной

области. Для расчета распространения волны цунами от левой границы расчетной области до точки уреза (крайний правый расчетный узел) использовалась явная разностная схема с центральными разностями. С момента прихода волны к точке уреза применяется специальный алгоритм для определения положения (подвижной в процессе затопления берега) точки уреза в каждый последующий момент времени. Суть этого метода в двух словах можно сформулировать следующим образом: на каждом временном шаге насчитывается объем воды перенесенный через правую границу в направлении берега и каждое последующее местоположение точки уреза вычисляется с учетом законов сохранения. Подробное описание алгоритма можно найти в [2].

Данным методом проведена, в частности, серия экспериментов, где профиль берега выше точки уреза определялся следующим образом:

$$H(r) = -r \cdot \operatorname{tg}(\alpha) + C \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot r}{r_0}\right), \quad 0 \leq r \leq r_0 .$$

Здесь расстояние r отсчитывается вправо от исходной точки уреза, а r_0 - протяженность участка берега с изменяющимся наклоном (в этой серии расчетов она составляла 250 метров при длине расчётного шага 10 м). Параметр длины исходной волны (формула 3) $b=0.2$. Высота волны при генерации $h=2$ метра. Волна генерировалась на удалении 4 километра от берега. Профиль дна был следующим: от точки уреза до удаления 1 км дно имеет постоянный наклон равный $\operatorname{tg}(\alpha) = 0.1$, а дальше глубина постоянна и равна 100 м.

Таблица 1.

Параметр С	0	1	2	3	4	5
Заплеск	19.47	19.63	19.72	19.96	20.15	19.93

Профиль берега соответствующий положительному значению параметра $C=4$, изображен на рисунке 1.

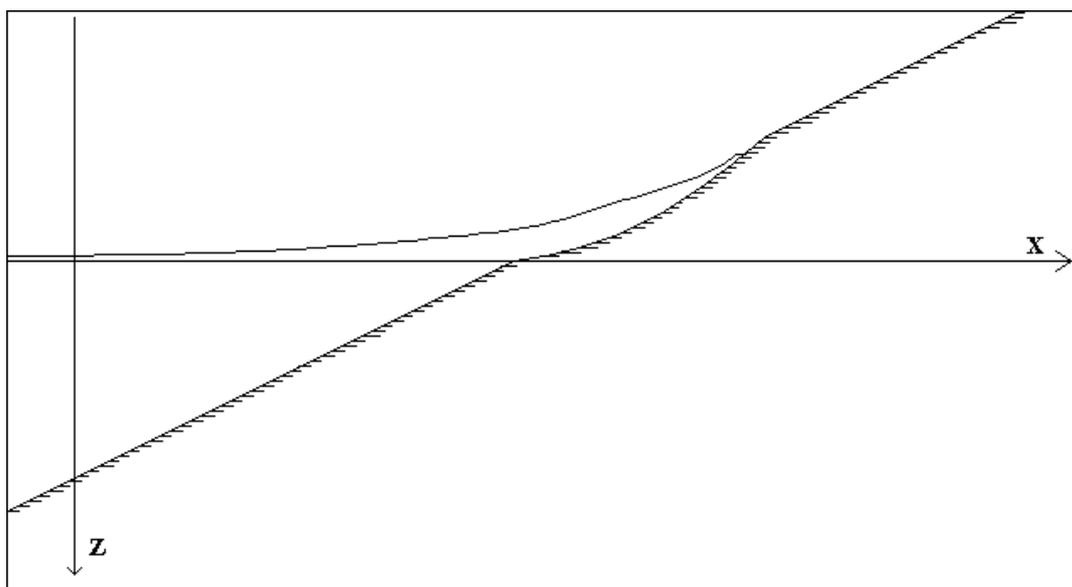


Рис. 1.

Таким образом, выявлен такой рельеф, при котором величина заплеска является максимальной при одинаковой исходной волне. Соответственно можно найти профили берега, которые максимально препятствуют затоплению сухого берега волной цунами.

В странах, часто подверженных атакам цунами принимаются меры технического характера по защите объектов от разрушительного воздействия волн. Универсальным средством, которое используется для предотвращения размывания берега являются массивные бетонные «ежи», которые способны значительно ослабить водный поток при небольших и средних цунами (с высотой волн порядка 1-2 метра). Однако при сильных цунами они не только не спасают, а напротив, подхваченные сильным потоком, могут сами явиться орудием разрушения. На рисунке 2 изображены эти бетонные конструкции после цунами 1983 года у побережья Японской префектуры Акита.



Рис. 2. Участок побережья префектуры Акита после атаки цунами 26.05.1983 г.

Одним из технических средств защиты населения и построек от волн цунами являются разного рода защитные стены, отделяющие территории портов от основной территории посёлков и городов. Высота этих стен достигает 5-ти и более метров. На рисунке 3 изображена защитная стена в городе Сидзуока на восточном побережье Японии. При этом имеются мощные ворота, которые закрываются в случае угрозы цунами.



Рис. 3. Ворота при въезде в портовую зону города Сидзуока (Япония).

Аналогичные стены, служащие в основном для защиты от штормовых волн, сооружаются в море, формируя собой искусственные гавани. Эти сооружения в принципе способны защитить портовые сооружения от цунами средней силы, но при сильном цунами они могут лишь немного ослабить скорость водного потока. Во время того же цунами 1983-го года волны происходил перелив воды через шестиметровые стены в порту г. Носиро (рис. 4), при этом несколько блоков весом в 5000 тонн было опрокинуто.



Рис. 4. Перелив волны цунами через шестиметровую стену в порту г. Носиро (Япония).

Особое внимание в Японии обращается на устья рек, впадающих в океан. Они оборудуются специальными воротами, закрывающимися в случае цунами (рис. 5). Это связано с тем, что волна цунами способна проходить вдоль рек значительные расстояния (несколько километров) вверх по течению, производя разрушения по берегам.

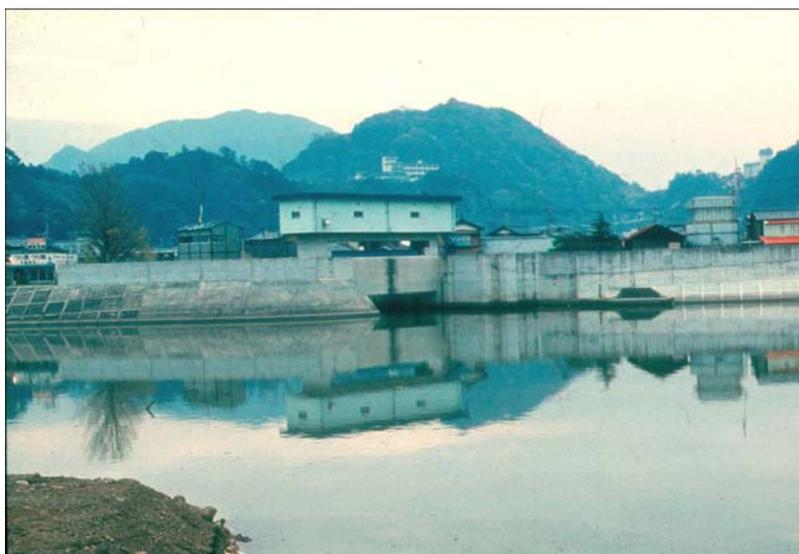


Рис. 5. Речные ворота, препятствующие входу цунами в устья рек.

Литература

1. Стокер Дж. Дж. Волны на воде. М.: ИЛ, 1959. 617 с.
2. Marchuk An.G., Anisimov A.A. The flow parameters estimation above dry land in the tsunami run-up modeling // Recent Advances in Marine Science and Technology' 2002, USA, Honolulu, PACON International, 2003, p. 279-288.