

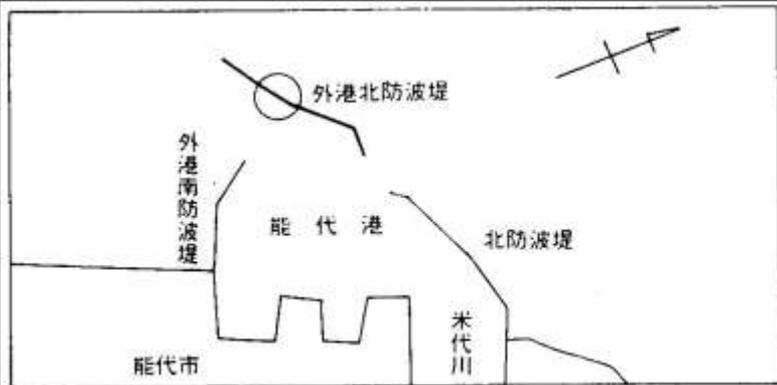
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВОЛНЫ ЦУНАМИ НАД ПОДВОДНЫМ БАРЬЕРОМ

NUMERICAL MODELING OF TSUNAMI WAVE PASSING THE SUBMARINE BARRIER

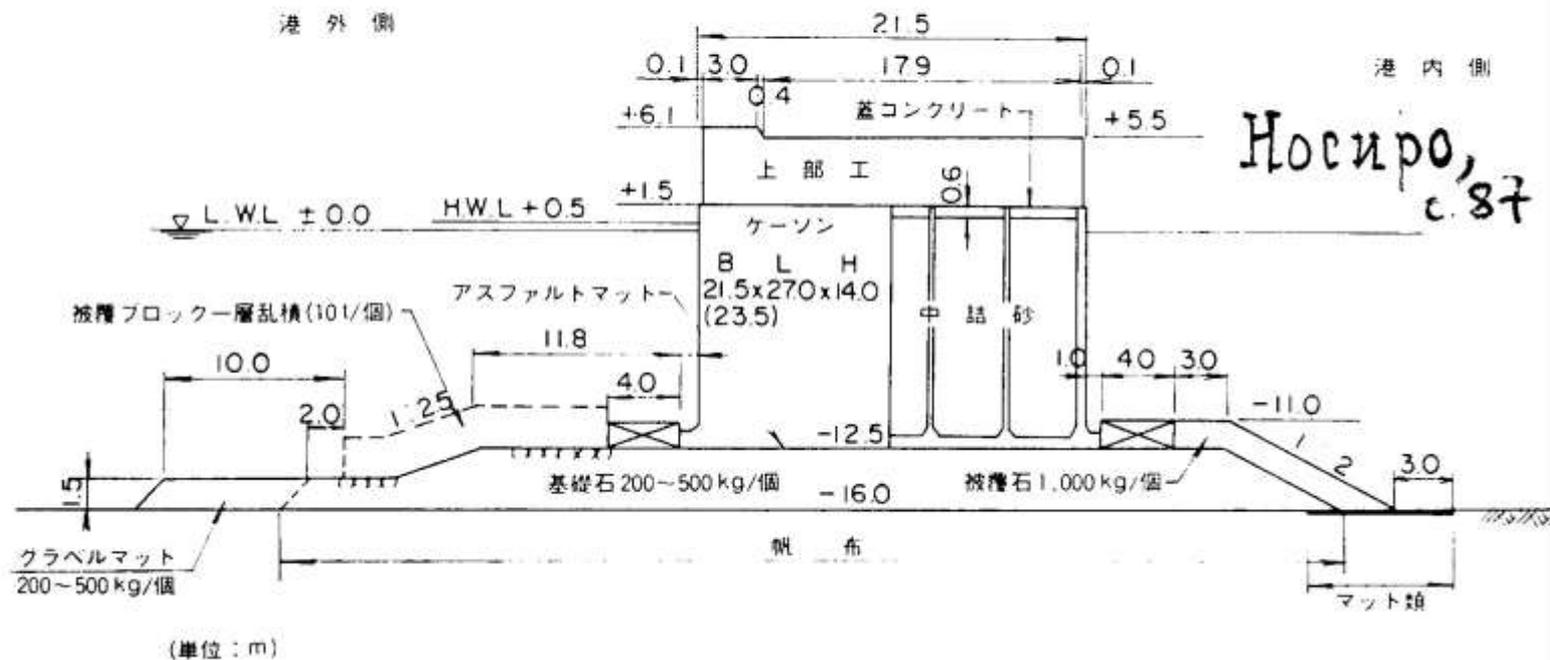
Марчук Ан.Г

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

mag@omzg.sccc.ru



位置図



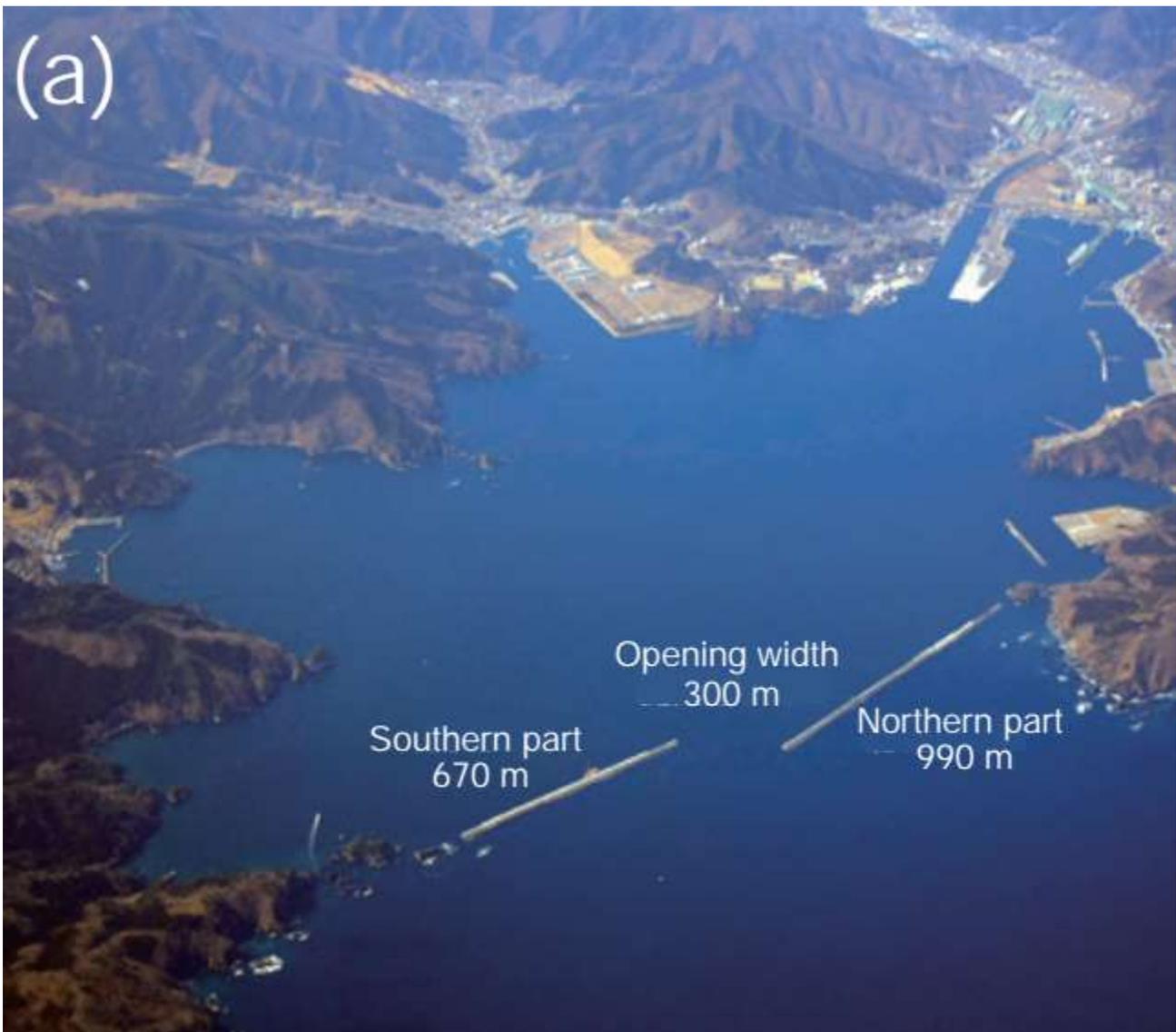
Профиль защитной стены в порту г Носиро (Япония)



Перелив волны через защитную стену в порту Носиро во время цунами 1983 г.



Опрокинутая защитная стена в порту Носиро в результате цунами 1983 г.



Волнолом цунами в г. Камаиши, преф Ивате, Япония



Повреждения северной части волнолома в г. Камаиши от цунами 11.03.2011



Экспериментальные каналы в ТельАвивском университете для исследования защитных свойств затопленных барьеров

Фридман А.М., Альперович Л.С., Шемер Л., Пустильник Л., Штивельман Д., Марчук Ан.Г., Либерзон Д. О подавлении волны цунами подводными барьерами // Успехи Физических Наук, Том 180, № 8, 2010, 843-850.

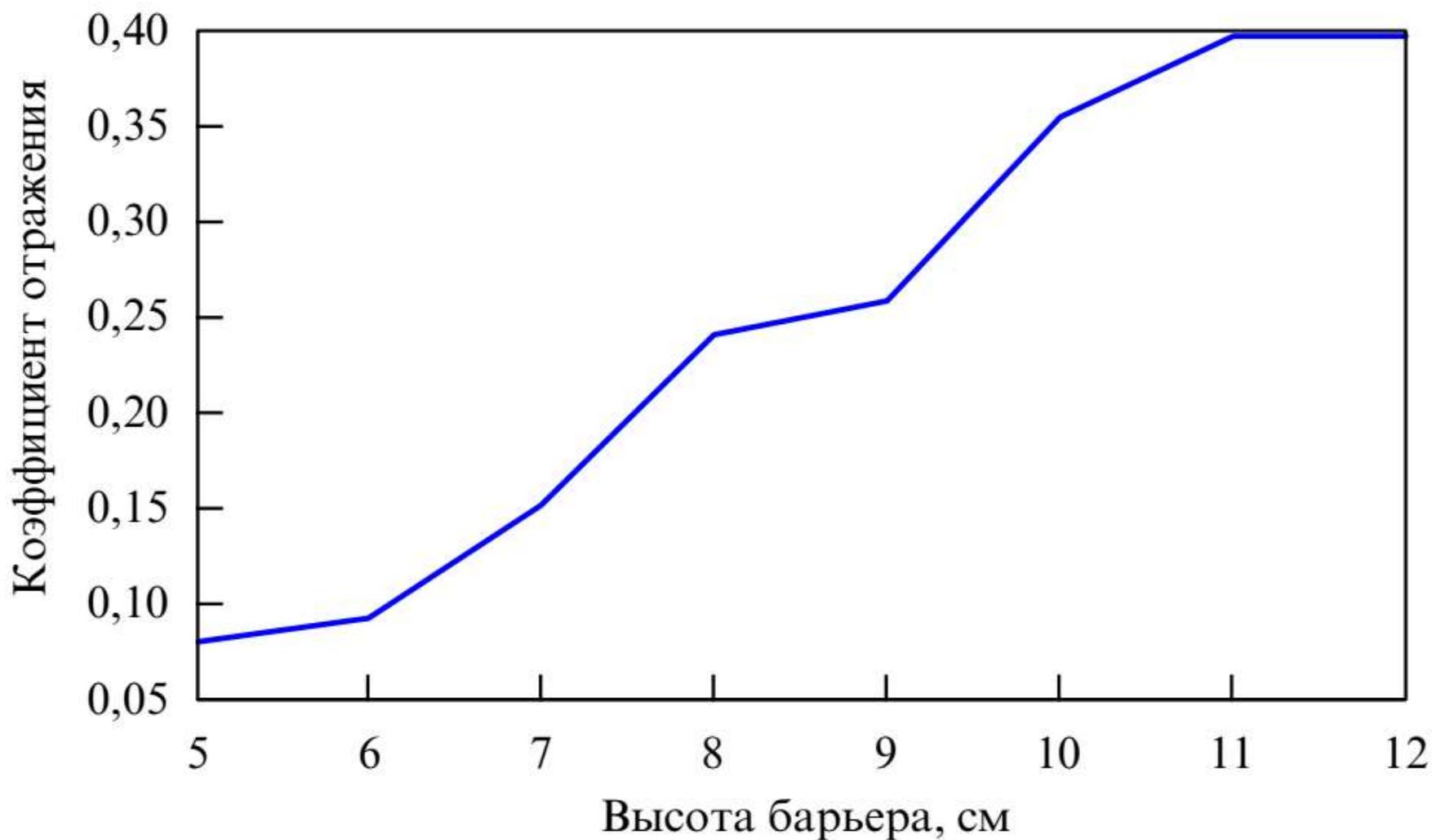


Рис. 10. Коэффициент отражения волны цунами как функция высоты барьера. Глубина спокойной жидкости составляет 10,5 см, поэтому барьеры высотой 11 и 12 см возвышаются над водной поверхностью.

В распространяющейся волне цунами скорость водного потока выражается формулой:

$$v = \eta \sqrt{\frac{g}{D}}$$

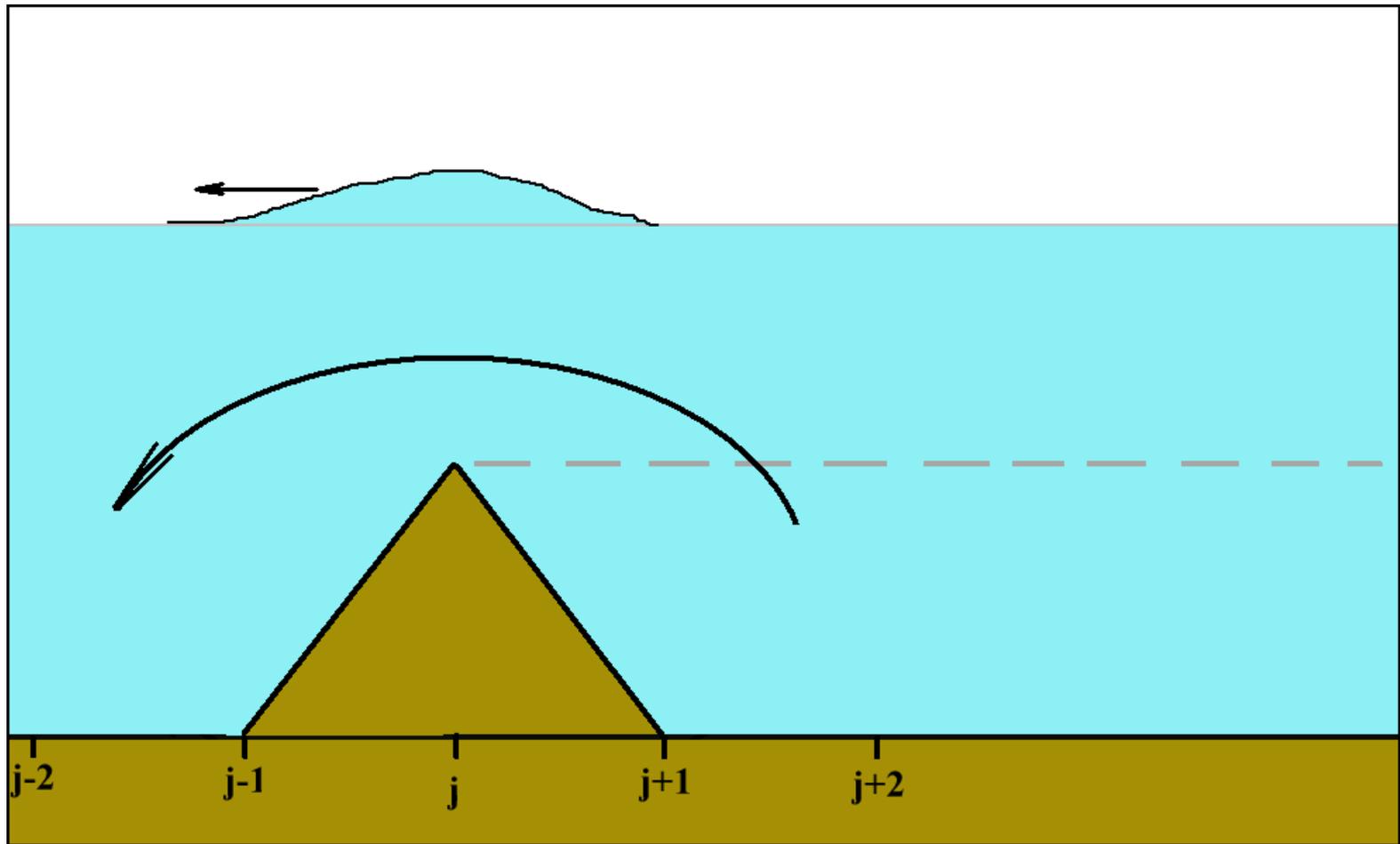
Для правильного моделирования частичного отражения длинной волны от затопленного вертикального барьера рассмотрим энергетические соотношения в движущейся волне цунами

$$E = E_K + E_P = 2E_K = 2E_P$$

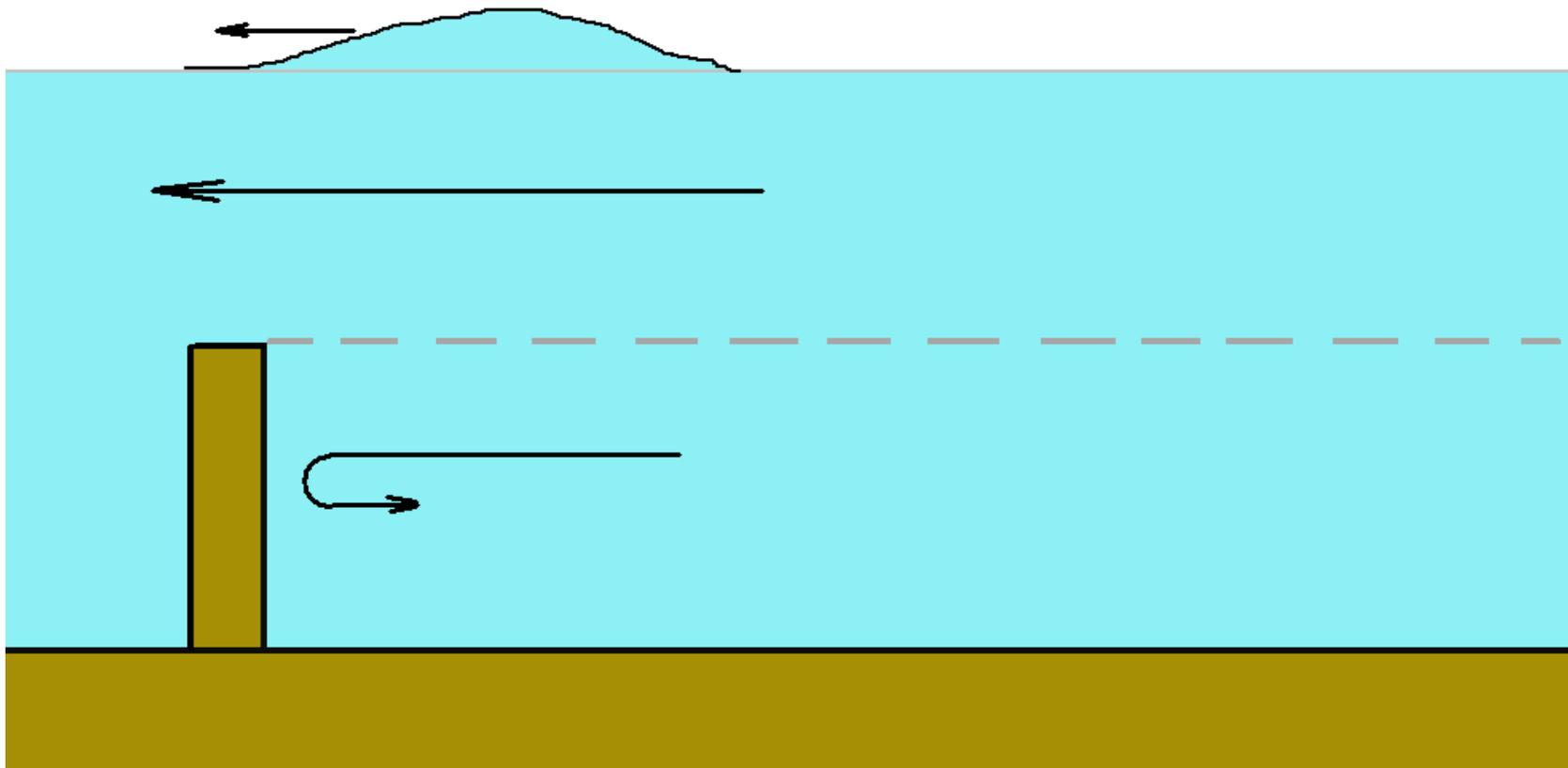
$$E_K = E_P = \int_0^L \frac{\rho g \eta^2}{2} dx = \int_0^L \frac{\rho g u^2}{2} (\eta + D) dx$$

Таким образом, изменение энергии волны в N раз влечёт изменение её высоты и скорости водного потока в \sqrt{N} раз.

Моделирование длинной волны при наличии сеточной батиметрии



Во всех узлах расчётной сетки с пространственным шагом 1000 м глубина равна 1000 м, а в одной точке $D(j)=500$ м. По результатам численного расчета прохождения волны над треугольной «призмой». $H_0=100$ см, $H_1=97$ см $H_2=2,5$ см

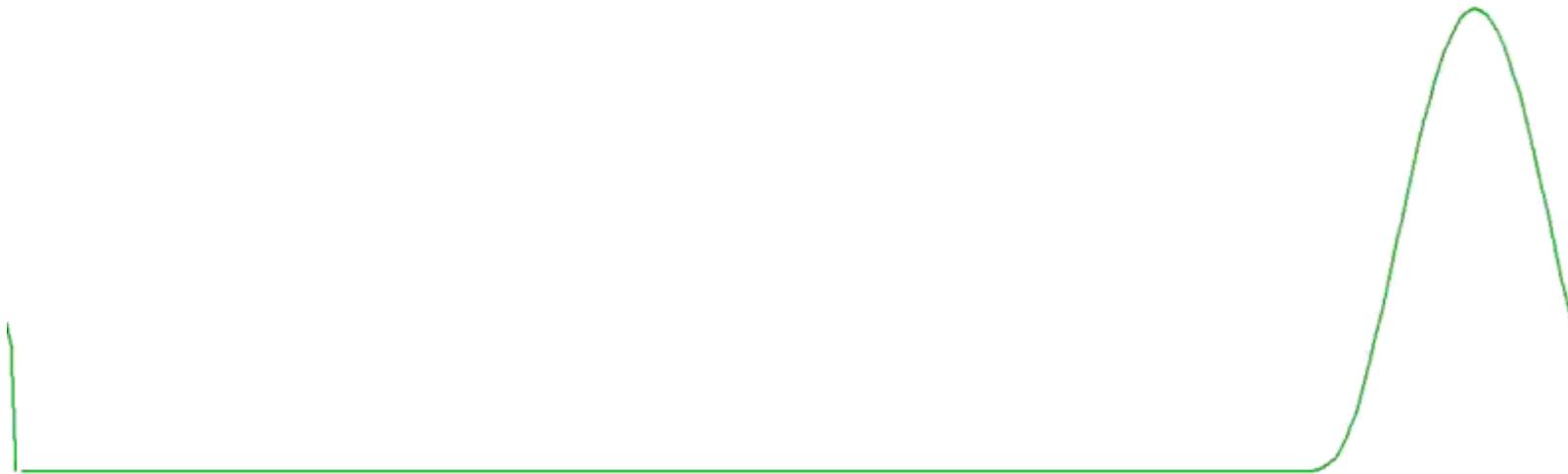


При высоте барьера в половину глубины он погасит примерно половину кинетической энергии волны. В результате барьер преодолет волна, энергия которой составляет примерно $\frac{3}{4}$ от первоначальной. Таким образом её высота уменьшится в $\sqrt{\frac{3}{4}}$ раз (примерно на 15 %).

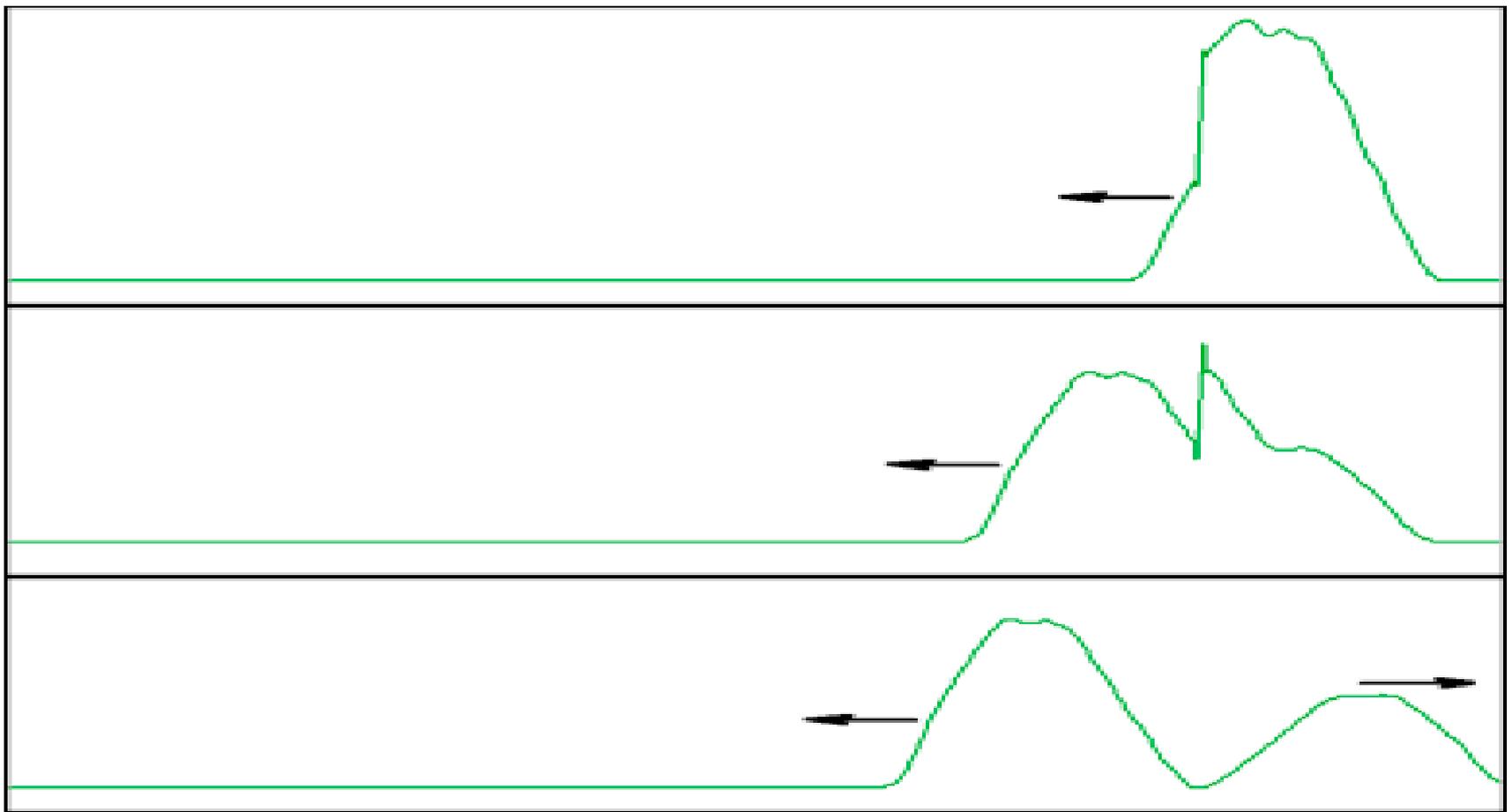
В общем случае, когда высота затопленного барьера равна h при глубине D , энергия отражённой и прошедшей волн соотносятся, как $h/2D$. Но это относится только к затопленным барьерам, высота которых не превышает глубины.

Из этого энергетического соотношения следует, что скорость водного потока после прохождения волной барьера уменьшается в $\sqrt{1 - \frac{h}{2D}}$ раз. В такой же степени уменьшается и её амплитуда.

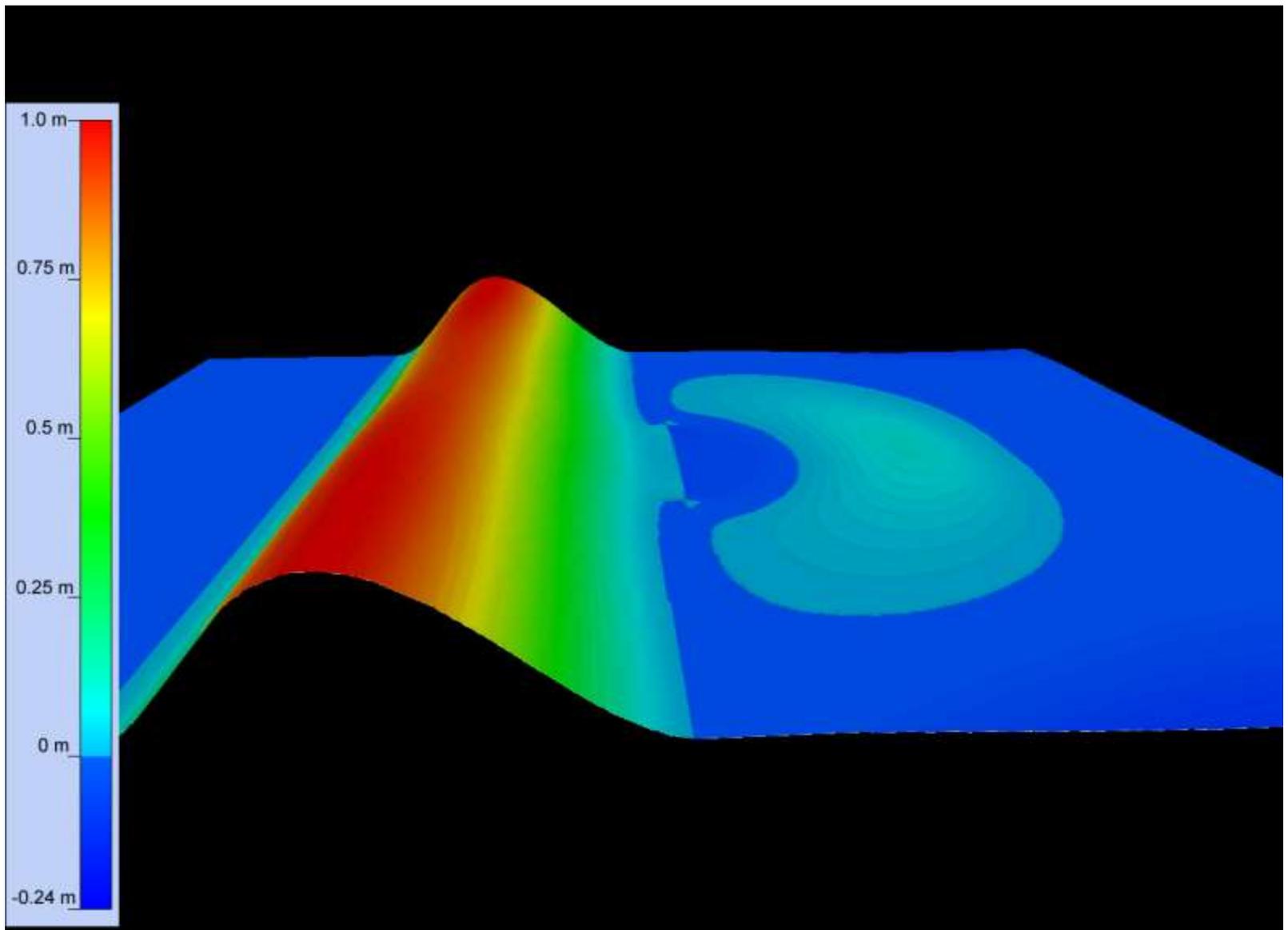
Таким образом, если на каждом расчётном шаге сразу за барьером принудительно снижать скорость водного потока в $\sqrt{1 - \frac{h}{2D}}$ раз, то будет реализовано **частичное отражение** волны от затопленного барьера. А амплитуда волны вычисляется в соответствии с расчётной схемой.



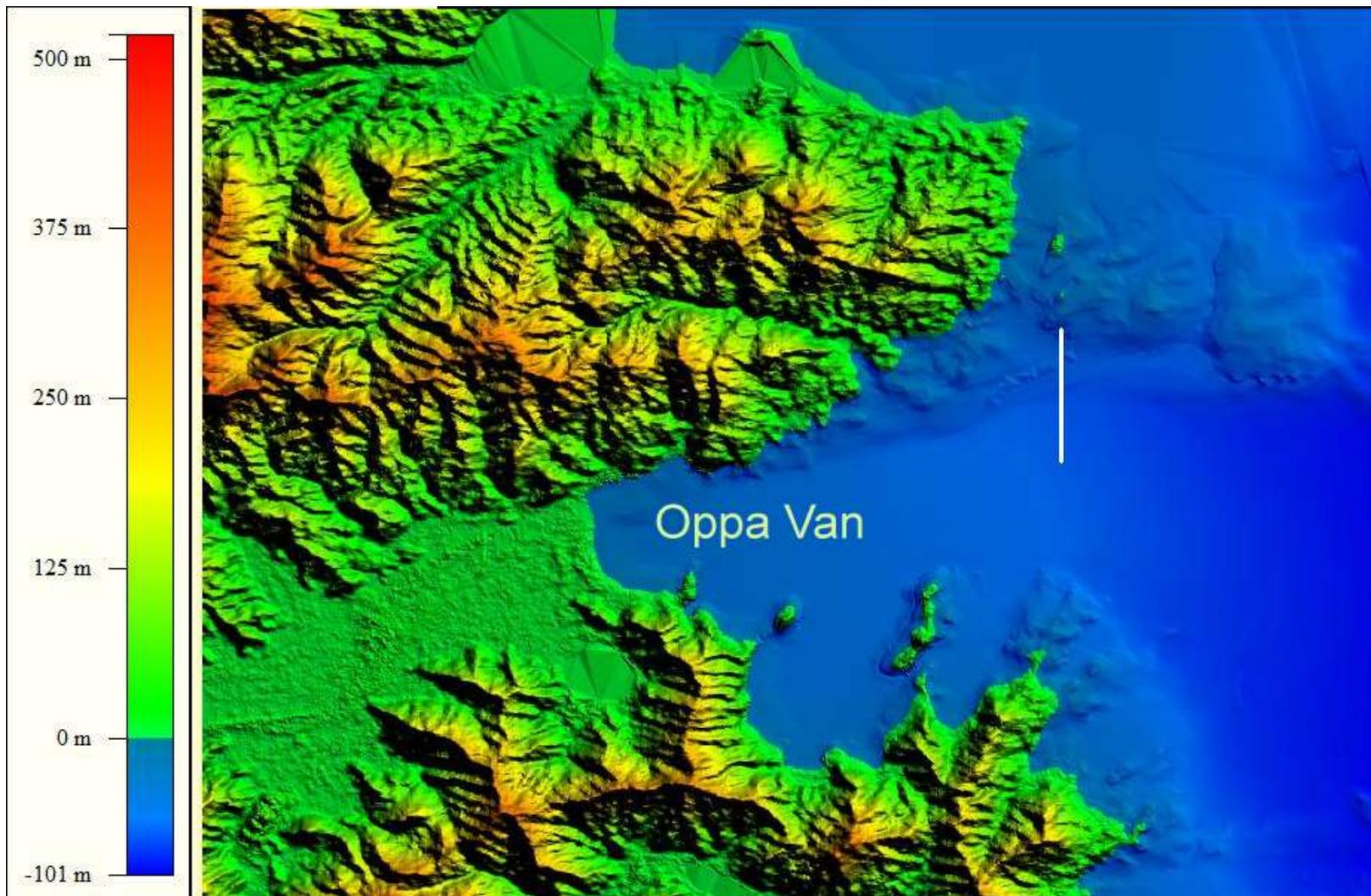
Прохождение волны над затопленным вертикальным барьером высотой $D/2$
 $H_0=100$ cm, $H_1=80$ cm, $H_2=21$ cm



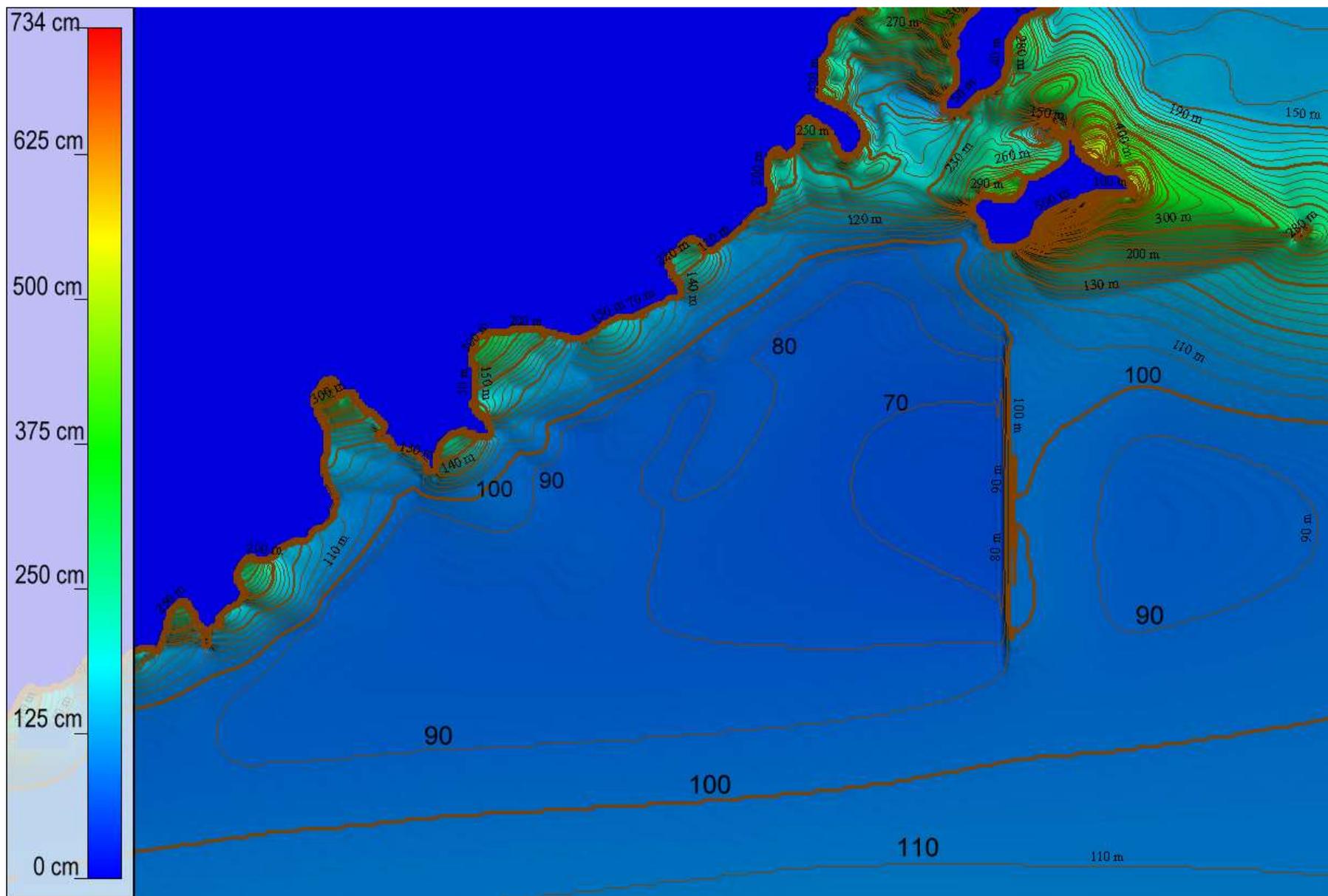
Численное моделирование прохождения плоской волны цунами над затопленным барьером. Глубина составляет 30 м, а высота барьера - 20 м, период волны равен 200 сек.



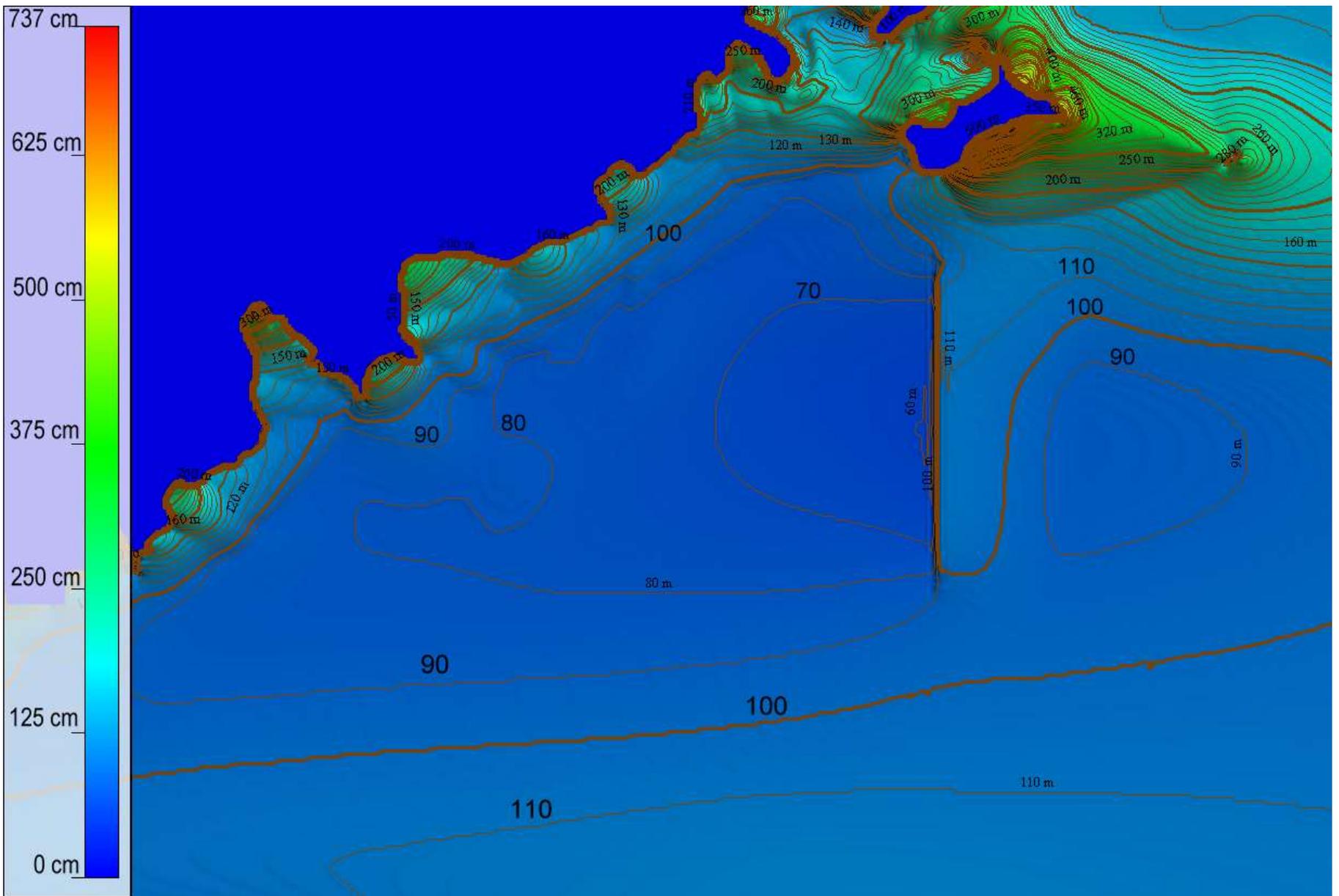
Частичное отражение волны цунами от двумерного затопленного барьера высотой, равной половине глубины



География и батиметрия бухты Орпа. Местоположение виртуального затопленного барьера показано в виде отрезка белого цвета.



Распределение максимумов высоты цунами в северной части залива Оппа в случае, когда высота затопленного барьера составляла 0,5 глубины.



Распределение максимумов высоты цунами в северной части залива Оппа в случае, когда высота затопленного барьера составляла 0,75 глубины.



Распределение максимумов высоты цунами в северной части залива Оппа в отсутствие затопленного барьера.

Заключение

При помощи простых условий для скорости водного потока удалось реализовать частичное отражение длинной волны от затопленного вертикального барьера.

Для этого достаточно в расчетных узлах за барьером принудительно уменьшать скорость водного потока в $\sqrt{1 - \frac{h}{2D}}$ раз.

Предложенный алгоритм может помочь оценивать эффективность планируемых защитных сооружений и давать рекомендации по наиболее эффективному расположению защитных барьеров.

Спасибо за внимание!

mag@omzg.sscs.ru