

Причины и последствия фокусировки волн цунами

Ан.Г. Марчук

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

mag@omzg.ssc.ru

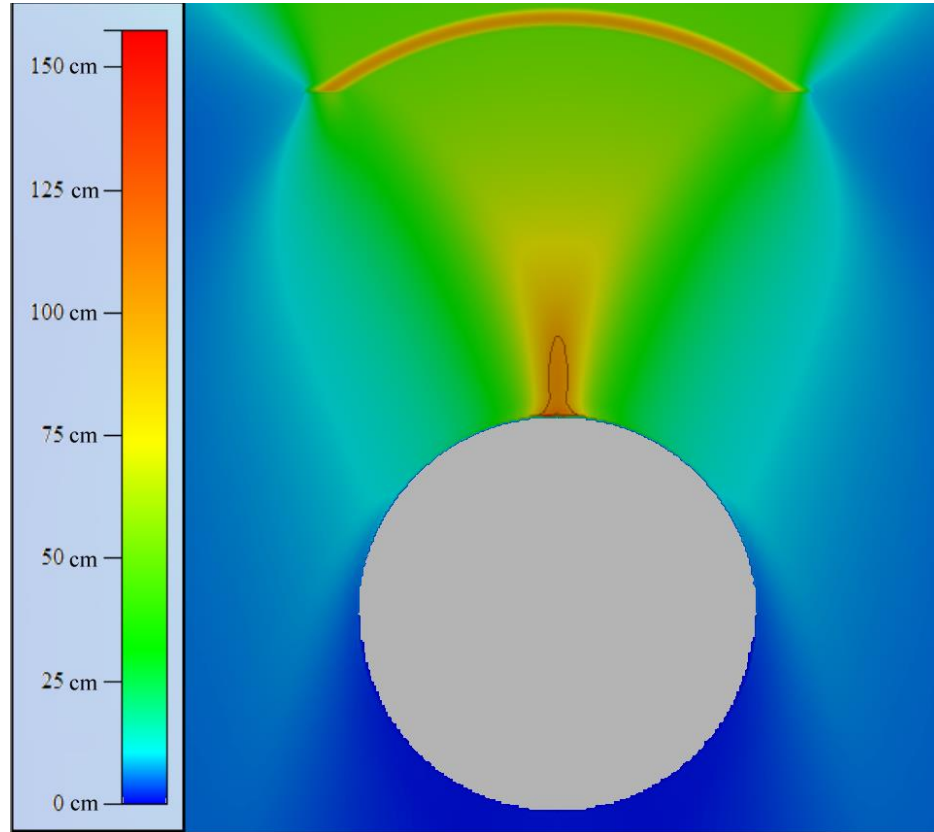
ФОКУСИРОВКА ВОЛН

Под фокусировкой волновых возмущений (в частности волн цунами) понимается одновременный приход волны от нескольких разных сегментов волнового фронта. Обычно это приводит к более высокой высоте в окрестности точки фокусировки по сравнению с окружающими фокус точками области.

Причины фокусировки

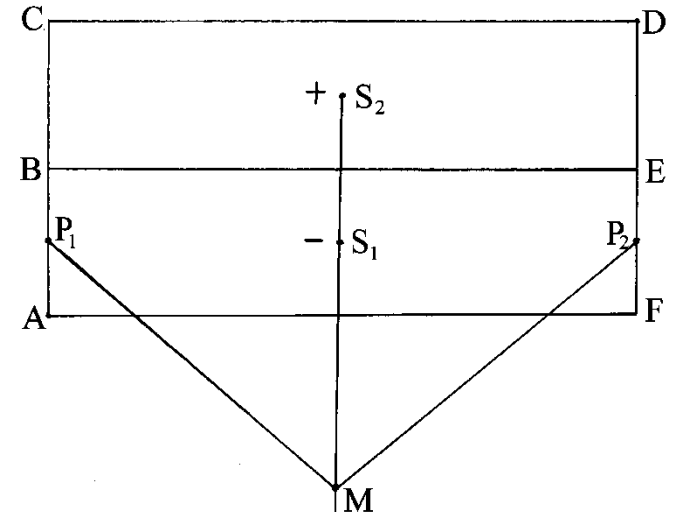
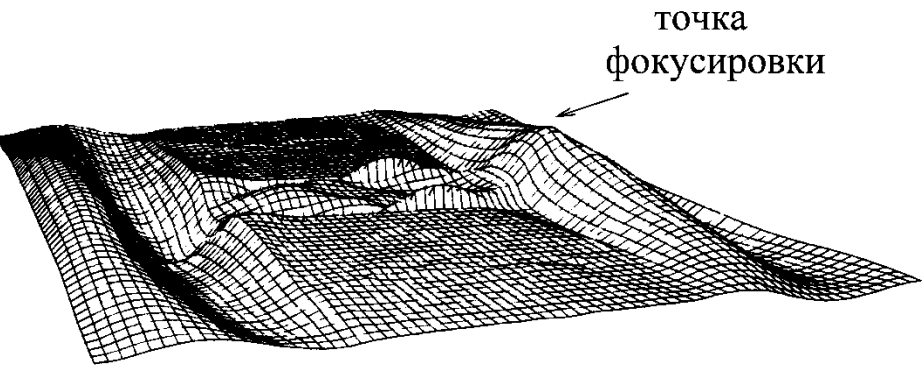
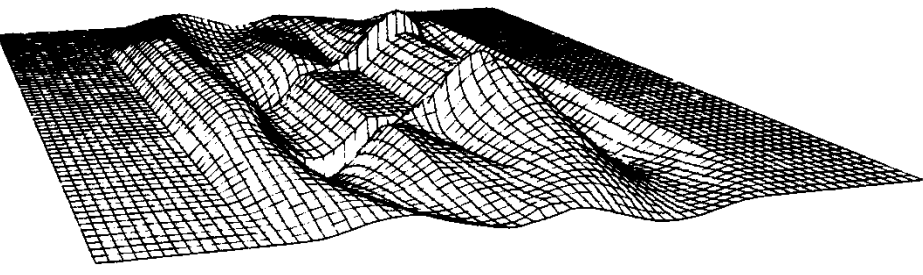
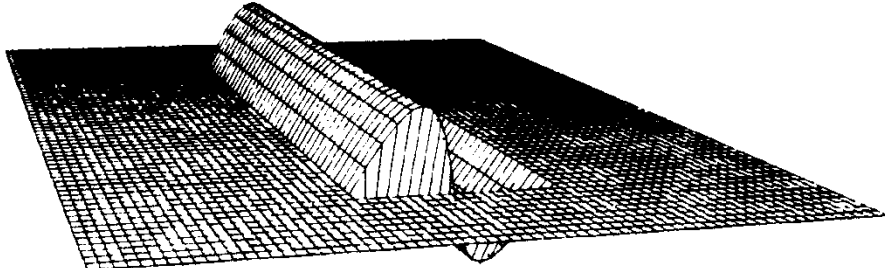
1. Геометрическая форма источника.
2. Рефракция волнового фронта над неровным дном.
3. Отражение волны от вогнутой береговой линии.
4. Сферичность Земли.

Фокусировка вследствие геометрической формы источника

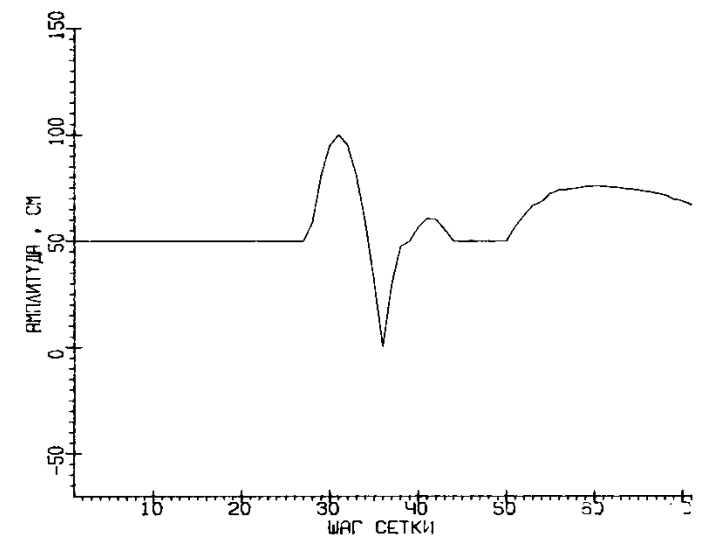


В вычислительном эксперименте моделировалась фокусировка волновой энергии в окрестности точки, расположенной у побережья круглого острова. В этом случае «ленточный» источник цунами высотой 1 м имел форму сегмента окружности с радиусом 200 км и растром 60° , что обеспечивало схождение волнового фронта в точку у берега, являющуюся центром окружности.

Фокусировка волн цунами от дипольного очага



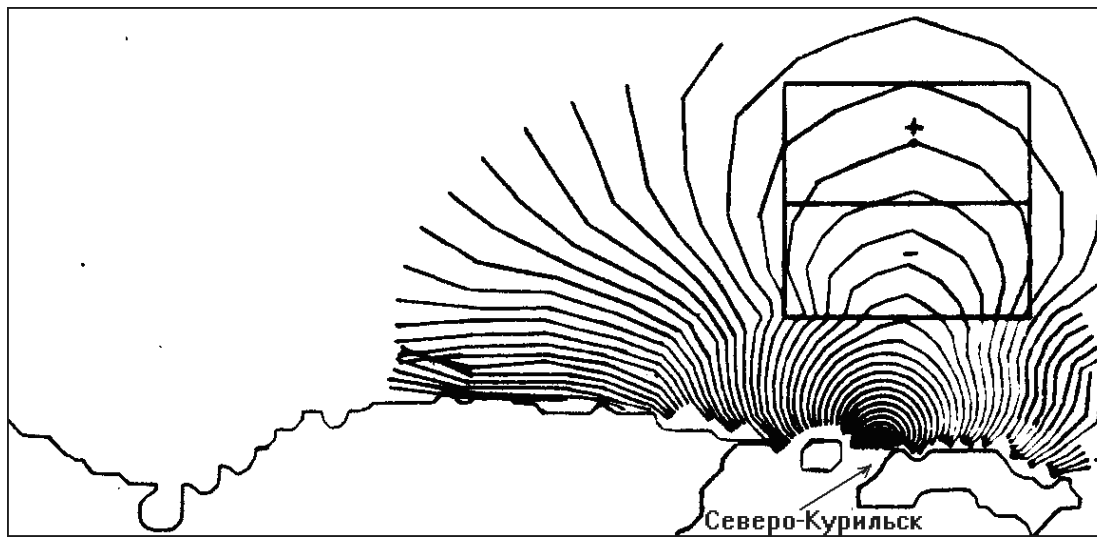
Волновые лучи, соединяющие точки P_1 , P_2 и S_2 с точкой фокуса M



Распределение максимумов высот волны вдоль линии, проходящей через точки S_2 и M

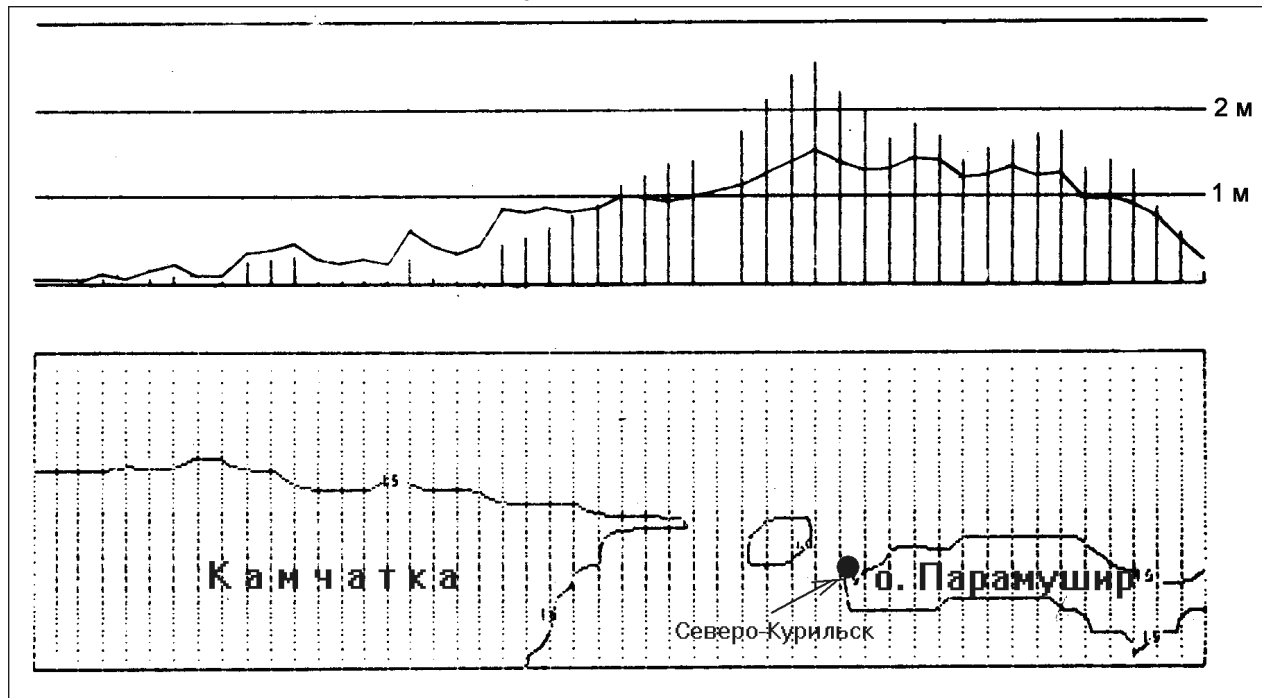
Поверхность океана при формировании волны дипольным очагом

Фокусировка цунами от дипольного очага у северных Курильских островов

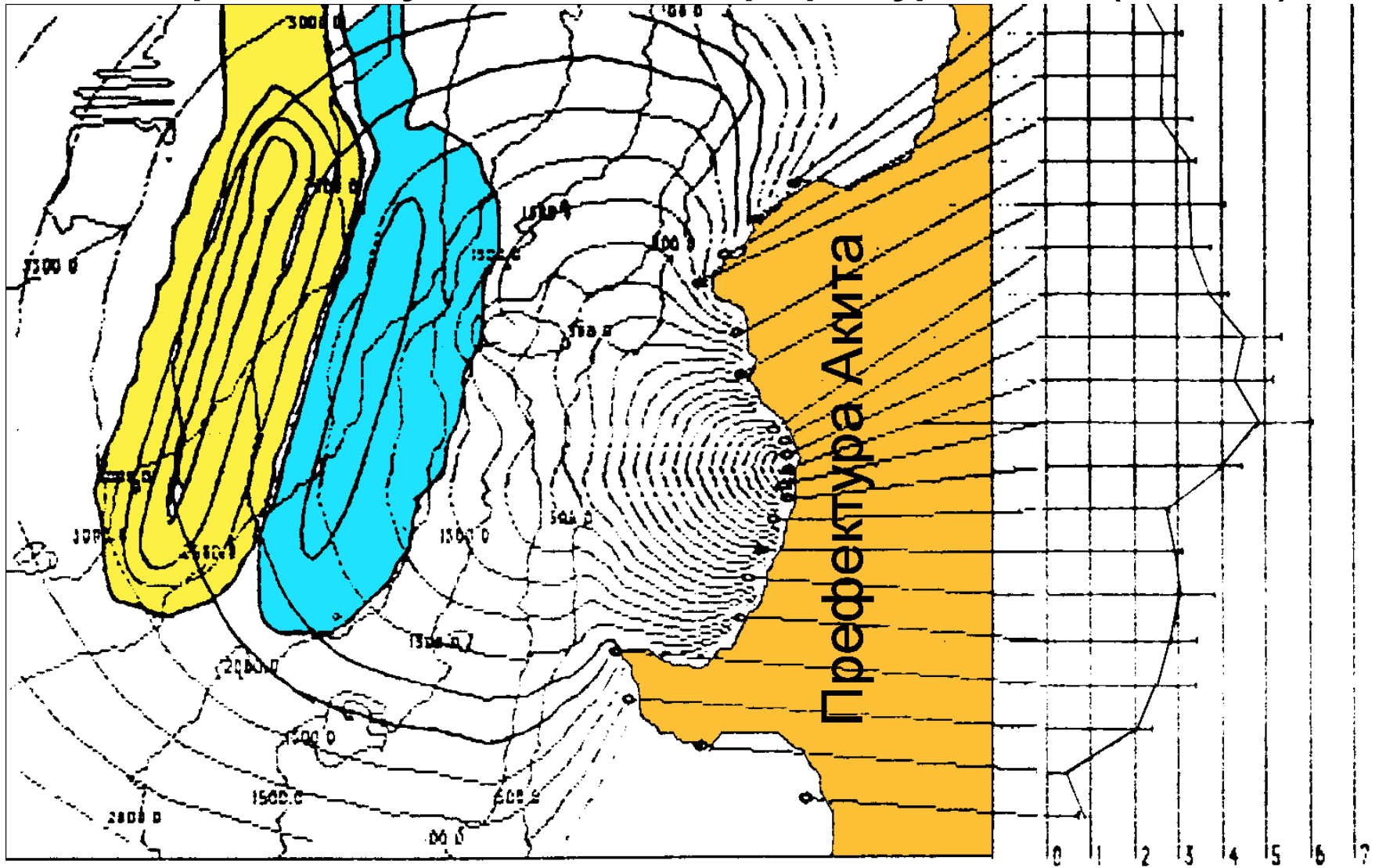


Расположение дипольного очага цунами около побережья северных Курил

Распределение вычисленных высот цунами вдоль побережья Камчатки и северных Курил



Моделирование цунами 1983 г. в префектуре Акита (Япония)



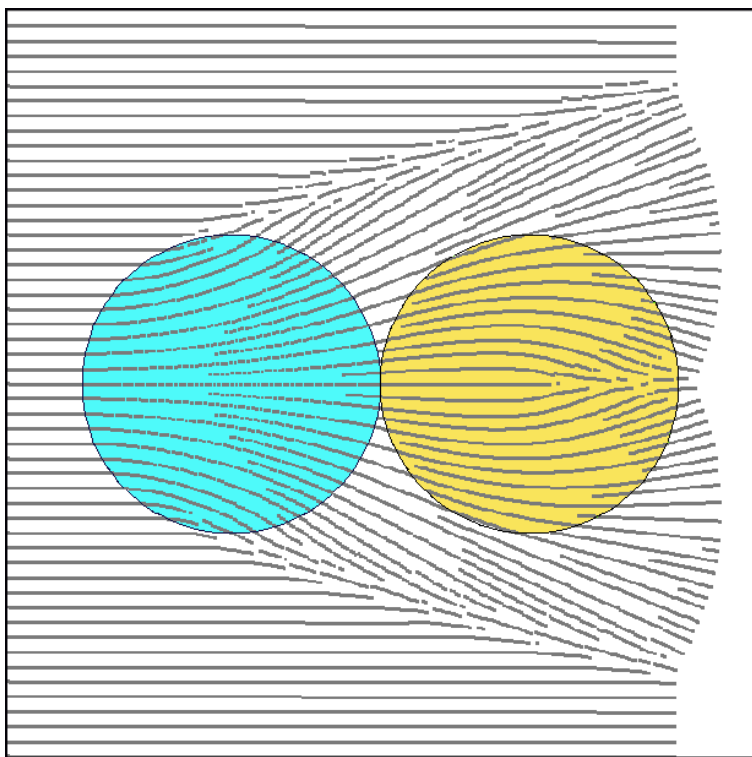
Очаг цунами 1983 г и карта обратных изохрон для деревни Минехама. В правой части рисунка представлено распределение максимальных высот вдоль берега для дипольного очага в виде горизонтальных отрезков и очага без отрицательного крыла (в виде ломаной линии).

Фокусировка вследствие рефракции волнового фронта над неровным дном

Из-за зависимости скорости распространения волны цунами v от глубины D по формуле Лагранжа

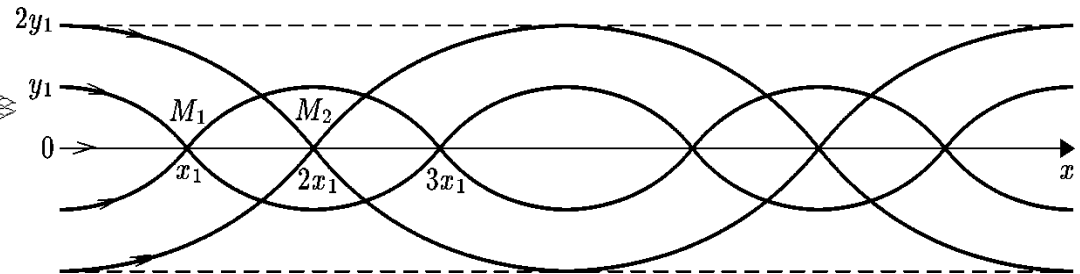
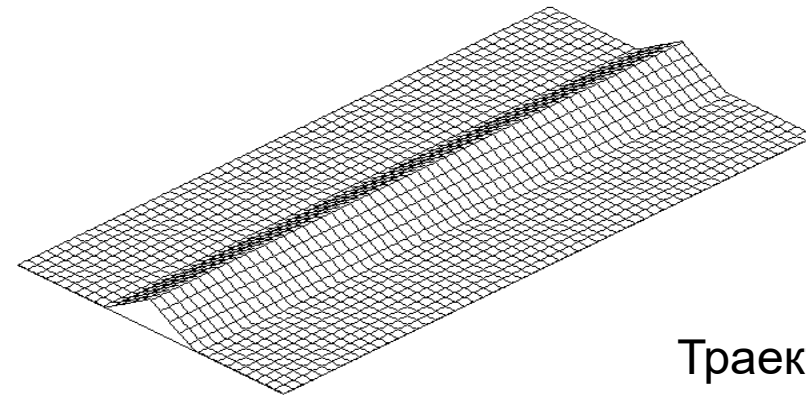
$$v = \sqrt{gH}$$

направление движения волнового фронта над донными неровностями может меняться. Это называется **рефракцией** длинной волны. Для изучения процесса рефракции можно использовать волновые лучи, являющиеся линиями всё время ортогональными к линии волнового фронта.



Пример рефракции волновых лучей при прохождении плоской волны над круглой конической впадиной (окружность белого цвета) и следующей сразу за впадиной подводной горой (окружность жёлтого цвета).

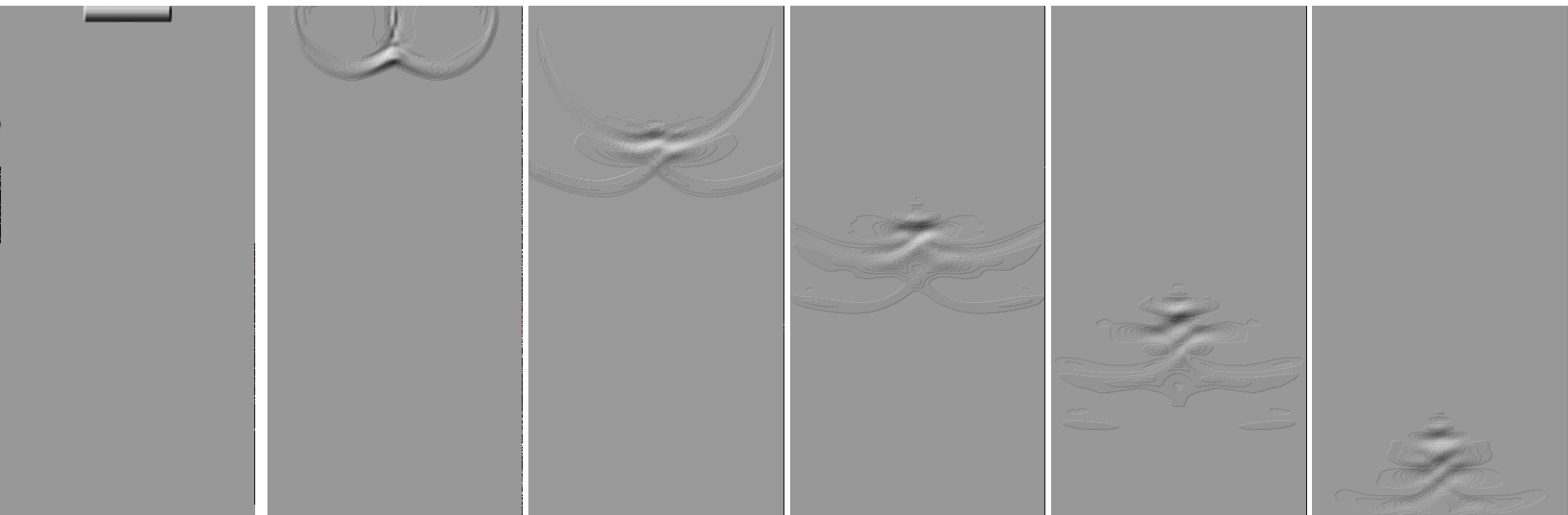
Распространение цунами при наличии волновода



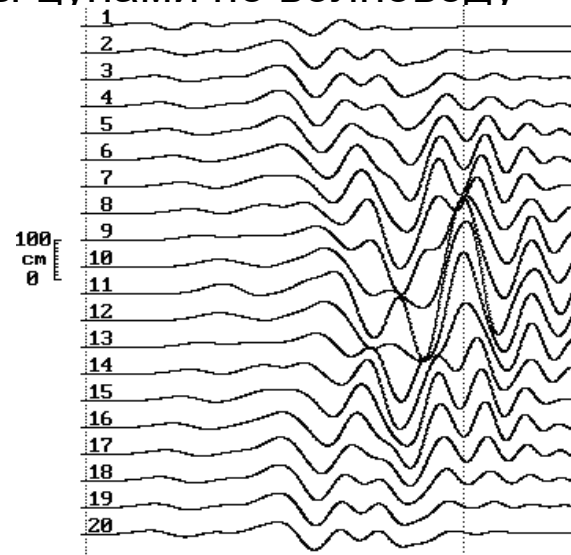
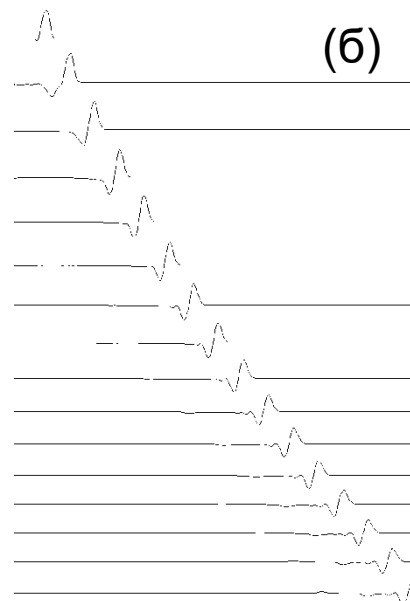
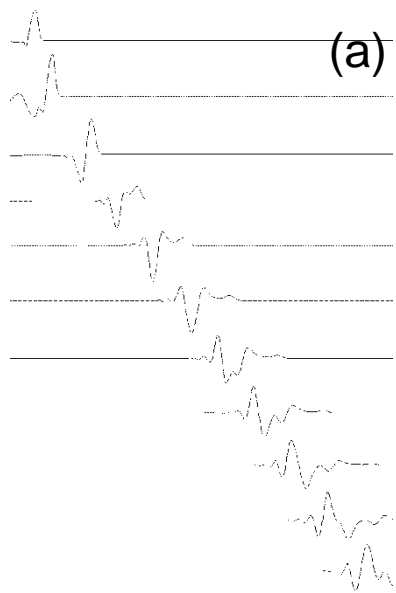
Траектории волновых лучей над симметричным подводным хребтом с плоскими наклонными гранями

Скорость продвижения по волноводу разных сегментов волнового фронта зависит от максимального расстояния, на которое он удаляется от оси.

V_{\max} - скорость движения вдоль волновода самых быстрых «крайних» лучей, а V_{\min} - скорость движения волнового луча вдоль оси волновода. Если разница этих скоростей небольшая, то уменьшение амплитуды цунами при движении по такому волноводу будет происходить медленнее, чем при цилиндрическом расхождении волны над ровным дном.



Водная поверхность при движении волны цунами по волноводу



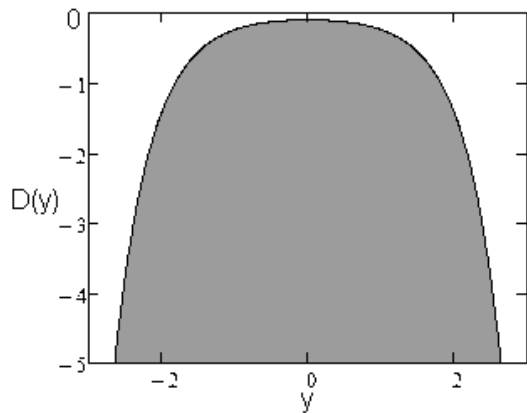
Расчётные мареограммы на поперечном сечении волновода на расстоянии 500 км от источника

Профиль водной поверхности вдоль оси волновода в разных её точках (а). Убывание высоты волны без волновода (б).

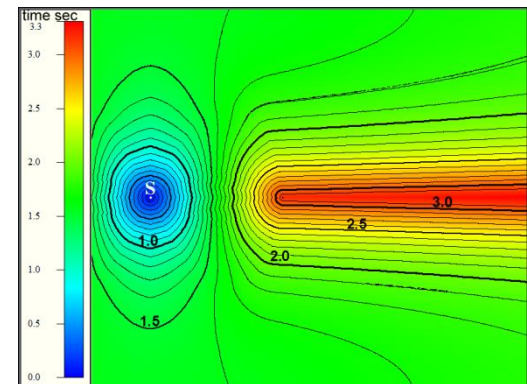
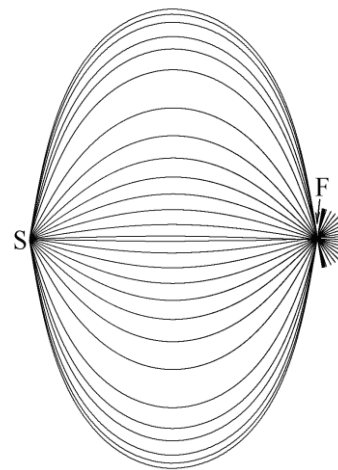
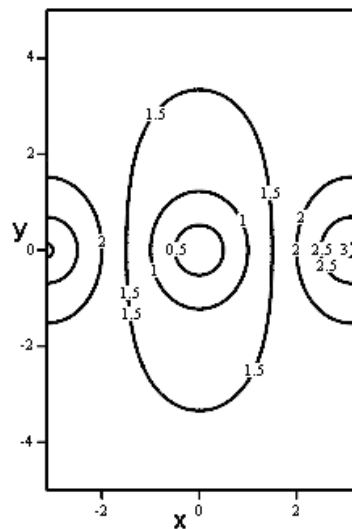
Волновод, фокусирующий волновую энергию в одну точку

Аналитическое решение для кинематики волнового фронта на основе уравнения эйконала

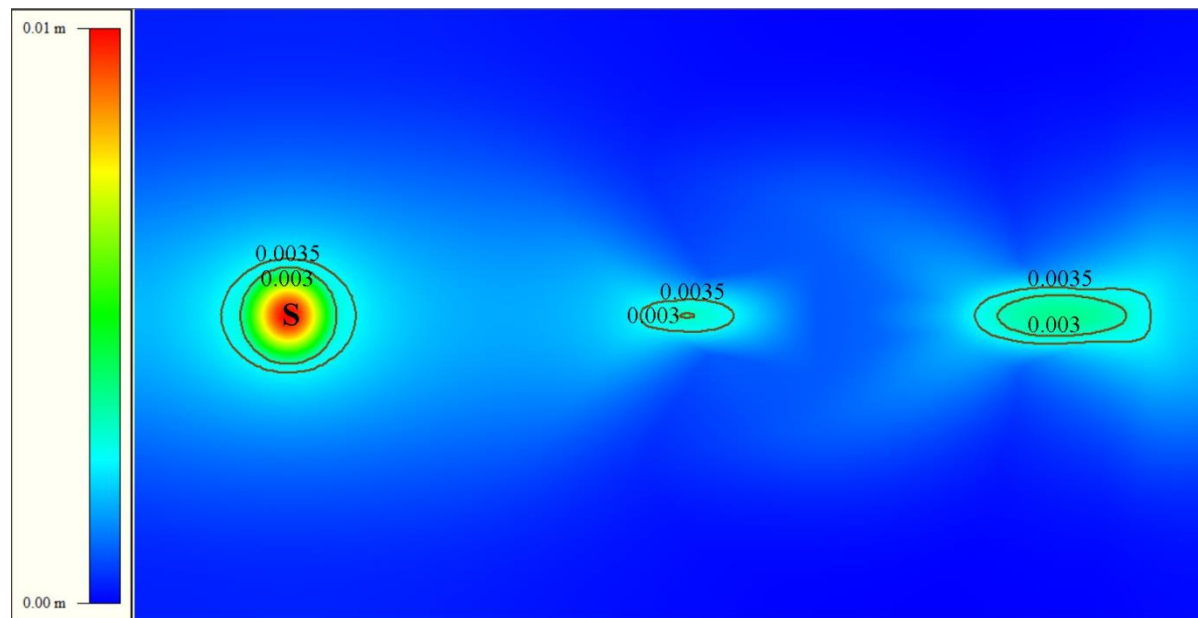
Численный расчёт кинематики длинной волны от точечного источника



$$D(x, y) = 0.1 \cdot ch^2(y - y_0)$$

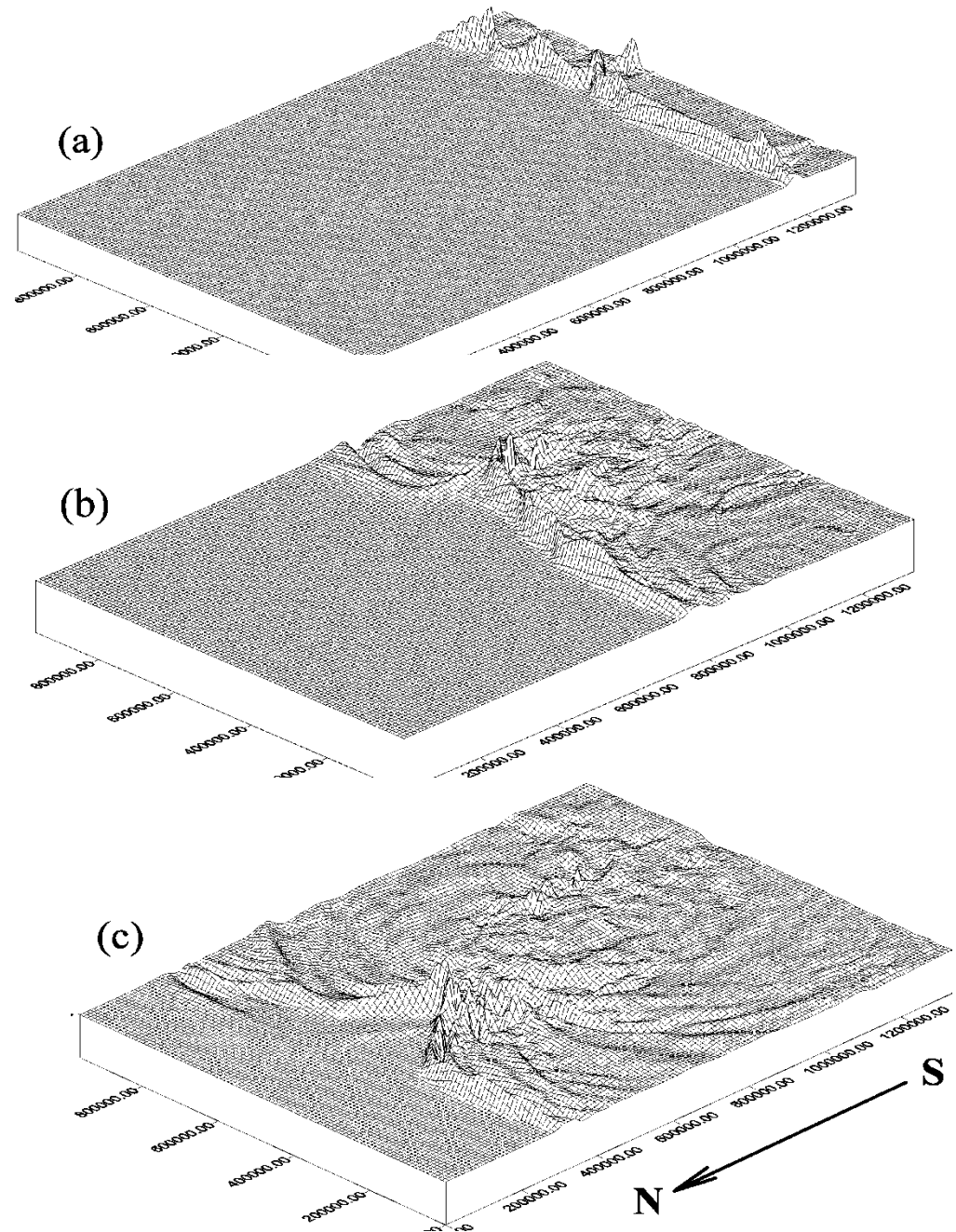


Распределение максимумов высоты волны при численном моделировании динамики длинной волны от круглого источника по модели мелкой воды.

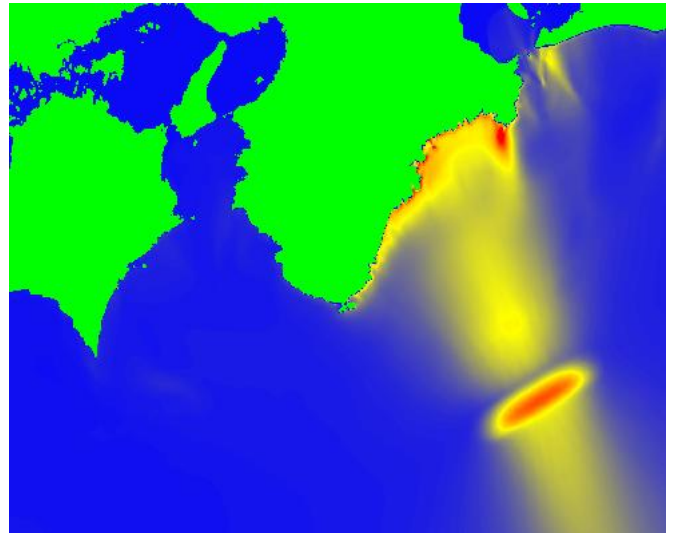
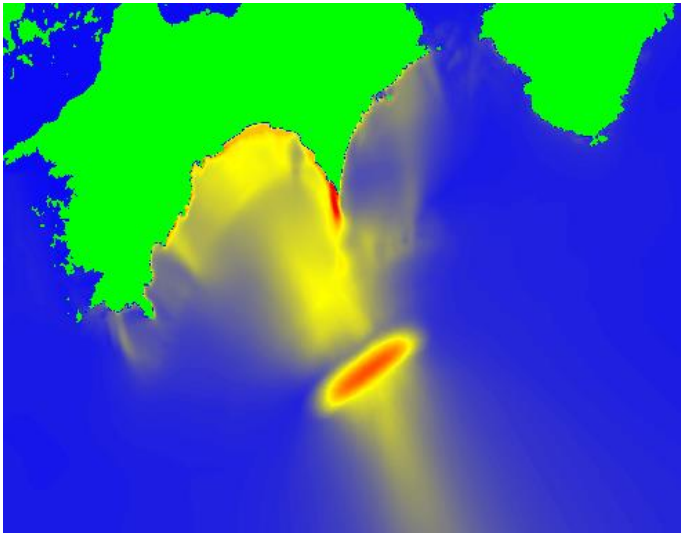
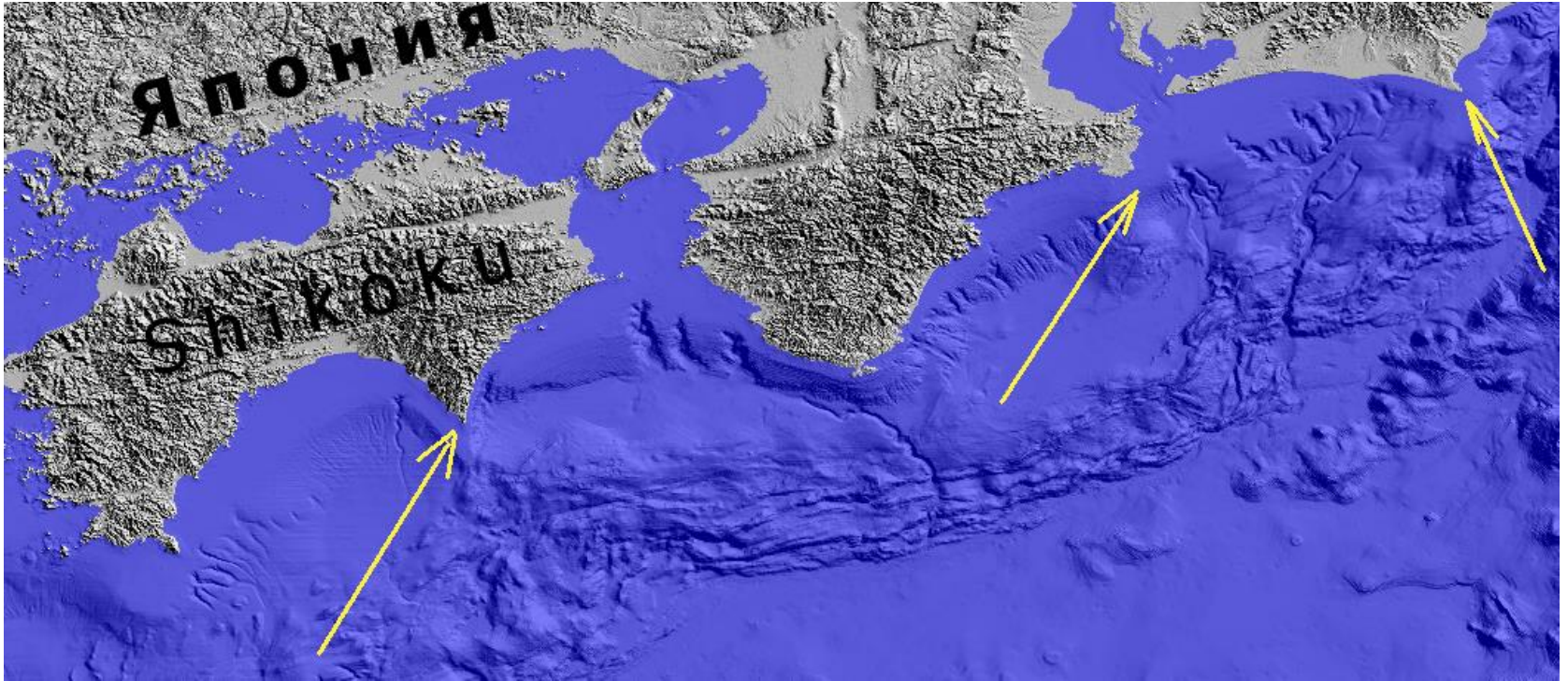




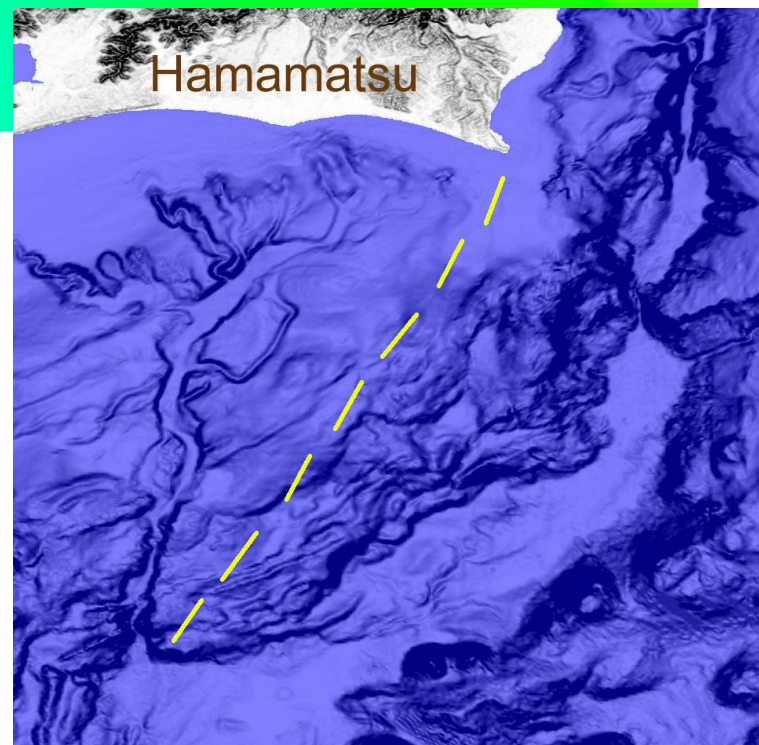
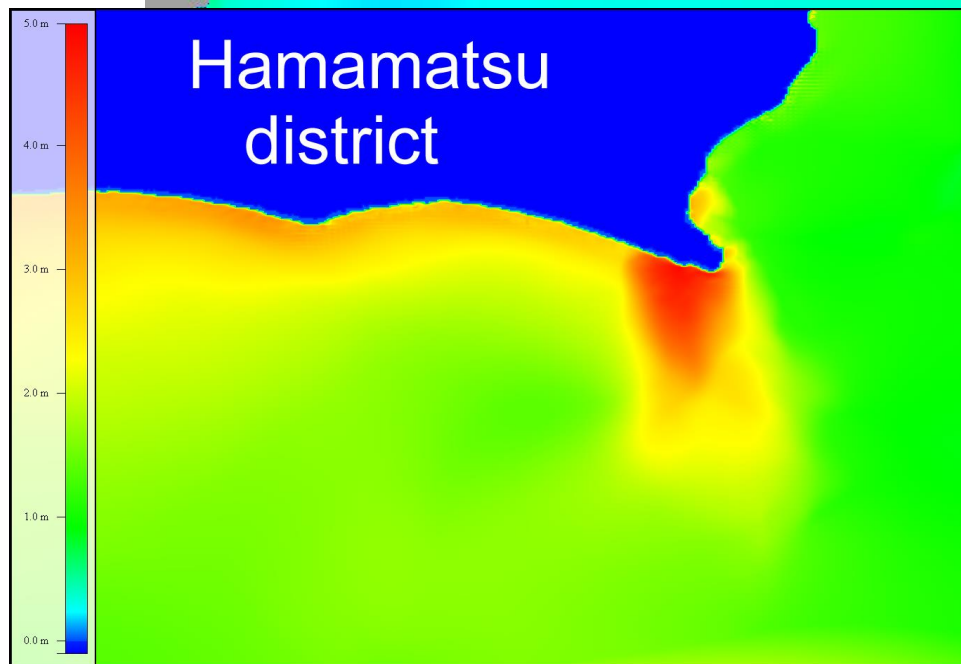
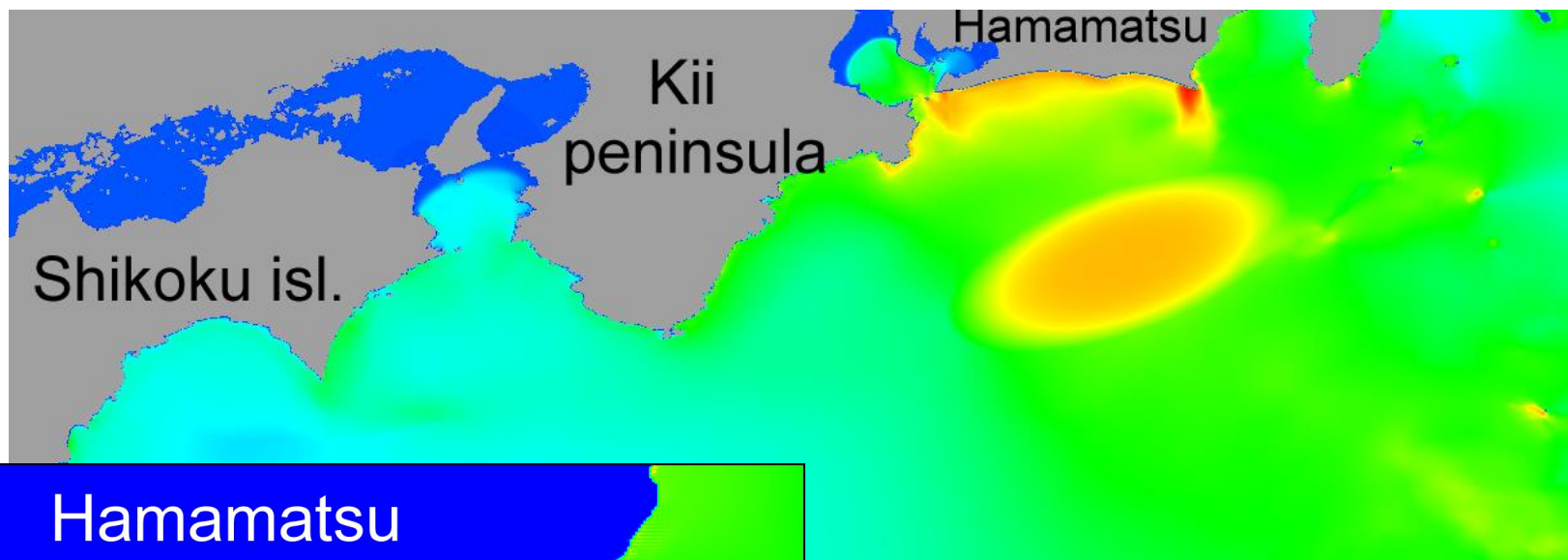
Донный рельеф подводного хребта Идзу-Нампо и водная поверхность в различные моменты распространения волны цунами вдоль этого природного волновода



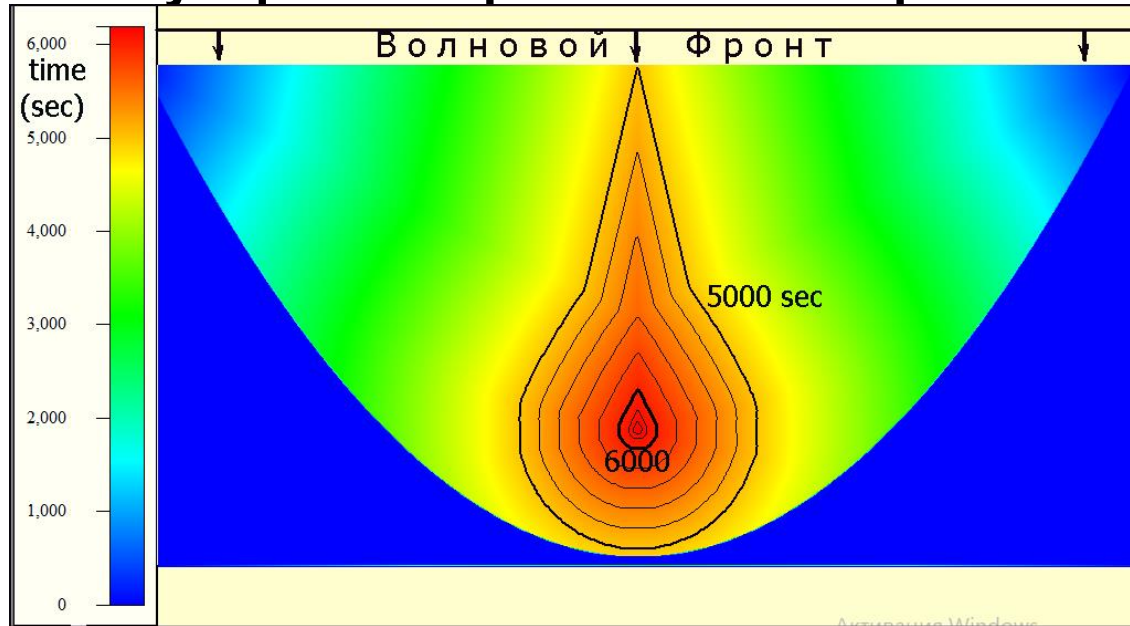
Выход подводного хребта к берегу



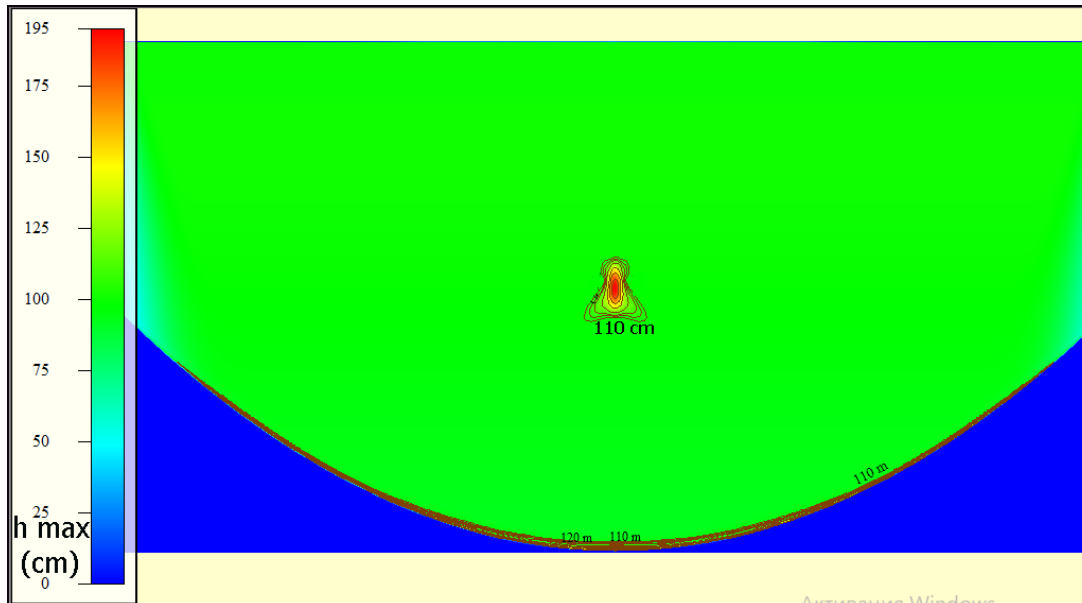
Фокусировка цунами подводным хребтом в районе Хамамацу (Япония)



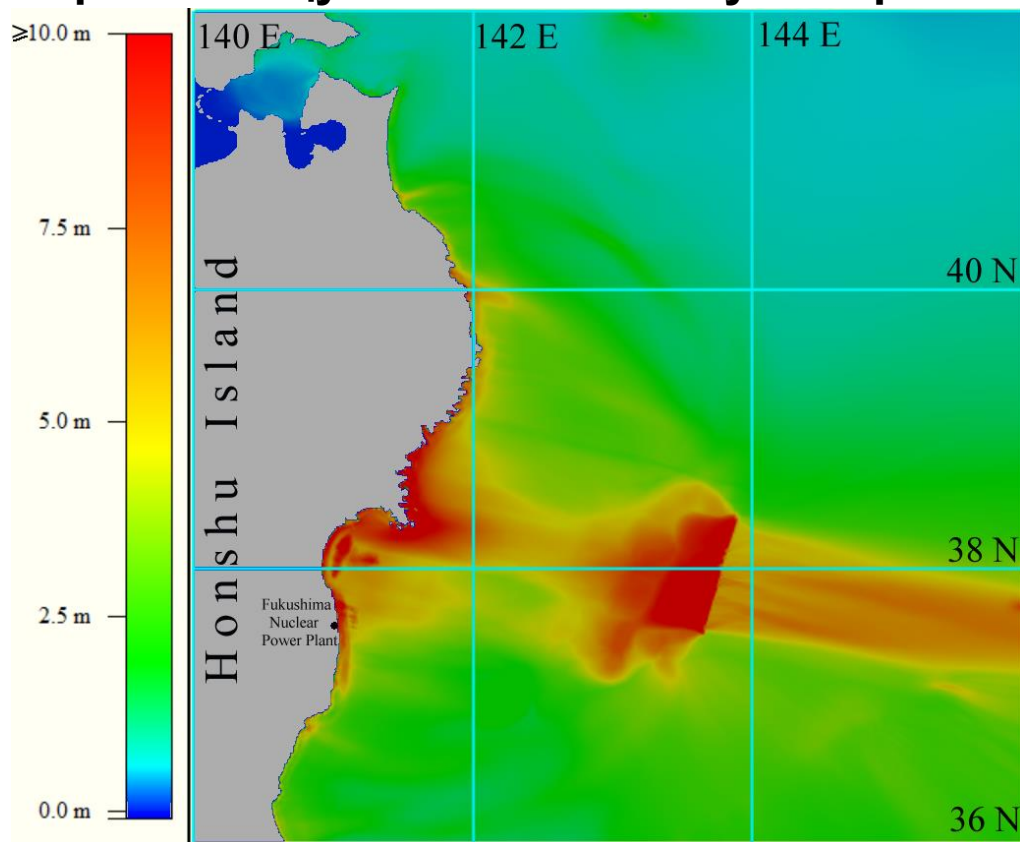
Фокусировка отражённой от берега волны



Положения отражённого от параболического залива волнового фронта после 5000 шагов по времени с интервалом 200 сек. Глубина залива постоянна.

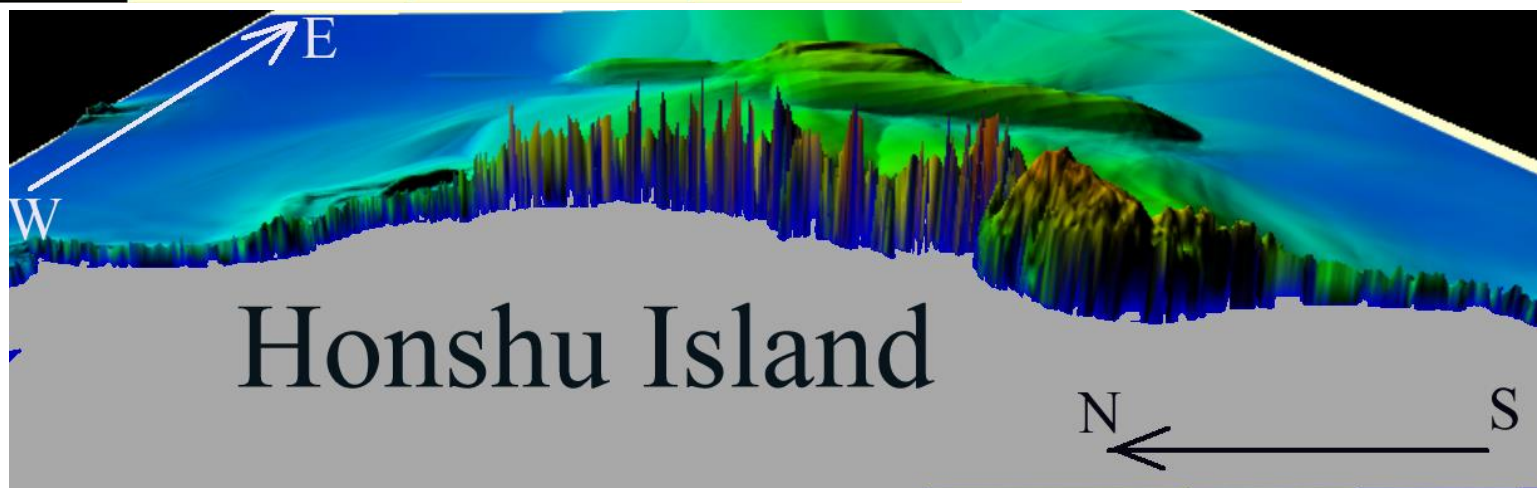


Пространственное распределение максимумов высоты (в см) изначально плоской волны внутри залива параболической формы

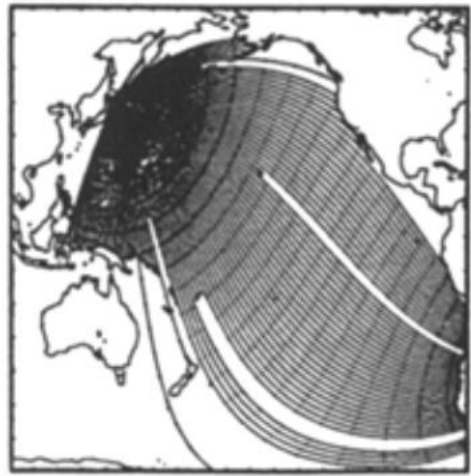


2D и 3D визуализация распределения максимумов высоты цунами во всей расчётной области и вдоль береговой линии. Очаг цунами взят из публикации:

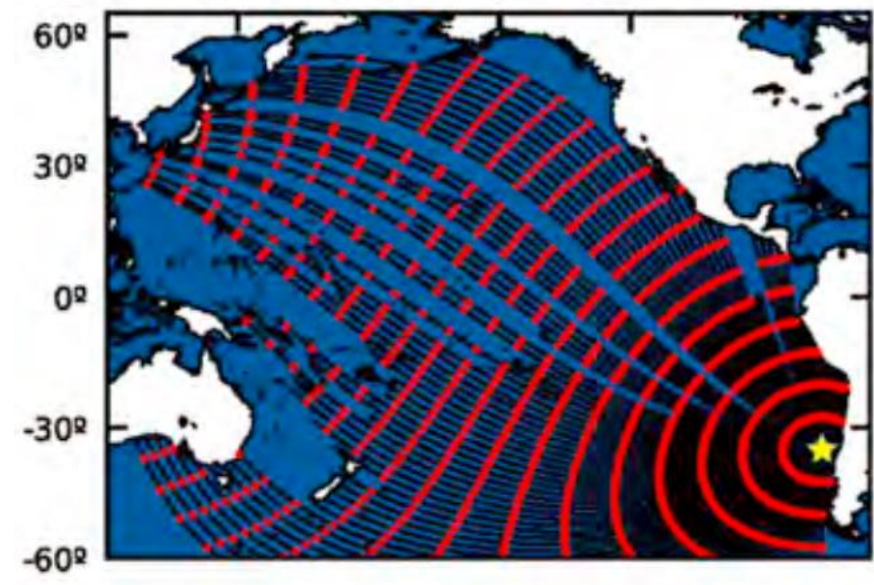
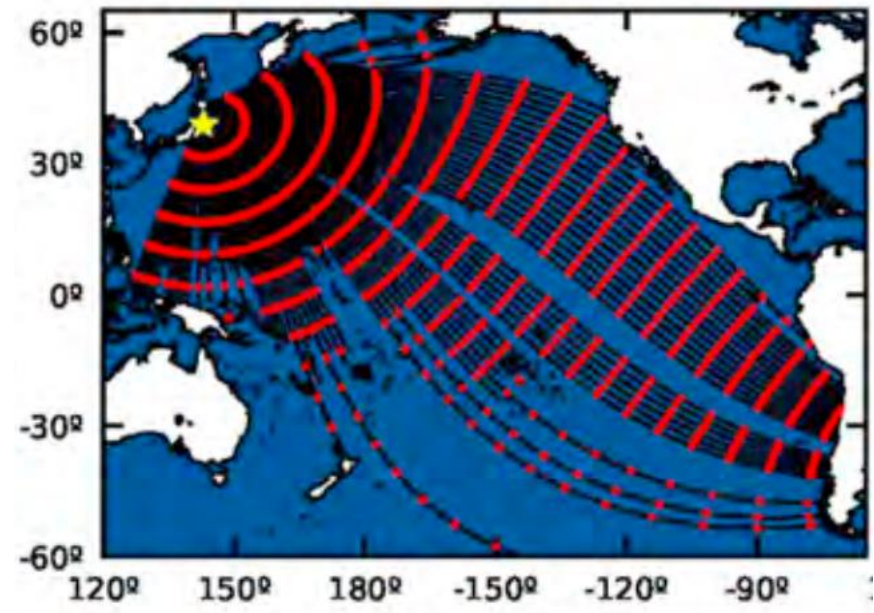
Yong Wei et.al. Pure and Applied Geophysics, 2012.
doi:10.1007/s00024-012-0519-z



Фокусировка цунами из-за сферичности Земли



Карта волновых лучей в Тихом Океане при постоянной его глубине для случаев расположения очага у побережий Японии и Южной Америки.



Заключение

- В океане могут возникать условия для фокусировки волновой энергии в одну точку (или окрестность точки), что может привести там к существенно более высоким волнам.
- Наиболее вероятными факторами, приводящими к фокусировке цунами являются геометрическая форма источника или рельеф дна.
- Возможности фокусировки цунами в точки вблизи берега следует учитывать службам предупреждения цунами.

Спасибо за внимание!

mag@omzg.sscs.ru