

1.4. Методы обработки записей глубоководных гидрофизических станций.

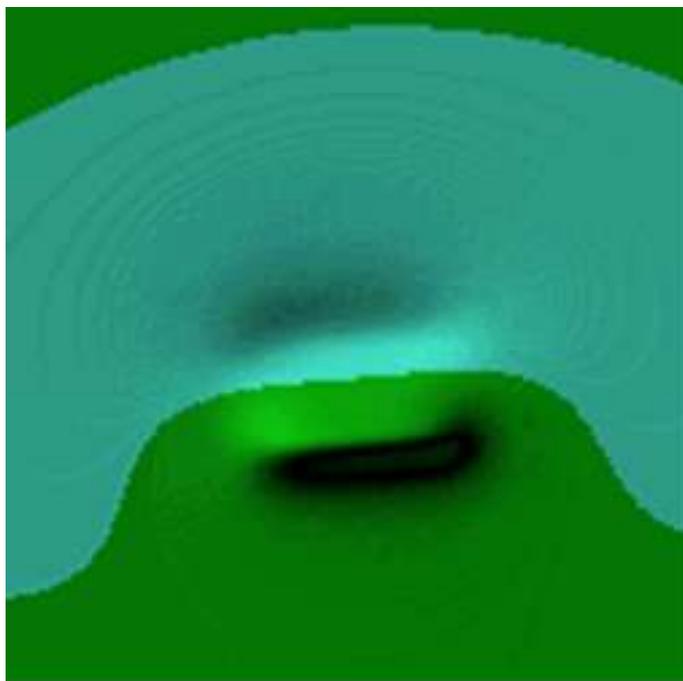
Необходимость применения разных методов.

Метод предварительных расчетов.

Обращение вдоль трассы.

Нейросетевой анализ.

Рассмотренные здесь очаги исторических цунами располагаются вдоль достаточно узкой полосы между осью глубоководного жёлоба и побережьем. На этой полосе расставляются небольшие базисные источники цунами, которые имеют размер, характерный для самых малых очагов цунами в этом регионе. Протяжённость базисных источников вдоль зоны субдукции определяется расстояниями между соседними поперечными разломами, что вытекает из «клавишной» модели генерации цунами в зонах субдукции [2]. Профиль каждого из базисных очагов представляет собой поле остаточных смещений поверхности дна в результате землетрясения магнитудой 7.5, вычисленное по упруго-сейсмической модели землетрясения [3] с механизмом, характерным для океанических зон субдукции (рис. 1.1). Поверхность дна (или океана) в каждом из этих базисных источников изображена на рисунке 1.2 в виде светотеневого изображения, где свет падает из левого верхнего угла. Максимальное поднятие в источнике составляет порядка 35 см, а максимальное понижение уровня – 15 см. Смежные источники, например А06 и В06 (рис. 1.1), расположены таким образом, что область понижения уровня в источнике В06 располагается как раз в месте расположения области максимального повышения базисного источника А06. Таким образом, можно с некоторой точностью аппроксимировать более широкий (чем базисный) очаг цунами, применяя линейную



комбинацию двух смежных базисных источников.

Рис. 1.4. Поле смещения водной поверхности в базисном источнике.

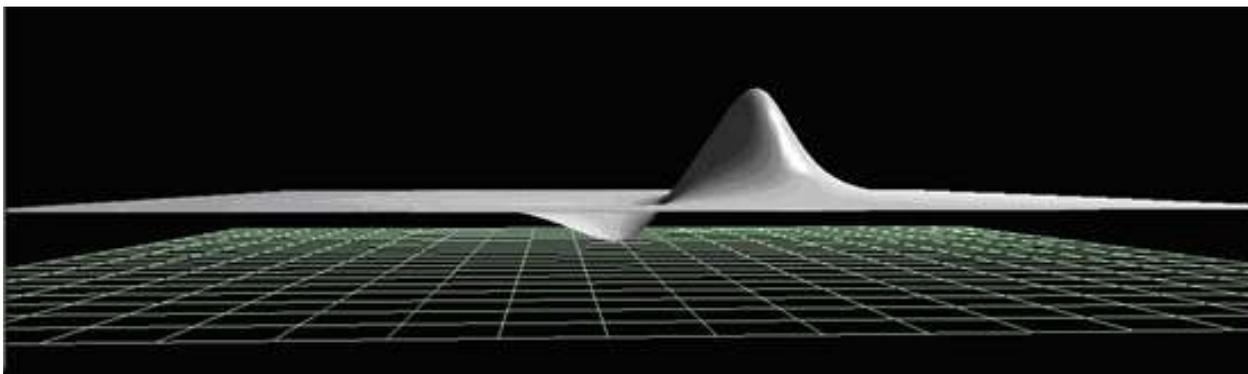


Рис. 1.5. Профиль вертикальных смещений в базисных источниках.

Базисные источники располагаются вдоль этих зон в два ряда - А и В. Источники A_i располагаются ближе к берегу (островной дуге), чем B_i (рис. 2-3). При этом та часть начального вертикального смещения водной поверхности, где первоначально имеет место поднятие, располагается дальше от берега (или островной дуги). Для возможности аппроксимации очагов цунами, являющихся результатом более мощных землетрясений, эти источники являются взаимно перекрывающимися. Это означает, что область поднятия источника B_i находится на месте понижения поверхности дна в источнике A_i (рис. 1.6).

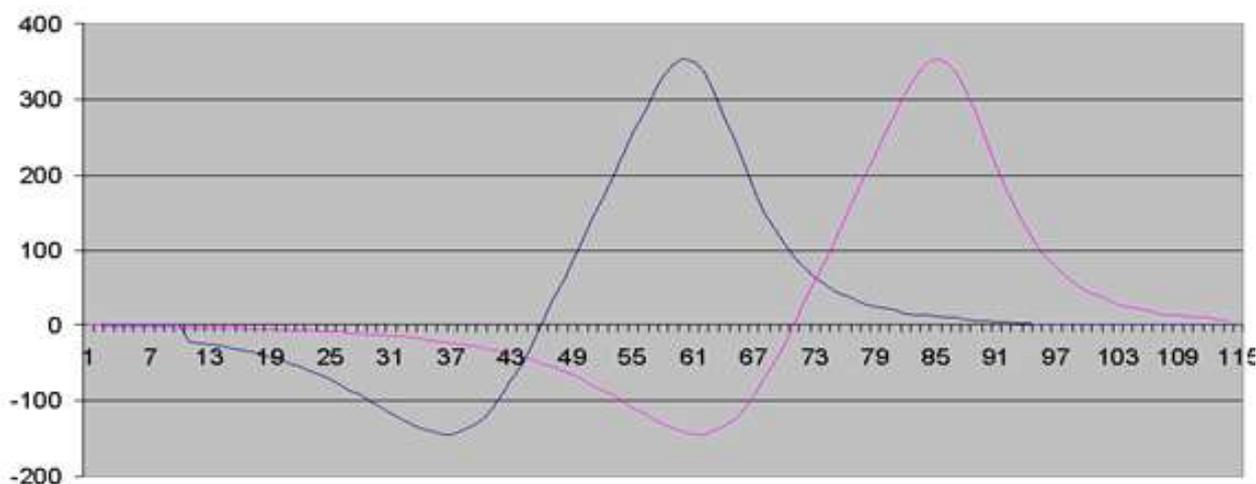


Рис. 1.6. Взаимное расположение смежных базисных источников, используемых NOAA.

Однако, такая конфигурация смежных базисных источников не очень хорошо аппроксимирует начальное поднятие поверхности с более широкой положительной частью, чем у базисного источника. Здесь и далее вдоль горизонтальной оси показаны сеточные координаты точек вдоль Левый источник на рисунке 1.6 – это источник А, а правый – В. Рассмотрим, как выглядят профили линейной комбинации из этих двух базисных источников для нескольких сочетаний коэффициентов. На рисунках 1.7-1.9 приведены профили очагов $1A+1B$, $1A+2B$ и $1A+3B$ соответственно.

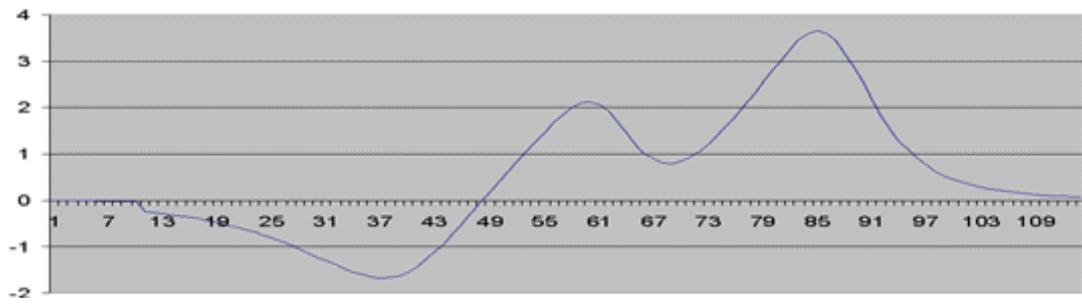


Рис. 1.7.

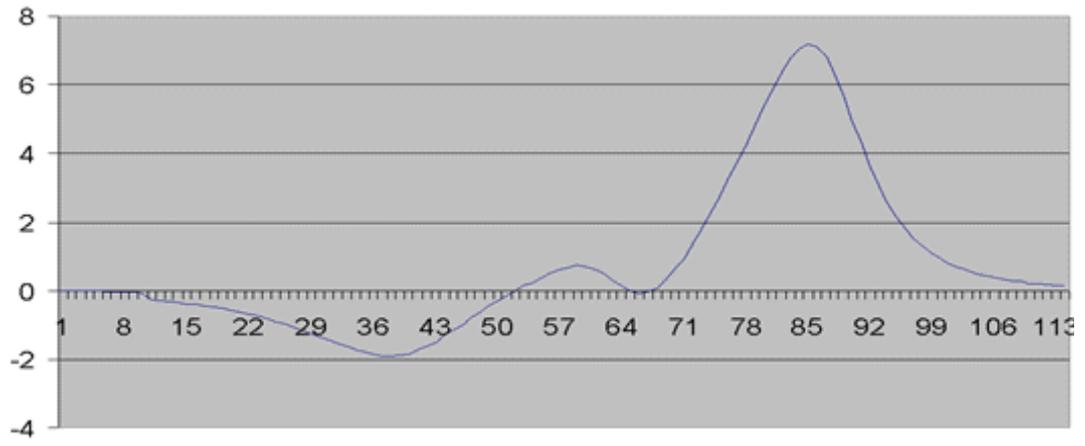


Рис. 1.8.

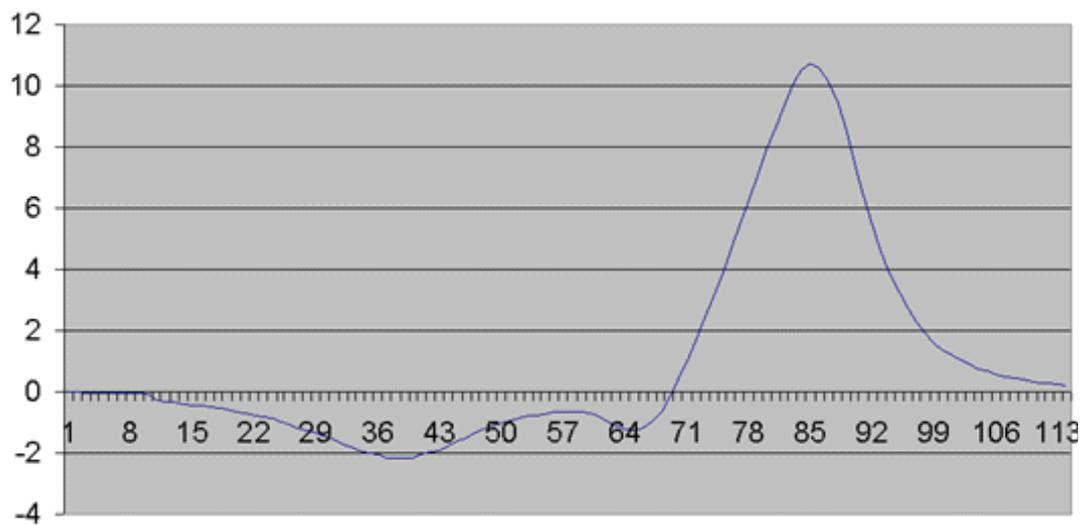


Рис. 1.9.

Следует заметить, что в отличие от рисунка 1.6, где амплитуда показана в миллиметрах, высоты комбинированных очагов на рисунках 1.7-1.9 выражается в дециметрах. Сразу обнаруживается один из недостатков используемой в настоящее время системы базисных источников. При близких значениях коэффициентов в линейной комбинации этих двух источников результирующий профиль получается «двугорбым», что является неестественным с точки зрения сейсмологии. Вторым минусом такого представления очага является практическая невозможность представления очагов со сравнительно большой амплитудой в депрессивной части. Из рисунков видно, что максимальное понижение уровня во всех трёх случаях не превышает 20-ти сантиметров, что в сравнении с более, чем метровым поднятием в другой части очага является явно недостаточным.

Указанных недостатков можно избежать, если смежные источники А и В немного сблизить друг с другом (рис. 1.10).

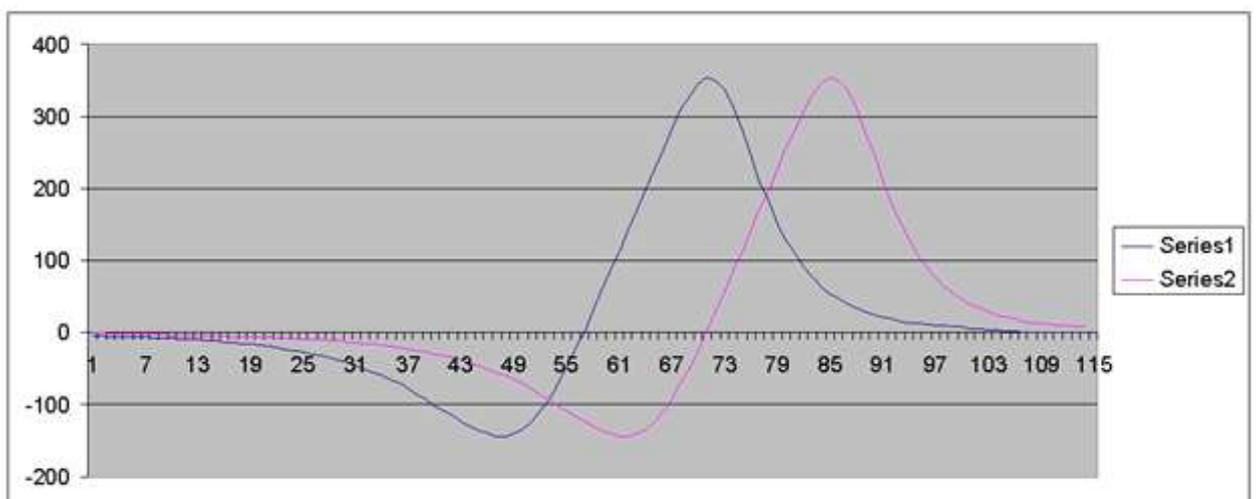


Рис. 1.10. Профиль смежных базисных источников с указанием высоты в мм.

При таком расположении пары смежных источников комбинированный очаг, составленный из их линейной комбинации, не будет «двугорбым». К тому же,

отрицательное его крыло может иметь большую отрицательную амплитуду, чем в случае взаимного расположения источников, приведённого на рисунке 1.6. На рисунках 1.11-1.13 приводятся профили комбинированных очагов с теми же коэффициентами, что и в предыдущем случае (рис. 1.7-1.9).

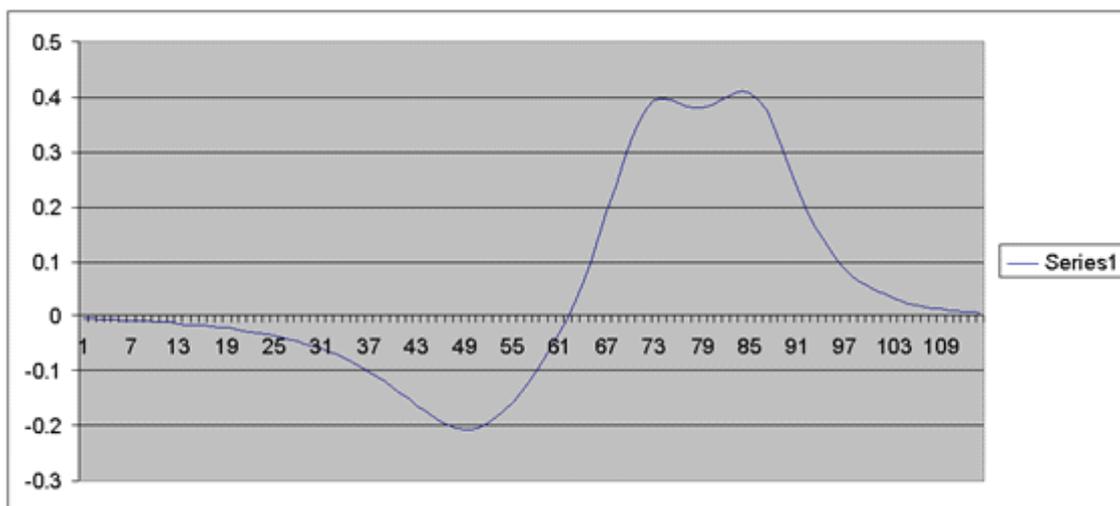


Рис. 1.11.

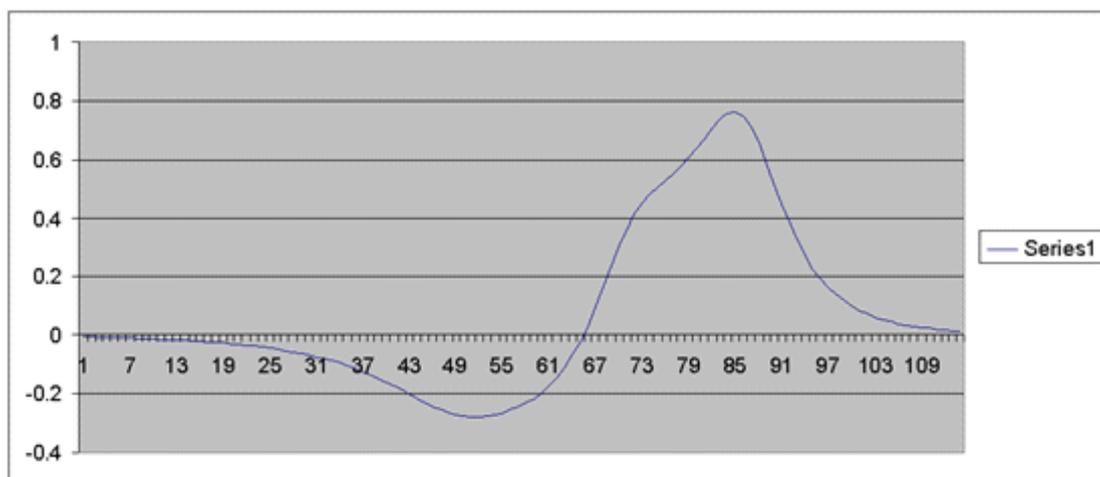


Рис. 1.12.

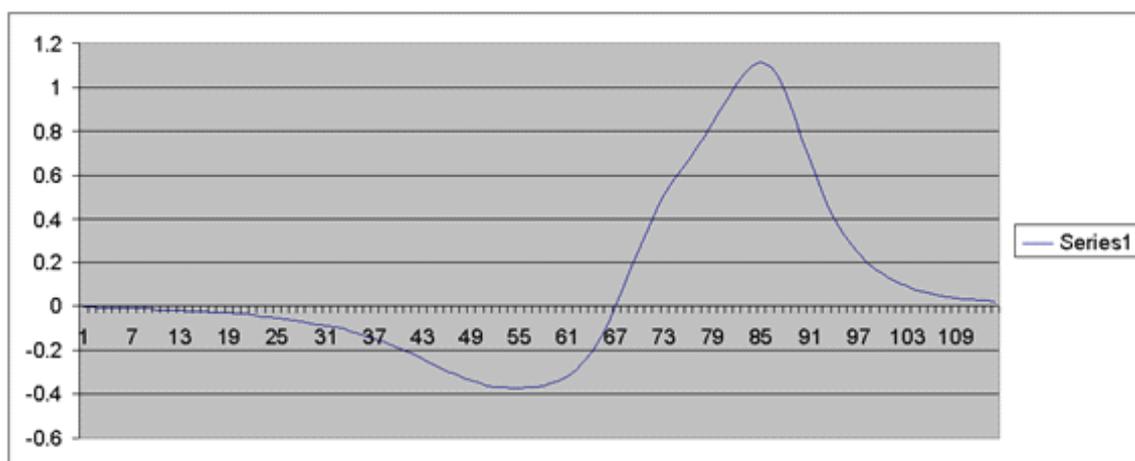


Рис. 1.13.

К очевидным минусам использования данной системы базисных очагов можно отнести заданность в довольно узких рамках формы начального смещения водной поверхности в очаге цунами. В частности, такими базисными источниками невозможно скомбинировать очаг с небольшой (по площади) положительной частью и более обширной (пусть даже и меньшей по амплитуде) отрицательной. Также невозможно аппроксимировать очаг, в котором амплитуда поднятия в положительной части будет меньше величины понижения уровня водной поверхности относительно невозмущённого состояния. В то же время известно, что одним из распространённых механизмов землетрясений в зонах субдукции является пологий надвиг [3], который как раз и даёт большое по площади невысокое поднятие в положительном крыле и гораздо более компактное, но значительно большее по амплитуде понижение уровня в отрицательной части поля остаточных смещений.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ РЕШЕНИЯ

Требуется построить более универсальный набор базисных источников, позволяющий при несущественном росте их числа достаточно качественно аппроксимировать практически любое возможное в реальной жизни начальное смещение поверхности океана, локализовано известной областью. Форма остаточных смещений океанического дна зависит от мощности (магнитуды) подводного землетрясения и сейсмического механизма, который подразделяется на несколько типов. Следуя работе [3] приведём на рисунке 1.14 соответствующие профили остаточных смещений для разных сейсмических механизмов. Здесь же указаны углы наклона плоскости разрыва δ и направление подвижки λ [3].

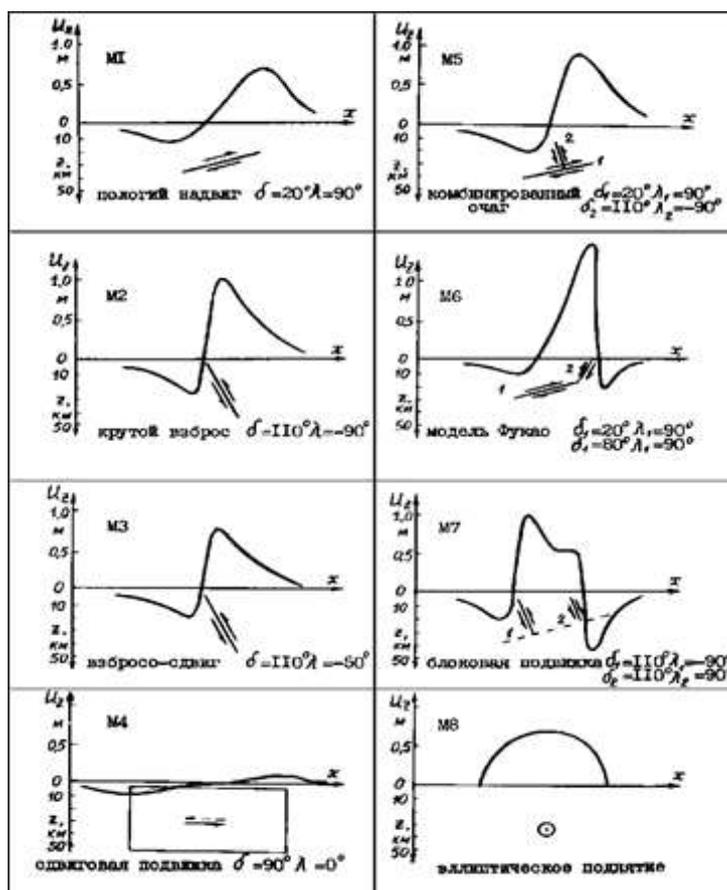


Рис. 1.14. Возможные профили остаточных смещений в очаговой зоне.

В качестве возможных вариантов профиля базисного источника были рассмотрены несколько функций

$$\begin{aligned} y &= e^{-|x|} \\ y1 &= e^{-|x^2|} \\ y2 &= e^{-|x^3|} \end{aligned} \quad (1)$$

Графики приведённых в (1) функций изображены на рисунке 1.15 соответственно сплошной, штриховой и пунктирной линиями

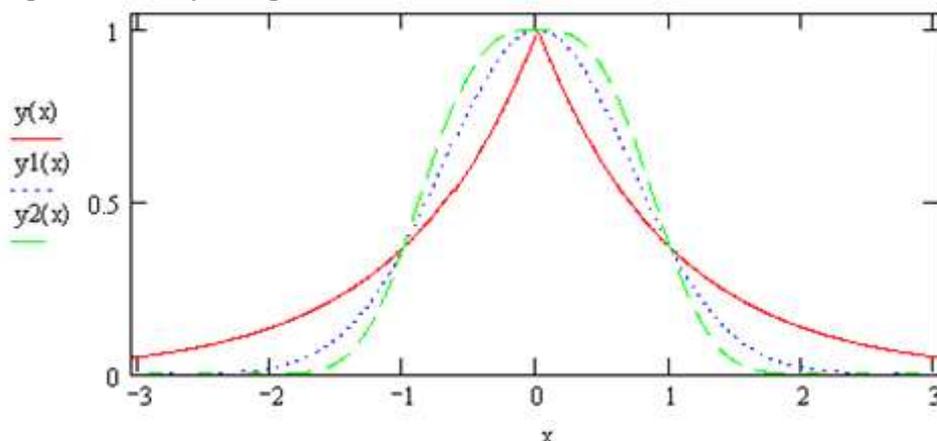


Рис. 1.15. Варианты профиля смещения водной поверхности

Как видно из рисунка 1.15, в числе рассмотренных были и не совсем удачные варианты. Например, слишком острый верх профиля при использовании функции $y(x)$. Одним из перспективных вариантов набора базисных очагов могут быть несколько симметричных источников с экспоненциальным профилем, у которых точки максимумов располагаются в пяти разных точках на одинаковом расстоянии друг от друга. В частности, целесообразно аппроксимировать профиль начального смещения поверхности, используя пять таких экспоненциальных функций (рис.1.16).

$$f_i(x) = e^{-\left|\frac{x-x_i}{10}\right|^2}, \quad (2)$$

где x_i ($i=1,\dots,5$) горизонтальные координаты центров этих экспоненциальных базисных источников.

Сами источники в плане имеют форму вытянутых эллипсов, подобных положительной части базисного источника, изображённого на рисунке 1.4. В дальнейшем будут изложены результаты проверки способности такого набора базисных источников аппроксимировать широкий спектр начальных смещений водной поверхности, возникающих при подводных землетрясениях с различным сейсмическим механизмом [3]. Тестирование будет проходить на равномерной сетке размерностью 91 точка с шагом 1 км. То есть ширина области аппроксимации составляет порядка 100 км, что как раз соответствует максимальной ширине очагов цунами в зонах субдукции [1].

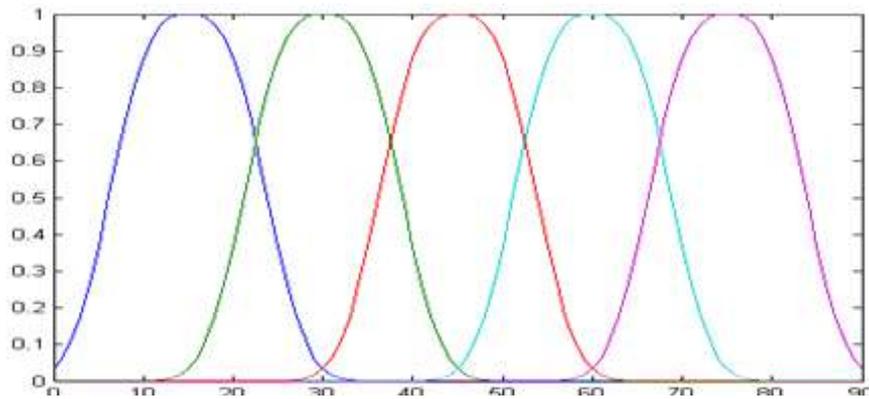


Рис. 1.16. Набор базисных источников с экспоненциальным профилем

Другим набором базисных очагов, который также будет анализироваться в работе, является вариант, где вместо источников с экспоненциальным профилем, изображённых на рис. 1.5, располагаются несколько пересекающихся источников, профиль каждого из которых задаётся формулой

$$f(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left((x - x_0) \frac{2\pi}{l} \right) \right), \quad x \in [x_0 - l/2, x_0 + l/2], \quad (3)$$

где l – ширина базисного источника с максимумом в точке x_0 .

Рассмотрим сначала вариант, когда для аппроксимации начального смещения в очаге цунами используются три таких «косинусоидальных» источника. Их расположение в области, где проводится аппроксимация, показано на рисунке 1.17.

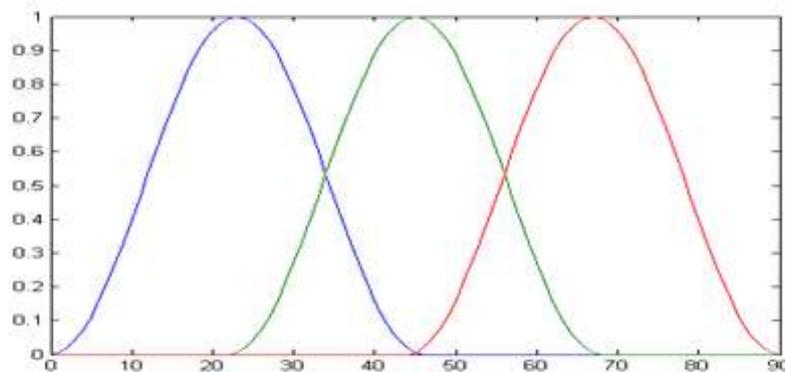


Рис. 1.17. Набор базисных источников с косинусоидальным профилем

При ширине области аппроксимации, равной 91 точке, центры этих трёх базисных источников располагаются в точках $x_1=23$, $x_2=45$, $x_3=67$. Сразу очевидно, что при использовании этого набора может возникнуть ситуация, когда вершина положительной части очага будет не находится близко к вершине одного из источников. В таком случае качество аппроксимации очага линейной комбинацией базисных источников может быть не очень хорошим.

Качество аппроксимации реального очага линейной комбинацией базисных источников проводилось на сетке размерностью 91 точек, где в каждом узле было известно значение смещения поверхности в реальном очаге и в базисных источниках. В дальнейшем при поиске коэффициентов в линейной комбинации базисных источников, число точек n , фигурирующее в формулах, как правило принималось равным 91.

Для оценки качества приближения реального очага цунами комбинацией из базисных источников было выбрано две нормы L1 и L2, величина невязки для которых вычисляется по формулам

$$D1 = \frac{\sum_{i=1}^n |F1_i - F2_i|}{n}$$
$$D2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |F1_i - F2_i|^2}{n}}, \quad (4)$$

где $F1_i$ – значение линейной комбинации базисных источников в i -ой точке расчетной сетки, $F2_i$ – значение смещения поверхности океана в очаге цунами в i -ой точке, n – общее число расчетных точек (точек сравнения).

Нахождение величины $D1$ – обладает меньшей по сравнению с $D2$ вычислительной сложностью. Она означает среднюю величину отклонение линейной комбинации базисных источников от смещения поверхности океана в очаге цунами.

Методом минимизации рассматриваемых норм был выбран комбинаторный перебор значений коэффициентов при каждом из базисных источников в пределах интервала от -1 до $+1$ с маленьким шагом (в расчётах величина этого шага составляла 0.1 для экспоненциального профиля и 0.01 для косинусоидального профиля). Норма приближения считается хорошей, если она составляет около $0,10$ от амплитуды очага.