

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В МОРСКОЙ СРЕДЕ В ЛУЧЕВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Белокопытов В.Н.

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г.Севастополь, ул.Капитанская, 2

Распространение акустических волн в морской среде в значительной степени определяется рефракцией звука, вызываемой неоднородностями вертикальной структуры поля скорости звука. Инструментальные измерения скорости звука велосиметрами обеспечивают наибольшую точность, однако на практике более распространено использование эмпирических формул для расчета скорости звука по данным о гидростатическом давлении, температуре и солености морской воды.

Для оперативной оценки условий распространения звука в море разработано программное обеспечение, позволяющее по данным океанографических съемок рассчитывать лучевые диаграммы как для однородных трасс (отдельная гидрологическая станция) так и для неоднородных (гидрологический разрез).

В качестве расчетного алгоритма скорости звука выбрана широко используемая эмпирическая формула Fofonoff, N.P., R.C.Millard [1]

$$V = C + AS + BS^{3/2} + DS^2 \quad (1)$$

где $C(T,P)$, $A(T,P)$, $B(T,P)$, $D(P)$ – эмпирические коэффициенты,
 T – температура воды,
 S – соленость воды,
 P – гидростатическое давление.

Вертикальные профили преобразуются в двумерную матрицу скорости звука, по которой рассчитываются лучевые диаграммы в виде траекторий

рефрагирующих звуковых лучей, согласно закону Снеллиуса,

$$\cos \chi_1 / \cos \chi = c_1 / c \quad (2)$$

а также факторы фокусировки

$$f = R^2 \cos \chi_1 / r \left| \partial r / \partial \chi_1 \right| \sin \chi \quad (3)$$

и аномалии распространения,

$$A = 10 \lg f \quad (4)$$

согласно [2].

Известно, что сплайн-функции обеспечивают достаточно гладкие приближения гидрофизических полей. Для пространственной интерполяции поля скорости звука по трассе используются рациональные сплайны с регулируемым «натяжением» [3], которые на каждом промежутке $[x_i, x_{i+1}]$ имеют вид

$$S_R(x) = A_i t + B_i(1-t) + \frac{C_i t^3}{1+p_i(1-t)} + \frac{D_i(1-t)^3}{1+q_i t} \quad (5)$$

где $t = (x-x_i) / h_i$,

$$h_i = x_{i+1} - x_i,$$

p_i, q_i – параметры «натяжения»,

A_i, B_i, C_i, D_i – коэффициенты, вычисляемые при условии непрерывности первой и второй производной функции.

С помощью эмпирического подбора параметров p_i, q_i удается устранить осцилляции, возникающие в традиционных кубических сплайнах при приближении функций с большими градиентами и точками излома, как, например, при переходе от верхнего квазиоднородного слоя к слою скачка. Так, при $p_i = q_i = 50$ в окрестностях подобных критических точек, функция приближается полиномом первой степени.

Программный пакет содержит блок визуального выбора океанографических станций, блок просмотра вертикальных профилей и блок построения лучевых диаграмм. Работа пользователя заключается в выборе на экране не-

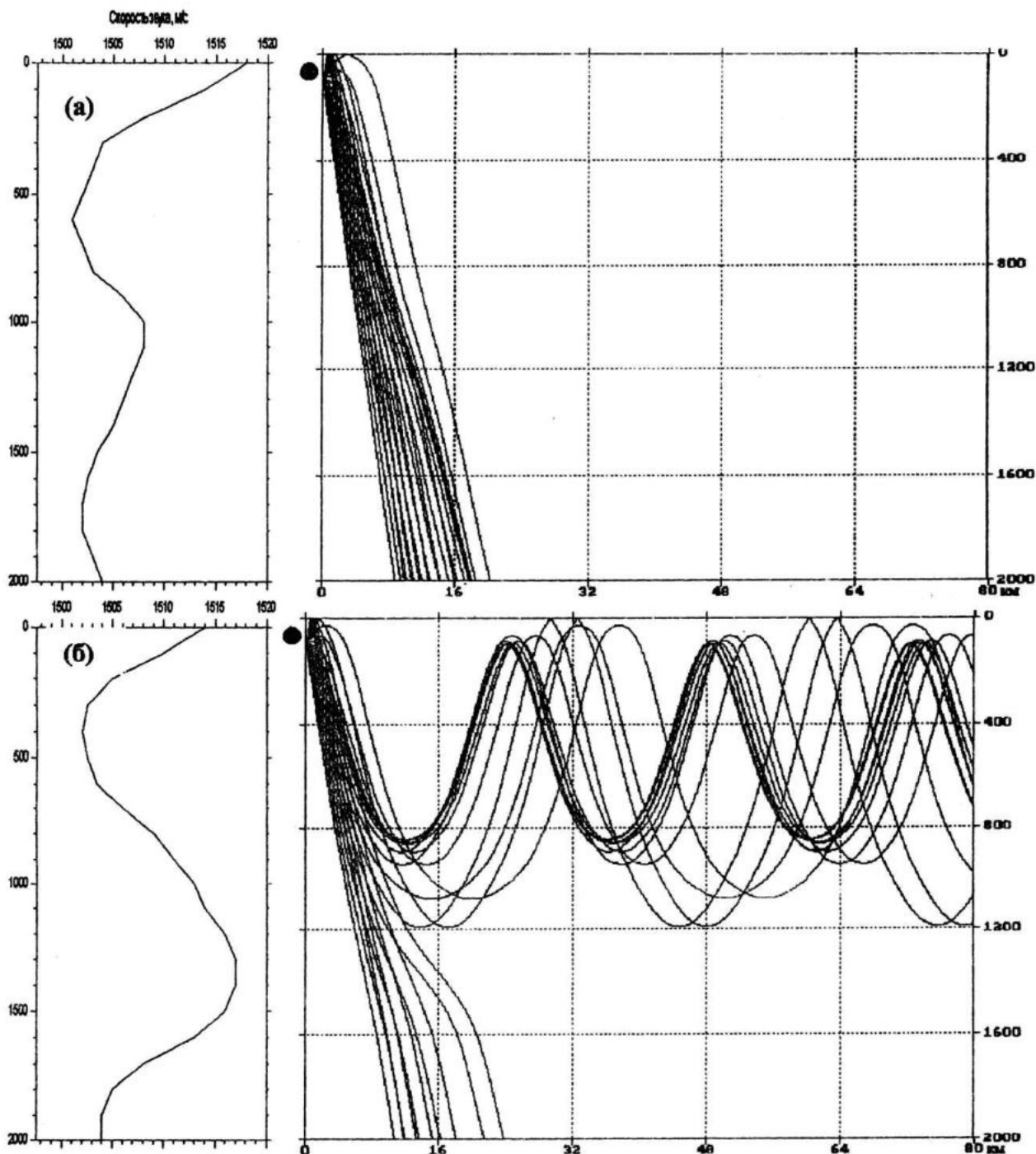


Рис.1 Лучевые диаграммы в пригибралтарском районе Атлантического океана: (а) фоновые условия, (б) присутствие линзы вод средиземноморского происхождения. Глубина расположения источника 100 м.

обходимых станций и построении лучевых картин при различных начальных условиях: глубины расположения источника, угла выхода лучей из источника, положения источника относительно начала трассы, горизонтального масштаба, учета отраженных донных лучей.

Программный пакет использовался при исследовании гидролого-акустической структуры различных

районов Мирового океана: Северной Атлантики, антарктического сектора Южной Атлантики, шельфа Гвинеи, Черного и Средиземного морей. Лучевые диаграммы на неоднородных трассах позволили оценить влияние мезомасштабных термохалинных образований на распространение звука, в частности, линз вод средиземноморского происхождения, создающих дополнительный звуковой канал или

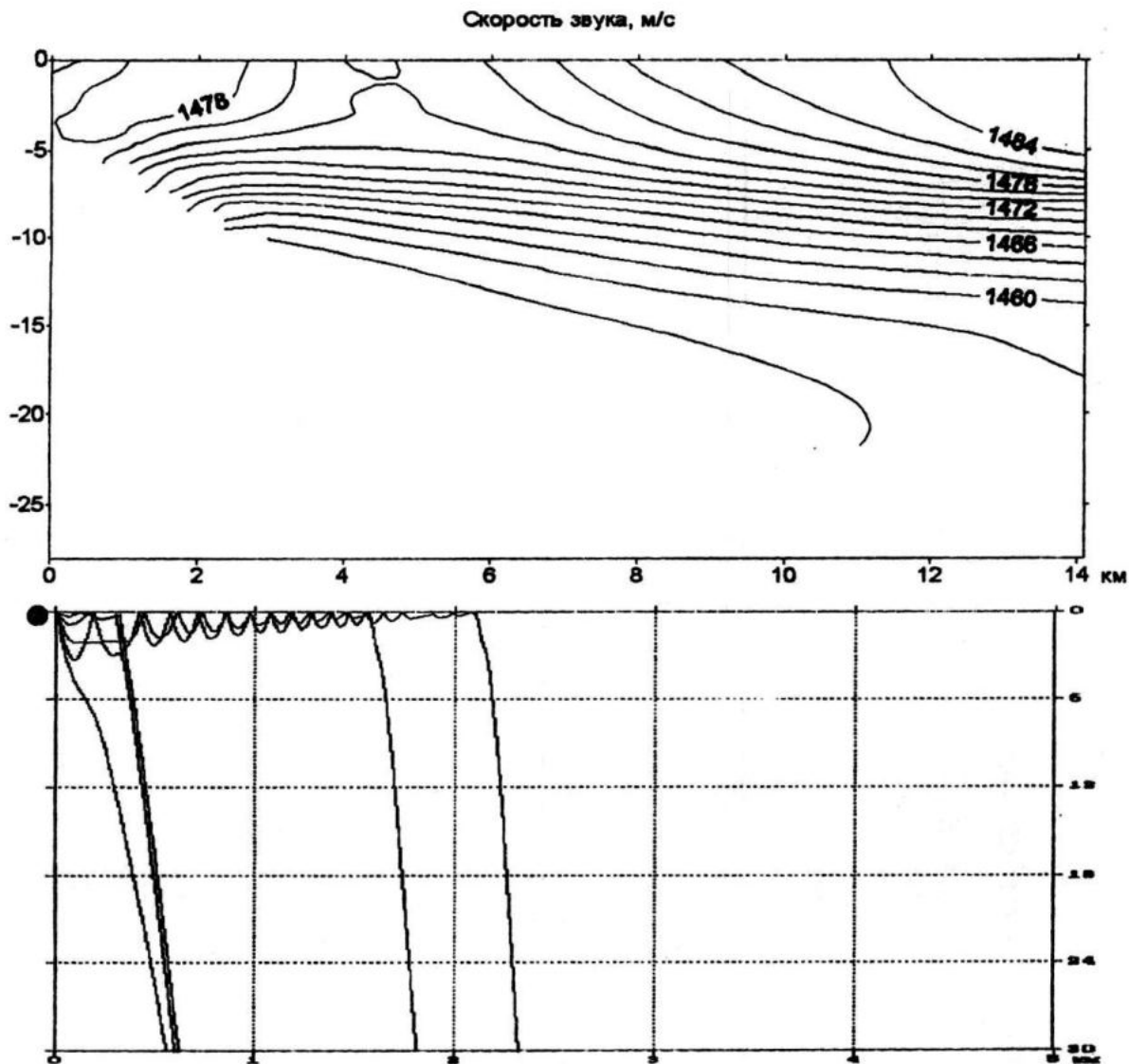


Рис 2. Лучевая диаграмма на разрезе вблизи устья Дуная в мае 1989 г., источник находится на поверхности. Поверхностный волновод, образованный распресненными водами (слева) исчезает в мористой части.

усиливающих захват им звуковой энергии (рис.1), распресненных поверхностных волноводов вблизи устьев рек (рис.2), а также различных эффектов во фронтальных зонах.

Программа существует для операционных систем DOS и Windows 95. DOS-версия создавалась на языке программирования Borland Pascal, версия для Windows – на языке Delphi.

Литература

1. UNESCO technical papers in marine science. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. 44, 1983.
2. Бреховских Л.М.(ред.) Акустика океана. М., «Наука», 1974, 694 с.
3. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. М., «Наука», 1980, 352 с.