

К ВОПРОСУ О СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ФЛУКТУАЦИЙ СКОРОСТИ ЗВУКА НА ОКЕАНИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

Кошелева А.В., Лазарюк А.Ю., Ярошук И.О.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
yaroshchuk@poi.dvo.ru*

Основной причиной флуктуаций скорости звука как в глубоком океане, так и в его шельфовой зоне являются внутренние волны (ВВ) [1, 2]. Как и в глубоком океане, на шельфе всегда присутствуют фоновые (линейные) ВВ. В отличие от солитоноподобных нелинейных волн они представляют собой поле, которое в некотором смысле можно полагать случайным. Основная специфика фоновых волн на шельфе состоит в том, что в фоновое поле могут вносить существенный вклад не свободные волны, а остаточные возмущения малых амплитуд цугов нелинейных волн. Такие «хвосты» (“tails”) бывают как достаточно длинными во времени, так и протяженными по пространству.

Если рассматривать скорость звука, возмущаемую полем ВВ, то формально ее можно записать в виде $c(t, x, y, z) = \langle c(t, x, y, z) \rangle + \delta c(t, x, y, z)$. Здесь угловые скобки означают операцию усреднения, а величина δc описывает случайную часть, которая получается вычитанием из наблюдаемого поля скорости звука его средней части. Отметим, что такое представление требует предварительного выбора характерных пространственных и временных масштабов поля скорости звука, по которым проводится усреднение. Таким образом, флуктуации $c(t, x, y, z)$ определяются максимальными масштабами для неоднородностей, которые мы решили отнести к флуктуациям. Естественно, что такой выбор неоднозначный, он является условным и определяется физическим смыслом конкретной поставленной задачи, например, задача о рассеянии звука ВВ в течение определенного интервала времени.

Для малых флуктуаций скорости звука в гидроакустике принято использовать следующую связь между $\delta c(t, z)$ и величиной вертикального смещения частичек жидкости ζ [3, 1]

$$\delta\tilde{n} = \left(\frac{\partial\tilde{n}}{\partial z} \right)_{pot} \zeta, \quad \delta\tilde{n} = c \left(\frac{\mu}{g} \right) N^2 \zeta. \quad (1)$$

Здесь указан потенциальный градиент скорости звука, $\mu \approx 24,5$ – безразмерная константа, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ – гравитационное ускорение. Формулы (1) обеспечивают простую связь между статистикой $\zeta(t, z)$ и $\delta c(t, z)$. Особую популярность получила вторая из формул (1). Она используется многими исследователями для моделирования флуктуаций $\delta c(t, z)$ как в глубоком океане, так и в мелком море [1, 2].

Впервые вторая из формул (1) была получена в работе [3], где авторы исследовали влияние линейных внутренних волн на флуктуации звука в глубоком океане. Параметр μ , входящий в (1), определяется набором термодинамических параметров, связывающих вариации скорости звука, плотности, температуры и солёности. Кроме того, изменчивость самого параметра μ зависит от отношения градиентов солёности и потенциальной температуры, которые для случая глубокого океана изменяются незначительно, поэтому все параметры в работе [3] были выбраны для глубины 1 км. В итоге и было получено значение $\mu \approx 24,5$. Однако, в шельфовой зоне наблюдаются широкие диапазоны изменчивости температуры и

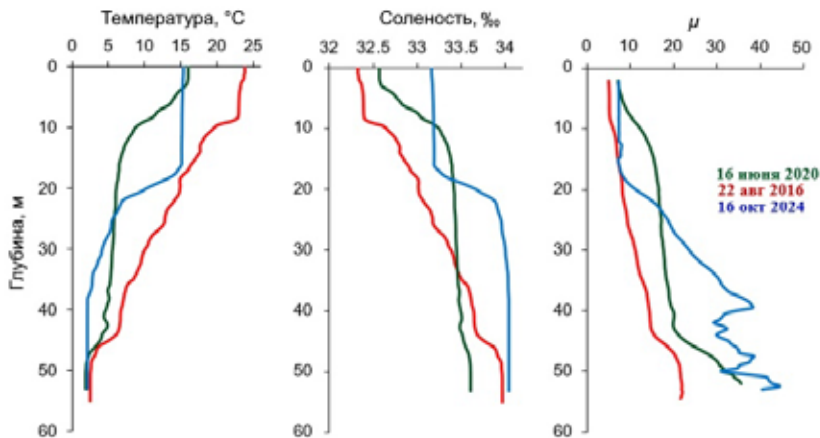


Рис. 1. Распределение по глубине температуры (слева), солёности (в центре) и функции μ (справа) для весны, лета и осени (зеленые, красные и синие линии соответственно)

солёности [4]. Соответственно, неизбежны вариации параметра μ из-за кратных изменений (в несколько раз) производных термодинамических параметров.

По данным STD зондирований с использованием набора термодинамических параметров были вычислены значения μ по формулам работы [3]. На рисунке 1 представлены результаты для весны 2020, лета 2016 и осени 2024 гг. Таким образом, для шельфовой зоны в модельных описаниях ВВ необходимо учитывать, что в формулах (1) μ – это не константа, а функция, которая может существенно изменяться не только по глубине, но и по времени. И если для летнего сезона значительных изменений не наблюдается, то для осени функция μ по глубине изменялась в диапазоне 8...40.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 124022100074-9 «Изучение природы линейного и нелинейного взаимодействия геосферных полей переходных зон Мирового океана и их последствий».

Литература

1. Flatte S., Dashen R., Munk W., Watson K., Zachariasen F. Sound Transmission through a Fluctuating Ocean. Cambridge U.P.: Cambridge, UK. 1979. 320 p.
2. Katsnelson B., Petnikov V., Lynch J. Fundamentals of Shallow Water Acoustics. Springer: New York, NY, USA. 2012. 540 p.
3. Munk W.H., Zachariasen F. Sound propagation through a fluctuating stratified ocean: Theory and observation // J. Acoust. Soc. Am. 1976. V. 59. P. 818-838.
4. Yaroshchuk I., Kosheleva A., Lazaryuk A., Dolgikh G., Pivovarov A., Samchenko A., Shvyrev A., Gulin O., Korotchenko R. Estimation of Seawater Hydrophysical Characteristics from Thermistor Strings and CTD Data in the Sea of Japan Shelf Zone // J. Mar. Sci. Eng. 2023. V. 11. 1204. <https://doi.org/10.3390/jmse11061204>.