ОЦЕНКА ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Шишкина О.Д.¹, Литвин А.Д.², Стецюк И.В.²

¹ ФИЦ Институт прикладной физики РАН,
ул. Ульянова, 46, ГСП-120, 603950, г. Нижний Новгород,

Тел. +7 831 416-4872, e-mail: olsh@appl.sci-nnov.ru

² КГНЦ, Московское ш., 44, 196158, г. Санкт-Петербург,
+7 812 415-4619, e-mail: irene_stetsuok@yahoo.com

The features of formation of linear and nonlinear internal Kelvin waves in the Caspian Sea, as well as the research of their spatial transformation versus the seasonal hydrological characteristics and the bathymetry of the shelf zone are studied. The results of the in-situ contact measurements [1] are verified by quantitative estimations of the horizontal and vertical parameters of internal waves based on satellite data for the upper sea layers.

Исследуются особенности формирования линейных и нелинейных внутренних волн Кельвина в Каспийском море, а также результаты их пространственной трансформации в зависимости от сезонных гидрологических характеристик и батиметрии шельфовой зоны. Результаты контактных натурных измерений [1] верифицируются количественными оценками горизонтальных и вертикальных параметров внутреннего волнения, выполненными на основе спутниковых данных для верхних слоев моря.

В докладе представлены результаты анализа вертикальной и горизонтальной структуры линейных и нелинейных внутренних волн Кельвина, зарегистрированных с помощью вертикальных линеек датчиков температуры, установленных вблизи кромки шельфа в юго-западной части Каспийского моря. Схема размещения контактной измерительной аппаратуры представлена на рис. 1 [1].

На рис. 2 представлены результаты измерений цугов внутренних волн Кельвина. Вертикальная структура двух систем внутренних волн, зарегистрированных в периоды с 24 по 26 ноября (на рис. 2 справа) и с 1 по 5 декабря 2004 г. (на рис. 2 слева).

Очевидно, что сезонные изменения гидрологии в осенне-зимний период с незначительным снижением температурного градиента

$\Delta T / \Delta z = 0.02^\circ\text{C}/\text{м}$ в приповерхностном слое глубиной 50 м привели к изменению характера вертикальной структуры поля внутренних волн с выраженного линейного на типично нелинейный.

Рис. 1. Схема расположения оборудования для контактных измерений гидрологии на шельфе Каспийского моря [1].

Рис. 2. Волновые возмущения в сезонном пикноклине по данным контактных измерений в ноябре (справа) и декабре (слева) 2004 г. [1].

Результаты двумерной и пространственной реконструкции спутниковых данных для акватории Каспийского моря и соответствующих периодов времени в ноябре–декабре 2004 г. приведены на рис. 3 и 4.

В вертикальной и горизонтальной структуре линейных внутренних волн по данным как контактных (рис. 2), так и дистанционных (рис. 3)

измерений наблюдаются проявления дисперсионных свойств низших мод внутренних волн.

Рис. 3. Поле эвфотической глубины по данным дистанционного зондирования (линейные волны, вертикальная структура на рис. 2 слева).

Пространственная независимость модовой структуры вынужденного внутреннего волнового поля движущегося твердого тела ранее была исследована в [2, 3]. Наблюдения аналогичного поведения свободных внутренних волн с исследованием пространственной структуры волнового поля ранее не встречались.

Результат формирования нелинейной внутренней волны Кельвина как солитона понижения 1-й внутренней моды с амплитудой 40 м (рис. 2) представлен на рис. 4.

Рис. 4. Поле эвфотической глубины по данным дистанционного зондирования (нелинейные волны, вертикальная структура на рис. 2 справа).

Особенности гидрологических условий, способствующих формированию солитонов в пикноклине, исследовались в [4].

Полученные результаты могут быть использованы для верификации пространственно-временных оценок гидрологии сезонного пикноклина по результатам контактных натурных измерений, а также расшифровки данных дистанционного зондирования верхних слоев морской среды при анализе гидродинамических возмущений в шельфовой зоне.

Реконструкция полей гидрологических параметров акватории Каспийского моря выполнена на основе спутниковых данных программы MODIS-Aqua. Реанализ спутниковых измерений выполнен с помощью интерактивной системы GIOVANNI.

Выполнение работы частично финансировалось по ГК № 0035-2014-0032.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weber J.E.H. and Ghaffari P. Mass transport in internal coastal Kelvin waves // *Eur. J. Mech. B/Fluid*. 2014. Vol. 47. P. 151–157.
2. Шишкина О.Д. Экспериментальное исследование генерации внутренних волн вертикальным цилиндром в приповерхностном пикноклине // *Изв. РАН. Механика жидкости и газа*. 2002. № 6. С. 94–99.
3. Shishkina O.D. Experimental study of regular background and ship internal waves interaction in the thermocline // 4-th International Symposium on Stratified Flows. Preprints. Eds. Hopfinger E., Voisin B. 1994, LEGI-IMG. Grenoble. Vol. 3, Section GP3.
4. Shishkina O.D. Resonant generation of solitary wave in thermocline // *Experiments in fluids*. 1996. Vol. 21. Iss. 5. P. 374–379.