Е.Е. Химченко, А.Г. Островский, В.В. Гончаров

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА
КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В ПЕРИОД
ЗИМНЕЙ СТРАТИФИКАЦИИ**

*Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН
Россия, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, 36,
Тел.: 8(499)124-59-96, E-mail: ekhym@ocean.ru*

В работе анализируются внутренние волны, зарегистрированные на континентальном склоне Черного моря в январе–марте 2016 г. Данные получены при помощи профилографа «Аквалог». Проведено сравнение внутренних волн, зарегистрированных во время зимней стратификации, с их аналогами, наблюдаемыми в период летней стратификации вод при ярко выраженном сезонном пикноклине.

Ключевые слова: внутренние волны, Черное море, профилограф «Аквалог»

Внутренние волны являются одной из главных причин пространственно-временной изменчивости среды распространения акустических сигналов в шельфовой зоне морей. Внутренние волны также ответственны за ряд акустических эффектов, исследованию которых посвящено много работ [1, 2]. Отдельное внимание уделяется наблюдениям флуктуаций скорости звука, вызванных внутренними волнами в океане и на шельфе [3]. Влияние интенсивных внутренних волн на изменчивость профиля скорости звука в шельфовых водах Черного моря рассматривается в [4].

Наблюдения за внутренними волнами в черноморском бассейне особенно интенсивно проводятся на шельфе в летне-осеннее время в условиях развитого сезонного термоклина. До сих пор накоплено мало данных о внутренних волнах Черного моря, зарегистрированных на континентальном склоне, что связано с затруднениями в постановках приборов. Также немногочисленны данные о внутренних волнах, наблюдаемых в условиях зимней стратификации. Применение заякоренного профилографа позволяет вести измерения в течение длительного срока независимо от времени года и района наблюдений. В работе анализируются данные, полученные с помощью профилографа «Аквалог»

в районе континентального склона Черного моря в январе–марте 2016 г. Прибор ведет регистрацию вертикальных распределений температуры, солёности, плотности и содержания кислорода в морской воде, а также скорости течений. Подробное описание прибора представлено в [5]. Во время измерений в 2016 г. профилограф был установлен на северо-восточной окраине Черного моря за кромкой шельфа, на изобате 220 м, в верхней части континентального склона мористее Геленджикской бухты.

За весь период наблюдений в слое основного пикноклина наблюдались характерные вертикальные колебания с периодом, близким к локальному инерционному, который в месте наблюдений составляет 17.15 ч. Эти смещения проявились как в данных вертикальных профилей плотности, так температуры и солёности. Наиболее интенсивные флуктуации были зарегистрированы в январе (рис. 1), что, вероятно, вызвано большим перепадом температур (и соответственно, большим градиентом плотности) между верхним и нижним слоями вод.

Рис. 1. Временная изменчивость условной плотности в январе 2016 г. по данным профилографа «Аквалог».

Квазиинерционные внутренние волны на континентальном склоне проявлялись и в данных скорости течений, в отличие от шельфовой зоны моря, где по этим данным они не всегда хорошо регистрируются, так как подвергаются сильному влиянию вдольбереговых течений и проходящих вихрей. На рис. 2 представлен разрез вертикальной структуры северной компоненты течений 20–21 января, во время прохождения квазиинерционной внутренней волны. На записи видно, что при прохождении внутренней волны, в области слоя скачка плотности происходит смена направления течения на противоположное, что характерно для внутренних волн первой моды. Тонкими линиями показаны смещения изопикн. От 00 ч 20 января виден подъем пикноклина, а после 17 ч – заглубление, значения температуры при этом на горизонтах изме-

нялись в пределах 2°C . Подобные синхронные смещения пикноклина были вызваны прохождением инерционных внутренних волн 1 моды. Высоты наблюдавшихся внутренних волн достигали 30 м.

Рис. 2. Временной разрез по данным северной компоненты течений 20–21 января 2016 г. Тонкими линиями отмечены изопикны.

По измеренным профилям CTD был проведен расчет дисперсионных соотношений для внутренних волн 1 моды в шельфовой и склоновой частях Черного моря в районе Геленджика (рис. 3). Расчет проводился путем численного решения уравнения внутренних волн, где в качестве исходных данных задается послойно невозмущенный вертикальный профиль плотности среды. Исходя из дисперсионных соотношений, длина квазиинерционной волны с периодом близким к 17 ч, распространяющаяся на континентальном склоне, составляет порядка 400 км и имеет групповую скорость 0.14 м/с. Аналогичная внутренняя волна на шельфе имеет следующие параметры – 137 км и 0.07 м/с.

Рис. 3. Дисперсионные соотношения для внутренних волн 1 моды, рассчитанные для континентального склона и шельфовой области близ Геленджика.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2019-0011), а также при частичной поддержке проекта РФФИ №19-05-00459.

Литература

1. Lynch J.F., Lin Y.T., Duda T.F., Newhall A.E. Acoustic ducting, reflection, refraction, and dispersion by curved nonlinear internal waves in shallow water // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2010. Vol. 35. No. 1. P. 12–27.
2. Кацнельсон Б.Г., Переселков С.А., Петников В.Г., Сабинин К.Д., Серебряный А.Н. Акустические эффекты, обусловленные интенсивными внутренними волнами на шельфе // Акустический журнал. 2001. Т. 47. № 4. С. 494–500.
3. Colosi J.A., Duda T.F., Lin Y.T., Lynch J.F., Newhall A.E., Cornuelle B.D. Observations of sound-speed fluctuations on the New Jersey continental shelf in the summer of 2006 // The Journal of the Acoustical Society of America. 2012. Vol. 131. No. 2. P. 1733–1748.
4. Серебряный А.Н., Химченко Е.Е. Сильная изменчивость скорости звука в шельфовой зоне Черного моря, вызванная инерционными внутренними волнами // Акустический журнал. 2018. Т. 64. № 5. С. 580–590.
5. Ostrovskii A.G., Zatsepin A.G. Intense ventilation of the Black Sea pycnocline due to vertical turbulent exchange in the Rim Current area // Deep-Sea Res. I. 2016. Vol. 116. P. 1–13.

E.E. Khimchenko, A.G. Ostrovskii, V.V. Goncharov

INVESTIGATION OF INTERNAL WAVES ON THE CONTINENTAL SLOPE OF THE BLACK SEA DURING WINTER STRATIFICATION

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
Nakhimovskiy prospekt, 36, Moscow, Russia, 117997,
Tel.: 8(499)124-59-96, E-mail: ekhym@ocean.ru*

An analysis of internal waves recorded on the continental slope of the Black Sea from January to March 2016 is presented. The data obtained using the “Aqualog” profiler. The internal waves recorded during the winter stratification are compared with their analogs observed during the summer stratification of waters with a pronounced seasonal pycnocline.

Keywords: internal waves, The Black Sea, “Aqualog” profiler

Acknowledgment: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Agency for Scientific Organizations of Russia (topic No. 0149-2019-0011), as well as with partial support of the RFBR project No. 19-05-00459.

References

1. Lynch J.F., Lin Y.T., Duda T.F., and Newhall A.E. Acoustic ducting, reflection, refraction, and dispersion by curved nonlinear internal waves in shallow water. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2010, Vol. 35, No. 1, pp. 12–27.
2. Kacnel'son B.G., Pereselkov S.A., Petnikov V.G., Sabinin K.D., and Serebryany A.N. Akusticheskie jeffekty, obuslovlennye intensivnymi vnutrennimi volnami na shel'fe. *Akusticheskij zhurnal*, 2001, Vol. 47, No. 4, pp. 494–500.
3. Colosi J.A., Duda T.F., Lin Y.T., Lynch J.F., Newhall A.E., and Cornuelle B.D. Observations of sound-speed fluctuations on the New Jersey continental shelf in the summer of 2006. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2012, Vol. 131, No. 2, pp. 1733–1748.
4. Serebryany A.N. and Himchenko E.E. Sil'naja izmenchivost' skorosti zvuka v shel'fovoj zone Chernogo morja, vyzvannaja inercionnymi vnutrennimi volnami. *Akusticheskij zhurnal*, 2018, Vol. 64, No. 5, pp. 580–590.
5. Ostrovskii A.G. and Zatsepin A.G. Intense ventilation of the Black Sea pycnocline due to vertical turbulent exchange in the Rim Current area. *Deep-Sea Res. I.*, 2016, Vol. 116, pp. 1–13.