

ИНТЕНСИВНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Серебряный А.Н.^{1,2}, Химченко Е.Е.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, г. Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, тел. +7 499 124-5996,
e-mail: ekhyum@ocean.ru

²АО «Акустический институт», ул. Шверника, 4, 117036, г. Москва, тел. +7 499
723-6300, e-mail: serebryany@akin.ru

The paper provides an overview of long-term studies of internal waves on the northeastern shelf of the Black Sea. Examples of intense internal waves have been identified over an almost 15-year observation period. A description of the processes that cause their generation on the basis of the field observations is given.

Внутренние волны являются важной составляющей динамики вод Черного моря. С 2003 по 2016 гг. нами ежегодно в летне-осеннее время проводились циклы экспериментальных исследований внутренних волн на геленджикском шельфе в районе, прилегающем к Голубой бухте. Измерения проводились методами «яхтенной океанологии», которые включали в себя проведение съемок с помощью компактной океанологической техники (минизонды, гирлянды автономных датчиков температуры, ADCP) с использованием малых судов (моторная лодка и яхта) на пространственных разрезах в пределах шельфовой зоны. Первоначальным толчком к проведению этих исследований послужило предоставление нам в 2003 г. в бесплатное пользование фирмой RDInstruments-Europe акустического доплеровского профилометра течений ADCP «Rio Grande 600 kHz».

Опыт использования ADCP «Rio Grande 600 kHz» показал, что данный прибор не только удобный измеритель течений, но и прибор, позволяющий детально изучать различные явления и процессы на шельфе [1]. В частности он полезен для исследований внутренних волн. Внутренние волны в Черном море, как известно [2], менее интенсивны по сравнению со своими аналогами в океане или морях с приливами. Обычно высоты внутренних волн здесь не превышают нескольких метров. Но тем не менее здесь встречаются волны больших амплитуд, которые сво-

им происхождением обязаны различным неприливным механизмам генерации. Рассмотрим примеры интенсивных внутренних волн, зарегистрированных нами на геленджикском шельфе за 15-летний период, дав краткое описание вызвавших их процессов.

Генерация внутренних волн фронтом в прибрежной зоне в послештормовой период. На рис. 1 показана запись обратно рассеянного сигнала ADCP на сечении, сделанном поперек шельфа в октябре 2003 г. Прибрежная мелководная зона моря шириной более 1 км была заполнена перемешанной штормом водой с коэффициентом рассеяния 65–67 дБ. В мелководную зону внедрялась вода из открытой части моря, контрастирующая с прибрежной водой по значениям коэффициента рассеяния (55–56 дБ). Фронт возвращающихся в прибрежную зону водных масс в момент его регистрации находился в точке шельфа с глубиной 25 м. Граница фронта сопровождалась цугом из 5 короткопериодных внутренних волн с амплитудами 5–8 м и длинами 70–100 м.

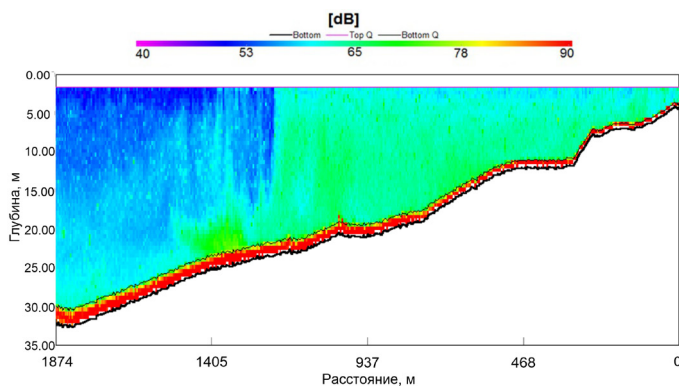


Рис. 1. Цуг интенсивных внутренних волн, движущийся с границей фронта водных масс к берегу, внедряющихся в прибрежную зону в послештормовой период.

Другой пример генерации внутренних волн в послештормовой период был получен 28.04.2016 в условиях весенней гидрологии. В данном случае вода открытого моря внедрялась в прибрежную зону в виде подповерхностной интрузии, головная часть которой была подвержена колебаниям с амплитудой 3–5 м и длиной 70–80 м.

Генерация внутренних волн при проходе субмезомасштабного антициклонического вихря. Во время прохода по шельфу компактного антициклонического вихря диаметром около 10 км 4 октября

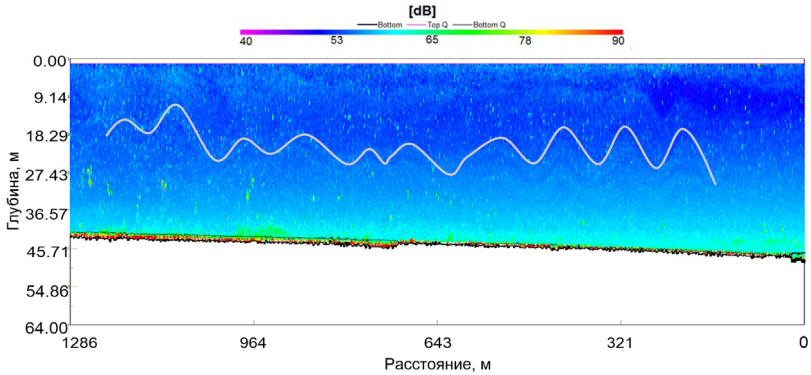


Рис.2. Интенсивные внутренние волны, сгенерированные при проходе субмезомасштабного антициклонического вихря 4.09.2009.

2009 г. нами был зарегистрирован цуг необычно больших внутренних волн [3]. Цуг состоял из 8–10 волн, их высоты лежали в пределах 9–13 м, длины – 100–115 м.

В части шельфа с глубинами более 50 м была зарегистрирована удлиненная область с интенсивным вертикальным движением вод. Ее горизонтальные размеры (по нормали к берегу) составляли около 1300 м. Во фронтальной части образования скорость вертикальной компоненты течения достигала 10–12 см/с вниз, а в тыловой – до 10–15 см/с вверх. Этот гидравлический скачок был встроен в систему течений вихря и двигался к берегу, излучая пакет внутренних волн в прибрежную область моря, где стратификация характеризовалась резким скачком плотности в при-

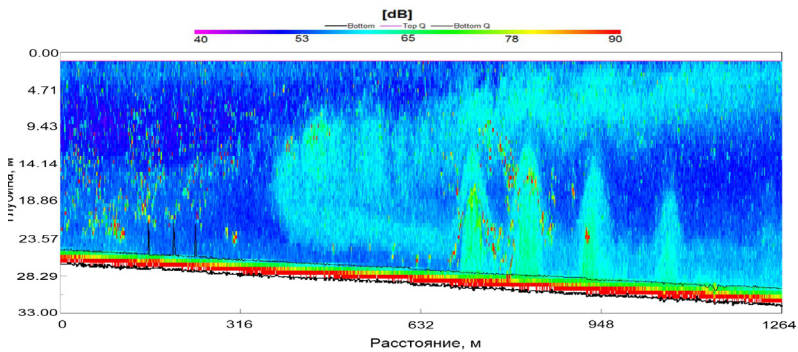


Рис. 3. Цуг рекордных по высоте внутренних волн Черного моря. Наблюдение 07.10.2015 г. на геленджикском шельфе [4].

донном слое на горизонте 45 м. Положение цуга интенсивных волн было ограничено с одной стороны передним фронтом гидравлического скачка, а с другой – областью квазиоднородной по плотности прибрежной воды.

Генерация внутренних волн проходящим над морем атмосферным фронтом. Аномально большой по амплитудам (до 16 м) цуг внутренних волн движущихся к берегу был зарегистрирован 07.10.2015 г. у Геленджика на траверсе м. Толстый [4] (рис. 3). Появление этого цуга предшествовало подходу холодного атмосферного фронта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в докладе процессы, ответственные за генерацию интенсивных внутренних волн на шельфе – это первые экспериментальные подтверждения теоретических предсказаний (генерация атмосферным фронтом), а также экспериментальные наблюдения механизмов, как отмечавшихся ранее (волны в послештормовой период), так и совсем новых (генерация волн вихрем).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010).

ЛИТЕРАТУРА

1. Serebryany A. Monitoring of processes on a sea shelf using ADCP // In monograph «Hydroacoustics of shallow sea» / Editors Eu. Kozachka, G. Grelovska. Poland. 2013. P. 105–117.
2. Иванов В.А., Серебряный А.Н. Частотные спектры короткопериодных внутренних волн в бесприливном море // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1982. Т. 18. № 6. С. 683–685.
3. Serebryany A. et al. New findings in studying internal solitons in the sea and the associated acoustic effects // Proceedings of 10 European Conference on Underwater Acoustics. Istanbul, Turkey, 2010. P. 703–711.
4. Бондур В.Г., Серебряный А.Н., Замшин В.В. Аномальный цуг внутренних волн рекордных высот на шельфе Черного моря, генерируемый атмосферным фронтом // Доклады АН. 2018 (в печати).