А.Н. Серебряный^{1,2}, Д.М. Денисов², Е.Е. Химченко¹, О.Е. Попов³

НОВАЯ ЖИЗНЬ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ- ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В МОРСКОЙ СРЕДЕ

¹*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН
Россия, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, 36,
Тел.: 8(499)124-59-96, E-mail: serebryany@hotmail.com*
²*АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»
Россия, 117036, г. Москва, ул. Шверника, 4,
Тел.: 8(499)723-63-00*

³*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский переулок, 3*

Дается описание нового измерителя внутренних волн на основе распределенного датчика температуры, основными преимуществами которого являются автономность, компактность и возможность накопления большого количества информации. Представлены примеры измерений внутренних волн этим прибором на шельфе Черного моря и показаны его возможности в составе пространственных антенн.

Ключевые слова: измерители, датчики-измерители, внутренние волны, измерители внутренних волн, шельф Черного моря, антенны РДТ

Введение

Леонид Максимович Бреховских глубоко понимал важность явления «внутренние волны» для акустики океана [1]. В связи с этим под его руководством в Акустическом институте было начато активное изучение внутренних волн, как с точки зрения теоретических изысканий, так и экспериментальных исследований. К.Д. Сабинин и К.В. Коняев предложили распределенный датчик температуры (РДТ) в качестве средства измерений внутренних волн [2], который стал базовым элементом в экспериментальных исследованиях в океане и морях. Методика измерений внутренних волн с помощью РДТ была признана международным научным сообществом [3]. С помощью пространственных антенн РДТ были получены многие важные характеристики поля внутренних волн, и в целом, произведен прорыв в экспериментальных исследованиях внутренних волн в океане. Измерения внутренних волн проводились про-

пространственными антеннами РДТ в режиме дрейфа и буксировок в океане [4], а также на шельфах морей со стационарных платформ [5]. Это дало возможность измерять все основные характеристики внутренних волн, включая их пространственные спектры. С внедрением дистанционных методов изучения внутренних волн применение контактных методов в последнее время не стало уж таким необходимым, как раньше. В то же время, благодаря достижениям электронной техники последних десятилетий, появилась возможность усовершенствовать измерители внутренних волн на основе РДТ, создавая их с большими возможностями по накоплению информации, более удобными в эксплуатации и компактными, а также полностью автономными.

Рис. 1. Автономный измеритель внутренних волн (записывающее устройство – 1, распределенный датчик температуры РДТ длиной 20 м – 2).

ний можно устанавливать в пределах от 2 до 60 с. Время автономной работы при дискретности 20 с не менее 6 месяцев. Абсолютная погрешность измерения температуры – 0.1°C , разрешающая способность не хуже 0.03°C .

Сопоставление синхронных измерений автономным РДТ и термогирляндой. Первая партия нескольких новых датчиков была изготовлена, и пробные измерения были проведены в Черном море с эстакады Института экологии АН Абхазии 15–17 июня 2018 г. Параллельно с измерениями РДТ проводились измерения гирлянды из 5 точечных

Автономный измеритель внутренних волн. Недавно был разработан автономный измеритель внутренних волн, внешний вид которого представлен на рис. 1, а техническое описание дано в [6]. Он конструктивно состоит из РДТ длиной 20 м и записывающего устройства. РДТ выполнен из сталемедного провода, защищенного от воды изоляционным покрытием. Погонное сопротивление провода – 5 Ом/м , температурный коэффициент сопротивления – 0.36 Ом/К , постоянная времени – 20 с. Записывающее устройство предназначено для периодической регистрации значений температуры, получаемых от РДТ. Дискретность измерений

датчиков температуры. На рис. 2 приведены полученные ряды 45-часовой записи РДТ и осредненного сигнала всех датчиков термогирлянды. Простое визуальное сопоставление двух полученных рядов показывает их подобие. Оба ряда демонстрируют синхронные колебания термоклина с вертикальным размахом до 2–3 м. Расчет частотных спектров показал, что преобладающие периоды колебаний были в пределах от единиц минут (4 мин) и нескольких десятков минут (20–40 мин) до 2 ч. Для перевода сигнала РДТ в колебания, выраженные в метрах, дважды применялась тарировка датчика путем его подъема на 1 м с последующим опусканием в исходное положение. Моменты тарировки на записи обведены штриховой линией.

Рис. 2. Сравнение записи РДТ (вверху) и осредненного сигнала термогирлянды из пяти точечных датчиков температуры (внизу).

Измерение пространственной антенной РДТ на шельфе. В октябре 2019 г. с помощью пространственной антенны РДТ нами были проведены успешные измерения характеристик внутренних волн на узком крутом шельфе Черного моря в районе мыса Сухумский. Антенна состояла из 3 РДТ длиной 10 м, расположенных в углах треугольника со сторонами 115, 50 и 70 м и помещенных в слой термоклина. Глубина моря в месте постановки антенны была в пределах 56–86 м. Измерения проводились в течение 10 суток. Записи РДТ регистрировали почти регулярные вертикальные колебания термоклина с периодичностью 17 ч, вызванные подходящими в прибрежную зону инерционными внутренними волнами с амплитудами до 10–15 м. К гребням длинных волн были привязаны пакеты короткопериодных внутренних волн с периодами 3–8 мин. На рис. 3 показана запись одного из датчиков РДТ и рассчитанная по ней спектрограмма (текущий спектр). Проведенный анализ записей антенны РДТ выявил основное направление прихода внутренних волн с юго-восточной стороны открытого моря. Полный результат анализа характеристик внутренних волн и их особенностей представлен в [6].

Рис. 3. Запись РДТ (вверху) и спектрограмма, показывающая привязку цугов коротких волн к гребням длинных инерционных внутренних волн.

Нами была показана способность нового автономного РДТ измерять важные характеристики внутренних волн. Использование пространственных антенн на его основе, вместе с дистанционными методами мониторинга, открывает обнадеживающие перспективы дальнейшего изучения внутренних волн морской среды.

Работа поддержана грантом РФФИ №19-52-40007.

Литература

1. Бреховских Л.М. О некоторых проблемах акустики океана // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1968. Т. 12. С. 1291–1304.
2. Коняев К.В., Сабинин К.Д. Новые данные о внутренних волнах в море, полученные с помощью распределенных датчиков температуры // Докл. АН СССР. 1973. Т. 209. № 1. С. 86–89.
3. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 319 с.
4. Сабинин К.Д., Назаров А.А., Серебряный А.Н. Короткопериодные внутренние волны и течения в океане // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1990. Т. 26. № 8. С. 847–853.
5. Иванов В.А., Серебряный А.Н. Внутренние волны на мелководном шельфе бесприливного моря // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1983. Т. 19. № 6. С. 661–664.
6. Денисов Д.М., Серебряный А.Н. Автономный измеритель внутренних волн на основе распределенного датчика температуры // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 2. С. 159–160.
7. Serebryany A., Popov O., Khimchenko E., Denisov D., Kenigsberger G. Internal Waves Study on Narrow Steep Shelf of the Black Sea Using Spatial Antenna of Line Temperature Sensors // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. (в печати).

A.N. Serebryany^{1,2}, D.M. Denisov², E.E. Khimchenko¹, O.E. Popov³

NEW LIFE OF LINE SENSORS – MEASURING INSTRUMENT OF INTERNAL WAVES IN THE MARINE ENVIRONMENT

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

Nakhimovskiy pr-ct, 36, Moscow, Russia, 117997,

Tel.: 8(499)124-59-96, E-mail: serebryany@hotmail.com

²Andreyev Acoustics Institute

Shvern timer str., 4, Moscow, Russia, 117036,

Tel.: 8(499)723-63-00

³Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS

Pyzhevskiy Side str., 3, Russia, Moscow, 119017

A description is given of a new internal wave meter based on a line temperature sensor, the main advantages of which are autonomy, compactness and the possibility of accumulating a large amount of information. Examples of measurements of internal waves by this device on the shelf of the Black Sea are presented and its capabilities in spatial antennas are shown.

Keywords: meters, gauge-meters, internal waves, internal wave meters, Black Sea shelf, RTD antennas

Acknowledgment: This work was supported by the RFBR grant No. 19-52-40007. This work was supported by the RFBR grant No. 19-52-40007.

References

1. Brekhovskikh L.M. On some problems of ocean acoustics. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Physics of the atmosphere and ocean*, 1968, Vol. 12, pp. 1291–1304.
2. Konyaev K.V. and Sabinin K.D. New data on internal waves in the sea obtained using distributed temperature sensors. *Dokl. Academy of Sciences of the USSR*, 1973, Vol. 209, No. 1, pp. 86–89.
3. Phillips O.M. *Dynamics of the upper layer of the ocean*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980, 319 p.
3. Sabinin K.D., Nazarov A.A., and Serebryany A.N. Short-period internal waves and currents in the ocean. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Physics of the atmosphere and ocean*, 1990, Vol. 26, No. 8, pp. 847–853.
4. Ivanov V.A. and Serebryany A.N. Internal waves on the shallow shelf of a tidal sea. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Physics of the atmosphere and ocean*, 1983, Vol. 19, No. 6, pp. 661–664.
5. Denisov D.M. and Serebryany A.N. Autonomous meter of internal waves based on a distributed temperature sensor. *Instruments and experimental techniques*, 2019, No. 2, pp. 159–160.
6. Serebryany A., Popov O., Khimchenko E., Denisov D., and Kenigsberger G. Internal Waves Study on Narrow Steep Shelf of the Black Sea Using Spatial Antenna of Line Temperature Sensors. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, (in press).