

## Автономный измеритель внутренних волн на базе измерительных преобразователей температуры для исследований на шельфе

А. Н. Серебряный<sup>1,2\*</sup>, Д. М. Денисов<sup>2</sup>, Е. Е. Химченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва, Россия

\* e-mail: serebryany53@list.ru

### Аннотация

Описывается устройство для измерений внутренних волн, выполненное на основе распределенного датчика температуры. Этот датчик измеряет среднюю температуру охватываемого им слоя водной толщи, что позволяет избежать регистрации тонкоструктурных искажений. Устройство работает в автономном режиме с возможностью долговременного накопления большого количества информации (при интервале 1 мин в течение 1 года). Дискретность измерений устанавливается от 1 до 1200 с. Погрешность измерения средней температуры составляет 0.1 °С, разрешение по температуре не хуже 0.03 °С. Рабочая глубина до 200 м. Автономный измеритель отличается компактностью и простотой использования. Устройство подключается к компьютеру или смартфону посредством беспроводной связи *Bluetooth*. Приводятся результаты сравнения одновременных измерений устройства с гирляндой точечных датчиков температуры. Измерения проведены на шельфе Черного моря летом 2018 г. и осенью 2019 г. Представлены примеры использования автономного измерителя для регистрации короткопериодных и инерционных внутренних волн. Сопоставление полученных рядов показывает их близкое сходство. Проведенный частотный спектральный анализ также демонстрирует хорошее совпадение данных распределенного датчика температуры с данными, полученными искусственным распределенным датчиком температуры на основе осреднения измерений гирляндой термодатчиков путем выявления основных пиков регистрируемых явлений. Устройство показало себя надежным и перспективным инструментом для проведения измерений внутренних волн на шельфе.

**Ключевые слова:** измеритель внутренних волн, измерительные приборы, распределенный датчик температуры, короткопериодные внутренние волны, гирлянда датчиков, точечные датчики температуры, датчик температуры

**Благодарности:** работа выполнена в рамках темы госзадания Минобрнауки РФ № FM WE-2021-0010 «Методы и средства океанологических наблюдений для исследования природных и техногенных подводных объектов и экологии в гидросфере: разработка технологий многопараметрического сканирования подводных сред и объектов автономными и привязными зондами и профилографами».

© Серебряный А. Н., Денисов Д. М., Химченко Е. Е., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

**Для цитирования:** Серебряный А. Н., Денисов Д. М., Химченко Е. Е. Автономный измеритель внутренних волн на базе измерительных преобразователей температуры для исследований на шельфе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 2. С. 134–144. EDN SOBKST. doi:10.29039/2413-5577-2023-2-134-144

## **Autonomous Internal Wave Measurer based on Temperature Transmitters for Shelf Studies**

**A. N. Serebryany<sup>1,2\*</sup>, D. M. Denisov<sup>2</sup>, E. E. Khimchenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *Andreyev Acoustics Institute JSC, Moscow, Russia*

\* e-mail: serebryany53@list.ru

### **Abstract**

The paper describes a device for measuring internal waves, which is made on the basis of a line temperature sensor. This sensor measures the average temperature of the water layer it covers, which makes it possible to avoid registration of fine-structural distortions. The device works offline with the possibility of long-term accumulation of a large amount of information (with an interval of 1 minute – within 1 year). The measurement resolution is set from 1 to 1200 s. The average temperature measurement error is 0.1 °C, temperature resolution is not worse than 0.03 °C. The working depth is up to 200 m. The autonomous measurer is compact and easy to use. The device connects to a computer or smartphone via Bluetooth wireless technology. The paper presents the results of comparative simultaneous measurements carried out by the device and a chain of point temperature sensors on the Black Sea shelf in summer 2018 and autumn 2019. The paper gives examples of the use of an autonomous measurer for recording short-period and inertial internal waves. The comparison of the obtained series shows their close similarity. The conducted frequency spectral analysis also demonstrates a good match and identification of the main peaks of registered phenomena. The device proved to be a reliable and promising tool for measuring internal waves on the shelf.

**Key words:** internal wave measurer, measuring device, line temperature sensor, short-period internal waves, sensor chain, point temperature sensor, temperature sensor

**Acknowledgements:** The work was performed under state assignment no. FMWE-2021-0010 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation “Methods and means of oceanographic observations for the study of natural and technogenic underwater objects and ecology in the hydrosphere: development of technologies for multi-parameter scanning of underwater environment and objects by autonomous and tethered probes and profilers”.

**For citation:** Serebryany, A.N., Denisov, D.M. and Khimchenko, E.E., 2023. Autonomous Internal Wave Measurer based on Temperature Transmitters for Shelf Studies. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 134–144. doi:10.29039/2413-5577-2023-2-134-144

## **Введение**

Измерение внутренних волн в океанах и морях всегда было непростым делом вследствие сложности этого явления и труднодоступности его наблюдений в водной толще. Для измерений внутренних волн в океанической и морской среде применяются как контактные, так и бесконтактные (дистанционные) методы, получившие в последнее время широкое распространение. Наиболее часто используются контактные методы измерений на основе регистрации изменений температуры водного столба вертикальными гирляндами точечных датчиков температуры. Широкое использование кластеров гирлянд точечных датчиков температуры характерно для проведенных в последние десятилетия масштабных экспериментов по исследованию внутренних волн на шельфах [1–3]. В этих экспериментах гирлянды формируются на основе набора автономных точечных измерителей температуры фирменного исполнения. Термокоды также разрабатываются в виде цельного измерительного инструмента [4].

Альтернативой гирляндам температурных датчиков для измерений внутренних волн служит распределенный датчик температуры (РДТ), предложенный в работе [5]. РДТ измеряет среднюю температуру охватываемого им слоя, адекватно отслеживая вызванные внутренними волнами колебания температуры. Его главное преимущество перед точечным датчиком в том, что запись РДТ лишена искажений, которые приносит тонкая структура вертикального профиля температуры, обычно присутствующая в реальных океанских или морских условиях. РДТ хорошо зарекомендовали себя при измерениях на шельфах со стационарных платформ [6, 7] и при измерениях в океане с борта судна в режиме дрейфа или на ходу при буксировке [8].

Недостатком измерений на основе РДТ, которые помещали в водную среду, была необходимость связывать их соединительными проводами с регистраторами, находящимися на удалении. Недавно разработанный измеритель внутренних волн [9] лишен этого недостатка, поскольку РДТ непосредственно соединен с малогабаритной записывающей аппаратурой (накопителем информации), выполненной в компактном корпусе, который вместе с датчиком опускается в водную среду на необходимое для измерений время. Здесь необходимо напомнить, что 40 лет назад в МГИ был разработан автономно работающий прибор МГИ 1304 (РИТМ), выполнявший аналогичные функции [10, 11]. Главное отличие прибора, описываемого в данной статье, от РИТМ в том, что он выполнен на основе современной электронной технологии, что позволяет уменьшить габариты и улучшить регистрацию и считывание данных.

В настоящей работе представлен доработанный вариант такого автономного измерителя внутренних волн и приводятся сравнительные результаты наблюдений, полученные при его использовании.

## **Техническое описание конструкции измерителя внутренних волн**

Автономный измеритель внутренних волн, общий вид которого показан на рис. 1, конструктивно состоит из записывающего устройства (1) и РДТ длиной 20 м (2). 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.



Р и с . 1 . Автономный измеритель внутренних волн: 1 – записывающее устройство; 2 – РДТ длиной 20 м

Fig . 1 . Autonomous internal wave measurer: recording device – 1; line temperature sensor (LTS) 20 m long – 2

Записывающее устройство предназначено для периодической регистрации значений температуры, получаемых от РДТ. Период регистрации можно устанавливать в пределах от 1 до 1200 с. Погрешность измерения средней температуры чувствительного элемента 0.1 °С, разрешение по температуре 0.03 °С. Глубина установки до 200 м.

Корпус устройства – герметичный цилиндр, выполненный из отрезка полипропиленовой трубы с внешним диаметром 32 мм. РДТ подключен к корпусу через кабельный ввод в нижней металлической крышке корпуса. Верхняя крышка выполнена из прозрачного органического стекла, что позволяет наблюдать статус прибора, отображаемый вспышками внутреннего светодиодного индикатора. Для настройки прибора и считывания архива данных о температуре используется радиосвязь стандарта *Bluetooth*. Для входа в режим настройки и считывания данных необходимо поднести на короткое время небольшой постоянный магнит к верхней крышке прибора. При этом прибор активирует модуль *Bluetooth*, к которому в течение 20 с может подключиться компьютер или смартфон. Литиевая батарея с напряжением 3.6 В типа АА емкостью 2400 мАч обеспечивает работу прибора в режиме регистрации с интервалом 1 мин в течение 1 года [9].

Записывающее устройство состоит из микроконтроллера с часами реального времени (*real-time controller*), 16-разрядной микросхемы аналого-цифрового преобразователя (АЦП), микросхемы энергонезависимой флеш-памяти *Flash*, коммуникационного модуля беспроводной связи *Bluetooth*, бесконтактного выключателя – датчика Холла – и литиевой батареи Б (рис. 2). Электронная схема преобразует сопротивление датчика в напряжение, которое преобразуется в код АЦП, сохраняемый в памяти.

### Сравнительные результаты измерений внутренних волн автономным измерителем и гирляндой датчиков температуры

В июне 2018 г. на Черном море мы провели сравнительные измерения автономным датчиком внутренних волн (РДТ) и гирляндой из пяти точечных датчиков температуры. В состав гирлянды входили автономные измерители температуры *DST centi-TD*, выпускаемые фирмой *Star Oddi*. Точечные измерители располагались по вертикали с шагом 2 м, запись по времени велась с интервалом 30 с. Оба измерителя опускали с эстакады Института экологии Академии наук Абхазии (ИЭ АНА) в точке, где глубина моря около 13 м. Расстояние между измерителями по горизонтали составляло около метра, они находились в почти одинаковых условиях, охватывая 10-метровую толщу воды.

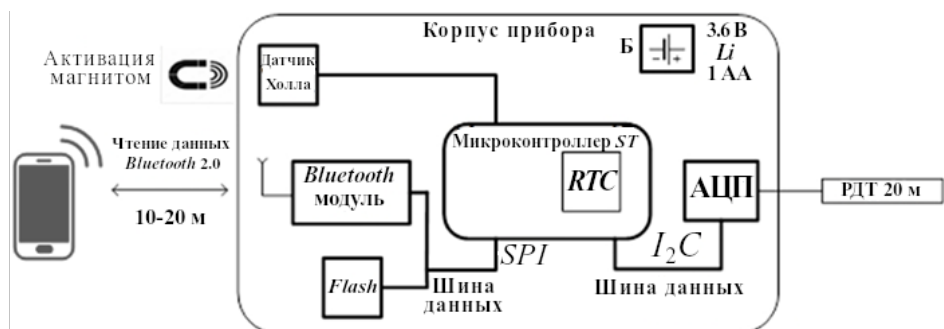


Рис. 2. Структурная схема измерителя внутренних волн. АЦП – аналого-цифровой преобразователь; *RTC* – real time controller; *SPI* – serial peripheral interface; *I2C* – inter-integrated circuit

Fig. 2. Structural diagram of the internal wave measurer. *RTC* – real time controller; *SPI* – serial peripheral interface; *I2C* – inter-integrated circuit

Расположение РДТ и датчиков гирлянды по глубине, а также вертикальные профили температуры в начале измерений показаны на рис. 3. Профили температуры измеряли зондом *miniSVP* фирмы *Valeport*.

Записи температурных датчиков гирлянды на всех пяти горизонтах за все время наблюдений (45 ч) приведены на рис. 4. Для всего слоя водной толщи за исключением приповерхностного слоя характерны температурные колебания

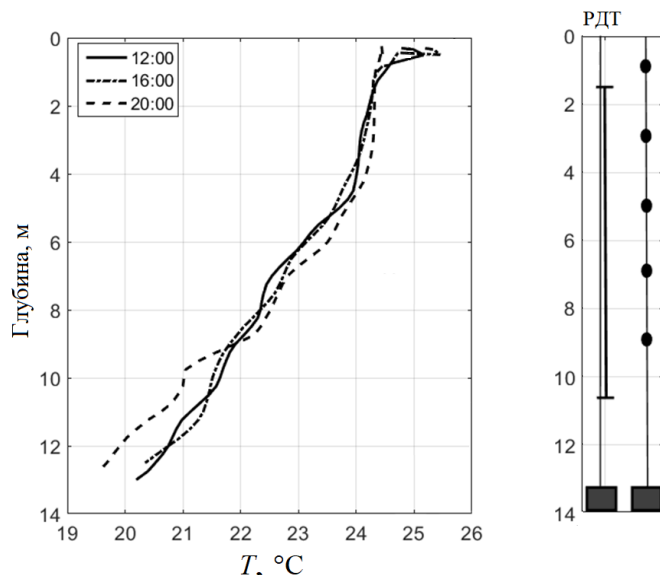
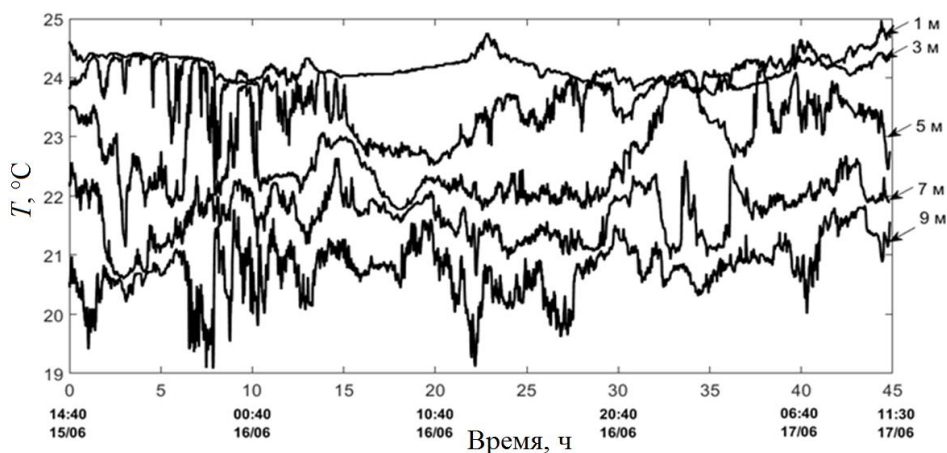


Рис. 3. Вертикальный профиль температуры 15 июня в различные моменты времени (слева); положение на глубине РДТ и гирлянды температурных датчиков (справа)

Fig. 3. Vertical temperature profile on June 15 at different time points (left); the position of the LTS and temperature sensor strings at depth (right)

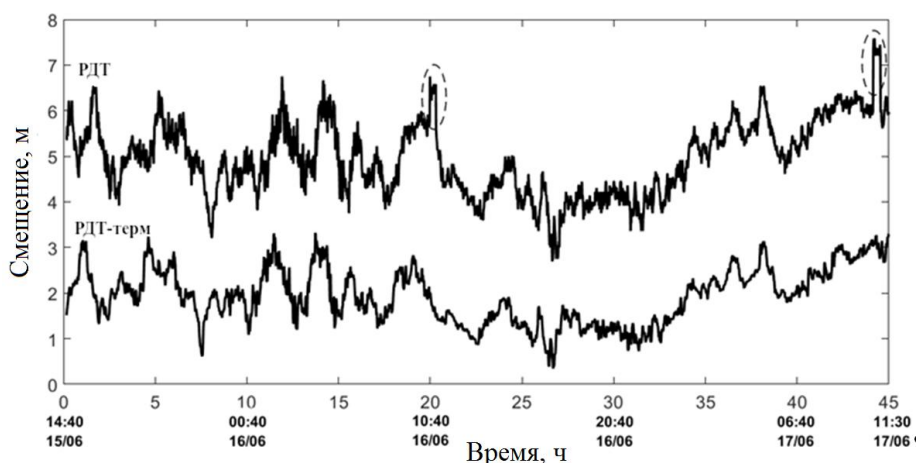


Р и с . 4 . Запись датчиков термогирлянды, демонстрирующая колебания температуры на пяти горизонтах

Fig . 4 . Recording of thermistor sensors demonstrating temperature fluctuations at five horizons

размахом 1–2 °С с периодами в несколько минут и больше. В верхнем слое колебания температуры малозначительны, зато после 30 ч наблюдений появляется инверсия.

На рис. 5 показана реализация, записанная РДТ, и запись термогирлянды, усредненная по пяти горизонтам, на которых находились датчики. Для перевода записи термогирлянды в вертикальные смещения она была нормирована на измеренный вертикальный градиент температуры в пределах длины гирлянды. Полученный ряд представлял собой искусственно смоделированный



Р и с . 5 . Сравнение записи РДТ (*сверху*) и усредненного сигнала гирлянды из пяти точечных датчиков температуры (*снизу*). Эллипсами выделены моменты измерения отклика РДТ на вертикальное смещение в 1 м

Fig . 5 . Comparison of the LTS recording (*top*) and the averaged signal of the five point temperature sensors (*bottom*). The ellipses indicate the moments of measurement of the response of the LTS to a vertical displacement of 1 m

РДТ на основе гирлянды точечных температурных датчиков. Запись РДТ переводилась в вертикальные смещения водного столба с помощью измеренных откликов, полученных при кратковременном (20-минутном) смещении датчика по вертикали на 1 м. Процедура перевода записи средней температуры РДТ в вертикальные смещения термоклина в метрах с помощью измерения отклика датчика на заданное вертикальное смещение – известный способ при работе с РДТ [12, 13].

Простое визуальное сопоставление двух полученных рядов показывает их близкое сходство. Оба ряда демонстрируют синхронные колебания термоклина с вертикальным размахом 2–3 м (рис. 5). Для дальнейшего сопоставления данных, а также определения периода преобладающих колебаний были проведены расчеты спектров полученных рядов (рис. 6). На частотных спектрах колебаний термоклина, рассчитанных в пределах измеренных рядов, выделяются пики, соответствующие периодам 2–2.4 ч, 30–40 мин, 18 мин и 4 мин. Можно также отметить наклон спектров, близкий к модельному спектру Гаррета – Манка [14], и заниженный по сравнению с модельным энергетический уровень спектров. Спектр Гаррета – Манка, разработанный для внутренних волн в океане, здесь используется для сравнения с волнами на мелководье. Все вышеуказанные черты характерны для спектров бесприливного Черного моря [15, 16], а колебания термоклина с такими параметрами типичны для короткопериодных внутренних волн в Черном море.

### Регистрация инерционных внутренних волн с помощью автономного РДТ

Помимо короткопериодных внутренних волн, в шельфовой зоне морей часто присутствуют длиннопериодные инерционные внутренние волны, играющие важную роль в динамике вод. Они надежно регистрируются

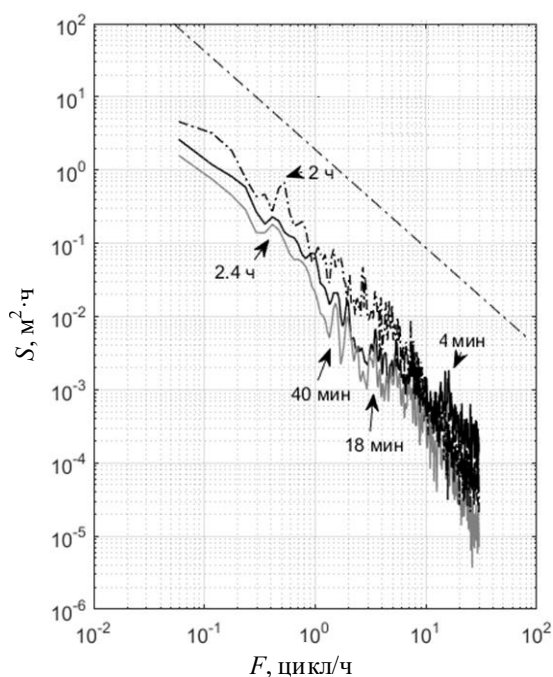


Рис. 6. Частотные спектры, рассчитанные по записям РДТ (черная кривая), гирлянды температурных датчиков (серая кривая) и записи точечного датчика на горизонте 9 м (штрихпунктирная кривая). Прямая штрихпунктирная линия – спектр Гаррета – Манка

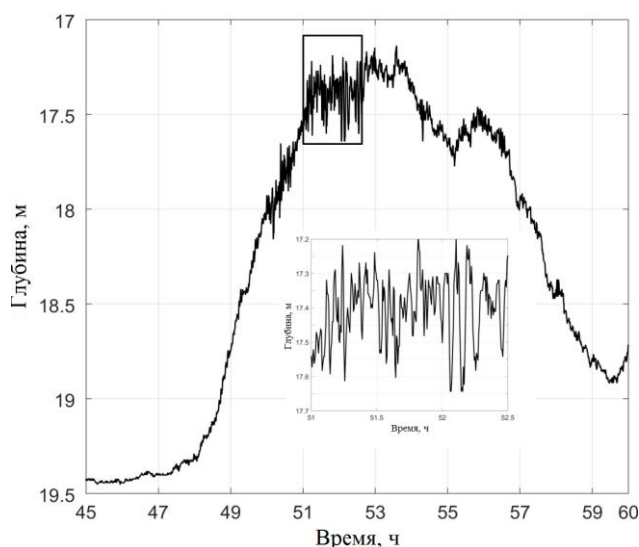
Fig. 6. Frequency spectra calculated from records of the LTS (black curve), temperature sensors chain (grey curve), and point sensor (dash-dotted curve) at a depth of 9 m. The dash-dotted straight line shows the Garrett–Munk spectrum

с помощью измерителей течений [17, 18], но РДТ также позволяет уверенно их отслеживать по вертикальным смещениям термоклина.

Осенью 2019 г. мы провели исследования внутренних волн в Черном море около Сухума, район которого характеризуется узкой полосой шельфа. В этих измерениях мы использовали описанный в этой статье автономный РДТ. Экспериментальная партия датчиков была изготовлена в Акустическом институте. Результаты проведенной работы опубликованы в [19], но здесь мы хотим привести наглядный пример регистрации внутренней волны с периодом, близким к инерционному, зарегистрированной этим автономным РДТ, размещенным на абхазском шельфе на глубине около 50 м на расстоянии около 150 м от берега.

Инерционная внутренняя волна с периодом, близким к 17 ч (см. рис. 7), вызывает смещение термоклина на 2.5 м вверх, а затем, после прохождения гребня, на котором присутствует пакет короткопериодных внутренних волн, опускается почти в изначальное положение. По всей вероятности, в области гребня волны происходит усиление вертикального градиента сдвигового течения, что служит причиной образования пакета короткопериодных внутренних волн. Пакет короткопериодных внутренних волн показан на врезке рис. 7.

Представленная на рис. 7 инерционная внутренняя волна относится к низшей (первой) моде, в этом случае вся водная толща синхронно смещается попеременно вверх и вниз. Это наиболее распространенный тип инерционных движений в морских условиях. Но встречаются также инерционные внутренние волны второй моды. Их присутствие отмечалось и в Черном море [16, 20], в последнее время также регистрировались внутренние волны второй моды на шельфе океана [21]. Чтобы выявить внутренние волны выше первой



Р и с . 7 . Запись инерционной внутренней волны, сделанная автономным РДТ на шельфе Черного моря

F i g . 7 . Record of an inertial internal wave made by an autonomous LTS on the Black Sea shelf



моды, необходимо конструировать ступенчатые датчики, состоящие из набора нескольких РДТ, расположенных по вертикали, по аналогии с термогирляндами точечных датчиков.

### **Заключение**

Как предложенный автономный измеритель на основе РДТ, так и гирлянда точечных датчиков температуры представляют собой необходимые средства контактных измерений внутренних волн в морской среде. Свои преимущества есть у каждого из вышеназванных инструментов. У РДТ – это способность лучше передавать волновые колебания термоклина, его относительная простота изготовления и калибровки. Сделанные с помощью РДТ записи позволяют выявить нелинейный характер внутренних волн, а также сопоставить профили зарегистрированных волн с теоретическими моделями. Кроме того, использование нескольких разнесенных в пространстве РДТ, образующих антенны, позволяет надежно измерять пространственные спектры внутренних волн, что мало достижимо другими контактными средствами. Единственным недостатком РДТ является его фильтрация волновых колебаний выше первой моды. Этот недостаток можно преодолеть, конструируя ступенчатые датчики, состоящие из набора нескольких РДТ, расположенных по вертикали.

Проведенные испытания разработанного автономного измерителя внутренних волн на основе РДТ продемонстрировали его применимость для морских экспериментов. Использование нескольких подобных измерителей в шельфовой зоне морей позволит конструировать пространственные антенны и измерять пространственные спектры внутренних волн в море, а также определять длину волн, направление и скорость их распространения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Research highlights from the Asian seas international acoustics experiment in the South China Sea / J. F. Lynch [et al.] // *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 2004. Vol. 29, iss. 4. P. 1067–1074. doi:10.1109/JOE.2005.843162
2. Shallow Water'06: A joint acoustic propagation/nonlinear internal wave physics experiment / D. Tang [et al.] // *Oceanography*. 2007. Vol. 20, iss. 4. P. 156–167. doi:10.5670/oceanog.2007.16
3. Convex and concave types of second baroclinic mode internal solitary waves / Y. J. Yang [et al.] // *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2010. Vol. 17, iss. 6. P. 605–614. doi:10.5194/npg-17-605-2010
4. Термокосы ЮО ИО РАН: конструкция, методика и результаты метрологического исследования датчиков / В. В. Очередник [и др.] // *Океанология*. 2018. Т. 58, № 5. С. 719–730. EDN XWVHWH. doi:10.1134/S003015741805009X
5. *Коняев К. В., Сабинин К. Д.* Новые данные о внутренних волнах в море, полученные с помощью распределенных датчиков температуры // *Доклады АН СССР*. 1973. Т. 209, № 1. С. 86–89.
6. *Серебряный А. Н., Иванов В. А.* Исследования внутренних волн в Черном море с океанографической платформы МГИ // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2013. № 3. С. 34–45. EDN RPEHKB.

7. *Гайский В. А., Гайский П. В.* Распределенные термопрофилемеры и их возможности в океанографических исследованиях // *Морской гидрофизический журнал*. 1999. № 6. С. 46–76.
8. *Сабинин К. Д., Назаров А. А., Серебряный А. Н.* Короткопериодные внутренние волны и течения в океане // *Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана*. 1990. Т. 26, № 8. С. 847–853.
9. *Денисов Д. М., Серебряный А. Н.* Автономный измеритель внутренних волн на основе распределенного датчика температуры // *Приборы и техника эксперимента*. 2019. № 2. С. 159–160. EDN GSIC WX. doi:10.1134/S0032816219020058
10. *Кузнецов А. С., Парамонов А. Н.* Автономная система распределенных датчиков температуры // *Морские гидрофизические исследования*. Севастополь : МГИ АН УССР, 1980. № 1. С. 147–151.
11. *Парамонов А. Н., Кузнецов А. С.* Методические аспекты экспериментальных исследований одиночных внутренних волн в океане // *Океанология*. 1985. Т. 25, № 2. С. 312–318.
12. *Сабинин К. Д.* Использование распределенных датчиков температуры для измерения внутренних волн // *Поверхностные и внутренние волны*. Севастополь : МГИ, 1978. С. 134–145.
13. *Коняев К. В.* Спектральный анализ случайных океанологических полей. Ленинград : Гидрометеиздат, 1981. 208 с.
14. *Garrett C., Munk W.* Space-time scales of internal waves: A progress report // *Journal of Geophysical Research*. 1975. Vol. 80, iss. 3. P. 291–297. doi:10.1029/JC080i003p00291
15. *Иванов В. А., Серебряный А. Н.* Частотные спектры короткопериодных внутренних волн в бесприливном море // *Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана*. 1982. Т. 18, № 6. С. 683–685. EDN YVJUMD.
16. *Химченко Е. Е., Серебряный А. Н.* Внутренние волны на кавказском и крымском шельфах Черного моря (по летне-осенним наблюдениям 2011–2016 гг.) // *Океанологические исследования*. 2018. Т. 46, № 2. С. 69–87. EDN YPOJUL. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(2).7
17. *Кузнецов А. С.* Структура бимодальности направления прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2002–2008 годах // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2020. № 4. С. 78–88. EDN WWXZZC. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-78-88
18. *Кузнецов А. С., Зима В. В., Щербаченко С. В.* Изменчивость характеристик прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2017–2019 годах // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2020. № 3. С. 5–16. EDN SETQHV. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-5-16
19. Internal waves study on a narrow steep shelf of the Black Sea using the spatial antenna of line temperature sensors / A. Serebryany [et al.] // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020. Vol. 8, iss. 11. 833. doi:10.3390/jmse8110833
20. *Серебряный А. Н., Химченко Е. Е.* Внутренние волны второй моды в Черном море // *Доклады Академии наук*. 2019. Т. 488, № 5. С. 104–107. EDN YLUPNZ. doi:10.31857/S0869-56524885555-559
21. *Rayson M. D., Jones N. L., Ivey G. N.* Observations of large-amplitude mode-2 nonlinear internal waves on the Australian North West shelf // *Journal of Physical Oceanography*. 2019. Vol. 49, iss. 1. P. 309–328. doi:10.1175/JPO-D-18-0097.1

Поступила 23.03.2023 г.; одобрена после рецензирования 05.04.2023 г.; принята к публикации 03.05.2023 г.; опубликована 26.06.2023 г.

*Об авторах:*

**Серебряный Андрей Нинелович**, главный научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский пр., 36), доктор физико-математических наук, **ORCID 0000-0001-6449-8002**, **ResearcherID: F-9009-2014**, **Scopus Author ID: 6604015592**, *serebryany53@list.ru*

**Денисов Дмитрий Михайлович**, старший научный сотрудник, Акустический институт им. акад. Н. Н. Андреева (117036, Россия, г. Москва, ул. Шверника, 4), *denisov.dimitry@gmail.com*

**Химченко Елизавета Евгеньевна**, научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский пр., 36), кандидат географических наук, **ORCID 0000-0001-8564-1218**, **ResearcherID: J-7568-2015**, **Scopus Author ID: 57219140673**, *ekhym@ocean.ru*

*Заявленный вклад авторов:*

**Серебряный Андрей Нинелович** – постановка задачи, участие в создании измерителя внутренних волн, анализ и описание результатов исследования, подготовка графических материалов, подготовка текста статьи

**Денисов Дмитрий Михайлович** – разработка и создание автономного измерителя внутренних волн, разработка программного обеспечения, анализ данных измерений, подготовка графических материалов, коррекция текста статьи

**Химченко Елизавета Евгеньевна** – проведение натурных измерений, обработка данных, обсуждение результатов, подготовка графических материалов, коррекция текста статьи

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*