АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том 39 1993 Вып. 4

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

УДК 534.26

© 1993 г. В. А. Журавлев, И. К. Кобозев, Ю. А. Кравцов,
В. Г. Петников, В. А. Попов, А. Ю. Шмелев

ДИСКЛОКАЦИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ ОКЕАНА: НОВЫЙ МЕТОД АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

В данной работе предлагается новый метод детектирования гидродинамических возмущений в океанических волноводах, основанный на регистрации дислокаций фазового фронта акустического поля. Дислокации фазового фронта — это сравнительно новый объект волновой теории, введенный М. В. Бэрри и Дж. Ф. Наем в конце 70-х годов [1, 2]. Дислокации фазового фронта образуются в окрестности интерференционных нулей волнового поля. При обходе интерференционного нуля фаза поля меняется на $\pm 2\pi$. Это соответствует воспроизведению самого поля и в то же время переходу на новый лист фазовой поверхности. Винтовой характер фазовой поверхности подобен дислокациям в твердом теле, откуда и был заимствован сам термин.

Низкочастотные (частота 100—500 Гц) акустические волны в мелководных районах (глубина 50—500 м) имеют сложную интерференционную структуру с достаточно большим чисом дислокаций [3]. Сравнительно большое число дислокаций в океаническом волноводе позволяет рассчитывать на высокую вероятность их обнаружения при помощи многоэлементной системы гидрофонов.

Основная особенность дислокаций — это повышенная чувствительность фазы к гидродинамическим возмущениям. Впервые эта чувствительность выявилась в 1983 г. в опытах ИОФАН на стационарной трассе с использованием горизонтальной цепочки гидрофонов и многоканального фазометра [4, 5]. Обнаруженные тогда резкие (до 60°) локальные изменения фазы на расстояниях 100—200 м сейчас легко поддаются интерпретации как результат прохождения дислокаций над цепочкой гидрофонов.

Расчеты показали, что под действием гидродинамических возмущений дислокации перемещаются преимущественно горизонтально, вдоль (или против) направления распространения волны, обнаруживая высокую подвижность. Так, приливное изменение глубины океана всего на 30 см приводит к продольному перемещению дислокаций на несколько десятков и даже сотен метров (при глубине 100 м и длине трассы 70 км) [3]. Поэтому обнаружить перемещающуюся дислокацию проще при помощи достаточно частой вертикальной цепочки гидрофонов с расстоянием между гидрофонами порядка $\lambda/2$.

Простейшая схема эксперимента с использованием предлагаемой методики показана на рисунке. Источник S излучает монохроматическое поле, регистрируемое вертикальной цепочкой гидрофонов R. Дислокации D волнового фронта при этом, вообще говоря, находятся вдали от приемной антенны. Поэтому на первом этапе необходимо добиться того, чтобы одна из дислокаций оказалась бы непосредственно у вертикальной цепочки гидрофонов. Перемещение дислокаций по горизонтали можно осуществить, например, изменив частоту излучения, поскольку при изменении частоты дислокации смещаются на расстояние Δr, пропорционально $\Delta\omega$ [3] : $\Delta r/r \sim \Delta\omega/\omega$. Так, при частоте $f = \omega/2\pi = 300$ Гц и при расстоянии $r = 10$ км изменение частоты на 1 Гц приведет к смещению дислокации примерно на 60 м. Локализовав дислокацию между двумя гидрофонами вертикальной цепочки, можно осуществить измерение вариаций фазы на выбранных для анализа гидрофонах или же измерять вариации разности фаз между соседними гидрофонами.

Другой вариант измерений предполагает организацию обратной связи от цепочки гидрофонов к излучателю, скажем, через радиоканал. Управляя частотой излучения, можно добиться фиксированного положения дислокации между гидрофонами. Информация же о состоянии океана будет заключена тогда в вариациях частоты $\Delta\omega(t)$.

Анализ показывает, что в окрестности дислокации имеются вихревые потоки акустической энергии, направление которых можно обнаружить при помощи комбинированных приемников [6]. Отсюда вытекает еще один метод регистрации дислокаций — по измерению направления потока энергии. Не исключено, что зарегистрированные в опытах ТОИ [7] потоки энергии, идущие со стороны дна, являют собой локальные циркуляции, привязанные к дислокациям.

Оценки показывают, что путем регистрации дислокаций в океане можно было бы обнаруживать

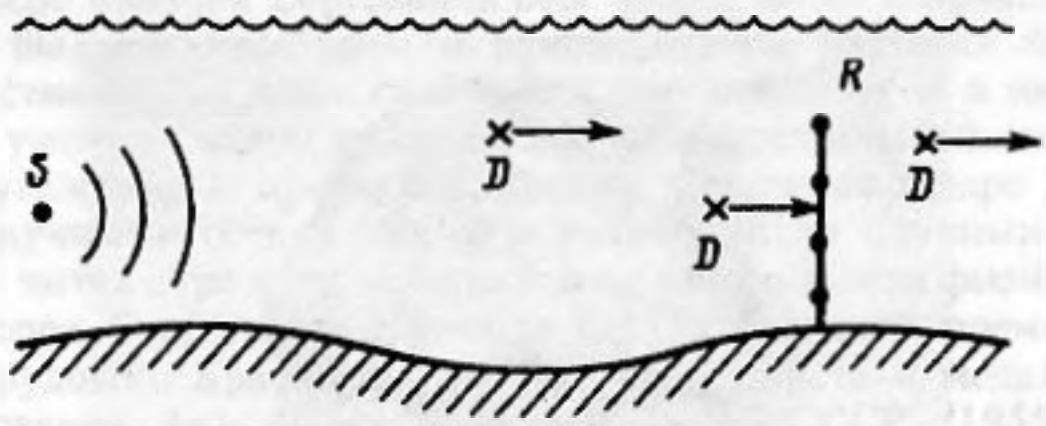

Схема эксперимента по регистрации дислокаций волнового фронта

гидродинамические возмущения различных типов, в том числе — приливные возмущения, перемещения фронтальных зон, локализованные возмущения на луче зрения. Не исключено, что фазовыми методами можно будет зарегистрировать мезомасштабные неоднородности (синоптические вихри) и, при определенных условиях, даже климатические изменения температуры океана (проект Манка и Вюнча [8]).

Разумеется, дислокационная томография порождает ряд проблем, которые должны быть решены для практической реализации нового метода. Прежде всего это проблема фазовых шумов, которые возрастают по мере приближения к интерференционному нулю поля. Далее, ввиду неравномерности распределения дислокаций по глубине волновода желательно выяснить распределение дислокаций по глубине с тем, чтобы предварительный поиск дислокаций вести на глубине с максимальной ожидаемой плотностью дислокаций волнового фронта. Наконец, ожидает своего анализа и вопрос об обратной задаче: какие гидродинамические возмущения соответствуют тем или иным движениям дислокаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nye J. F., Berry M. V.* Dislocations in wave trains//Proc. Roy. Soc. London. 1974. V. a336. P. 165—190.
2. *Nye J. F.* The motion and structure of dislocation in wavefront//Proc. Roy. Soc. London. V. a378. P. 219—239.
3. *Журавлев В. А., Кобозев И. К., Кравцов Ю. А.* Дислокации фазового фронта в океаническом волноводе и их проявление в акустических измерениях//Акуст. журн. 1989. Т. 36. № 2. С. 260—265.
4. *Бункин Ф. В., Вавилин А. В., Кравцов Ю. А. и др.* Предварительные результаты исследования пространственно-временной изменчивости мелкого моря на стационарной акустической трассе//Акуст. журн. 1984. Т. 30. № 5. С. 594—599.
5. *Migulin A. A., Petnikov V. G., Shmelev A. Yu.* Horizontal refraction of low-frequency acoustic waves in the Barents sea stationary acoustic experiment//J. Acoust. Soc. Amer. 1991. V. 89. № 4. Part 2. P. 1982—1983.
6. *Гордиенко В. А., Ильичев В. И., Захаров Л. Н.* Векторно-фазовые методы в акустике. М.: Наука, 1989. 233 с.
7. *Ильичев В. И., Щуров В. А., Кулешов В. П., Куянова М. В.* Взаимодействие потоков акустической энергии окружающих шумов и локальных источников в океаническом волноводе: Препринт. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 23 с.
8. *Munk W., Wunsch C.* Ocean acoustic tomography: a scheme for large-scale monitoring//Deep Sea Res. 1979. V. 26A. P. 123—161.

Малое специализированное
предприятие «ГРОТ»
Институт общей физики
Российской академии наук

Поступило в редакцию
09.02.93