

УДК 534.23

И.Б. Есипов^{1,2)}, Г.В. Кенигсбергер³⁾, О.Е. Попов⁴⁾, А.Д. Черноусов²⁾

**МНОГОЧАСТОТНОЕ АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ**

¹⁾РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

²⁾Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева

Россия, 117036 Москва, ул. Шверника, д.4

Тел.: (499) 126-9835; Факс: (495) 126-8411, E-mail: igor.esipov@mail.ru

³⁾Институт экологии АН Абхазии

⁴⁾Институт физики атмосферы РАН им. А.М. Обухова

Приводятся результаты экспериментального исследования особенности модуляции многочастотного акустического излучения при его распространении через поперечное морское течение. Акустический сигнал, проходя через турбулентное течение, испытывает флуктуации, как амплитуды, так и фазы. Эти флуктуации зависят от соотношения между масштабами турбулентности и размером зоны Френеля акустического сигнала, поэтому они меняются с частотой акустического излучения. Оказывается, что флуктуации амплитуды и фазы огибающих сигналов разных частот будут когерентными для низких частот и некогерентными для высоких частот флуктуаций. Исследования выполнялись в диапазоне частот 4 кГц – 19 кГц на полигоне Института экологии АНА.

Турбулентный поток, пересекая акустическую трассу, приводит к флуктуациям сигнала. Эти флуктуации зависят от соотношения между масштабами турбулентности и размером зоны Френеля акустического сигнала, поэтому они меняются с частотой акустического излучения. Оказывается, что флуктуации амплитуды и фазы огибающих сигналов разных частот будут когерентными для низких частот и некогерентными для высоких частот флуктуаций. Частота среза функции когерентности будет зависеть от скорости потока, то есть от скорости сноса турбулентной структуры. Определение этой частоты среза позволяет определить скорость течения поперечного потока [1]. Этот принцип был реализован при регистрации приливных течений [2] и был проверен в лабораторных условиях [3].

В настоящей работе мы приводим результаты экспериментального исследования особенности модуляции многочастотного акустического сигнала при его распространении через поперечное морское течение. Исследование выполнялось в сентябре 2017 г. в акватории Сухумского мыса на поли-

гоне Института экологии АНА. Приемники и излучатели были установлены на дне на склоне. Для измерений использовалась пара обратимых преобразователей и два приёмника звука. На рис.1 представлено положение установленных у дна двух обратимых излучателей-приемников ОИ1 и ОИ2, глубины около 36 и 92м, и двух приёмников звука П1 и П2, у края морской платформы, глубина 11м.

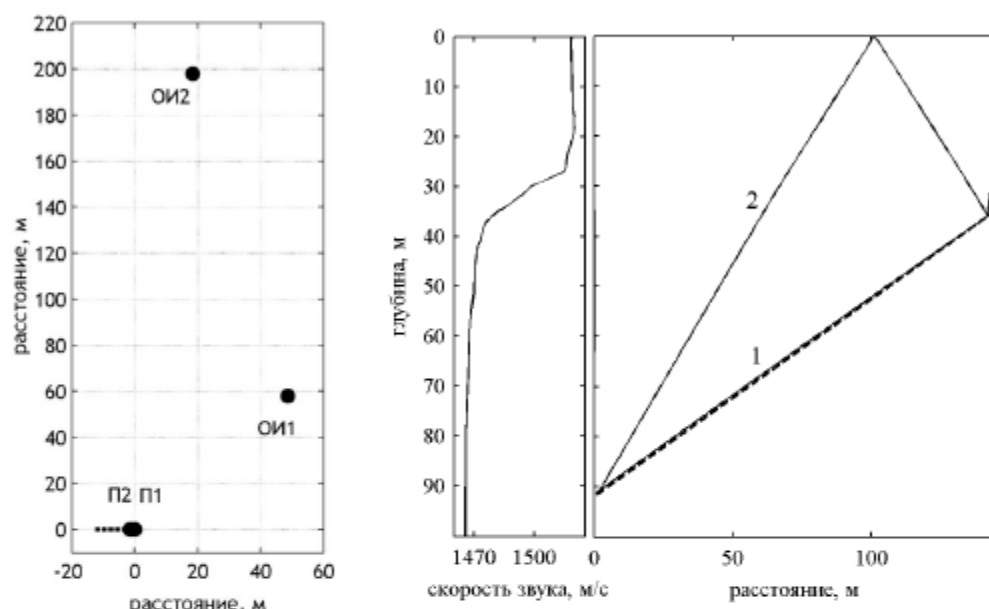


Рис. 1. Слева положение преобразователей звука. Справа профиль скорости звука и лучевые траектории от ОИ2 до ОИ1: 1 – луч, распространяющийся вдоль дна, 2 – луч с одним отражением от поверхности. Пунктир – рельеф дна. Средний угол наклона дна 23°

На Рис. 1 представлен профиль скорости звука и лучевая картина соответствующая распространению звука от ОИ2 до ОИ1. Луч, распространяющийся у дна на Рис. 1, представляет собой множество лучей, рефрагирующих в придонном звуковом канале практически вдоль дна, многократно отражаясь от дна, испытывают довольно сильные флуктуации, вызванные смещением термоклина при прохождении внутренних волн, движущихся из моря в сторону берега. Луч 2 на Рис. 1, с одним отражением от взволнованной поверхности, также испытывает сильные флуктуации, вызванные поверхностным волнением. Излучение проводилось ОИ1, а приём ОИ2 и П1, П2. Таким образом, можно было проводить измерение по двум трассам. Первая трасса, вниз по склону от ОИ1 до ОИ2 длиной 142м (проекция трассы на горизонтальную плоскость), почти перпендикулярна изобатам. Вторая трасса под углом 50° к изобатам, вверх по склону, от ОИ1 до П1, П2, с горизонтальной длиной 76м.

На Рис. 2 приведена типичная картина взаимно-корреляционной функции линейно-частотно модулированного сигнала (ЛЧМ) в полосе частот от 4,5 кГц до 19 кГц, излучаемого ОИ1 и принятым на ОИ2. Эта картина четко

показывает три последовательных основных максимума, соответствующих трём лучевым траекториям – лучам 1 и 2 на Рис. 1 и лучу с одним отражением от дна и двумя от поверхности.

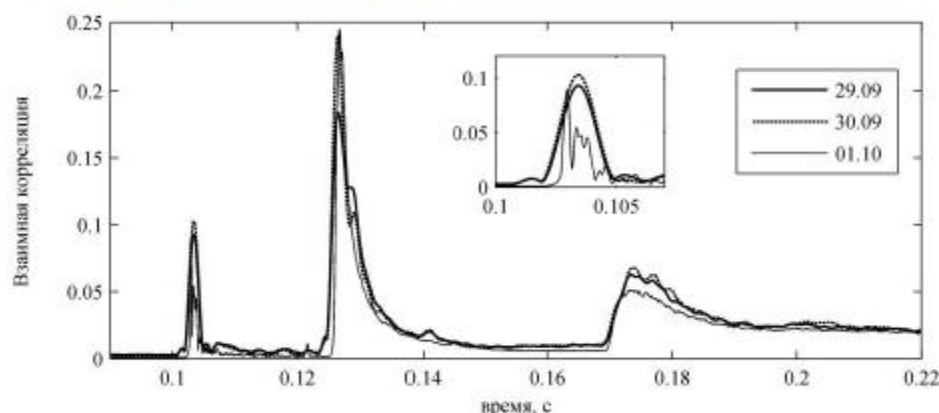


Рис.2. Взаимно-корреляционной функция ЛЧМ сигнала в полосе частот от 4,5 кГц до 19 кГц, излучаемого ОИ1 и принятым на ОИ2 в разные дни.

Линии рисунка, соответствующие разным датам, указаны во врезке.

На врезке Рис. 2 видно, что тонкая структура взаимно-корреляционной функции меняется со временем, что отражает изменения в гидрофизических характеристиках полигона.

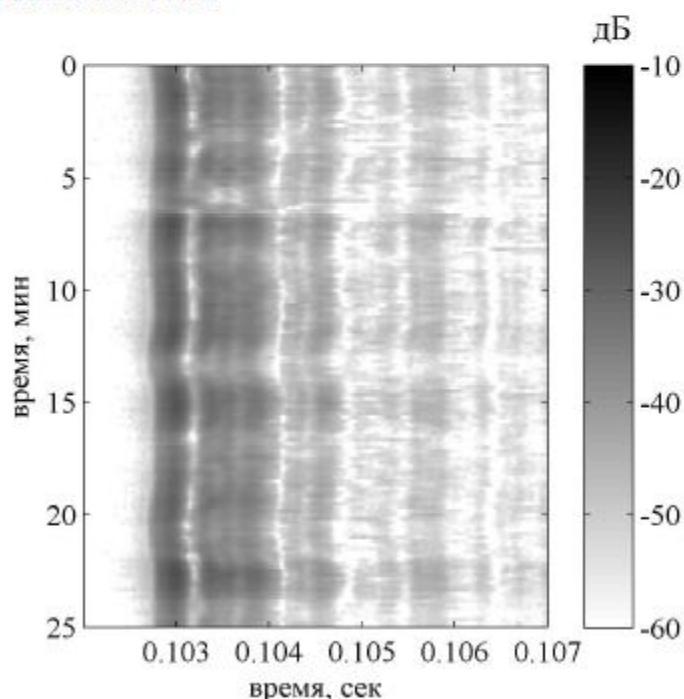


Рис. 3. Изменение взаимно-корреляционной функции, отображающей модуляцию во времени сигнала, распространяющегося по лучу 1 (Рис. 1).

На Рис. 3 показано изменение взаимно-корреляционной функции, отображающей модуляцию во времени в течение 25 мин сигнала, распространяющегося по лучу 1 (Рис. 1). Видна модуляция с периодами от 3 до 7 мин. Периоды от 2 до 8 мин характерны для внутренних волн на черноморском шельфе при осенней стратификации [4].

Анализ частотной зависимости усреднённой функции когерентности не выявил в этих условиях устойчивой частоты среза, которая позволила бы достоверно определить скорость поперечного течения. Результаты выполненных исследований указывают на достаточно сильные флуктуации сигналов, вызванные отражениями от дна и взволнованной поверхности. В опыте по измерению приливных течений [2] использовались излучающие и приемные антенные решетки, обеспечивающие высокую направленность акустического излучения. Это обстоятельство существенно снижало влияние дна и поверхности на результат измерения функции взаимной когерентности распространяющихся сигналов. В этой связи, следует обеспечивать выделение сигнала, распространяющегося по одному лучу, при выполнении экспериментов по многочастотному акустическому зондированию для определения скорости морского течения.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проекты 16-29-02003; 17-02-00434 и 17-52-40009).

ЛИТЕРАТУРА

1. Fuks I., Charnotsky M., Naugolnykh K. // A multifrequency scintillation method for ocean flow measurement. J. Acoust. Soc. Am. 2001, 109(6), 2730-2738.
2. Charnotskiĭ M.I., Fuks I.M., Naugol'nykh K.A., Smirnov A.V., Di Iorio D., Esipov I.B. // An experimental test of the Acoustical Physics. 2006. 52(2). С. 222-226.
3. Есипов И. Б., Коновалов В.Н., Черноусов А.Д., Попов О. Е. Многочастотный акустический метод определения характеристик турбулентного поперечного течения. Ученые записки физического факультета московского университета №5, 1751303 (2017).
4. Микрюков А.В., Попов О.Е., Серебряный А.Н. Источники флуктуаций энергии акустического сигнала на мелководном шельфе. Сборник трудов XVI сессии Российского Акустического Общества. 2005. Т. 2. С. 181-184. М. ГЕОС