

УДК 534.23

**И.Б. Есипов<sup>1,2)</sup>, Г.А. Максимов<sup>2)</sup>, Н.Н. Комиссарова<sup>2)</sup>,  
О.Е. Попов<sup>3)</sup>, Г.В. Солдатов<sup>4)</sup>**

### **ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ РЕФРАКЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В БЕРЕГОВОМ КЛИНЕ**

<sup>1)</sup>РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

<sup>2)</sup>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

<sup>3)</sup>Институт физики атмосферы РАН им. А.М. Обухова

<sup>4)</sup>Технологический институт ЮФУ, г. Таганрог

*Приводятся результаты экспериментального исследования распространения акустических импульсов на мелководном черноморском шельфе в районе Геленджика. Регистрация акустических сигналов осуществлялась протяженной донной сейсмоакустической антенной. Анализировались особенности сигналов, связанные с батиметрической рефракцией.*

Проблема распространения акустических волн в мелком море в зонах со сложным рельефом дна рассматривается в рамках так называемой 3D задачи подводного распространения звука. Впервые особенности такого распространения звука в прибрежном клине теоретически были рассмотрены в монографии [1]. Однако, экспериментальных работ, в которых были бы приведены результаты систематического исследования этой темы не много. В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования распространения акустических импульсов в мелководном береговом клине. Эксперимент проводился на Черном море в районе Геленджика на акватории Голубой бухты. Для приёма звуковых сигналов использовалась донная антенна в виде цепочки из 50 приёмников, установленная примерно поперёк изобат (Рис. 1). Приёмник №1 находился на глубине около 14м, №25 - 23м, №50 - 26м. Расстояние между приёмниками было постоянным и составляло 12.5м. В результате позиционирования приёмников антенны по специальной методике, были определены их координаты. Для излучения акустических сигналов использовалась пневмопушка, буксируемая на глубине около 2.5-3м галсами параллельно и перпендикулярно антенне, и излучающая сигналы каждые 20с.

Максимальное удаление источника от антенны составляло 1037 м. Положение источника во время излучения определялось по GPS. Основная энергия излучения пневмопушки была в диапазоне 10 – 500 Гц.

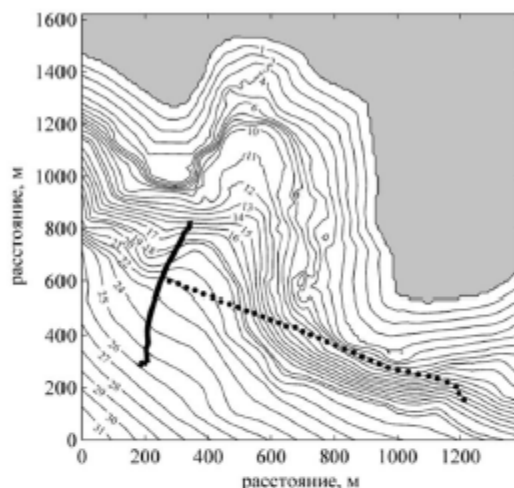


Рис.1 Батиметрия акватории работ. Жирная линия – положение антенны.

Точками – места излучения сигналов на одном из галсов.

Профиль скорости звука (Рис. 2) обеспечивал хорошее озвучивание дна. Длительность зарегистрированных на расстоянии 300-400м сигналов достигала 0.15 с и более, что соответствовало многолучевому распространению. Угол прихода волны определялся для пары соседних приёмников. Для этого с помощью взаимно-корреляционного анализа определялась задержка времени прихода сигнала между парами приемников и в рамках модели однородной среды и для малых углов скольжения, определялся угол прихода волны Рис.2.

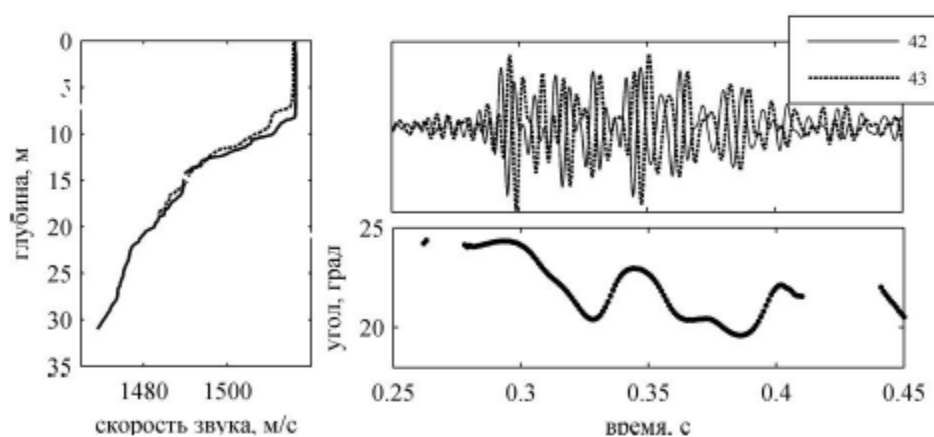


Рис. 2. Слева профили скорости звука. Справа – сигналы для пары приёмников №42 43 и изменение угла прихода

На Рис. 2 видно, что угол прихода меняется на длительности сигнала на величину около  $5^\circ$ , при расстоянии до излучателя 390 м. То есть хвост сиг-

нала формируется лучами, приходящими в результате батиметрической рефракции с другого направления по сравнению с началом сигнала. Он распространяется по дуге от излучателя к приемникам антенны. Немонотонный характер такого изменения связан, по-видимому, с тем, что на угол прихода влияет не только горизонтальная рефракция, но и изменение угла скольжения, что было невозможно контролировать в нашем эксперименте.

На Рис.3 представлено распределение сигнала по антенне в полосе 70-350 Гц в зависимости от удаления источника. Можно отметить интересную особенность: в отличие от ближних дистанций Рис.3 I и II, с ростом расстояния до источника, интенсивность сигнала на краях антенны возрастает по сравнению с сигналом, принятым в центре, III и IV. Эту особенность также следует отнести к свойствам батиметрической рефракции в районе эксперимента.

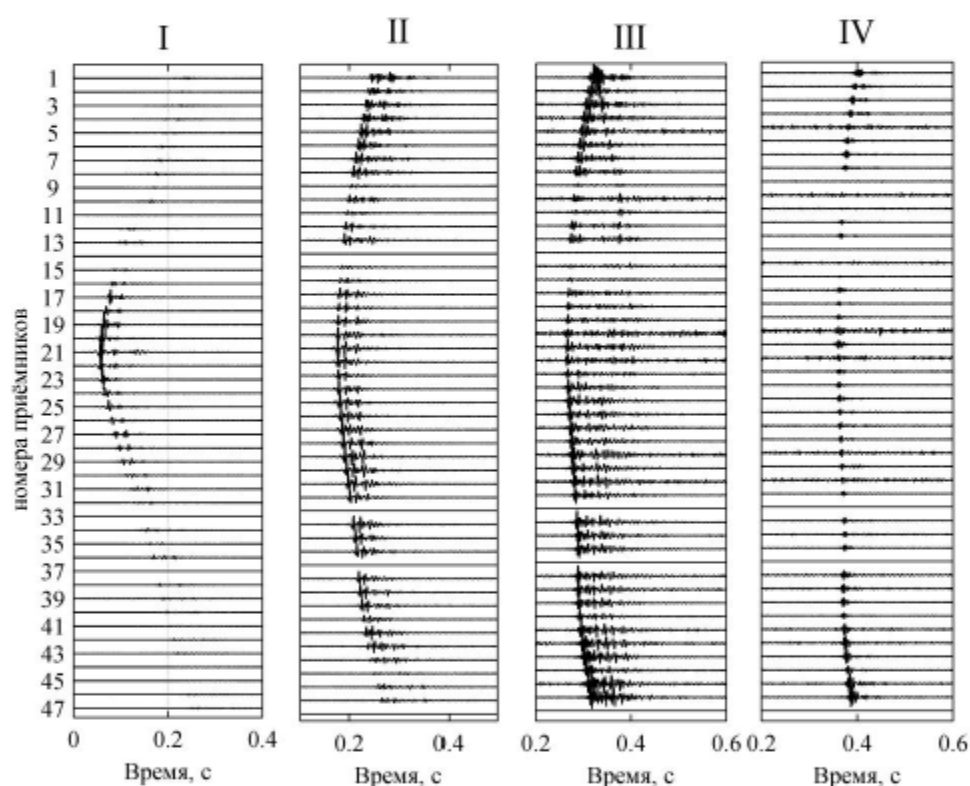


Рис. 3. Распределение сигналов по антенне. Расстояния от ближайшего приёмника до точки излучения I - 27м, II - 204м, III - 347м и IV - 485м.

На Рис. 4 показан результат расчёта лучевых траекторий с помощью программы Комиссаровой Н.Н. [2] для условий эксперимента. Видно, что на расстоянии около 1км уже при углах скольжения  $> 8^\circ$ , антенна почти не пересекается прямыми лучами, что соответствует очень низким уровням сигналов, наблюдаемым в эксперименте на расстояниях от 500 до 1000м.

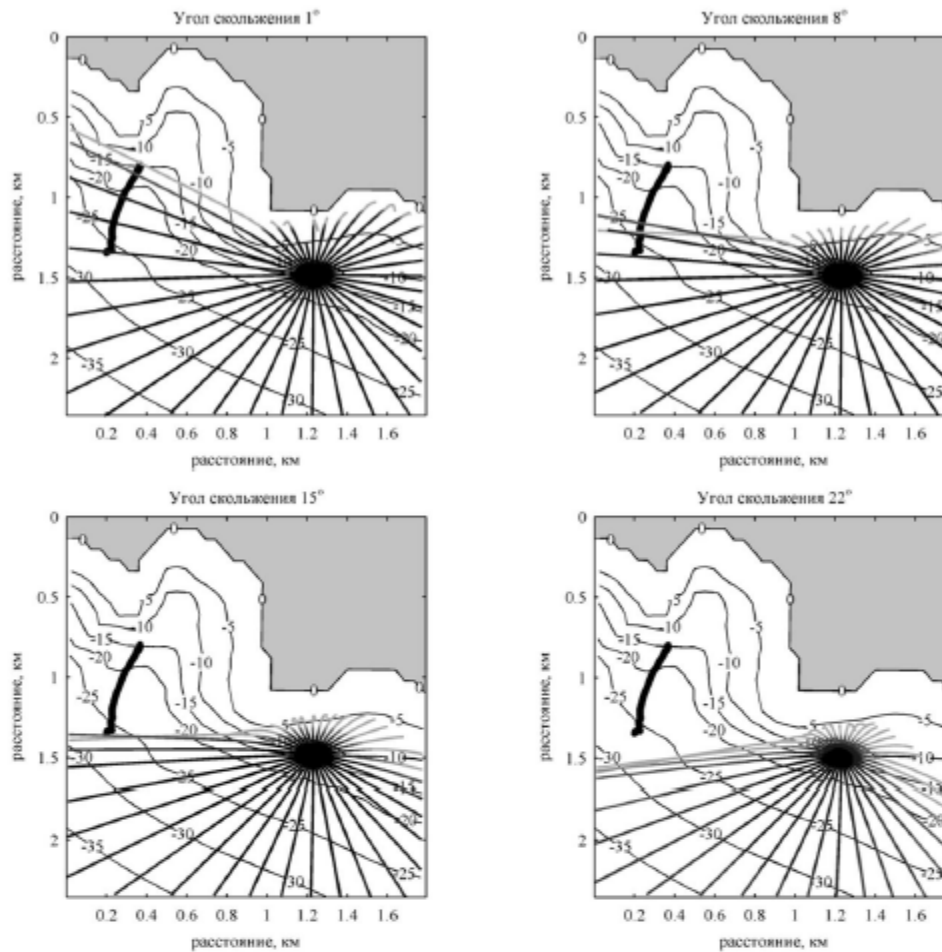


Рис.4 Проекция лучевых траекторий на горизонтальную плоскость для разных углов скольжения. Переход от чёрного цвета траекторий к серому соответствует большому уменьшению интенсивности звука.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. 2-е изд. – М.: Наука, 1973.
2. Комиссарова Н.Н. Горизонтальная рефракция лучей в прибрежной зоне при разных профилях скорости звука дна // Акуст. журн. 1998. Т. 44. № 6. С. 801 - 807.