

Сущенко А. А.<sup>1,2</sup>

## АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОКЕАНА

<sup>1</sup>Кафедра информатики, математического и компьютерного моделирования ШЕН ДВФУ

<sup>2</sup>Институт прикладной математики ДВО РАН

<sup>1,2</sup>Научный руководитель - д. ф.-м. н., профессор И.В. Прохоров

На сегодняшний день проблемы освоения мирового океана приобретают глобальных характер. Все они связаны с задачами акустической томографии, которые заключаются в определении внутренних характеристик среды на основании измерений обратно рассеянного поля. Распространение акустических волн в океане зависит от нескольких параметров водной среды: температуры, плотности, солености, океанических течений. Флуктуации этих характеристик приводят к рассеянию, а иногда и к полной потере, распространяемого сигнала. В современной литературе учет объемного рассеяния в океане представлен в качестве эмпирических моделей. Согласно экспериментам И.Б. Андреевой [1] объемное рассеяние в океане достигает 10% от общего поглощения сигнала.

Помимо объемного рассеяния существуют другие причины ухудшения качества гидроакустических изображений. Например, шум в акустическом сигнале, вызванный траекторными нестабильностями при перемещении приемно-передающей антенны. Алгоритмы компенсации траекторных нестабильностей рассмотрены в работах В.Б. Костоусова [2], В.В. Витязева, Н.Л. Callow. Кроме того, ухудшение сигнала может происходить в следствие нестационарности, рефракции и иных физических эффектов. Подобные потери могут быть компенсированы с использованием теории восстановления сигнала в пропущенных отчетах, описанной в работах В.А. Котельникова, Я.И. Хургина, Л.А. Айзенберга.

Остановимся подробнее на задачах акустической томографии. Во-первых, задача восстановления коэффициента донного рассеяния на основе сигнала, принятого гидролокатором бокового обзора, которая на практике тесно связана с синтезированием апертуры антенны ГБО. Данный процесс подробно исследован в работах В.В. Золотарева, А.Л. Агеева, Б.А. Косарева, А.В. Иванкина, А. Liotta, Н. Zhong и др. Во вторых, задача батиметрии – построение рельефа морского дна. В отличие от восстановления коэффициента донного рассеяния, где дно предполагается плоским, задача батиметрии исследует отклонение рельефа морского дна. Анализ данных о глубинах океана посвящены работы Б.А. Казанского, В.В. Завьялова, С.Ф. Ключевой, G. Paratheodorou, A. Mansor.

В качестве основного фактора, влияющего на качество восстановления гидроакустических изображений, рассмотрим объемное рассеяние в океане. Среди исследований этой области можно выделить работы, основанные на практических испытаниях И.Б. Андреевой, В.П. Глотова, Л.Л. Тарасова, Т.К. Stanton, S.H. Hoseini [3]. Авторы предоставляют информацию о виде индикатрисы рассеяния в зависимости от среды распространения, от частоты сигнала, от размеров рассеивателей. В их работах также проведен анализ приближения однократного рассеяния в плотных скоплениях объемных неоднородностей. Установлена взаимосвязь между скоростью ветра и количеством рассеивателей в океане.

Для описания объемного рассеяния в океанической среде рассматривается два подхода: волновой и лучевой. Оба описывают распространение сигнала в случайно-неоднородной среде. В первом – объемное рассеяние входит в модель как случайная

величина, реконструкция и учет которой требует значительных ограничений на класс функций, описывающих решение. Второй – основан на кинетической модели распространения излучения, в которой объемное рассеяние представляет собой вероятность изменения траектории распространения луча, при этом предполагается, что рассеиватели распределены в среде в среднем равномерно. Последний подход хорошо описан в работах А. Исимару.

В основе кинетической модели лежит уравнение переноса излучения, численным методом решения которого посвящены исследования В.С. Владимирова, Т.А. Гермогеновой, Л.П. Басса, Т.А. Сушкевич, В.П. Будака, С.М. Пригарина. Решения начально-краевых задач и обратных задач для уравнения переноса излучения представлены в работах Д.С. Аниконова, В.Г. Романова, А.Е. Ковтанюка [4]. Кинетическая модель адекватно описывает процесс распространения излучения различной природы в случайно-неоднородных средах. Однако эффекты отражения и преломления, возникающие на границах раздела сред, либо не поддаются описанию в рамках уравнения, либо описывают эти явления приближённо.

Существуют границы, на которых эффектами отражения и преломления можно пренебречь. В этом случае задаются условия сопряжения типа непрерывной склейки решения. Решение краевых задач такого типа исследованы во второй половине прошлого века в работах К. Черчиньяни, Г.И. Марчука, В.М. Новикова.

Чтобы учесть эффекты на поверхности раздела сред, в теории переноса вводят различные условия сопряжения для решений уравнения. Начально-краевые задачи для уравнения переноса излучения с диффузными и френелевскими условиями сопряжения подробно изучены в работах И.В. Прохорова [5], А.А. Амосова [6]. Условия сопряжения френелевского типа подходят для описания взаимодействия с гладкими поверхностями. Для шероховатых поверхностей имеет место диффузное отражение и преломление на границе раздела сред. Диффузное отражение по закону Ламберту хорошо описывает взаимодействие акустического сигнала с морским дном при высокочастотном зондировании.

На сегодняшний день отсутствует фундаментальная теория объемного рассеяния в океане, которая требует анализа решения прямых и обратных задач для уравнения переноса акустического излучения. Существуют вопросы о корректности решения задач с диффузными и френелевскими условиями сопряжения в многокомпонентной среде. Остается открытой тема влияния объемного рассеяния на качество восстановления гидроакустических изображений. С практической точки зрения, существует запрос на создание методов улучшения обработки акустического сигнала. Таким образом, возникает задача построения упрощенных моделей позволяющих с одной стороны решить задачи акустической томографии, а с другой стороны построить модели, остающиеся физически адекватными.

#### *Благодарности*

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, доп. соглашение № 075-02-2020-1482-1.

#### *Список литературы*

1. Андреева, И.Б. О вертикальной структуре акустических характеристик звукорассеивающих слоев океана / И.Б. Андреева, Н.Н. Галыбин, Л.Л. Тарасов // Акустический журнал. 2000. Т. 46. С. 581-587.
2. Применение методов микронавигации и автофокусировки для сиинтезирования апертуры многоканального ГБО / А.Л. Агеев, Г.А. Игумнов, В.Б. Костоусов и д. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. Т. 3. № 140. С. 140-148.

3. Hosseini, S.H. Numerical simulation of the effect internal tide on the propagation sound in the Oman sea / S.H. Hosseini, M. Akbarinasab, M.R. Khalilabadi // *Journal of the Earth and Space Physics*. 2018. Vol. 44. № 1. Pp. 215-225.
4. Kovtanyuk, A.E. A boundary-value problem for the polarized-radiation transfer equation with Fresnel interface conditions for a layered medium / A.E. Kovtanyuk, I.V. Prokhorov // *Comput. Appl. Math*. 2011. Vol. 235. №8. Pp. 2006-2014
5. Prokhorov, I. Analysis of the impact of volume scattering and radiation pattern on the side-scan sonar images / I. Prokhorov, A. Sushchenko // *Proceedings of Meetings on Acoustics*. 2015. Vol. 24.
6. Amosov, A.A. Boundary value problem for the radiation transfer equation with diffuse Reflection and Refraction Conditions / A.A. Amosov // *J. Math. Sci*. 2013. Vol. 193. № 2. Pp. 151-176.