**Численное решение трехмерной задачи сейсмоакустической поверхностно-волновой томографии с использованием полосчатого базиса**

***Позднякова Д.Д.*1**

1студент

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,физический факультет, Москва, РоссияE–mail: d\_pozdnyakova@live.ru

Поверхностно-волновая томография [1] является перспективным методом исследования характеристик неоднородных геофизических сред. Обычно при реализации методов поверхностно-волновой томографии на первом этапе восстанавливаются двумерные распределения фазовых или групповых скоростей поверхностных волн на разных частотах. На следующем шаге полученные двумерные карты инвертируются в трехмерные распределения параметров среды [2]. Отличительной особенностью рассматриваемой в настоящей работе томографической схемы является восстановление неоднородностей среды без промежуточного этапа реконструкции двумерных дисперсионных зависимостей фазовых или групповых скоростей поверхностных волн.

При решении обратной задачи предполагается, что в исследуемой области и на ее границе расположены источники и приемники, возбуждающие и регистрирующие поверхностные волны. При этом различные направления распространения поверхностных волн достаточно плотно покрывают исследуемую область. Восстанавливаемые неоднородности среды раскладываются по базисным функциям. Вопросы выбора базиса при решении томографических задач ранее рассматривались в [3]. К основным требованиям относятся полнота базиса в смысле возможности описания ожидаемых возмущений параметров среды, а также простота численной реализации решения обратной задачи. В настоящей работе используется полосчатый базис, ранее разработанный для восстановления параметров водной толщи океана [3]. Предполагается, что наблюдаемые в эксперименте возмущения времен распространений поверхностных волн представимы в виде линейной комбинации возмущений времен, вызванных базисными функциями. Это позволяет построить систему линейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов разложения искомых неоднородностей по базисным функциям, при решении которой возможно восстановить трехмерные распределения параметров среды:

, (1)

где  – столбец времен возмущений ,  и  – времена распространений поверхностной волны между -ой парой источник-приемник в неоднородной среде и в известной фоновой среде, соответственно; – матрица возмущений времен распространения поверхностных волн между -ой парой источник-приемник в среде с неоднородностью, заданной базисной функцией ;  – столбец коэффициентов разложения  трехмерной неоднородности  по базисным функциям :

 (2)

Нахождение неизвестных коэффициентов разложения  из решения системы (1) позволяет на основе (2) получить оценку искомого трехмерного распределения . В настоящей работе показано, что используемое при построении (1) линейное приближение выполняется для параметров среды, соответствующих реальным неоднородностям.

При численном моделировании исследуемая область разбивается по глубине на слои с постоянными характеристиками. В каждом слое неоднородности представляются в виде суммы базистных функций с неизвестными коэффициентами разложения. В данной работе рассматривается модель литосферы Тихого океана (зависимость скорости поперечных волн в слое от глубины), представленная в [2]. Она состоит из 15 слоев, толщина которых растет с увеличением глубины. В каждом слое задается 120 базисных элементов: 8 полос и 15 углов поворота. Используются данные от 328 пар источник-приемник на 16 частотах в диапазоне 0.02–0.07 Гц, в котором регистрируемые поверхностные волны наиболее чувствительны к изменению характеристик дна океана в исследуемом регионе. Сама неоднородность представляет собой эллипс, максимальное возмущение скорости в котором составляет 5% от фонового значения. Результаты численного моделирования представлены на рис. 1, где видно, что форма неоднородности, ее локализация и амплитудные значения восстановлены с приемлемой точностью.

К особенностям обсуждаемой схемы можно отнести учет гладкости восстанавливаемых функций по глубине, что обеспечивает дополнительную регуляризацию решения системы (1). Также осуществляется учет фиксированного количества слоев при использовании различных частот, это определяется разрешающей способностью развиваемого подхода по глубине.

A graph of a graph showing a diagram of a star

Description automatically generated with medium confidence

***Рис. 1.* а)** Заданная слоистая средас максимальным возмущением скорости поперечных волн, равным 5% от значения в невозмущенной среде; **б)** восстановленная слоистая среда.

Полученные в ходе проведенного исследования результаты численного моделирования указывают на работоспособность построенной трехмерной схемы поверхностно-волновой томографии. Предполагается, что в будущем данный метод может лечь в основу совместного восстановления параметров водной толщи и дна океана, в том числе в рамках пассивной сейсмоакустической томографии.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 22-77-00067.

**Литература**

1. Яновская Т.Б. Поверхностно-волновая томография в сейсмологических исследованиях. СПб.: Наука, 2015.
2. Тихоцкий С. А., Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Использование низкочастотных шумов в пассивной сейсмоакустической томографии дна океана // Акуст. журн. 2021. Т. 67. № 1. С. 107-116.
3. Буров В.А., Сергеев С.Н., Шуруп А.С. Трехмерная модель томографического восстановления океанических неоднородностей при неизвестном расположении антенн // Акуст. журн. 2021. 2011. Т. 57. № 3. С. 348-363.