

Лю Е. Р.¹, Сущенко А. А.^{1,2}

АНАЛИЗ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ БАТИМЕТРИИ НА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ

¹Кафедра информатики, математического и компьютерного моделирования ШЕН ДВФУ

²Институт прикладной математики ДВО РАН

Научный руководитель - д. ф.-м. н., профессор И.В. Прохоров

В данной работе авторами исследуется решение задачи батиметрии и проводится его численный анализ на реальных данных. Под задачей батиметрии будем понимать определение функции $u(y_1, y_2)$, описывающей рельеф дна. На сегодняшний день для построения батиметрической карты наиболее распространен метод с использованием гидролокации, где наибольшую популярность получили автономные необитаемые подводные аппараты, на борту которых установлен гидролокатор бокового обзора (ГБО). На основе данных, принятых ГБО формируется акустическое изображение по обоим бортам подводного аппарата.

Ранее в работе [1] при помощи методов теории переноса излучения была получена явная формула для определения функции рельефа дна:

$$u(y_1, y_{2,j}) = \frac{y_1^2}{\sigma_d(2l - l^3/(y_1^2 + l^2))} \left(\frac{\sigma_d l^2}{y_1^2 + l^2} - \frac{I^\pm(t) 2\pi y_1 (y_1^2 + l^2) \exp(2\mu\sqrt{y_1^2 + l^2})}{\sigma_d c J_j} \right), \quad (1)$$

где $y_{2,j} = Vt_j$, y_1 – точка на дне, l – средняя заданная глубина, σ_d – коэффициент донного рассеяния, c – скорость звука в среде, V – скорость движения источника, J_j – мощность звукового источника, μ – коэффициент поглощения и функция $I^\pm(t)$ представляет собой плотность потока энергии волны в момент времени t по левому и правому бортам аппарата. Формула (1) была получена в приближении однократного рассеяния и при условии, что функция рельефа дна слабо изменяющаяся: $u = O(\varepsilon)$, $u'_{y_1} = O(\varepsilon^2)$, $u'_{y_2} = O(\varepsilon^2)$.

В работе (1) были проведен численный анализ формулы (1) на основе синтетических данных, однако большой интерес представляет собой практическое применение полученной математической модели. Таким образом, мы совершили анализ формулы (1) на реальных данных, полученных гидролокатором бокового обзора. В случае обобщения задачи батиметрии для случая $\mathbf{r} \in \mathbb{R}^3$, в приближении узкой диаграммы направленности приемной антенны, задача дистанционного зондирования ГБО, движущимся с постоянной скоростью V вдоль оси $r_3 = 0$, сводится к формуле (1) и решается независимо на каждом интервале зондирования. Для проведения вычислительных экспериментов в качестве параметров эхолокационного зондирования брались величины из таблицы 1.

Таблица 1.

Параметры зондирования

$\mu, [\text{м}^{-1}]$	J	$c, [\text{м/с}]$	$V, [\text{м/с}]$	$l, [\text{м}]$	$y_1, [\text{м}]$	$y_2, [\text{м}]$
0,01	9,156	1500	1	14	[0, 100]	[0, 20]

В представленных экспериментах сперва по принятому гидролокатором бокового обзора сигналу искался коэффициент донного рассеяния σ_d в каждом отчете и на основе найденных значений рассчитывалась функция $u(y_1, y_2)$, соответствующая профилю морского дна. Далее, мы зафиксировали коэффициент донного отражения σ_d в каждой точке и уже при неизменном коэффициенте попытались восстановить поверхность дна.

Вычислительный эксперимент №1

На рисунке 1 представлен профиль морского дна при варьируемых значениях коэффициента донного отражения в каждой точке. Здесь, на 10 - 30 метрах видны некоторые

реверберации профиля морского дна. Согласно цветовой шкале можно сделать вывод, что это возвышенности, а потемнения приблизительно на 12 и 20 метрах после пиков объясняются наличием впадин, глубиной 3-5 метров, что создают после вершин затененные участки.



Рисунок 1 — Восстановленный профиль морского дна при нахождении коэффициента донного отражения в каждой точке

На рисунке (2) представлены восстановленные значения функции морского дна $u(y_1, y_2)$ при постоянном коэффициенте σ_d . В сравнении с рисунком (1) при нахождении коэффициента донного рассеяния в каждой точке дна, очевидно, что функция $u(y_1, y_2)$ в том случае восстанавливается качественнее, чем при постоянном σ_d . Однако стоит отметить, что рисунок (2) все еще отражает главные возмущения функции $u(y_1, y_2)$, что передает главную информацию



Рисунок 2 — Восстановленный профиль морского дна при постоянном коэффициенте донного отражения

Вычислительный эксперимент №2

В данном эксперименте рассматривается дно с меньшими изменениями, чем в эксперименте №1. На рисунках (3), (4) на всем промежутке можно наблюдать влияние донного отражения на восстановление функции $u(y_1, y_2)$. На рисунке (4) видно, что пренебрегая некоторыми значениями коэффициента σ_d и рассматривая только одно постоянное значение, изображение восстановленного дна показывает меньше информации, чем на рисунке (3).

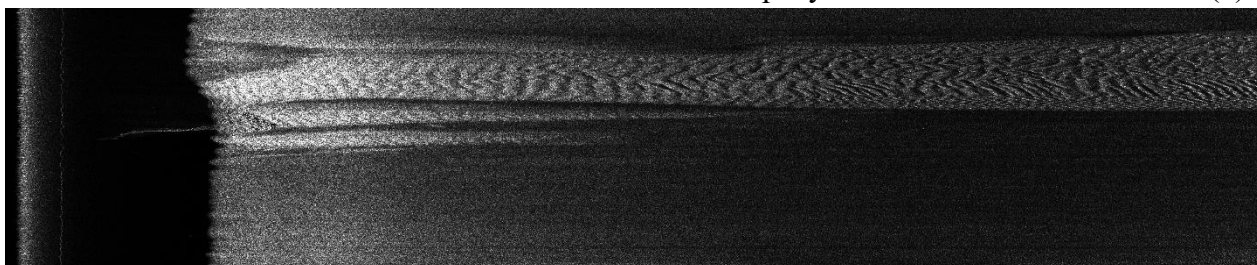


Рисунок 3 — Восстановленный профиль морского дна при нахождении коэффициента донного отражения в каждой точке

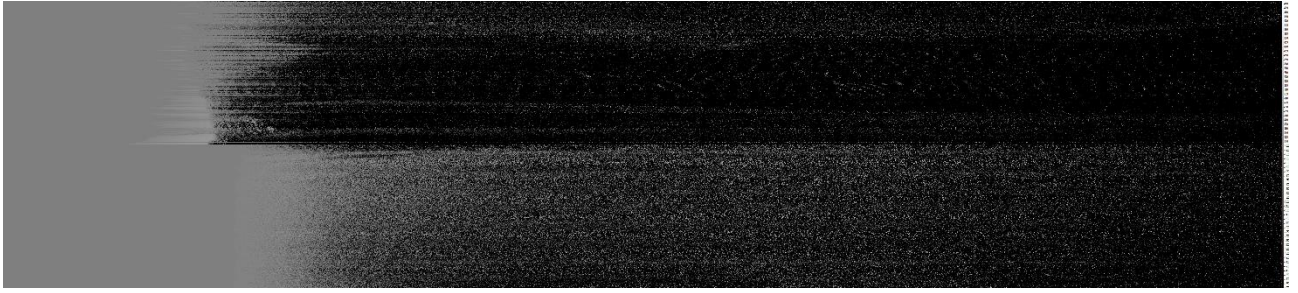


Рисунок 4 — Восстановленный профиль морского дна при постоянном коэффициенте донного отражения

Таким образом, представленные эксперименты показали, что значения коэффициента донного отражения существенно влияют на восстановление морского дна. Поэтому, необходимо для каждой точки дна искать σ_d . Как говорилось ранее, формула (1) была получена в условиях слабо изменяющегося дна, т.е. в ней отсутствует производная функции $u'(y_1, y_2)$, описывающей рельеф морского дна, что существенно облегчает адаптацию этой математической модели к реальным данным. Стоит отметить, что работа с реальными данными требует варьирования многих/различных величин и подбора самого подходящего значения для каждой из них. Именно по этой причине, на данный момент возникают сложности с апробацией на реальных данных формулы, полученной в статье [3] при условии сильно осциллирующего дна. Наличие в такой формуле производной $u'(y_1, y_2)$ порождает нелинейное дифференциальное уравнение.

Благодарности

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

Список литературы

1. Kan, V.A., Prokhorov, I.V., Sushchenko, A.A., Determining the bottom surface according to data of side-scan sonars // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 10035, Art. Number 1003518.
2. Прохоров, И.В., Сущенко, А.А., Кан, В.А. Об одной задаче определения рельефа дна флуктуирующего океана // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2015. – № 2. – С. 99-110.
3. Lyu, E.R., Kan, V.A., Prokhorov, I.V., Sushchenko, A.A. Determination of the bottom surface profile // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2017. – V. 10466, Art. Number 1046622.