

Н.Н. Попов

МЕТОДЫ СОПРЯЖЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛКОГО МОРЯ

N.N. Popov

THE COUPLING OF EMPIRICAL MEASUREMENTS AND REMOTE SENSING DATA FOR DESIGN OF GIS FORECASTING SYSTEM OF HYDRO-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SHALLOW WATER

Обсуждаются результаты исследований, выполненных в Российском государственном гидрометеорологическом университете в области применения данных спутникового зондирования морской поверхности для корректировки прогнозируемых профилей вертикального распределения скорости звука. Дается описание метода сопряжения данных, и приводятся результаты имитационного моделирования.

Ключевые слова: ГИС, дистанционные методы зондирования, гидроакустика, ВРСЗ.

The results of research carried out at the Russian State Hydrometeorological University in the application of remote sensing data of sea surface to correct the projected profiles of the vertical distribution of the sound velocity. A description of the method of coupling the data and the results of simulation are provided.

Key words: GIS, remote sensing techniques, underwater acoustics, the vertical distribution of the velocity of sound.

В эпоху интенсивного освоения Арктического региона проблема увеличения количества потенциально опасных объектов и возникновения чрезвычайных ситуаций в водной среде и на её поверхности, а также на морском дне и в донных осадках особенно актуальна. Увеличившиеся объемы и разнообразие информации, поступающей сегодня в системы мониторинга, в значительной мере изменили требования к её комплексированию и представлению в геоинформационных системах различного масштаба. Практически очевидным является тот факт, что за счёт повышения эффективности информационного обеспечения систем управления в различных областях морской деятельности может быть достигнут эффект не меньший, чем в результате технического совершенствования систем и их элементов. Всё вышеизложенное является основанием для проведения исследований, направленных на разработку способов повышения качества информационного обеспечения шельфовой зоны. Целью исследования является разработка геоинформационных технологий поддержки управленческих решений и на их основе способов повышения качества информационного обеспечения различных служб Арктических регионов РФ в соответствии с критериями, принятыми в мировом сообществе.

Было выдвинуто предположение, что для оценки возможности прогнозирования вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) могут быть использованы архивные данные, скорректированные измеренными на поверхности значениями температуры и солёности. Обсуждаемый метод использует данные, поступающие из различных источников, следовательно, необходимо рассмотреть механизмы ввода данных, а также их взаимного дополнения и коррекции. Метод состоит из следующих этапов:

1. Все поступающие в базу данных профили температуры и солёности преобразовываются в вертикальные распределения скорости звука, с помощью формулы Лероя [6, с. 134]:

$$c = 1492,9 + 3(T - 10) - 0,006(T - 10)^2 - 0,04(T - 18)^2 + \\ + 1,2(S - 35) - 0,01(T - 18)(S - 35) + z / 61, \quad (1)$$

где c — скорость звука (м/с); T — температура ($^{\circ}\text{C}$); S — солёность (‰); z — глубина (м).

2. Для нахождения максимально вероятного профиля в заданной точке, акватория покрывается сеткой с заданным шагом, и выбирается ячейка, для которой необходимо построить вертикальное распределение скорости звука. Для расчетов используются все профили, найденные на первом шаге и попадающие в выбранный район. Обработка всего объема информации с использованием аппарата статистических решений, критериев согласия, подтвердила допущение о том, что данные о температуре, солёности и скорости звука распределены во времени по нормальному закону, что позволяет рассчитывать медиану на каждом горизонте для нахождения максимально вероятного профиля.
3. При отсутствии натурных измерений в интересующей точке производится расчет профилей скорости звука в соседних и их значения интерполируются в заданную с помощью метода обратных взвешенных расстояний.
4. Оперативные данные о температуре и солёности, измеренные со спутников, применяются для расчета скорости звука на поверхности с помощью формулы Вильсона, что позволяет скорректировать прогностическое распределение.
5. Для этого применяется формула Колесникова, учитывающая наиболее вероятное ВРСЗ, разность между рассчитанным и измеренным значением скорости звука на поверхности и глубину, на которой совмещаются все профили этой характеристики [3, с. 4]:

$$V(h) = V_1(h) \pm \Delta v \left(1 - \frac{h}{H} \right), \quad (2)$$

где $V_1(h)$ — наиболее вероятное вертикальное распределение скорости звука для искомой точки; Δv — разность между измеренным со спутника и предполагаемым значением скорости звука на поверхности, принадлежащим вертикальному распределению $V_1(h)$; h — глубина в точке; H — фиксированная глубина, ниже которой совмещаются все вероятные распределения скорости звука.

Применение данной формулы для корректировки ВРСЗ в Баренцевом море усложняется невозможностью выделения слоя, в котором скорость звука оставалась бы неизменной, что не позволяет определить фиксированную глубину (H). Это обусловлено гидрологическим режимом и глубинами, которые большей частью не превышают 100–350 м. Для поиска глубины, до которой необходимо проводить корректировку, было принято решение учитывать влияние ветра на поверхности — заменить фиксированную глубину (H) глубиной трения (D) — горизонтом, на котором течение направлено противоположно поверхностному, а его скорость практически затухает [1]:

$$D = \frac{\pi}{a} = \pi \sqrt{\frac{\mu}{\rho \omega \sin \varphi}}, \quad (3)$$

где $\mu = 0,43 \cdot W^2$ кг/(м·с) — динамический коэффициент турбулентной вязкости; $\rho = 1025$ кг/м³ — плотность воды; $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹ — угловая скорость вращения Земли; φ — географическая широта места.

Следующим шагом можно считать оценку влияния погрешности значения вертикального распределения скорости звука на прогнозирование одной из основных тактических характеристик гидроакустических средств — дальности действия в различных режимах работы. На основании таких оценок можно обосновать критерий приемлемости предлагаемого метода сопряжения статистических данных и данных оперативного дистанционного мониторинга.

На основе описанного метода сопряжения данных была построена геоинформационная система, которая должна включать в себя следующие блоки: модуль первичной обработки поступающей из различных источников информации (устранение значений, выходящих за пределы 3σ , и проверка на попадание в допустимые диапазоны изменения характеристик); базу данных, на основе которой происходит расчет характеристик, а также взаимная проверка и дополнение блоков данных; модуль управления потоками данных, отвечающий за добавление и устранение источников; блок формирования слоев ГИС и блок информационной поддержки оператора. Полученная ГИС имеет следующие слои:

1. Тип грунта — для учета влияния дна на акустический сигнал необходимо учитывать физико-механические свойства грунта [4]. Сведения о типе грунта хранятся в базе данных, содержащей информацию о широте и долготе точки, типе грунта, диаметре частиц, плотности, скорости звука в нем, пористости и коэффициенте поглощения.
2. Шумы — слой формируется для учета всего многообразия факторов: шум летательных аппаратов, атмосферные явления, волнующаяся водная поверхность, динамические явления ледового покрова, динамические явления, происходящие в приповерхностном слое водной среды, динамические процессы, происходящие на дне океана, шум судов и промышленных объектов [2]. Данные о ветре, ледовом покрове, волнах и сейсмической активности можно получить со спутников. Данные о размещении стационарных промышленных объектов хранятся в базе данных и представлены в следующем виде: широта и долгота точки, тип объекта, уровень шума. Так же необходимо учитывать воздушные и морские суда, присутствующие в районе. Для этой цели

используются Интернет — сервисы слежения за ними, содержащие информацию о местонахождении объекта, его скорости, траектории движения и типе.

3. Вертикальное распределение скорости звука — наиболее важный параметр в гидроакустике. Для его прогнозирования используются архивные данные наблюдения за температурой и соленость, скорректированные информацией со спутников с помощью описанного выше метода.
4. Волны/ледовый покров — для учета взаимодействия акустического сигнала с неровностями морской поверхности, необходимо сформировать слой, содержащий информацию о волнах и наличии ледового покрова. Эти данные поступают из различных спутниковых систем.

Для проверки изложенной выше методики были проанализированы данные, собранные в рамках научных и рыболовецких экспедиций в Баренцевом море в период с 2000 по 2013 г. Результат имитационной проверки для одной из станций Кольского меридиана (центральная часть Баренцева моря) приведен на рис. 1. Максимальная разность измеренной и рассчитанной скоростей звука для большинства станций составляет не более 2,5 м/с, что позволяет достаточно точно спрогнозировать распространение звуковых лучей в водной толще и оценить дальность действия ГАС.

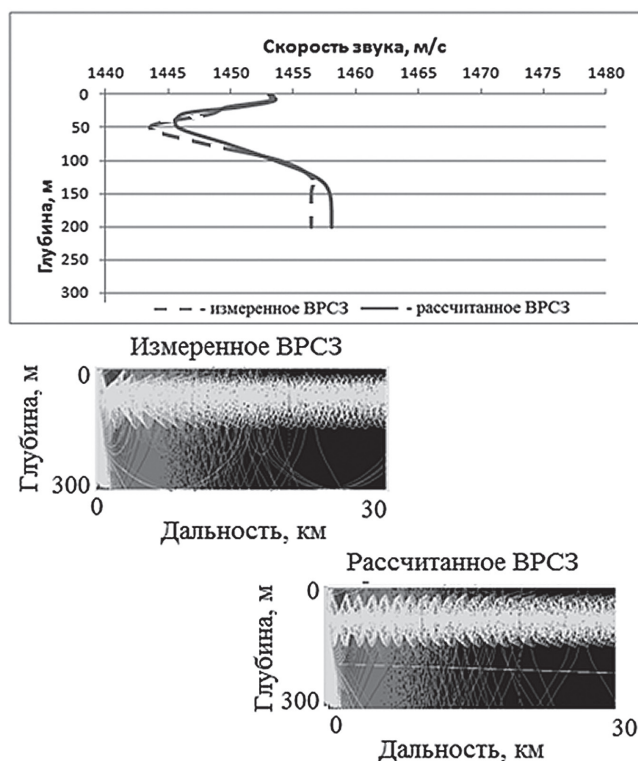


Рис. 1. Сравнение рассчитанного и измеренного ВРСЗ и построение их лучевых картин.

Для оценки качества метода производилось сравнение погрешностей при прогнозировании ожидаемой дальности действия гидроакустических станций, как основного параметра, и глубины залегания оси подводного звукового канала. Данный метод позволяет улучшить результаты на 2 и 1 % соответственно в сравнении с расчетом, базирующемся на использовании типовых распределений, приведенных в различных атласах.

Таким образом, с помощью геоинформационной модели можно структурировать, систематизировать и проанализировать разнородные данные, объединив их на единой картографической основе [5]. Методом наложения известных источников шума на карту гидроакустических характеристик возможно выработать стратегию по анализу и выявлению техногенных и природных катастроф, а также использовать полученные знания в практики судоходства.

Литература

1. *Боуден К.* Физическая океанография прибрежных вод. Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 324 с.
2. *Евтютов А.П.* Справочник по гидроакустике. — Л.: Судостроение, 1988. — 548 с.
3. *Колесников А.Г.* Патент № 2120114: «Способ определения вертикального распределения температуры воды». — 1998.
4. *Куперман У., Енсен Ф.* Акустика дна океана. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 454 с.
5. *Митько В.Б., Попов Н.Н.* Сопряжение архивных данных и данных дистанционного зондирования при создании геоинформационной системы Баренцева моря. // Известия ЮФУ, технические науки. — Ростов, 2013, с 86–90 с.
6. *Урик Р.Дж.* Основы гидроакустики. Пер. с англ. — Л.: Судостроение, 1978. — 448 с.