

**Сриберко А.В.**

*науковий співробітник,*

*ДУ «Відділення гідроакустики Інституту геофізики імені С.І. Субботіна  
Національної академії наук України»*

## **МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКІВ РОЗПОДІЛУ СОЛОНОСТІ ЗА ДАНИМИ ГІДРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПРИКЛАДІ ЧОРНОГО МОРЯ**

Поле солоності в Чорному морі формується балансом прісних вод і водообміном через протоку Босфор. Перевищення надходження прісної води з річковим стоком і опадами над випаровуванням призводить до відносно низького вмісту солей в порівнянні з більшістю морських басейнів. Солоність поверхневого шару Чорного моря (17,85‰) майже удвічі менша, ніж солоність поверхневих вод Світового океану.

Конкретні значення солоності води в Чорному морі знаходяться в досить широкому діапазоні від 0 до 37‰. Ізольовані об'єми прісної води в поверхневому шарі спостерігаються поблизу гирл річок в періоди паводків, високосолоні середземноморські води (34–37‰) проникають в море по дну Босфорського підводного каньйону – продовженню Босфорської протоки [1, с. 56]. Невелике опріснення у Керченській протоки і біля східного берега Криму викликано проникненням сюди менш солоних вод Азовського моря [2, с. 36].

Солоність росте з глибиною від 17,58–18,09‰ на поверхні моря (середні значення по акваторії моря в червні і в лютому, відповідно) до 22,33‰ у дна. Стійких вертикальних екстремумів солоності, як і у багатьох районах Світового океану, в Чорному морі немає. Локальні екстремуми виникають при поширенні мармуровоморських вод. Характерною рисою вертикальної халінної структури моря є наявність двох галоклинів: сезонного в шарі 0–30 м і постійного (основного) в шарі 50–100 м. Сезонний галоклин добре виражений в період з квітня по вересень, максимум вертикального градієнту солоності поступово заглиблюється впродовж цього періоду з поверхні моря до глибини 20 м, значення градієнту в середньому складають  $0,02\text{--}0,05\text{‰} \times \text{м}^{-1}$ , в північно-західній частині моря можуть досягати  $2\text{‰} \times \text{м}^{-1}$ . Максимум вертикального градієнту в постійному галоклині розташовується на 50–70 м, значення градієнту знаходяться в діапазоні  $0,03\text{--}0,06\text{‰} \times \text{м}^{-1}$ , максимумами можуть перевищувати  $0,1\text{‰} \times \text{м}^{-1}$ .

У придонному однорідному шарі від глибин 1700–1750 м до дна, солоність постійна (22,325–22,340 ‰).

Поле солоності на поверхні моря здебільшого визначається річковим стоком та атмосферними опадами. Знижена солоність характерна для північно-західного шельфу (р. Дунай, р. Дніпро, р. Дністер), південно-східної частини моря (р. Ріоні, р. Чорох, р. Інгури, р. Кодорі, регіональний максимум атмосферних опадів) та деяких частин Анатолійського узбережжя: центральною (р. Кизил-Ирмак, р.Єшилль-Ирмак) і західною (р. Сакар'я, р. Фільос (Єнідже)). На Керченсько-Таманському шельфі і південно-східному узбережжі

Криму певний вплив має приплив азовоморських вод (12–15‰). Области підвищеної солоності приурочені до центрів циклонічних кругообігів, де відбувається винос солоних вод основного галокліну в поверхневий шар (максимум в лютому 18,4‰, при інтенсивній конвекції до 18,7‰).

Просторовий розподіл солоності в шарі основного галокліну тісно пов'язаний з інтенсивністю загальної циркуляції моря. Підвищені значення солоності в центральній частині моря та знижені значення в прибережній зоні обумовлені загальною схемою вертикальних рухів, висхідних в центрі та низхідних на периферії. На глибині 75 м різниця значень між центром і периферією моря складає 1–1,5‰.

Розподіл солоності в глибинних шарах за даними високоточних STD-зондів, які отримані за останнє десятиліття, відрізняється високою однорідністю, підвищені значення солоності відмічені в центральній частині моря.

Внутрішньорічні коливання солоності на поверхні в Чорному морі за своїми характеристиками типові для басейну Атлантичного океану.

Головна особливість сезонного ходу солоності в Чорному морі – зменшення солоності в кінці весни, початку літа. Мінімальний солезапас в шарі 0–100 м припадає на липень, через місяць після досягнення мінімуму поверхневої солоності та через два місяці після максимуму прісного балансу. Максимальний солезапас спостерігається взимку (березень), коли відбувається активне вітрове і конвективне перемішування в поверхневому шарі, а посилення загальної циркуляції моря забезпечує підйом глибинних вод підвищеної солоності [1, с. 56-64].

Метою досліджень було встановити зв'язок між солоністю води й гідрофізичними характеристиками в морському середовищі для розрахунків її розподілу у Чорному морі.

Дослідження розподілу солоності проводилися в глибоководній частині Чорного моря на стандартних горизонтах (0, 10, 20, 25, 30, 50 метрів) в період весна – осінь.

Залежність між значеннями солоності, температури води, швидкості звуку у воді і гідростатичного тиску описувало рівняння ЮНЕСКО, для розрахунку швидкості звуку у воді [3, с. 11; 4, с. 46].

$$C(S, T, P) = C_w(T, P) + A(T, P)S + B(T, P)S^{3/2} + D(T, P)S^2, \quad (1)$$

де  $C$  – швидкість звуку,  $C_w$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $D$  – коефіцієнти рівняння,  $S$  – солоність води,  $T$  – температура води,  $P$  – гідростатичний тиск.

Коефіцієнти рівняння  $C_w$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $D$  розраховуються за окремими формулами. Рівняння (1) дозволяє розраховувати швидкість звуку залежно від температури, солоності та гідростатичного тиску із стандартною помилкою 0,19 м/с. Критерії для розрахунку по рівнянню:  $0^\circ\text{C} < T < 40^\circ\text{C}$ ,  $0 \text{ дБар} < P < 1000 \text{ дБар}$ ,  $0\text{‰} < S < 40\text{‰}$  [4, с. 46-48].

Для вирішення поставленої задачі та збільшення точності розрахунків солоності ( $S$ ), нам необхідно вивести  $S$  з рівняння (1) і перетворити його для розрахунку солоності.

Приведемо основні перетворення рівняння (1) для розрахунку солоності.

Замінімо  $C = C_{\text{sound}}$  та  $D = C$ .

Рівняння (1) матиме вигляд

$$C_{\text{sound}} = C_W + AS + BS^{3/2} + CS^2 \quad (2)$$

Перенесемо перший член  $C_W$  рівняння (2) в ліву його частину:

$$C_{\text{sound}} - C_W = AS + BS^{3/2} + DS^2 \quad (3)$$

Представимо ліву частину рівняння у вигляді:

$$C_{\text{sound}} - C_W = N \quad (4)$$

Перепишемо рівняння (2) у вигляді:

$$N = AS + BS^{3/2} + DS^2 \quad (5)$$

Далі, було виведено  $S$  з рівняння (5) та перетворено його для розрахунків солоності.

Відмітимо, що ця процедура дуже трудомістка та рівняння для розрахунку солоності було досить велике, тому ми не приводимо його у рамках цієї роботи. Та незважаючи на це, його можна написати, наприклад, в програмі Microsoft Office Excel, й потім постійно, швидко та легко розраховувати солоність в морському середовищі. Також розрахувати значення солоності за рівнянням (5) можливо й за допомогою комп'ютерної програми Mathcad, однак це займає дуже багато часу.

Точність виведеного рівняння перевірялася методом порівняння значень фактичної солоності та розрахованих значень солоності на основі контактних даних [5] температури води та гідростатичного тиску й розрахованих значеннях швидкості звуку на стандартних горизонтах в період травень – жовтень з 2005 по липень 2018 рр. і стандартна помилка розрахунків солоності склала 0,0028‰ при  $n = 16775$ . При максимальному значенні солоності  $S_{max} = 22,236‰$ , абсолютна похибка ( $\Delta S$ ) склала 0,001‰, а мінімальному значенні  $S_{min} = 14,506‰$ , абсолютна похибка ( $\Delta S$ ) склала 0,005‰.

Наприкінці відзначимо, що на основі виведеного рівняння можна робити прогноз або моделювати розподіл солоності на стандартних горизонтах до 50 метрів по усій глибоководній акваторії Чорного моря в період весна – осінь, підставляючи в виведене рівняння прогностичні (змодельовані) значення температури води й швидкості звуку в морському середовищі.

Відмітимо, що виведене рівняння для розрахунку розподілу солоності води в Чорному морі в шарі 0–50 метрів в період весна – осінь може бути застосоване також для інших акваторій Світового океану.

### Список використаних джерел:

1. Иванов В. А. Океанография Черного моря / В. А. Иванов, В. Н. Белокопытов – Севастополь: НАН Украины, Морской гидрофизический институт, 2011. – 212 с.
2. Добровольский А. Д. Моря СССР / А. Д. Добровольский, Б. С. Залогин. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 192 с.
3. Ярошенко А. А. Вычисление скорости звука в морской воде. От Колладона и Штурма до наших дней // Водний транспорт. – 2012. – № 3. – С. 8-12.
4. Fofonoff N. P., Millard Jr R. C. Algorithms for the computation of fundamental properties of seawater // UNESCO, 44. – 1983. – 54 pp.
5. NOAA World Ocean Database [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nodc.noaa.gov>