

ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ

УДК 551.465

DOI: 10.18524/2303-9914.2019.2(35).83726

О. Р. Андріанова, доктор геогр. наук, пров. наук. співроб.

А. В. Сриберко, наук. співроб.

ДУ «Відділення гідроакустики Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна
НАН України»,

вул. Преображенська, б. 3. м. Одеса, 65082, Україна

olga_andr@mail.ru, sriberko@gmail.com

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ВЕРТИКАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ПОЛІВ ТЕРМОХАЛІННИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ГЛИБОКОВОДНОЇ АКВАТОРІЇ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНИХ ВИМІРІВ

У статті представлені результати досліджень з розробки методики розрахунків вертикального розподілу полів температури й солоності в діяльному шарі Чорного моря за даними дистанційних вимірів. Встановлено кореляційний зв'язок між значеннями температури води та швидкості звуку, залежність між значеннями солоності, температури води, швидкості звуку в воді та гідростатичного тиску. Визначено можливість розрахунків вертикального розподілу полів температури й солоності по всій глибоководній акваторії Чорного моря до глибини 50 метрів в період весна - осінь за даними дистанційних вимірів.

Ключові слова: Чорне море, розрахунок температури води, розрахунок солоності води, швидкість звуку, рівняння регресії, супутникові дані.

ВСТУП

Однією з найважливіших характеристик реального морського середовища є його неоднорідність з широким діапазоном просторових й часових масштабів. Для ефективного вирішення задач моніторингу морського середовища інтерес представляють квазістатичні та динамічні неоднорідності: термохалінних полів (температура, солоність), хімічного складу (хімічних характеристик, складу домішок й добавок), полів течій, різних видів хвильових процесів, тобто всі ті неоднорідності, які в силу фізичних особливостей можуть піддаватися спостереженню [8]. Температура води є найрегулярніше вимірюваний параметр в порівнянні з іншими океанологічними характеристиками й може служити індикатором інших процесів, як гідробіологічних, так і гідрометеорологічних.

За останні двадцять років стався значний прогрес в розумінні основних фі-

зичних та біогеохімічних процесів в Чорному морі [5, 6, 16] завдяки проведенню сучасних науково-дослідних програм. Розроблено й впроваджено інструменти моделювання та збору даних, які вимагають подальшого калібрування та перевірки. В основному дослідження по верифікації та калібруванню даних базуються на сукупності супутникових й контактних вимірів температури поверхні моря [6, 11, 15]. На сьогодні існує велика проблема отримання контактних даних вертикального розподілу термохалінних характеристик Чорного моря. Тому, доводиться прибігати до непрямих визначень вертикального розподілу цих характеристик шляхом розробок різних методик розрахунку їх вертикального розподілу [7].

Мета досліджень полягала у розробці методики розрахунків вертикального розподілу полів температури та солоності води за акустичними й супутниковими даними. Для чого на прикладі Чорного моря були вирішені наступні задачі:

- визначення кореляційних зв'язків між значеннями температури води та швидкості звуку;
- визначення залежностей між значеннями солоності води, температури води, швидкості звуку у воді та гідростатичного тиску;
- оцінка можливості розрахунку швидкості звуку по значеннях температури води, розрахованих за побудованими рівняннями регресії на основі супутникової інформації;
- оцінка можливості розрахунку солоності у воді по значеннях температури води, швидкості звуку у воді та гідростатичного тиску, розрахованих за побудованими рівняннями регресії;
- розробка методики розрахунків вертикального розподілу полів температури та солоності води за акустичними й супутниковими на прикладі Чорного моря.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вихідними даними для розробки методики розрахунків вертикального розподілу температури води послужили щоденні відомості по супутникових вимірах температури поверхні води Чорного моря з кроком 4 км по широті та довготі (Terра MODIS) [13]. Для визначення кореляційних зв'язків між значеннями температури води та швидкості звуку в Чорному морі, а також для побудови рівнянь регресії використовувались фактичні значення температури та солоності води на станціях або дані суднових вимірів (OSD – Ocean Station Data) з 1890 по 2005 рр. [14]. Для перевірки ефективності та точності розрахунків швидкості звуку та солоності в Чорному морі використовувались фактичні дані, що виміряні за допомогою поплавців (PFL – Profiling float data) з 2005 по 2018 рр. [14].

Розрахунки вертикального розподілу температури води в Чорному морі на стандартних горизонтах (0, 10, 20, 25, 30, 50 метрів) на основі супутникової інформації проводилися за «Методикою розрахунку вертикального розподілу

температури води в Чорному морі на основі супутникової інформації» (далі – Методика) [5, 18].

Дослідження ґрунтувалися на математичних та фізико-статистичних методах. Регресійний й кореляційний аналізи були основою для розробки методики.

Для побудови рівнянь регресії вихідними даними послужили усереднені по умовних 72 квадратах (рис. 1) розміром $40' \times 60'$, місяцям та стандартним горизонтам багаторічні (за період з 1890 по 2017 рр.) характеристики температури води в Чорному морі. Дані вибиралися для періоду весна – осінь, оскільки в холодний період року даних мало у більшості районів моря. У кожному квадраті (рис. 1) розраховувалися рівняння експоненціальної та лінійної регресії [2, 5, 9, 18] для певного місяця року, виду

$$y = ae^{bx} \quad (1)$$

та

$$y = ae + b, \quad (2)$$

де a та b коефіцієнти рівняння регресії, y – температура води на досліджуваному горизонті, x – температура води на горизонті, що знаходиться вище досліджуваного.

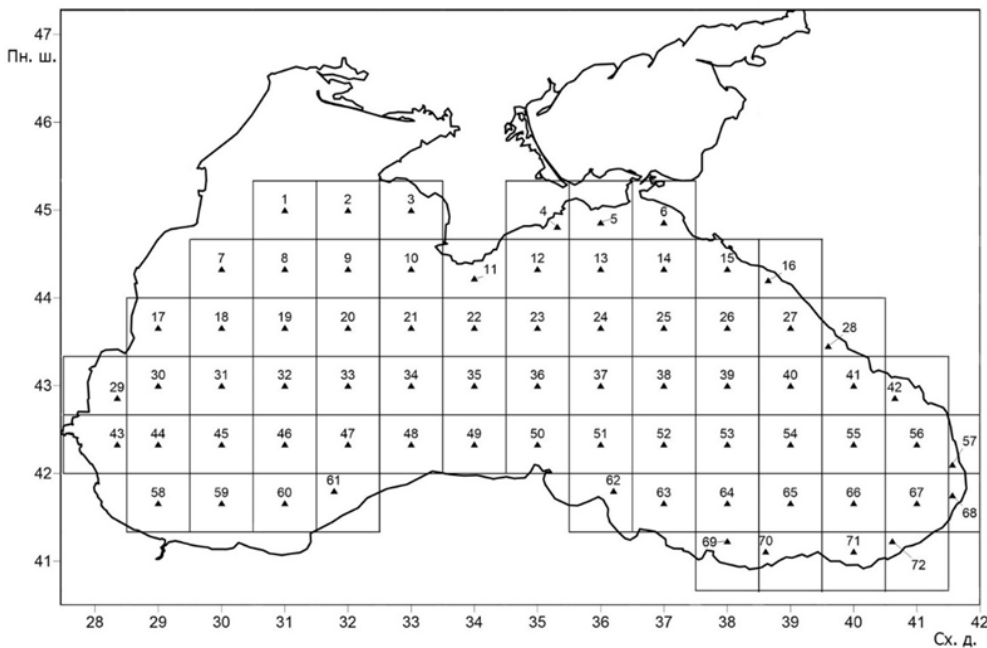


Рис. 1. Розташування умовних квадратів (розмір квадрата $40' \times 60'$) для розрахунку рівнянь регресії в Чорному морі [18]

Розрахунки швидкості звуку в Чорному морі ґрунтувався на визначенні кореляційних зв'язків між значеннями температури води та швидкістю звуку, що розрахована за рівнянням ЮНЕСКО [10, 12]:

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

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 [12]. Рівняння (3) дозволяє розраховувати швидкість звуку залежно від температури, солоності та гідростатичного тиску із стандартною помилкою 0,19 м/с. Критерії для розрахунку по рівнянню: $0^\circ\text{C} < T < 40^\circ\text{C}$, $0 < P < 1000$ дБар, $0 < S < 40\%$.

Мірою лінійної кореляційної залежності між розрахованими значеннями та фактичними є коефіцієнт кореляції ($-1 \leq r \leq 1$) [2, 3, 4, 9]. Перевірка значущості r проводилася методом порівняння коефіцієнтів кореляції (r) з критичним значенням коефіцієнтів кореляції $r(\alpha)$ при рівні достовірності $\alpha = 0,95$ [2].

Критичне значення коефіцієнтів кореляції $r(\alpha)$ розраховувалось за рівнянням:

$$r(0,95) = \sqrt{\frac{t_{0,975}^2}{n-2+t_{0,975}^2}}, \quad (4)$$

де $t_{0,975}$ – t -критерій Стюдента при рівні достовірності $\alpha = 0,975$; n – число членів ряду.

Значення $r(\alpha)$ визначаються за таблицями [2]. Якщо $r \geq r(\alpha)$, то відповідна кореляція визнається значущою.

Ще одним критерієм значущості r послужило відношення r/E_r . При надійній залежності коефіцієнт кореляції (r) в 6–10 разів більше своєї імовірнісної помилки E_r [3].

Оцінка значущості та надійності лінійних рівнянь регресії проводилася за F -критерієм Фішера при рівні достовірності $\alpha = 0,95$ ($F_\alpha(f_1, f_2)$ з $f_1 = k - 1$ і $f_2 = n - k$ ступенями свободи). Якщо розрахункове значення $F > F_\alpha(f_1, f_2)$ (критичне), то признається статистична значущість та надійність рівняння регресії [2, 9].

Оцінка точності розрахунків також визначається ефективністю використуваного методу. Одним з критеріїв точності розрахунків та застосовності їх на практиці служить відношення $\delta S/\sigma$, де δS – середньоквадратична помилка розрахунків, σ – середньоквадратичне відхилення значень фактичних вимірів. Величини δS , σ можна обчислити за відомими формулами [2, 3, 4, 9]. Чим менше відношення $\delta S/\sigma$, тим надійніше метод розрахунків. Для функціональної залежності $\delta S/\sigma = 0$, а при $\delta S/\sigma = 1$ варіація функції не залежить від варіації аргументу і, отже, зв'язок між змінними відсутній [3, 4]. Для наших розрахунків вертикального розподілу швидкості звуку в Чорному морі допустимою помилкою є: $\delta S/\sigma \leq 0,67$ при $n > 25$, де n – кількість вимірів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Розробка методики розрахунків вертикального розподілу полів температури та солоності води за акустичними й супутниковими даними полягала у визначенні регресійних залежностей та кореляційних зв'язків між значеннями досліджуваних характеристик на стандартних горизонтах. На прикладі Чорного моря за супутниковими даними були виконані розрахунки вертикального розподілу полів термохалінних характеристик в діяльному шарі, які доцільно представити за трьома основними етапами.

Перший етап. Розрахунки вертикального розподілу температури води в Чорному морі на основі супутникової інформації за методикою [18] мають наступну послідовність: знаходження статистичних залежностей між значеннями температури води на сусідніх горизонтах в Чорному морі за усередненими даними температури води та побудова рівнянь регресії; установка критерію для розрахунку вертикального розподілу температури води ($\pm\Delta T$); розрахунок поправок на температуру на глибинах 10, 20, 25, 50 метрів.

У кожному квадраті (рис. 1) були побудовані 432 рівняння експоненціальної та 432 рівняння лінійної регресії в період травень – жовтень, які є основою для розрахунків вертикального профілю температури води. За цими рівняннями від поверхні (де значеннями температури води є супутникові дані) до глибини 50 метрів розраховується вертикальний розподіл температури води. Визначальним фактором розрахунків служив критерій ($\pm\Delta T$). Відомо [1], що зміна вертикального профілю температури води підкоряється експоненціальному закону розподілу. Дослідження показали (>1000 чисельних експериментів), що при відхиленні значень температури поверхні моря від кліматичних значень температури води (T_{clim}) в Чорному морі на $\pm 2^\circ\text{C}$ переважає лінійна залежність між значеннями температури води на сусідніх горизонтах. Таким чином, якщо значення температури поверхні моря (T_0) потрапляє в інтервал $[T_{clim} - 2 < T_0 < T_{clim} + 2]$, то вертикальний розподіл температури води розраховується за рівняннями експоненціальної регресії, а коли не входить в цей інтервал, то за рівняннями лінійної регресії.

Для покращення результатів розрахунку вертикального розподілу температури води на основі супутникової інформації були побудовані рівняння парної лінійної регресії для поправок на температуру води [18]. Для поправки на горизонті 20 метрів визначалася залежність між значеннями температури води на горизонтах 25 – 20 метрів, для поправок на горизонтах 25 й 50 метрів – на горизонтах 30 – 25 метрів та 30 – 50 метрів, відповідно. Розрахунок поправки на горизонті 10 метрів має складніший характер, ніж для горизонтів 20, 25, 50 метрів. Розрахунки проводилися методом аналітичного представлення розподілу температури води на поверхні у вигляді функцій координат [18], а саме розкладання супутникових даних температури поверхні моря в ряди по алгебраїчним многочленам – за поліномами Чебишева. Результати попередніх досліджень [18] показали, що поправки на температуру води необхідно вводи-

ти залежно від пори року. Так, для періоду весна – літо вводиться поправка на глибинах 10, 20, 25 метрів, а для осені – на глибинах 10, 20, 25 і 50 метрів.

Другий етап. Розрахунки швидкості звуку в Чорному морі за супутниковими даними проводилися за методикою [7] та мають наступну послідовність: розрахунок вертикального розподілу температури води в Чорному морі на стандартних горизонтах за супутниковими даними [18]; розрахунок швидкості звуку в Чорному морі за побудованими рівняннями регресії, за методикою [7]. Для збільшення точності подальших розрахунків вертикального розподілу солоності були побудовані рівняння лінійної регресії щодо розрахунку швидкості звуку на глибині 50 метрів. Окремо для західної, центральної та східної частин Чорного моря визначались кореляційні зв'язки між значеннями температури води та швидкістю звуку, що розрахована за рівнянням ЮНЕСКО (3) та були побудовані рівняння парної лінійної регресії, де предиктантом є швидкість звуку, а предиктором – значення температури води на горизонті 50 метрів.

Результати розрахунків швидкості звуку показали досить високий кореляційний зв'язок між температурою води та швидкістю звуку на глибині 50 метрів в усіх частинах Чорного моря в період весна – осінь. Коефіцієнти кореляції (r) були в межах 0,97–0,99 та більше критичного значення $r(\alpha)$ (табл. 1). Імовірнісні помилки (E_r) були в межах $8,42 \times 10^{-5} - 5,40 \times 10^{-4}$, а відношення r/E_r більше за 1790, що говорить про значущість r та надійний кореляційний зв'язок між температурою води та швидкістю звуку в усіх частинах Чорного моря в період весна–осінь (табл. 1).

Таблиця 1

Статистичні характеристики розрахунків швидкості звуку та рівняння регресії для горизонту 50 метрів в Чорному морі в період весна–осінь

Частини Чорного моря	r	$r(0,95)$	r/E_r	F	$F_{0,95}$	Рівняння регресії
Західна	0,97	0,02	1790	93905	3,8	$y_{50} = 4,013_{x50} + 1430,652$
Центральна	0,99	0,03	11295	430729	3,8	$y_{50} = 3,652_{x50} + 1433,441$
Східна	0,99	0,03	11825	558560	3,8	$y_{50} = 3,675_{x50} + 1433,265$

Розрахункові значення F були в межах $9,4 \times 10^4 - 5,6 \times 10^5$ та більше критичного значення $F_{0,95} = 3,8$. Значення критерію $(\delta S/\sigma)$ склали 0,09 – 0,25, що менше критичного значення 0,67. Це означає, що усі побудовані рівняння регресії ефективні, надійні, значимі, показники тісноти зв'язку значимі та відображають стійку залежність між значеннями температури води й швидкості звуку в усіх частинах Чорного моря в період весна–осінь.

Для перевірки ефективності та точності розрахунків, значення швидкості звуку в Чорному морі, що розраховані за рівняннями лінійної регресії порівнювалися зі значеннями швидкості звуку, розрахованими на основі фактичних даних, виміряних за допомогою поплавців (PFL – Profiling float data), за рівнян-

ням (3). Результати показали, що в середньому по Чорному морю, стандартна помилка (δS) склала 0,7 м/с при $n = 2680$ ($\sigma = 3,4$).

Третій етап. Розрахунки вертикального розподілу полів солоності в Чорному морі проводилися по розрахованих значеннях температури води та швидкості звуку на основі супутникової інформації. Рівняння ЮНЕСКО для розрахунку швидкості звуку у воді (3) встановлює залежність між значеннями солоності, температури води, швидкості звуку у воді та гідростатичного тиску.

Для визначення солоності (S) та збільшення точності розрахунків, нам необхідно було перетворити рівняння (3) для розрахунку солоності. Приведемо основні перетворення рівняння (3). Замінімо $C = C_{sound}$ та $D = C$. Перенесемо перший член C_w рівняння (3) в ліву його частину та введемо нову змінну $N = C_{sound} - C_w$. Перепишемо рівняння (3) у вигляді:

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

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

Оскільки ця процедура дуже трудомістка та рівняння для розрахунку солоності досить велике, ми не приводимо його у рамках цієї статті. Незважаючи на це, його можна використовувати, наприклад, в програмі Microsoft Office Excel, щоб швидко та легко розраховувати солоність в морському середовищі. Також можливі розрахунки 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 температури води та гідростатичного тиску й розрахованих значеннях швидкості звуку на стандартних горизонтах в період травень – жовтень з 2005 по липень 2018 рр. Стандартна помилка розрахунків солоності склала 0,0028 ‰ при $n = 16775$. При максимальному значенні солоності $S_{max} = 22,236$ ‰, абсолютна похибка (ΔS) склала 0,001‰, а мінімальному значенні $S_{min} = 14,506$ ‰, абсолютна похибка (ΔS) склала 0,005 ‰.

Дослідження з розподілу солоності показали, що дисперсія локального, тобто в конкретно узятій точці та в певний момент часу, вертикального розподілу солоності в Чорному морі в шарі 0 – 50 метрів, в період весна – осінь, була порядку 10^{-2} ‰. Для вирішення поставленої задачі дисперсія занадто мала, тому приймається, що локальний вертикальний розподіл солоності однорідний в цьому шарі. Таким чином, розрахунок локального вертикального розподілу солоності за виведеним рівнянням проводився для глибини 50 метрів. Розрахована величина солоності на горизонті 50 метрів була постійною величиною для усього шару 0 – 50 метрів.

Результати розрахунків вертикального розподілу солоності за виведеним рівнянням на основі акустичних й супутникових даних на 160 станціях в Чор-

ному морі в період весна – осінь 2017 року показали, що стандартна помилка (δS) склала 0,25 ‰ при $n = 960$.

Систематизація результатів досліджень та застосування розробленої методики. Локальний розрахунок вертикального розподілу температури та солоності води в Чорному морі за акустичними й супутниковими даними в шарі 0 – 50 метрів, тобто на декількох станціях, можна легко провести, застосовуючи розроблені рівняння. Але якщо розраховувати по усій акваторії Чорного моря, то цей процес дуже трудомісткий. Тому нами розроблено прототип системи розрахунку вертикального розподілу полів температури та солоності води в Чорному морі за акустичними й супутниковими даними (далі – Система). Система включає 864 рівняння експоненціальної та лінійної регресії для розрахунку вертикального розподілу температури води в усіх умовних квадратах (рис. 1) в Чорному морі та місяцях за період травень–жовтень; рівняння лінійної регресії для розрахунку поправок на температуру на стандартних горизонтах (10, 20, 25, 50 метрів) та інтервали, для визначення розрахунку температури води за рівняннями експоненціальної або лінійної регресії; рівняння лінійної регресії для розрахунку швидкості звуку та рівняння для розрахунку солоності в Чорному морі. Таким чином, Система автоматично визначає де і по яких рівняннях розраховувати вертикальний розподіл температури води і, відповідно, поправки на температуру та солоність води в Чорному морі.

Вихідними даними для розрахунків є тільки щоденні супутникові дані температури поверхні моря та місяць року.

Результати розрахунку вертикального розподілу полів температури та солоності води в Чорному морі на стандартних горизонтах, зональний та меридіональний розрізи для 21.06.2018 р. представлено на рис. 2 та 3. Ці карти побудовано за допомогою комп'ютерної програми ODV (Ocean Data View), призначеної для інтерактивного дослідження і графічного відображення океанографічних профілів, траєкторій або часових рядів даних [17].

Виходячи з вищеписаних результатів, основна послідовність розрахунку вертикального розподілу полів температури та солоності води в Чорному морі за акустичними й супутниковими даними в шарі 0–50 метрів в період весна – осінь має вигляд: 1) установка критерію ($\pm \Delta T$) і визначення інтервалів для розрахунку вертикального розподілу температури води в Чорному морі [$T_{clim} - 2 < T_0 < T_{clim} + 2$]; 2) розрахунок вертикального розподілу полів температури води за рівняннями експоненціальної або лінійної регресії на основі супутникової інформації; 3) введення поправок на температуру на глибинах 10, 20, 25, 50 метрів, залежно від місяця року, для якого ведуться розрахунки вертикального розподілу температури води; 4) розрахунок швидкості звуку на глибині 50 метрів по розрахованих значеннях температури води на основі супутникової інформації; 5) розрахунок вертикального розподілу полів солоності в Чорному морі по розрахованих значеннях температури води й швидкості звуку на основі супутникової інформації.

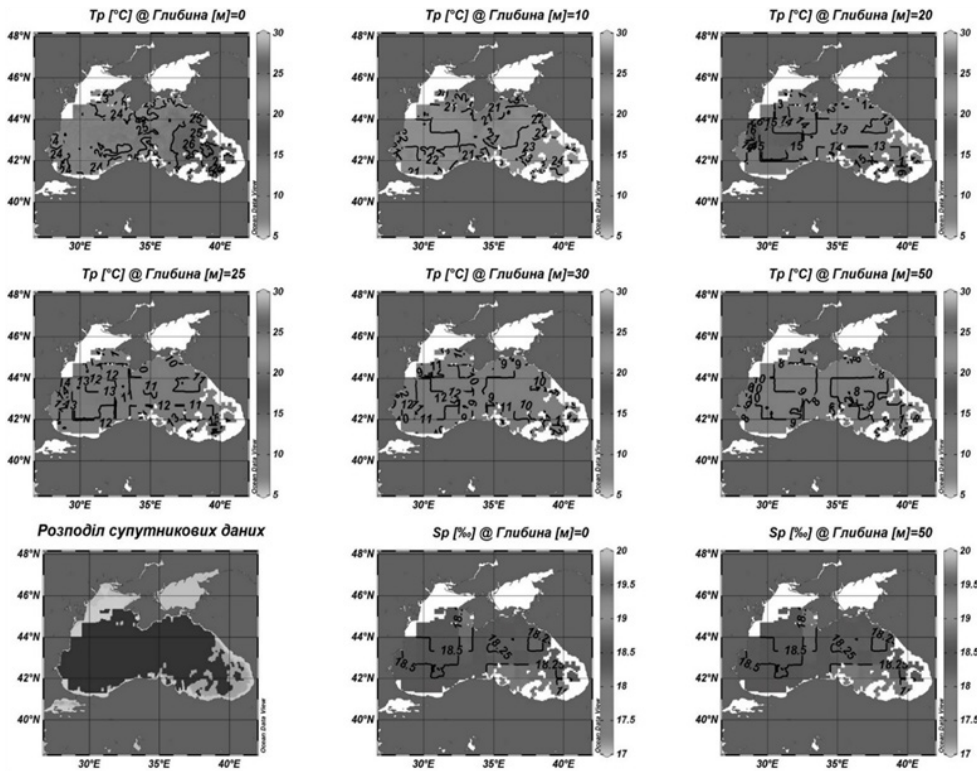


Рис. 2. Карти розрахованих полів температури води (Tr) на стандартних горизонтах та солоності (Sr) на глибині 0, 50 м в Чорному морі 21.06.2018 р. (темні ділянки – наявність супутникових даних, світлі ділянки – відсутність даних)

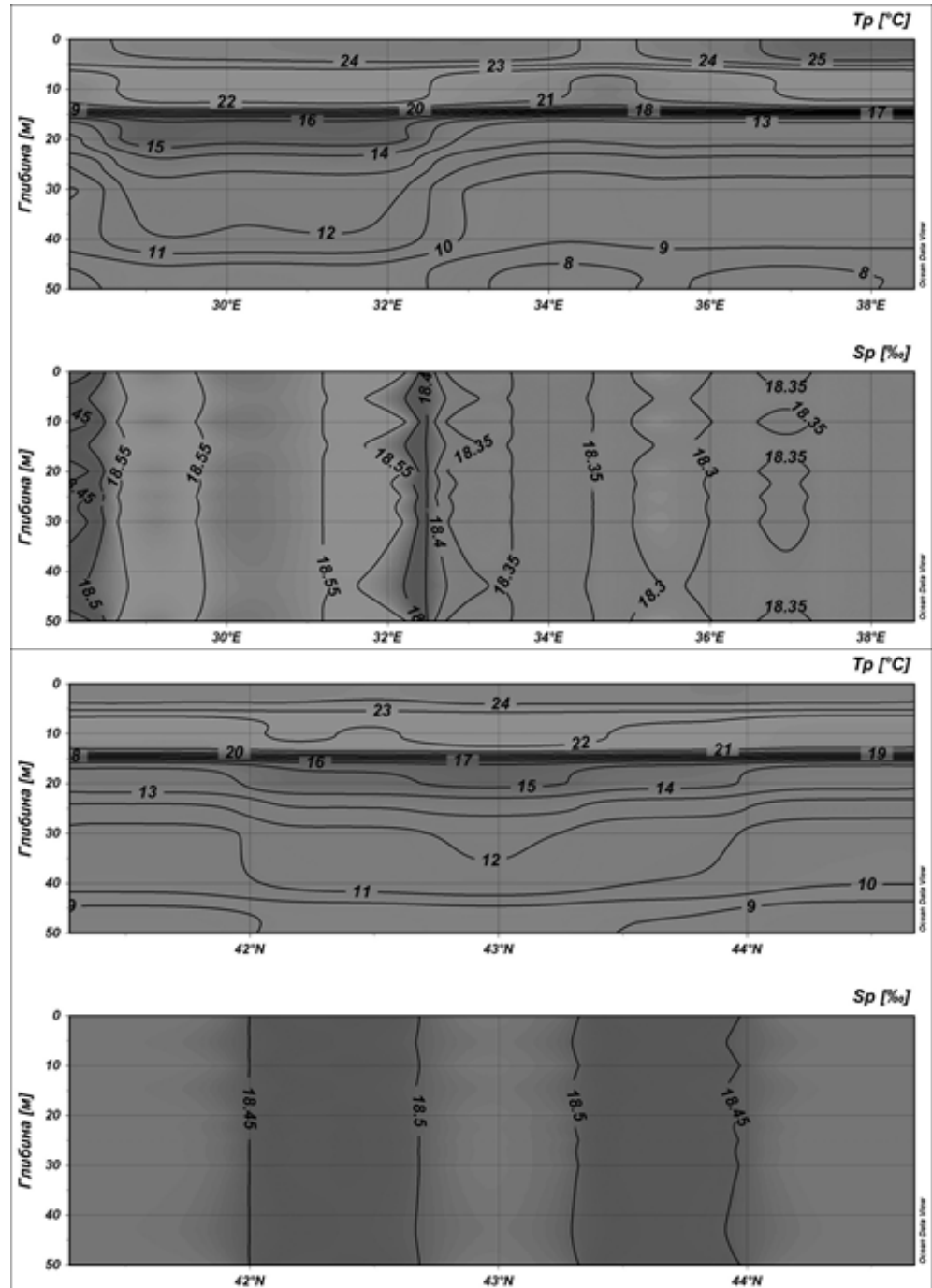


Рис. 3. Розподіл розрахованої температури (T_r) й солоності (S_p) води на зональному (по широті $43,06^\circ$ пн.ш) (а) та меридіональному (по довготі $30,40^\circ$ сх.д.) (б) розрізах в Чорному морі 21.06.2018 р.

ВИСНОВКИ

Результати розрахунків вертикального розподілу термохалінних характеристик у глибоководній частині Чорного моря за даними дистанційних методів за розробленою методикою показали можливості її застосування в шарі 0 – 50 метрів в період весна – осінь.

Встановлено, що змінення вертикального профілю температури води підпорядковується експоненціальному закону розподілу, але при відхиленні температури поверхні моря від кліматичних значень більше ніж на $\pm 2^{\circ}\text{C}$, переважає лінійний закон розподілу. Основні змінення в розподілі солоності мають горизонтальний характер по акваторії Чорного моря. Дослідження з розробки методики показали, що для розрахунків розподілу солоності в Чорному морі доцільно використовувати значення швидкості звуку на глибині 50 метрів.

Принципи побудови прототипу системи розрахунку вертикального розподілу полів температури та солоності води у перспективі можливо втілити щодо створення «Системи оперативного прогнозу полів термохалінних характеристик на основі дистанційних методів вимірів», що дозволить оцінювати динаміку процесів в Чорному морі, вплив їх змін на гідробіологічні, гідрохімічні, гідрофізичні процеси та екосистему моря в цілому.

Розроблена методика та принципи побудови прототипу системи для розрахунку вертикального розподілу полів температури та солоності води за акустичними й супутниковими даними, які випробувані на прикладі Чорного моря, можуть бути застосовані також для інших акваторій Світового океану з урахуванням їх гідрологічних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глаголева М. Г. Прогноз температуры воды в океане [Текст] / М. Г. Глаголева, Л. И. Скриптунова – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 168 с.
2. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А. И. Кобзарь // М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
3. Кудрявая К. И. Морские гидрологические прогнозы [Текст] / К. И. Кудрявая, Е. И. Серяков, Л. И. Скриптунова – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 310 с.
4. Морские прогнозы [Текст] / З. К. Абузьяров, К. И. Кудрявая, Е. И. Серяков [и др.]. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 319 с.
5. Оценка возможности расчета вертикального распределения температуры воды в Черном море по спутниковым данным / О. Р. Андрианова, М. И. Скипа, А. В. Сриберко [и др.] // Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки. – 2015. – Том 20. – Вип. 4. – С. 9-21.
6. Подспутниковая заверка и интерпретация данных космической съемки морской поверхности [Текст] / О. Р. Андрианова, А. А. Батырев, М. И. Скипа [и др.] // Космічна наука і технологія. – 2004. – Том 10. – № 4. – С.92 – 95
7. Сриберко А. В. Методика розрахунку просторового розподілу швидкості звуку за супутниковими даними на прикладі Чорного моря [Текст] / А. В. Сриберко // «Інноватика в сучасному освіті та науці: теорія і практика» (г. Черновці, 27-28 вересня 2019 г.). – Херсон: Гельветика, 2019. – С. 34-37.
8. Черное море как полигон для отработки дистанционных методов контроля [Текст]: моно-

- графия / О. Р. Андрианова, А. А. Батырев, Р. Р. Белевич [и др.]. – Киев: Наукова думка, 2018. – 176 с.
9. Эконометрика [Текст]: учебник / И. И. Елисеева, С. В. Курышева, Т. В. Костеева [и др.]; под ред. И. И. Елисеевой. – 2-е изд., перераб. и доп. // М: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
 10. Ярошенко, А. А. Вычисление скорости звука в морской воде. От Колладона и Штурма до наших дней [Текст] / А. А. Ярошенко // Водний транспорт. – 2012. – Вип. 3. – С. 8-12.
 11. Advantages of fine resolution SSTs for small ocean basins: Evaluation in the Black Sea [Текст] / A. B. Kara, C. N. Barron, A. J. Wallcraft [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2008. – Vol. 113. – C08013. – doi:10.1029/2007JC004569.
 12. Fofonoff, N. P. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater [Текст] / N. P. Fofonoff, R. C. Millard Jr. // UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci. – Vol. 44. – 53 p.
 13. NASA's OceanColor Web [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/13/>.
 14. NOAA World Ocean Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nodc.noaa.gov>.
 15. On the warm nearshore bias in Pathfinder monthly SST products over Eastern Boundary Upwelling Systems [Текст] / F. Dufois, P. Penven, C. P. Whittle [et al.] // Ocean Modelling. – 2012. – Vol. 47. – pp. 113-118.
 16. Physical and biogeochemical characteristics of the Black Sea [Текст] / T. Oguz, S. Tugrul, A. E. Kideys [et al.] // The sea. – 2005. – Vol. 14. – Chapter 33. – pp. 1333-1371.
 17. Schlitzer, R. Ocean Data View [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://odv.awi.de>.
 18. Sryberko, A. Calculation of the vertical distribution of water temperature in the Black Sea by satellite data [Текст] / Andrii Sryberko // Geographia Technica. – 2019. – Vol. 14. – No 2. – pp. 97-111.

REFERENCES

1. Glagoleva, M. G., Skriptunova, L. I. (1979), *Prognoz temperatury vody v okeane. [Forecast of the water temperature in the ocean.]*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 168 p.
2. Kobzar, A.I. (2006), *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov [Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Scientists]*, Moscow: Fizmatlit, 816 p.
3. Kudryavaya, K. I., Seryakov, E. I., Skriptunova, L. I. (1974), *Morskie gidrologicheskie prognozy. [Marine hydrological forecasts.]*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 310 p.
4. Abuzyarov, Z. K., Kudryavaya, K. I., Seryakov, E. I., Skriptunova, L. I. (1988), *Morskie prognozy [Marine forecasts.]*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 319 p.
5. Andrianova, O. R., Skipa, M. I., Sryberko, A. V., Stepanova, Yu. V. (2015), Otsenka vozmozhnosti rascheta vertikalnogo raspredeleniya temperatury vody v Chernom more po sputnikovym dannym [Estimation of ability of vertical temperature distribution's calculation for the Black sea's water by satellite data], *Odessa National University Herald. Series: Geography & Geology*, Vol. 20, No 4 (27), pp. 9-21.
6. Andrianova, O. R., Batyrev, A. A., Skipa, M. I., Sryberko, A. V. (2004), Podsputnikovaya zaverka i interpretatsiya dannykh kosmicheskoy semki morskoy poverkhnosti [Undersatellite authentication and interpretation of the data of space surveys of a sea surface.], *Kosmichna Nauka i Tekhnologiya*, Vol. 10, No. 4, pp. 92 - 95.
7. Sryberko A. V. (2019), Metodyka rozrakhunku prostorovoho rozpodilu shvydkosti zvuku za sputnykovymy danymy na prykladi Chornoho morya [Method for calculating the spatial distribution of sound speed by satellite data on the example of the Black Sea]. Proceedings of the Innovatika v sovremennom obrazovanii i nauke: teoriya i praktika (Ukraine, Chernivtsi, September 27-28, 2019), Kherson: Gelvetika, pp. 34-37.
8. Andrianova, O. R., Batyrev, A. A., Belevich, R. R., Skipa, M. I. (2018), Chernoe more kak poligon

- dlya otrabotki distantsionnykh metodov kontrolya: monografiya [Black sea – as a polygon for development of remote control methods], Kiev: Naukova dumka, 176 p.
9. Eliseeva, I. I. (ed), Kurysheva, S. V., Kosteeva, T. V., Pantina, I. V., Mikhailov, B. A., Neradovskaya J.V., Shtroe, G. G., Bartels, K., Rybkina, L. R. (2007), *Ekonometrika: uchebnik [Econometrics]*, Moscow: Finance and Statistics, 576 p.
 10. Yaroshenko, A. A. (2012), Vychislenie skorosti zvuka v morskoy vode. Ot Kolladon i Shturma do nashikh dney [The calculation of sound velocity is in the sea water. From Colladon and Sturm to our days], *Water Transport*, Vol. 3, pp. 8-12.
 11. Kara, A.B., Barron, C.N., Wallcraft, A.J., Oguz, T., Casey, K.S. (2008), Advantages of fine resolution SSTs for small ocean basins: Evaluation in the Black Sea. *Journal of Geophysical Research*, 113, C08013, doi:10.1029/2007JC004569.
 12. Fofonoff, N. P., Millard Jr., R. C. (1983), *Algorithms for computation of fundamental properties of seawater*. UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci., Vol. 44, 53 p.
 13. NASA's OceanColor Web, Available at: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/13/> [Accessed 19 September 2019].
 14. NOAA World Ocean Database, Available at: <http://www.nodc.noaa.gov> [Accessed 27 May 2019/
 15. Dufois, F., Penven, P., Peter Whittle, C., Veitch, J. (2012), On the warm nearshore bias in Pathfinder monthly SST products over Eastern Boundary Upwelling Systems. *Ocean Modelling*, Vol. 47, pp. 113-118.
 16. Oguz, T., Tugrul, S., Kideys, A. E., Ediger, V., Kubilay, N. (2005), Physical and biogeochemical characteristics of the Black Sea. *The sea*, Vol. 14, Chapter 33, pp. 1333-1371.
 17. Schlitzer, R. (2018), Ocean Data View. Available at: <https://odv.awi.de> [Accessed 19 September 2019].
 18. Sryberko, A. (2019), Calculation of the vertical distribution of water temperature in the Black Sea by satellite data. *Geographia Technica*, Vol. 14, No 2, pp. 97-111.

Надійшла 20.10.2019

О. Р. Андрианова, доктор географ. наук, вед. н. с.

А. В. Сриберко, н. с.

ГУ «Отделение гидроакустики Института геофизики им. С. И. Субботина

НАН Украины»,

ул. Преображенская, д. 3, г. Одесса, 65082, Украина

olga_andr@mail.ru, sriberko@gmail.com

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Резюме

В статье представлены результаты исследований по разработке методики расчета вертикального распределения полей температуры и солености в деятельном слое Черного моря по данным дистанционных измерений. Установлена корреляционная связь между значениями температуры воды и скорости звука, зависимость между значениями солености, температуры воды, скорости звука в воде

и гидростатического давления. Определена возможность расчета вертикального распределения полей температуры и солености по всей глубоководной акватории Черного моря, до глубины 50 метров, в период весна - осень, по данным дистанционных измерений.

Ключевые слова: Черное море, расчет температуры воды, расчет солености воды, скорость звука, уравнение регрессии, спутниковые данные.

O. R. Andrianova

A. V. Sryberko

State Institute Hydroacoustics Branch of Institute of Geophysics by S. I. Subbotin
name of NAS of Ukraine,

3 Preobrazhenska st., Odessa, 65082, Ukraine

olga_andr@mail.ru, sriberko@gmail.com

THE METHOD FOR CALCULATIONS THE VERTICAL DISTRIBUTION OF THE FIELDS OF THERMOHALINE CHARACTERISTICS FOR THE BLACK SEA DEEP-WATER AREA BY REMOTE MEASUREMENTS DATA

Abstract

Problem Statement and Purpose. The results of studies on the development of methods for calculations of the vertical distribution of temperature and salinity fields in the active layer of the Black Sea by remote measurements data was presents in article.

To solve the many practical problems, it is necessary to use vertical distribution of hydrological characteristics of the marine environment. Today there isn't an easy way to get a in situ data for evaluation of the vertical distribution of these characteristics. Indirect definitions of the vertical distribution of water temperature and salinity through the development of various methods for the calculation of the vertical profile of water temperature are used to date.

Main purpose of this work is to estimate an ability of using of satellite data for calculation of the spatial distribution of thermohaline characteristics (on the example of the Black Sea).

Data & Methods. The initial data of the actual water temperature and salinity values were station data or measurement from the ship data (OSD – Ocean Station data), data measured with the help of floats (PFL – Profiling float data) and satellite data of the sea surface temperature.

Calculations of the vertical distribution of temperature and salinity fields in the active layer of the Black Sea by remote measurements data are based on original methods developed by the State Institution “Hydroacoustics Branch of Institute of Geophysics of NAS of Ukraine”. The development of methods was based on mathematical, physical and statistical methods of calculation.

Study of vertical distribution of water temperature and salinity in the Black Sea were

carried out in the deep-water part sea at standard levels (0, 10, 20, 25, 30, 50 meters) in spring – autumn period.

Results. In the process of research, the following tasks were solved: the possibility of calculating the speed of sound from the values of water temperature calculated on the basis of satellite information are estimated; the possibility of calculating the salinity of water by the values of water temperature, sound speed in water and hydrostatic pressure are estimated; a method for calculations the vertical distribution of the fields of thermohaline characteristics in the active layer of the Black Sea by remote measurements data has been developed.

A prototype of a computer program for calculations the vertical distribution of temperature and salinity fields in the Black Sea based on remote measurements data has been developed. The program automatically determines where and by what equations the vertical distribution of the fields of thermohaline characteristics in the active layer of the Black Sea can be calculated.

The initial data for the calculations are only daily satellite data of the sea surface temperature and the month of the year.

Designed by us, the prototype of a computer program to calculate the vertical distribution of the fields of thermohaline characteristics in the active layer of the Black Sea based on the remote measurements could serve as a basis for the establishment of a "Operational Forecast System of the fields of thermohaline characteristics in the Black Sea based on the remote measurements" (OFS). With the help of which the dynamics of characteristics and effects of their change on hydrobiological, hydrochemical, hydrophysical processes in the Black Sea and the ecosystem of the sea in general can be evaluated.

In our opinion the developed method for calculating of the vertical distribution of the fields of thermohaline characteristics by remote measurements data can be applied to others water area of the World Ocean taking into account their hydrological conditions.

Keywords: Black Sea, calculation of water temperature, calculation of water salinity, speed of sound, regression equation, satellite data.