


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ОДЕСЬКИЙ  
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ**  
**«Гідрологія (суші та океану)»**  
**розділ «Гідрологія океану»**  
для студентів II року денної та заочної форми навчання  
РВО бакалавр  
Спеціальність 101 "Екологія"  
ОПП "Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування"

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні групи забезпечення  
спеціальності  
протокол № \_\_\_\_\_  
від «\_\_» \_\_2024 року  
Голова групи \_\_\_\_\_ Чугай А.В.

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні кафедри океанології та  
морського природокористування  
протокол № 15  
від « 10 » травня 2024 року  
Зав. кафедрою  Берлинський М.А.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ОДЕСЬКИЙ  
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ**  
**«Гідрологія (суші та океану)»**  
**розділ «Гідрологія океану»**  
для студентів II року денної та заочної форми навчання  
РВО бакалавр  
Спеціальність 101 "Екологія"  
ОПП "Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування"

«Затверджено»  
на засіданні групи забезпечення спеціальності  
101 "Екологія"  
Протокол №\_\_  
від « » \_\_\_\_\_ 2024 року

Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Гідрологія (суші та океану), розділ «Гідрологія океану» для студентів II року денної та заочної форм навчання спеціальності 101 "Екологія", ОПП "Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування", РВО бакалавр / укл. Ель Хадрі Ю., PhD, ст. викл.; Берлінський М.А., д-р геогр.наук, проф.; Сліже М.О., канд.геогр.наук, асистент. Одеса: ОДЕКУ, 2024. 36 с.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
Практична робота № 1 «Розрахунки густини морської води за різними рівняннями стану» .....	6
Практична робота №2 «Визначення адіабатичних змін температури води при її вертикальних переміщеннях» .....	10
Практична робота №3 «Розрахунки горизонтальної швидкості звуку у морському середовищі» .....	14
Практична робота № 4 Один з методів визначення місця викиду нафти в невеликих водоймищах типу затоки, озера, водосховища за стандартними метеорологічними даними берегових ГМС та можливість ідентифікації нафти.....	25
ЛІТЕРАТУРА .....	31
ДОДАТОК Варіанти завдань до практичних робіт № 1-3.....	32
Варіанти завдань для практичної роботи № 4.....	36

## ВСТУП

Практичні роботи з курсу «Гідрологія (суші та океану), розділ «Гідрологія океану» виконуються з ціллю надбання студентами навичок самостійної роботи та закріплення знань з розділів лекційної частини курсу. Особлива увага приділяється розділу склад та основні властивості вод Світового океану.

Метою вивчення дисципліни є надати знання студентам-екологам, які будуть необхідні при подальшому вивченні дисциплін, пов'язаних з дослідженням екологічного стану атмосфери, гідросфери, літосфери окремо, Земної екосистеми в цілому та в подальшій роботі за фахом. Надати знання про води суші, річок, озер та водосховищ, боліт та льодовиків, підземних вод (гідрологія суші), о розподілі води на земній кулі та зміні запасів води на Землі.

Базові знання та вміння складаються зі знання основних властивостей морської води (що формують особливості погоди та клімату екосистеми Земля); деякі механізми саморегуляції в системі Океан – атмосфера; загальне уявлення про хвилі в морському середовищі, їх особливості розповсюдження; причини виникнення та значення течій у перерозподілі енергії Сонця; перспективні напрямки досліджень, пов'язані з кліматичними та екологічними питаннями.

Студент повинен вміти на розраховувати густину морської води, швидкість звуку у морському середовищі, адіабатичні зміни температури води, представляти у графічній формі результати розрахунків; робити аналіз одержаних результатів, знаходити області використання набутих навичок чи результатів розрахунків в прикладних задачах екології; знаходити недоліки результатів розрахунків чи принципів підходу до питання, використовуючи набуті теоретичні знання (науковий аспект аналізу).

Роботи складені таким чином, щоб значна частка необхідної інформації була одержана саме зі збірника, хоча не виключається одержання інформації також з довідників, книжок, даних натурних експериментів, чи від викладача.

В результаті роботи студентом складається звіт. Його метою є навчити студента зводити в одне ціле теоретичні знання та практичні навички, тобто вміти користуватися теоретичними сентенціями для вирішення задач.

Не дивлячись на різницю завдань та конкретних звітів з них, загальна структура звітів повинна бути такою, тобто складатися з таких розділів:

- 1) *Задача роботи*, в якій коротко формулюється основна мета роботи.
- 2) *Вихідні дані*, які використовуються в завданні.
- 3) *Теоретичне обґрунтування* з наведенням тих відомостей з лекційного курсу, які використовувались в певній роботі.
- 4) *Метод розрахунків* з наведенням використаних розрахункових формул та обґрунтуванням послідовності дій.
- 5) *Аналіз одержаних результатів*, в якому акцентується увага на точності одержаних результатів, розглядаються проблеми практичного використання теоретичних знань (якщо вони є в даній роботі) і обов'язково наводяться приклади можливого використання одержаних знань та навичок в інших прикладних задачах з океанології.
- 6) *Список використаної літератури*.

## **Практична робота № 1**

### **«Розрахунки густини морської води за різними рівняннями стану»**

**Задача роботи:** використовуючи рівняння стану О.І. Мамаєва та П.С. Лінейкіна, чи океанографічні таблиці (формули Кнудсена та  $K^0$ ), чи океанографічний калькулятор Томзака (в Інтернет ресурсі, наприклад, через GOGLE) розрахувати густину морської води, порівняти результати розрахунків і зробити висновки.

**Вихідні дані:** дані спостережень за температурою та солоністю на стандартних горизонтах на певній гідрологічній станції.

#### **Порядок виконання роботи:**

1. За формулами О.І Лінейкіна та П.С. Мамаєва на кожному горизонті розрахувати густину морської води (чи океанографічними таблицями та океанографічним калькулятором Томзака).
2. Результати розрахунків занести в робочу таблицю 1.1.
3. На міліметровому папері побудувати графіки зміни густини (рис. 1.1) морської води з глибиною (2, 3 чи 4 графіки, в залежності від кількості формул, які Ви використали).
4. На графіках виділити глибини з приблизно однаковим градієнтом густини морської води. Розрахувати ці градієнти.
5. Зробити аналіз одержаних результатів за певною схемою, наведеною нижче.

#### **Теоретична частина**

Під рівнянням стану морської води розуміють функціональний зв'язок щільності з параметрами, що її визначають.

Присутність у морській воді іонів розчинених речовин призводить до змін властивостей води, які залежать від розмірів іонів, їх заряду, концентрації. Тому щільність морської води, на відміну від прісної, залежить не тільки від температури та тиску, але і від солоності. Цей зв'язок між щільністю води та температурою, солоністю і тиском нелінійний, тому простої теоретичної формули для нього ще не одержано. Нелінійність цього зв'язку можна пояснити наявністю у молекули води дипольного моменту (ефективний заряд біля атому водню  $-0,33$ , кисню  $+0,66$ ). Завдяки йому, вода як диполь, може утворювати асоціації з 2-х, 3-х і більше молекул води (водневий зв'язок). Асоціації постійно утворюються і руйнуються, тобто можна говорити про певну змінну мозаїчну структуру води, що знаходиться в рідкому стані,

яка безумовно впливає на всі її властивості в тому числі і на густину [1]. Солоні вода, її структурованість ще більш складна. Врахувати структурні особливості морської води ще не навчилися, тому для розрахунків щільності морської води використовують різні приблизні співвідношення. Це формули Кнудсена, Екмана, Свердруп, Хесельберга, покладені в основу “Океанографічних таблиць”; формули О.І.Мамаєва, П.С.Лінейкіна; формула, одержана в МГІ АН України та багато інших. Наведемо деякі із запропонованих рівнянь стану.

Інколи для грубих розрахунків буває досить врахувати вплив на густину тільки основного найбільш змінного фактору – температури. В таких випадках використовують наближення Бусінеска:

$$\rho = 1,028 (1 - \beta T), \quad (1.1)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує зміну щільності від зміни температури (приводиться в Океанографічних таблицях);

$\rho$  – густина води в грамах на  $1\text{см}^3$ .

Ця формула використовується найчастіше для прісної води і неглибоких водойм; рідше - для визначення тенденції зміни щільності з глибиною в однорідній за солоністю воді, або коли зміни температури дуже великі і на їх фоні солонісна неоднорідність незначна.

Досить точно рівняння для визначення щільності поверхневих вод запропонував **О.І. Мамаєв**:

$$\rho_{(tsp)} = \left\{ 1 + 10^{-5} \left[ 2815.2 - 7.35T - 0.469T^2 + (80.2 - 0.2T) \cdot (S - 35) \right] \right\} \cdot (1 + k_p P), \quad (1.2)$$

$$\text{де } k_p = \frac{4.886 \cdot 10^{-5}}{1 + 0.000183P};$$

$T, S, P$  – температура (в градусах Цельсія), солоність (в проміле), та тиск (в децибарах, що приблизно дорівнює глибині в метрах) відповідно.

$\rho$  – густина води в грамах на  $1\text{см}^3$

Формула **П.С.Лінейкіна** (позначення попередні):

$$\rho_{(tsp)} = 1 + 10^{-5} (6.89T - 0.918T^2 - 0.39 \cdot ST + 82 \cdot S + 5 \cdot 10^{-3} P) \quad (1.3)$$

Таблиця 1.1

**Приклад розрахунку**  
(для двох формул: П.С. Лінейкіна та О.І Мамаєва)

Z (м)	T°C	S‰	$\rho_l$	$\rho_m$	$grad \rho_l$	$grad \rho_m$
0	23,43	35,59	1,01941	1,0243		
10	23,37	35,6	1,01948	1,0244		
30	22,48	35,7	1,02305	1,0262		
75	16,72	35,52	1,0254	1,0297		
100	15,85	35,48	1,0257	1,0311	$63 \cdot 10^{-6}$	
175	13,78	35,22	1,0262	1,0349		
225	12,4	35,07	1,0265	1,0374		
300	10,95	34,94	1,0268	1,041		
450	7,81	34,63	1,0273	1,0479		
600	5,77	34,5	1,0276	1,0543		
800	4,37	34,45	1,0278	1,0623		$47,5 \cdot 10^{-6}$
1000	3,76	34,53	1,028	1,0699		
1300	3,4	34,69	1,0282	1,0732		$21,8 \cdot 10^{-6}$
1500	3,35	34,8	1,0283	1,0868		$68 \cdot 10^{-6}$
1800	3,27	34,87	1,0284	1,0958		
2000	3,14	34,9	1,0284	1,103		$32,4 \cdot 10^{-6}$
2300	2,99	34,9	1,0285	1,1091		
2500	2,74	34,87	1,0285	1,114		
3000	2,49	34,86	1,0285	1,1251		
3500	2,27	34,85	1,0286	1,135		
4000	1,67	34,78	1,0286	1,1438		
4500	1,12	34,74	1,0286	1,1518	$0,82 \cdot 10^{-6}$	$19,5 \cdot 10^{-6}$

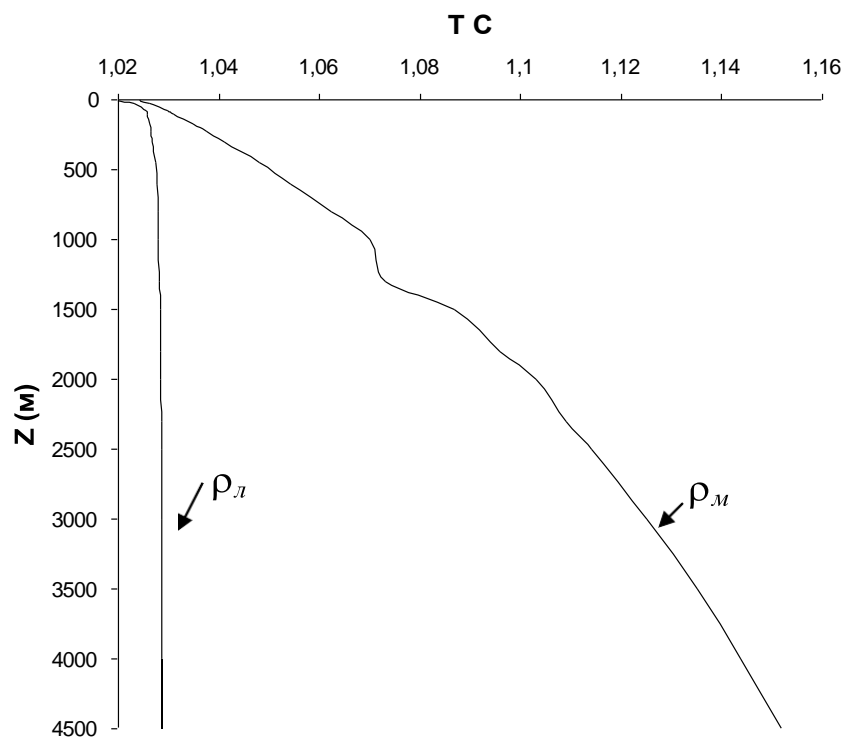


Рис. 1.1 Графіки зміни густини морської води з глибиною:  $\rho_l$ - густина морської води розрахована за рівнянням стану П.С. Лінейкіна,  $\rho_m$  - густина морської води розрахована за рівнянням стану О.І. Мамаєва.



## План аналізу

1. Коротко (одним реченням) описати головну задачу роботи та хід її виконання.
2. Пояснити, що таке рівняння стану морської води.
3. Що таке структура води та яким чином вона впливає на формування аномальних властивостей води?
4. Яку максимальну похибку у розрахунки густини морської води може внести неврахування структурованості молекул води?
5. Пояснити, чому розрахована за різними формулами густина морської води при одних і тих самих значеннях температури та солоності на стандартних горизонтах ніколи не співпадає?
6. Наведіть приклади максимальної різниці в розрахунках густини, зроблених Вами на певних горизонтах (використайте для цього побудовані Вами графіки).
7. Яке значення і в яких гідро-гео-екологічних чи інших задачах має неточність розрахунків густини морської води?
8. Поясніть, яким чином можна визначити точно розподіл густини морської води з глибиною?

### *Контрольні запитання*

1. Чим відрізняються розрахунки густини морської води за формулами Лінейкіна, Мамаєва, Океанографічними таблицями чи іншими рівняннями стану?
2. Наскільки зміниться гідростатичний тиск в океані зі збільшенням глибини на 20 м?
3. Як змінюється густина морської води біля поверхні океану при випаровуванні?
4. Як змінюється з глибиною густина морської води при нестійкій стратифікації?
5. Якими значеннями температури, солоності та тиску характеризується стандартна океанічна вода у рівнянні стану О. І. Мамаєва?
6. На яких глибинах можна розраховувати густину морської води за допомогою рівняння стану за формулою Кнудсена?

## Практична робота №2

### «Визначення адіабатичних змін температури води при її вертикальних переміщеннях»

**Задача роботи:** визначити потенційну температуру та її зміни при адіабатичному русі в об'ємі води по вертикалі.

**Вихідні дані:** температура води на певній глибині з урахуванням тиску ( $t_{winsitu}$ ), починаючи з глибини 1000м на гідрологічній станції.

#### Порядок виконання роботи:

1. За формулою 1 або за Океанографічними таблицями [2] (№ 1.25) розрахувати потенційну температуру морської води.
2. Побудувати графіки розподілу потенційної температури води ( $t_p^{\circ}$ ) та температури води, яка виміряна на певній глибині з урахуванням тиску ( $t_{winsitu}$ ).
3. Пояснити взаємне розташування побудованих графіків з глибиною.
4. Аналіз та приклади виникнення потенційної температури води.

#### Теоретична частина

Зміна густини морської води, а отже, і її питомого об'єму відбувається не лише під дією тиску, але також і в результаті зміни солоності і температури. Це зокрема видно з рівнянь стану. Для визначення інтенсивності стиснення або розширення води вводяться відповідні коефіцієнти солоності стиснення і теплового розширення. Найбільш часто в океанологічній практиці використовується коефіцієнт теплового розширення, що визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{1}{v} \frac{dv}{dT} \frac{\text{г}}{\text{град}}. \quad (2.1)$$

Якщо під дією яких-небудь відбувається стиснення або розширення об'єму води, то воно супроводжується зміною температури, пропорційно цього коефіцієнту. Тому деякий об'єм води, який занурюється в глибину стискається, що призводить до підвищення температури, яке називається адіабатичним. При підйомі води відбувається зворотне явище. Щоб врахувати ці зміни температури, в океанології введено поняття адіабатичного градієнта температури, визначається за формулою Кельвіна:

$$\frac{dT_a}{dz} = \frac{\varepsilon g T_k}{I c_p} \quad (2.2)$$

де  $T_k$  - абсолютна температура;  $\varepsilon$  - прискорення вільного падіння - механічний еквівалент тепла.

У верхніх шарах океану адіабатичний градієнт становить близько 10~4 град/м (зростання температури з глибиною) [3].

У глибоководних западинах океану вертикальний розподіл температури близько до адіабатичному. Це пояснюється тим, що внаслідок підігріву холодних придонних вод океану теплом Землі в них постійно відбувається конвективний рух.

Адіабатичні зміни температури і густини при вертикальних рухах води в океані можуть досягати помітних значень. Наприклад, якщо воду з температурою 2,5 °С і солоністю 34,85 ‰ адіабатично підняти з глибини 3000 м на поверхню, її температура знизиться до 2,25 °С. Відповідно підвищиться її густина. Температура, яку набуває вода, будучи піднятою адіабатично з глибини її знаходження на поверхню, називається потенційною температурою. Густина води, відповідна потенційної температурі, називається потенційною густиною.

Практичне використання потенційної температури видно на наступному прикладі. Нехай придонна течія проходить над дном перемінної глибини (рис. 2.1) і теплообмін в товщі води незначний.

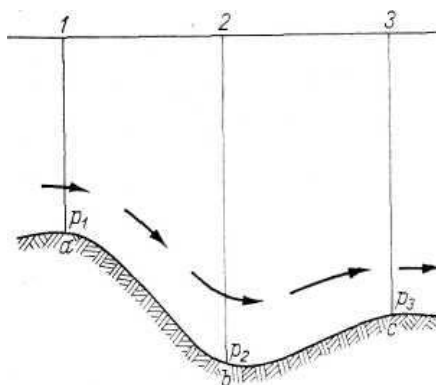


Рис. 2.1 Схема течій з незмінною потенційною температурою

Вимірюючи температуру біля дна в точках a, b, c, ми отримаємо значення, різні за рахунок адіабатичних її змін. У той же час, якщо обчислити потенційну температуру, то у всіх точках вздовж дна вона виявиться однаковою. Таким чином, потенційна температура дозволяє в окремих випадках ідентифікувати воду, що рухається з вертикальної складової швидкості.

### План аналізу

1. Заповніть таблицю 2.1 та побудуйте графіки (рис. 2.2).
2. Дайте визначення, що таке взагалі температура, потенційної температури води.
3. Порівняйте графіки розподілу потенційної температури та температури  $t_{winsitu}$ . Поясніть чому графіки з глибиною розходяться.
4. Для чого потрібно взагалі визначати потенційну температуру води?

Таблиця 2.1

### Приклад розрахунку

Z (М)	$t_{winsitu}$	$\Delta t$	$t_p^\circ$
1000	3,76	0,08	3,68
1300	3,4	0,1	3,3
1500	3,35	0,11	3,24
1800	3,27	0,14	3,13
2000	3,14	0,16	2,98
2300	2,99	0,19	2,8
2500	2,74	0,21	2,53
3000	2,49	0,24	2,25
3500	2,27	0,29	1,98
4000	1,67	0,35	1,32
4500	1,12	0,38	0,74

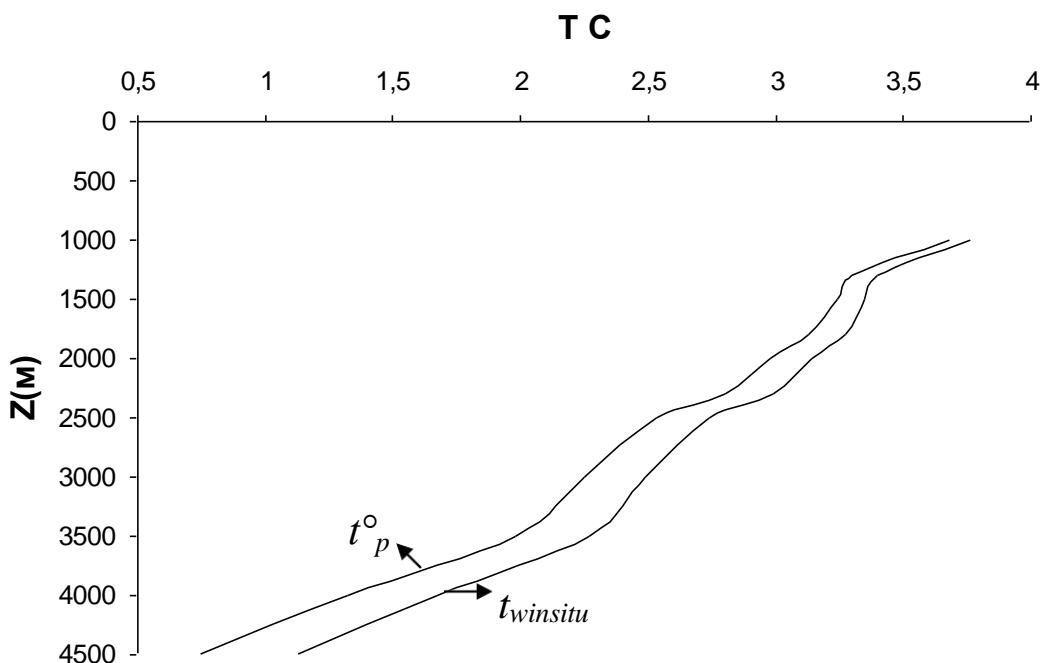


Рис. 2.2 Графіки зміни потенційної температури та температури  $t_{winsitu}$  з глибиною:  $t_p^\circ$  – потенційна температура води,  $t_{winsitu}$  – температура води з урахуванням тиску.

***Контрольні запитання***

1. Від яких факторів залежить величина адіабатичної поправки, введеної при розрахунку потенціальної температури у океані?
2. Що таке потенційна температура морської води?
3. Що таке адіабатичний процес?
4. За рахунок яких чинників відбувається зміна температури частинки води, яка адіабатично переміщується по вертикалі?
5. Які параметри визначають стан термодинамічної системи?

## Практична робота №3 «Розрахунки горизонтальної швидкості звуку у морському середовищі»

**Задача роботи:** за даними спостережень за температурою та солоністю розрахувати горизонтальну швидкість звуку та проаналізувати одержані результати.

**Вихідні дані:** дані спостережень за температурою і солоністю на стандартних горизонтах на гідрологічній станції.

### Порядок виконання роботи:

1. За Океанографічною таблицею [2] № 1.41 знайти горизонтальну швидкість звуку  $C_{TS}$  без врахування тиску, результат записати у таблицю 3.1.
2. За Океанографічними таблицями [2] 1.42 і 1.42а знайти поправки швидкості звуку на глибину  $\Delta C_p$  і на сумісну дію солоності, температури і глибини  $\Delta C_{TSP}$  відповідно.
3. За формулою:

$$C_{TSP} = C_{TS} + \Delta C_p + \Delta C_{TSP}$$

розрахувати горизонтальну швидкість звуку на кожному горизонті з урахуванням тиску  $C_{TSP}$ .

4. Побудувати графік залежності  $C_{TSP} = f(z)$  горизонтальної швидкості звуку з глибиною.
5. На графіку виділити глибини з приблизно однаковим градієнтом швидкості звуку  $grad(C_{TSP})$ , розрахувати цей градієнт.
6. Зробити аналіз одержаних результатів.

### Теоретична частина

На відміну від повітря, вода слабо поглинає енергію звукових коливань. Радіохвилі, навпаки, настільки сильно поглинаються водою, що використовувати їх для зв'язку на відстані, більшій декількох десятків метрів, практично неможливо [4]. Ці особливості води обумовили широке використання звуку для підводного зв'язку. Особливе значення мають ультразвукові хвилі (з частотою більшою 20 000Гц), які можуть випромінюватись направлено. В наш час ультразвук в океані виконує функції, аналогічні радіохвилям в атмосфері. Вертикально направлені випромінювачі та приймачі ультразвуку (ехолоти) дозволяють вимірювати глибину моря (каналу, водосховища), знаходити косяки риби, вивчати структуру донних відкладень та рельєфу дна. Горизонтально направлені гідролокатори дозволяють знаходити предмети, які відбивають звук.

Ультразвук використовується для управління автономними пристроями та одержання інформації від них. Зв'язок між морськими тваринами теж відбувається за допомогою ультразвуку, тому гідроакустика використовується і для біологічних досліджень. В народному господарстві акустичні методи використовують також для гідрологічних досліджень, місцезнаходження кораблів в морі, вимірювання товщини льоду.

**Слід підкреслити, що з усіх відкритих до цього часу видів енергії звукова (акустична) енергія розповсюджується у воді на максимальні відстані.**

**Теоретичне обґрунтування.** Відомо, що будь-яке середовище, яке має елементи маси та пружності може бути приведене в коливальний рух збуджувальною силою. В суцільних пружних середовищах, до яких відноситься і вода, можна збудити коливання стискання та розрідження, які розповсюджуються з певною швидкістю:

в повітрі –  $330 \text{ м/с} \pm 5\%$ ,

**у морській воді –  $1\,500 \text{ м/с} \pm 10\%$ ,**

у льоді –  $4\,000 \text{ м/с} \pm 5\%$ .

Таким чином, можна дати таке визначення: **процес послідовної передачі коливань стискання та розрідження від однієї локальної частини середовища до іншої називається акустичною (звуковою) хвилею.**

Тобто, звук – це послідовна зміна тиску.

В рідинах та газах, що характеризуються тільки об'ємною пружністю можуть виникати і розповсюджуватися подовжні акустичні хвилі. В таких хвилях напрямок коливань часток середовища співпадає з напрямком розповсюдження хвилі. Відстань між двома найближчими точками максимального стискання чи розрідження називається довжиною акустичної хвилі ( $\lambda$ , вимірюється в метрах). Період акустичної хвилі – це час в секундах, за який проходить одна довжина хвилі ( $\tau$ , в секундах). А швидкість акустичної хвилі, як і будь-яка швидкість, визначається діленням шляху на час, за який цей шлях пройдено, тобто ( $C = \lambda/\tau$ , м\с). Але в акустиці більш прийнято використовувати як основну характеристику поняття частоти коливань – величину обернену періоду хвилі ( $f = 1/\tau$ , тобто  $1/\text{с} = \text{Гц}$ ), тобто кількість коливань за секунду.

Акустичні коливання в частотному діапазоні умовно розділили на:

Інфразвукові (ІЗ),  $16 - 20 \text{ Гц}$ ,

Звукові (З)  $20 \text{ Гц} - 20 \text{ кГц}$ ,

Ультразвукові (УЗ)  $20 \text{ кГц} - 10^6 \text{ кГц}$ ,

Гіперзвукові (ГЗ)  $>10^6 \text{ кГц}$ .

У загальному випадку, відповідно до рівняння стану, тиск в рідинах та газах є функція щільності та температури. Однак рахують, що чергування підвищеного тиску та розрідження проходить настільки швидко, що

передача тепла між цими областями за період коливань не встигає відбутися. Тому процес розповсюдження акустичної хвилі вважається адіабатичним.

І.Ньютон розглянув співвідношення, що пов'язують характеристики пружного середовища (досліди зі звичайною пружиною) з характеристиками акустичних коливань і одержав

$$\mathfrak{e} = (\partial\rho/\partial p) \cdot p_0, \quad (3.1)$$

де  $\mathfrak{e}$  – модуль об'ємної пружності середовища;

$\partial p$  - зміна тиску при проходженні акустичної хвилі;

$\partial\rho$  - відповідна до зміни тиску зміна густини середовища при проходженні акустичної хвилі;

$\rho_0$  - густина середовища до проходження акустичної хвилі.

Вчений помітив (відкрив!), що співвідношення  $\partial\rho/\partial p$  є постійним (константою) для певного середовища, тобто є його первинною індивідуальною характеристикою і дорівнює квадрату швидкості звуку в цьому середовищі. Він позначив це співвідношення через  $C^2$  і одержав відповідно  $\mathfrak{e} = C^2 \rho_0$ , тобто

$$C = \sqrt{\mathfrak{e} / \rho_0}, \quad (3.2)$$

де  $C$  – швидкість звуку.

Враховуючи те, що модуль об'ємної пружності середовища ( $\mathfrak{e}$ ) обернено пропорційний адіабатичній стискуваності цього ж середовища ( $k_p$ ), формулу (3.2) можна представити через коефіцієнт адіабатичної стискуваності у такому вигляді (якщо  $\mathfrak{e} = 1/k_p$ )

$$C = 1/\sqrt{k_p \rho_0} \quad (3.3)$$

**Можна зробити висновок, що швидкість звуку в рідинах та газах визначається такими характеристиками цих пружних середовищ, як густина та модуль об'ємної пружності (або адіабатичним стисканням).**

Таким чином, ми маємо теоретичну формулу І.Ньютона (3.2), чи (3.3) зв'язку швидкості проходження акустичної хвилі з щільністю та пружністю середовища. Ця формула може використовуватися для розрахунків швидкості звуку в будь-якому середовищі, крім води. Адже ми не вміємо вимірювати щільність морської води *in situ*, тобто на будь-якій глибині, без підняття води на поверхню. Таким чином, щільність води не вимірюється, а лише потім розраховується за різними емпіричними формулами, які не є точними. Прикладами таких формул можуть бути формули О.І.Мамаєва, П.С.Лінейкіна, наближення Бусінеска, рівняння стану Морського гідрофізичного інституту АН України, Кнудсена і К<sup>о</sup> та



ін. Тому в теоретичну (досконалу) формулу підставляти розраховану приблизно щільність – значить вносити похибку в розрахунки, причому, похибку невизначену. Океанологи можуть досить непогано вимірювати такі характеристики водного середовища як температура, солоність, тиск. Але і об’ємна пружність, і щільність морської води по різному залежать від цих параметрів в різних діапазонах їх мінливості, тобто, ці зв’язки нелінійні. Теоретичного ж виразу залежності швидкості звуку безпосередньо від температури, солоності та тиску – немає, бо для швидкості звуку в кожному інтервалі температур, солоності, тиску залежність своя, а комбінації змін параметрів середовища ще більш складні. Тому для практичних цілей використовують емпіричні (і теж неточні) формули зв’язку швидкості звуку з температурою, солоністю та тиском. Найбільш розповсюджені з них – це формули Дель-Гросо та Вільсона.

Перша з них має вигляд

$$C = [1448,6 + 4,618T - 0,0523T^2 + 0,00023T^3 + 1,25(S - 35)T + 2,7 \cdot 10^{-8}(S-35)T^4 - 2 \cdot 10^{-7}(S-35)^4 \cdot (1+0,577T - 0,0072T^2) + 0,0175 \cdot P],$$

де  $T$  – температура води в  $^{\circ}\text{C}$ ;  $S$  – солоність води в ‰ ;  $P$  – тиск в децибарах (дб).

Формула Вільсона складається з 23 членів, тому наведемо її у скороченому вигляді

$$C = 1449,14 + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{TPS}.$$

де  $-\Delta C_T$   $\Delta C_S$   $\Delta C_P$   $\Delta C_{TPS}$  сума членів, кожен з яких окремо залежить від температури, солоності, чи тиску та члена, що одночасно залежить від усіх трьох параметрів, причому, ці залежності нелінійні і досить складні, їх можна знайти у гідроакустичних довідниках. Слід зауважити, що є такого типу більш прості формули (1971, МГІ АН СРСР, та ін.).

Однією з найважливіших властивостей розповсюдження звуку у воді є ефект рефракції звуку в морі. В загальному випадку, в морській воді нормальної солоності швидкість розповсюдження звуку є передусім функцією температури та тиску, адже саме ці характеристики змінюються найбільше в океані. Вона (швидкість), на відміну від більшості рідин, зменшується зі зменшенням температури та збільшується із зростанням глибини. Що стосується солоності, то її зміни в океані незначні ( $35 \text{ ‰} \pm 2 \text{ ‰}$ ), тому і вплив на швидкість звуку невеликий, хоча загальна тенденція позитивна, тобто збільшення солоності сприяє більш швидкому розповсюдженню звуку.

В акустично неоднорідних середовищах, до яких належить і морська вода, можна спостерігати викривлення траєкторії звукового променя, яке називається рефракцією (рис. 3.1). Але ми вже знаємо, що звук – це не промінь. Тому дамо визначення цьому загально прийнятому в гідроакустиці поняттю.

Акустичним променем називають перпендикуляр до фронту звукової хвилі (тобто, до зон стискання чи розрідження).

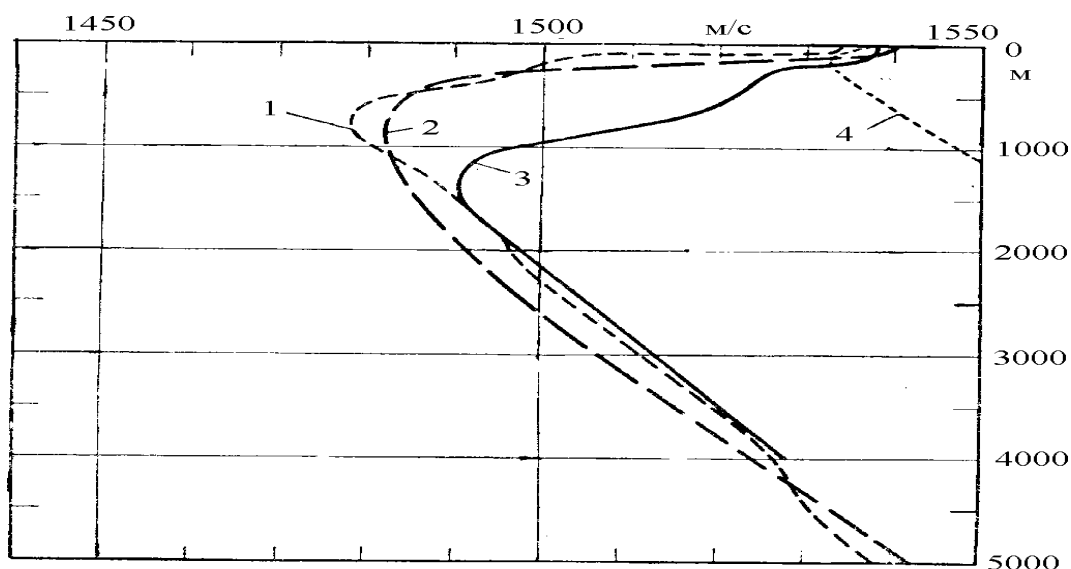


Рис. 3.1 Приклади зміни з глибиною горизонтальної швидкості звуку у Світовому океані (за Г.Дітріхом). Помітний мінімум швидкості звуку на певній глибині, найчастіше на глибині 800 – 1 200 м (вісь підводного звукового каналу, де звук розповсюджується на надвеликі відстані).

1 – екваторіальна частина Атлантичного океану; 2 - Філіпінська западина; 3 – Саргасове море; 4 – Червоне море.

З приводу рефракції, мабуть, буде доцільно навести враження спеціалістів: “Звуковий промінь у морській воді наче спрагла людина повертає в бік більш холодних (а також менш солоних) шарів води.”

На рисунку 3.1 ви бачите типові графіки зміни швидкості звуку з глибиною для різних океанів. І практично на кожному є чітко виражений мінімум швидкості звуку на певній глибині, найчастіше на глибині 800 – 1000м, хоча інших варіантів теж досить багато (залежить від вертикального розподілу температури). Це так званий підводний звуковий канал (ПЗК), вісь якого лежить на глибині мінімуму швидкості звуку. Якщо помістити на цій глибині випромінювач акустичних сигналів, то вони будуть розповсюджуватись на цій глибині на величезні відстані, майже не згасаючи та одержало назву *наддалекої передачі звуку у підводному звуковому каналі (ПЗК)*. Причина цього в тому, що фронт звукової хвилі викривлюється таким чином (явище рефракції), що вздовж

глибини мінімуму швидкості звуку в межах певного простору відбувається фокація звукової енергії, тобто ніби направлена її передача (рис. 3.2).

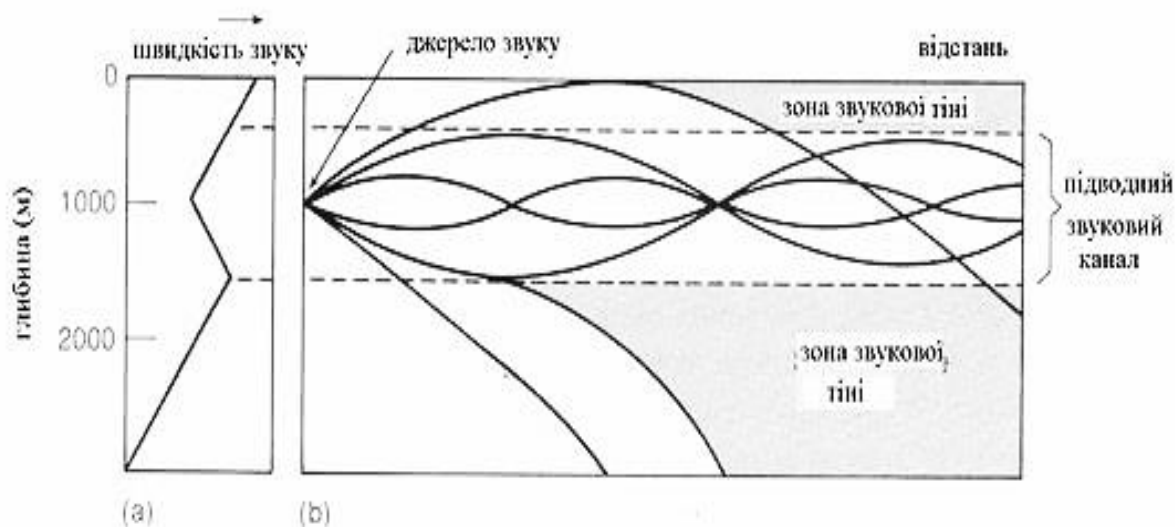


Рис 3.2 Зміна швидкості звуку з глибиною (а) та відповідне їй розташування підводного звукового каналу та зон звукової тіні (б). Якщо джерело звуку розташоване на глибині мінімуму швидкості звуку, то за рахунок рефракції утворюється зона направленої наддалекого розповсюдження звуку вздовж осі ПЗК. Лініями зображено звукові промені (перпендикуляри до фронту акустичної хвилі).

Рисунок 3.2 (знизу) відображає також схематично варіант заломлення звукового променя на межі шару градієнту швидкості звуку. Внаслідок розширення площі розрізу променевої трубки інтенсивність звуку під шаром градієнту не тільки зменшується, звукові промені навіть розщеплюються, утворюючи зони тіні нижче цього шару/

Якби середовище було акустично однорідним (тобто, коли швидкість звуку з глибиною однакова) такого явища не спостерігалось б, адже хвиля стискання-розрідження рухалася б від джерела у всіх напрямках з однаковою швидкістю і викривлення фронту хвилі не спостерігалось б.

Розглянемо типові картини рефракції звукових променів (тобто, перпендикулярів до зон стискання розрідження) у верхньому діючому шарі Океану при різних варіантах вертикального розподілення горизонтальної швидкості звуку (рис. 3.3).

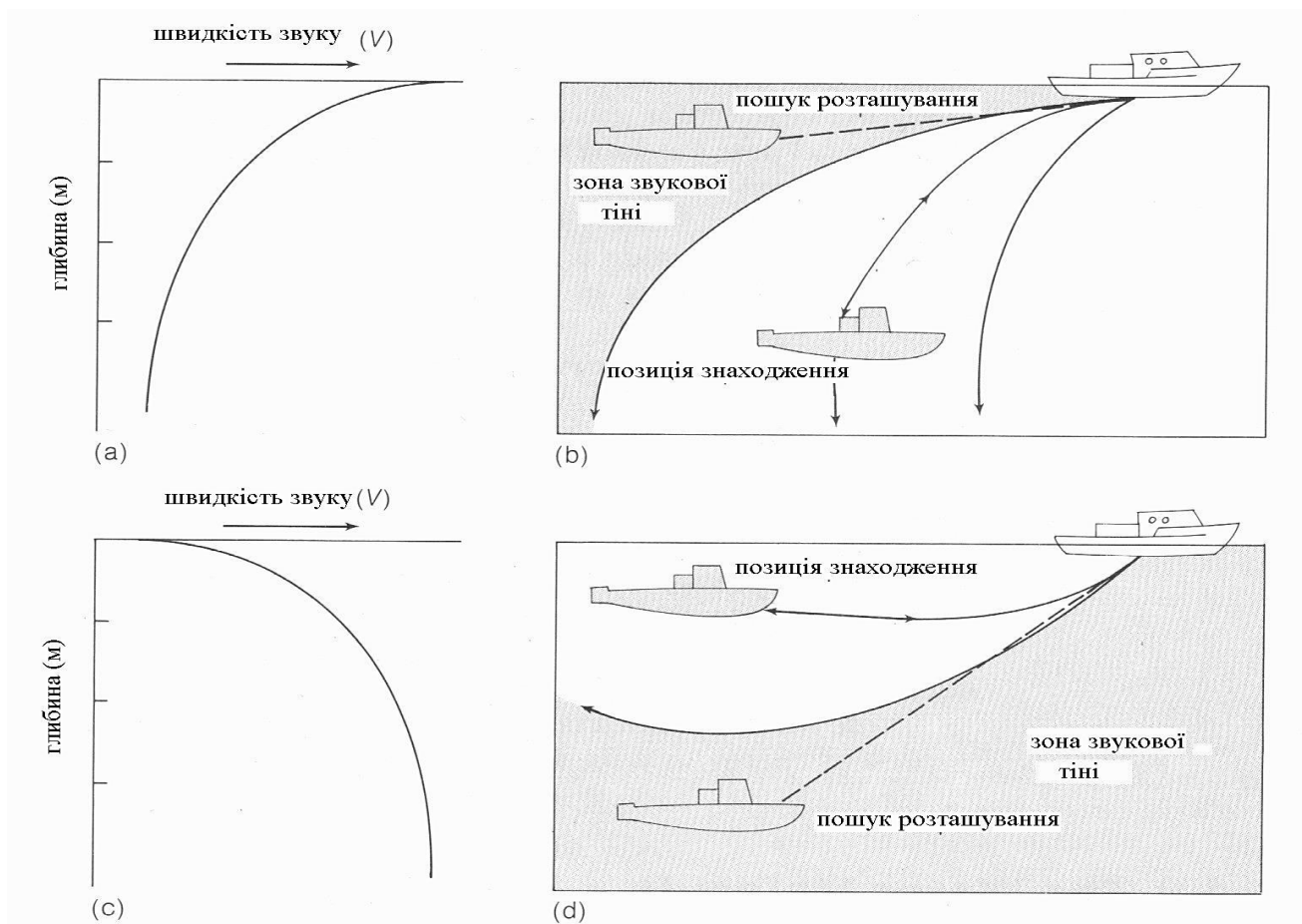


Рис. 3.3 Варіанти зміни швидкості звуку з глибиною (а, с) та відповідне їм розташування зон тіні (b, d). Показані приклади позицій знаходження та безпечного ротащування підводного човна в зонах тіні.

**Зони тіні** (або мертві для одержання інформації) – зони, в які не потрапляють звукові сигнали за рахунок негативної рефракції і, як наслідок, - нема ехо, тобто відсутня інформація, що необхідна для розпізнавання образу.

На рисунку 3.3 показані варіанти плавного зменшення (а) та збільшення (с) з глибиною швидкості звуку та відповідне їм розташування зон тіні (b, d).

Можна узагальнити відому інформацію, формуючи її за пунктами.

1. Дотепер вчені, в основному, визначили особливості спектрально – енергетичних характеристик різних джерел звуку в широкому діапазоні частот. Вони приведені в гідроакустичних довідниках та посібниках. В наш час гідроакустики займаються встановленням зв'язків різних характеристик шумів з процесами в океані та на його межах (задачі розпізнавання образів явищ).

2. При атмосферному тиску на поверхні моря, температурі  $30^{\circ}\text{C}$  та солоності 35‰ швидкість звуку рівна 1546 м/с. Зі збільшенням солоності на 1‰ швидкість звуку зростає приблизно на 1,3 м/с. Та зміни солоності для морського середовища не головний фактор серед всіх, що визначають

швидкість звуку у морі. У верхніх шарах океану головним фактором є температура, оскільки при збільшенні температури на  $1^{\circ}\text{C}$  швидкість звуку зростає на  $3\text{м/с}$ . У глибоких шарах, там, де температура незмінна, незалежна від сезонів року (нижче діяльного шару), домінує тиск: на кожні  $100\text{м}$  глибини швидкість звуку збільшується десь на  $1,8\text{м/с}$ .

3. Не дивлячись на досить великі досягнення у практичному використанні гідроакустики, деякі питання, що стосуються розуміння процесів розповсюдження звуку в морі залишаються відкритими для досліджень та відкриттів. Це стосується насамперед визначення ролі структури води у особливостях розповсюдження звуку, різкого переходу тенденції зміни знаку прискорення звуку на певних глибинах та ін. Особливої уваги заслуговує також питання визначення впливу різної солі та її стану, а не загальної солоності, на швидкість розповсюдження та інтенсивність акустичних хвиль.

4. Розуміння природи звуку та особливостей його розповсюдження в біологічних тілах, головною складовою частиною яких є вода на клітинному рівні та на рівні органів і систем, допоможе більш правильно, з мінімальним ризиком використовувати гідроакустичний інструмент впливу та досліджень в медицині та біоекології.

### ***Додатки, що стосуються гідроакустики та екологічних проблем***

Особливо інтенсивні шуми виникають в морі в зонах з сильним хвилюванням і можуть реєструватися технічними пристроями на відстані декількох сотень кілометрів від місця виникнення. Безперервне руйнування хвиль у відкритому морі і, особливо, біля берегів створює потужний за силою шум, що чітко ловиться навіть без пристроїв на великій відстані.

Різновидну гаму шумів створюють морські організми. Будь-який рух тварин, особливо по дну, а також в товщі, чи біля поверхні породжує звукові хвилі на різних діапазонах відчутності. Звичайно, що рух, наприклад, косяків крабів на нерівному кам'янистому дні буде більш відчутний, ніж повзання по глинистому морських зірок та хижаків.

У спокійному морі добре чутні шуми від плавання біля поверхні води китоподібних, тюленів, морських черепах, окремих великих, чи групи мілкої риби.

Так наприклад, скумбрія на Чорному морі, випливаючи з води на сході чи заході Сонця створює певного виду шум, що допомагає рибалкам знайти місце її накопичення. А звук, що супроводжує рух хамси, нагадує шум сильного літнього дощу.

Звук, що створюється косяками досить великої риби – пеламіди, буває чутно на відстані декількох кілометрів.

Сильні шуми, що інколи нагадують вистріли з пушки, можуть створюватись і окремими великими рибами під час їх виплигування з води (акули- лисиці, риби- сонце, скатів- мант та ін.). А виплигування в повітря китів в тиху погоду робить такий гуркіт, який чути на десятки кілометрів.

Досить сильний шум типу шурхотіння створюється при русі великих мас сардин чи анчоусів, а типу дзижчання – при русі кальмарів.

На дні, що оголюється в результаті відпливу, можна чути шипіння чи свистіння від виходу бульбашок газу та потріскування від процесу закривання крючкоподібних половинок у морських жолудів.

Добре відомі і особисті звуки, що випромінюються морськими тваринами та рибами, наприклад, ревіння ластоногих (котиків, тюленів, моржів), жалісливі звуки сирен (ламантини), фиркання та хрюкання, свистки дельфінів.

Таблиця 3.1

### Приклад розрахунку

Z (м)	T°C	S‰	$C_{TS}$	$\Delta C_p$	$\Delta C_{TSP}$	$C_{TSP}$	grad ( $C_{TSP}$ )
0	23,43	35,59	1529,0	0,2	-0,3	1528,9	
10	23,37	35,6	1529,0	0,3	-0,3	1529,0	
30	22,48	35,7	1526,8	0,7	-0,3	1527,2	
75	16,72	35,52	1514,1	1,4	-0,3	1515,2	
100	15,85	35,48	1509,8	1,8	-0,3	1511,3	
175	13,78	35,22	1503,7	3,1	-0,2	1506,6	
225	12,4	35,07	1497,1	3,9	-0,2	1500,8	-0,125
300	10,95	34,94	1493,7	5,1	-0,2	1498,6	
450	7,81	34,63	1482,7	7,6	-0,2	1490,1	
600	5,77	34,5	1474,9	10,1	-0,1	1484,9	
800	4,37	34,45	1465,3	13,4	-0,1	1478,6	-0,039
1000	3,76	34,53	1466,7	16,8	-0,1	1483,4	0,024
1300	3,4	34,69	1462,4	21,8	0	1484,2	0,003
1500	3,35	34,8	1462,4	25,2	0	1487,6	
1800	3,27	34,87	1462,4	30,3	0	1492,7	
2000	3,14	34,9	1462,4	33,7	0	1496,1	
2300	2,99	34,9	1462,4	38,9	0	1501,3	
2500	2,74	34,87	1462,4	42,3	0	1504,7	0,017
3000	2,49	34,86	1458,1	51,0	0	1509,1	0,009
3500	2,27	34,85	1458,1	59,8	0	1517,9	
4000	1,67	34,78	1458,1	68,6	0	1526,7	
4500	1,12	34,74	1453,7	77,5	0	1531,2	0,015

За результатами розрахунків, записаних у таблиці 3.1 побудувати графік зміни горизонтальної швидкості звуку з глибиною (рис. 3.4).

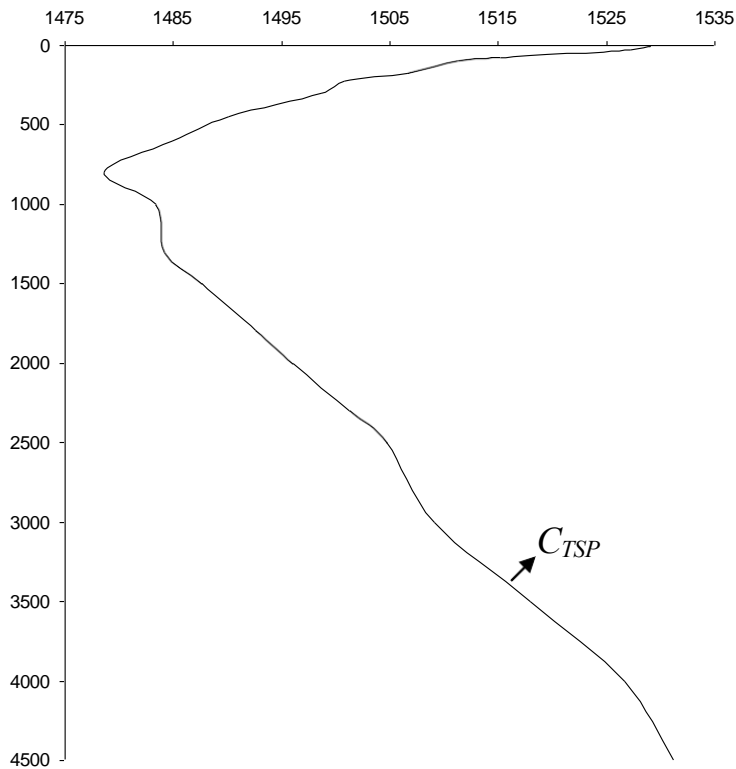


Рис. 3.4 Графік зміни горизонтальної швидкості звуку з глибиною

### План аналізу

1. Дайте визначення явища звуку. Чи можлива передача звуку у вакуумі? Поясніть чому.
2. Згадайте проблеми, що існують при визначенні щільності морської води і в зв'язку з цим поясніть, чому не можна використовувати точну аналітичну формулу І.Ньютона для розрахунку швидкості звуку у воді?
3. Який вид енергії і чому розповсюджується у воді на максимальні відстані?
4. За рахунок якого ефекту відбувається супердалеке розповсюдження звуку у так званому підводному звуковому каналі (ПЗК)? Намалюйте відповідь схематично на Вашому графіку.
5. Поясніть поняття рефракції в принципі, а потім стосовно акустичної хвилі, використовуючи визначення звукового променя. При поясненні обов'язково скористайтесь можливістю зобразити це явище за допомогою побудованих Вами графіків (графіку).
6. Чи можливе явище рефракції звуку в однорідному середовищі?

7. Поясніть, чому на певній глибині швидкість звуку перестає зменшуватися, і змінює тенденцію на збільшення?
8. Розгляньте для обґрунтування відповіді на попереднє питання і комплексного її аналізу графіки розрахованої Вами зміни густини води, від якої, безумовно, залежить швидкість розповсюдження звуку у морській воді (формула І.Ньютона 3.3).
9. Дайте науково обґрунтовану відповідь, чому морські тварини є найбільш мовчазними з усіх представників фауни Землі.
10. Чи може впливати звук позитивно, негативно на навколишнє середовище? Наведіть приклади. Зупиніться на можливих негативних наслідках ультразвукової діагностики, чи ехоофтальмології, виходячи з розуміння природи звуку як хвилі зміни тиску.

### ***Контрольні запитання***

1. Дайте визначення явища звуку. Чи можлива передача звуку у вакуумі? Поясніть чому.
2. За рахунок якого ефекту відбувається супердалеке розповсюдження звуку у, так званому, підводному звуковому каналі (ПЗК)? Намалюйте відповідь схематично.
3. Що таке рефракція звуку? Реверберація?
4. Яким чином можна було б вимірювати глибини в морях та досліджувати океанське середовище за відсутності ехолоту?
5. Згадайте формулу І.Ньютона для визначення швидкості звуку в суцільних пружних середовищах та поясніть її вхідні параметри.



## Практична робота № 4

### Один з методів визначення місця викиду нафти в невеликих водоймищах типу затоки, озера, водосховища за стандартними метеорологічними даними берегових ГМС та можливість ідентифікації нафти

#### Задачі роботи:

1. За даними спостережень на береговій ГМС (гідрометеорологічній станції) за вітром в стандартні строки та кінцевому місцезнаходженні плями нафти побудувати можливі шляхи руху нафти до моменту її знаходження.

2. Вказати можливі методи ідентифікації нафти зі сліку та з підозрюваних у викиді об'єктах; переваги та недоліки методу хроматомас-спектрометрії. Поясніть одержані результати, акцентувати увагу на неможливості ідентифікації винуватця викиду нафти без комбінування фізичних та хімічних методів.

**Вихідні дані:** Дані стандартних спостережень за швидкістю та напрямом вітру на найближчій до місця викиду ГМС.

#### Порядок виконання роботи:

В зв'язку з тим, що відповідно до задачі, робота має два різних аспекти, що доповнюють один одного, порядок виконання роботи також розділений на розрахункову (I) та хіміко-методичну частину (II).

#### I частина

1) На базі даних спостережень за вітром в стандартні строки розрахувати швидкість приводного вітру, враховуючи його зростання приблизно в 1,5 рази. Результати занести в таблицю 4.1.

2) Врахувати зміну напрямку вітру над водною поверхнею (приблизно на 15-20° за годинниковою стрілкою). Вписати в таблицю.

3) Розрахувати швидкість руху нафтової плями в строки спостережень за формулою Екмана (4.1).

4) Розрахувати середню швидкість руху плями між строками.

5) Розрахувати шлях, що пройде пляма нафти за кожні три години між строками спостережень.

6) Відповідно з масштабом карти (що вказується в кожному варіанті завдання), на окремому аркуші паперу побудувати годограф швидкості дрейфу нафтової плями (рис. 4.1).

7) Враховуючі напрямок меридіанів та паралелей з'єднати кінцеву точку годографу швидкості з місцем виявлення плями нафти (що задане на карті та нанести на карту розраховане місце викиду нафти).

## II частина

Для ідентифікації зразків нафти, що відбиралась з місця забруднення та з підозрюваних об'єктів, необхідно провести аналіз зразків (в даному випадку хромато - мас - спектрометричним).

Для того, щоб зробити висновок про вірність одержаних результатів ідентифікації, експерту необхідно відповісти на такі питання:

- 1) Чи виконувались необхідні умови в процесі відбору зразків, їх консервації та збереженні?
- 2) Чи впливає на результати аналізу різниця відбору зразків та способів їх консервації та збереження?
- 3) Чи можливе повне співпадання хроматограм при вивченні двох різних зразків (з урахуванням також погрішності приладу)?
- 4) На основі результатів аналізу чи можна зробити однозначний висновок про ідентичність зразків нафтопродуктів без врахування результатів розрахунків руху плями нафти?

## Теоретична частина

Для визначення шляхів переміщення плям нафти в даній роботі доцільно скористатися емпіричною формулою Екмана [5], яку він одержав з експериментальних спостережень за дрейфовими течіями і яка була скорегована спостереженнями за дрейфом нафти в результаті катастрофи супертанкера " Торрі- Каньон ".

$$\mathcal{S} = \frac{0.0127W}{\sqrt{\sin \varphi}} \quad (4.1)$$

де  $\mathcal{S}$  – швидкість поверхневої течії;  
 $W$  – швидкість вітру над акваторією;  
 $\varphi$  - широта місця подій.

Приведенні в роботі дані спостережень взяті в північно-західній частині Чорного моря. Характерною рисою цього району є його невелика глибина (мілкий район), що обумовлює перевагу вітрової циркуляції в процесі формування течій. Бароклінні процеси, що зв'язані з коливаннями основної Чорноморської течії, впливають, в основному, лише в зоні різкого збільшення глибини (звалу глибин). Тому динамічні процеси в північно-західному районі моря в значній мірі мають локальний характер. В результаті цього на хроматограмі зразка забруднення з'являються нові

піки (шпили), обумовлені переходом різних з'єднань з водної фази в органічну [6].

Окрім цього, слід підкреслити, що пляма нафти звичайно рухається в напрямку вітру, не відхиляючись від неї вправо (в північній півкулі), чи вліво (в південній півкулі). Це зв'язано з тим, що, як відомо, нафта - це вуглеводневий комплекс малорозчинний у воді. Нафта має густину меншу, ніж густина води, приблизно на 0,1 - 0,2 г/см<sup>3</sup>. Її густина = 0,85 г/см<sup>3</sup> ±0,1 в залежності від складу нафти та, особливо, від часу перебування в воді, який досить сильно впливає на її склад в результаті безперервно протікаючих процесів випаровування, сорбції, біохімічного та хімічного окислень.

Вчені Дітц та Ла Фонд давно відмітили елементарний факт, що краплі нафти, які легше води і не змішуються з нею, завжди піднімаються до поверхні, де й розтікаються тонкою плівкою (часто в одну молекулу товщиною) завдяки тому, що вода має поверхневий натяг більший, ніж будь-яка інша рідина, що зустрічається в природі. Згідно Краусу, пляма нафти розтікається, якщо поверхневий натяг ( $\gamma$ ) повітря/нафта та нафта/вода. А це означає, що характер поведінки плями нафти залежить від знаку коефіцієнта розтікання :

$$SG = \gamma (\text{повітря} / \text{вода}) - \gamma (\text{повітря} / \text{нафта}) - \gamma (\text{нафта} / \text{вода}).$$

Розтікання проходить найшвидше, якщо коефіцієнт позитивний. Якщо він негативний, розтікання може проходити під впливом сили тяжіння завдяки густини води та нафти. Поверхневий натяг має також тенденцію стягувати нафтові плями.

Отже, в будь-якому випадку пляма нафти легша від води, не змішується з нею, наче ковзає по ній під дією вітру, практично знаходячись в шарі прилипання вітер / вода, рухаючись в напрямку вітру.

Використовуючи в роботі дані берегової ГМС швидкості та напрямку вітру для розрахунку руху плями нафти необхідно також враховувати, що над поверхнею води швидкість вітру зростає в середньому в 1,5 рази відносно того ж вітру над землею, а з переходом вітру з суші на море повертає за годинниковою стрілкою на 15-20 градусів (в залежності від швидкості вітру).

2. Для ідентифікації зразків нафти аналіз бажано проводити двома методами. В даній роботі ми розглянемо один з найбільш досконалих – хроматомас-спектрометричний метод аналізу (пристрій МД-800, виробництво фірми "TISONS Instruments").

Відповідно до вимог методики "Система ідентифікації нафтових викидів в море", при товщині забруднення 1-5 мм для відбору зразка необхідно використовувати спеціальні пристрої з пластинами, здібними поглинати чи адгезувати нафтопродукти, чи сіткою Гаррета. Для

одержання вірогідних (цілком певних) результатів, відбирати зразки нафти необхідно з декількох місць плями нафти. Відповідно до методики, відібрані зразки можуть зберігатися в холодильнику (температура  $\leq 5$  °С), під шаром інертного газу не більше 15 діб.

Хімічний склад, та відповідно, й вид хроматограм різних зразків нафтопродуктів в значній мірі визначається їх передісторією та місцем відбору.

Якщо мова йде про поведінку плівки нафти на поверхні моря, то в цьому випадку необхідно врахувати зміни її складу з часом за рахунок занурення важких фракцій, завдяки насиченню її водою в процесі утворення емульсій. Наряду з цим, на зміни складу нафтових забруднень значний вплив мають різні фактори погоди. Ефект вивітрювання приводить до того, що фракції, температура кипіння яких 250-300 °С, випаровуються і пляма забруднення збагачується важкими фракціями, які складають основу мазуту. Процеси окислювання на розвинутій поверхні плівки розгалужених та ненасичених вуглеводнів поряд з процесами біодеградації змінюють хімічний склад плями забруднення порівняно з початковим.

Таблиця 4.1

### Приклад розрахунку руху плями нафти

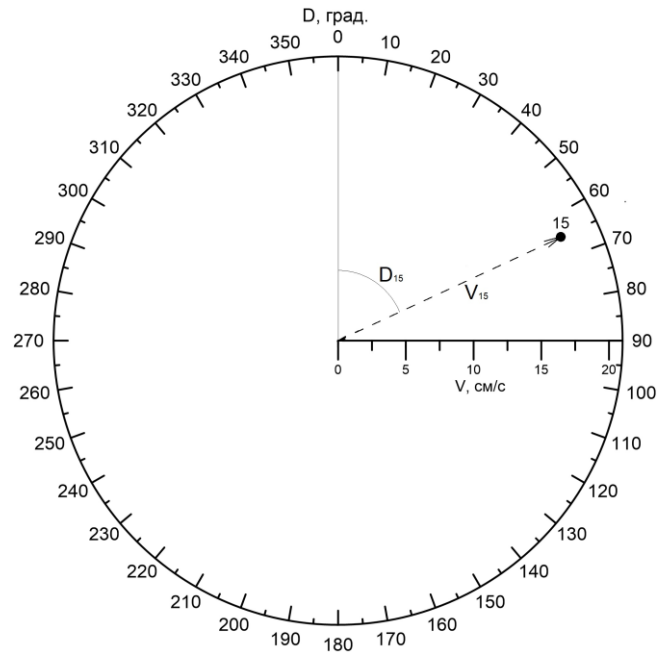
Час	8 травня				9 травня				
	12	15	18	21	00	03	06	09	12
<b>W<sub>вітру</sub>, (м/с)</b>	6	8	8	4	6	4	4	4	4
<b>Напрямок W, (град.)</b>	45	45	45	45	270	270	225	180	90
<b>W<sub>привод вітру</sub>, (м/с)</b>	9	12	12	6	9	6	6	6	6
<b>Напрямок прив. вітру (град.)</b>	60	60	60	60	285	285	240	195	105
<b>V<sub>течії</sub>, (см/с)</b>	13,4	18,0	18,0	9,0	13,4	9,0	9,0	9,0	9,0
<b>V<sub>течії між строками</sub> (см/с)</b>	15,7	18,0	13,5	11,2	11,2	9,0	9,0	9,0	9,0
<b>Відстань (км) пройдена нафтою між строками</b>	1,696	1,944	1,458	1,210	1,210	0,972	0,972	0,972	0,972
<b>Відстань (см) між строками в масштабі карти</b>	3,4	4,0	3,0	2,4	2,4	1,94	1,94	1,94	1,94

Примітка: масштаб карти - в 1см - 1,000 м.

## Порядок будування годографу

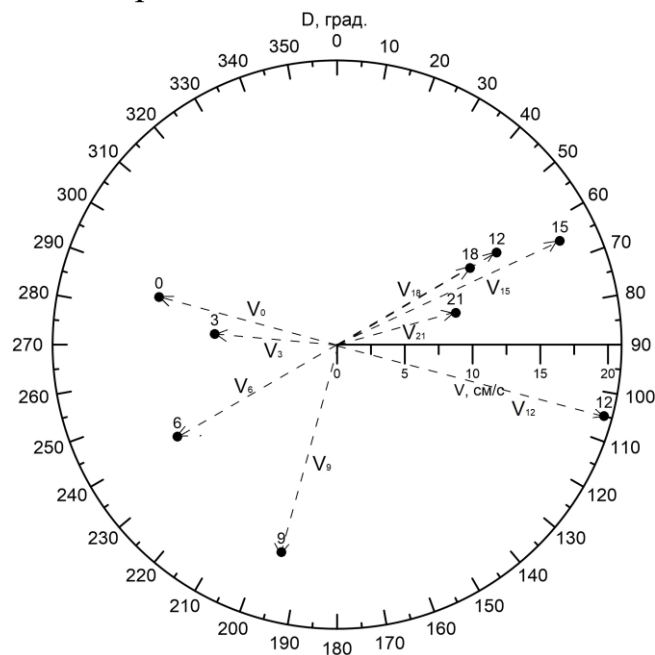
### Крок 1

Нанесіть кожен вектор таким чином, що його початок знаходиться в центрі, його довжина дорівнює величині швидкості течії  $V$  в строк спостереження, а кут відхилення (за годинниковою стрілкою) від лінії, що проходить через 0 градусів, дорівнює напрямку швидкості вітру над водою  $D$  в строк спостереження.



### Крок 2

Нанесіть вектори в інші строки



## Крок 3

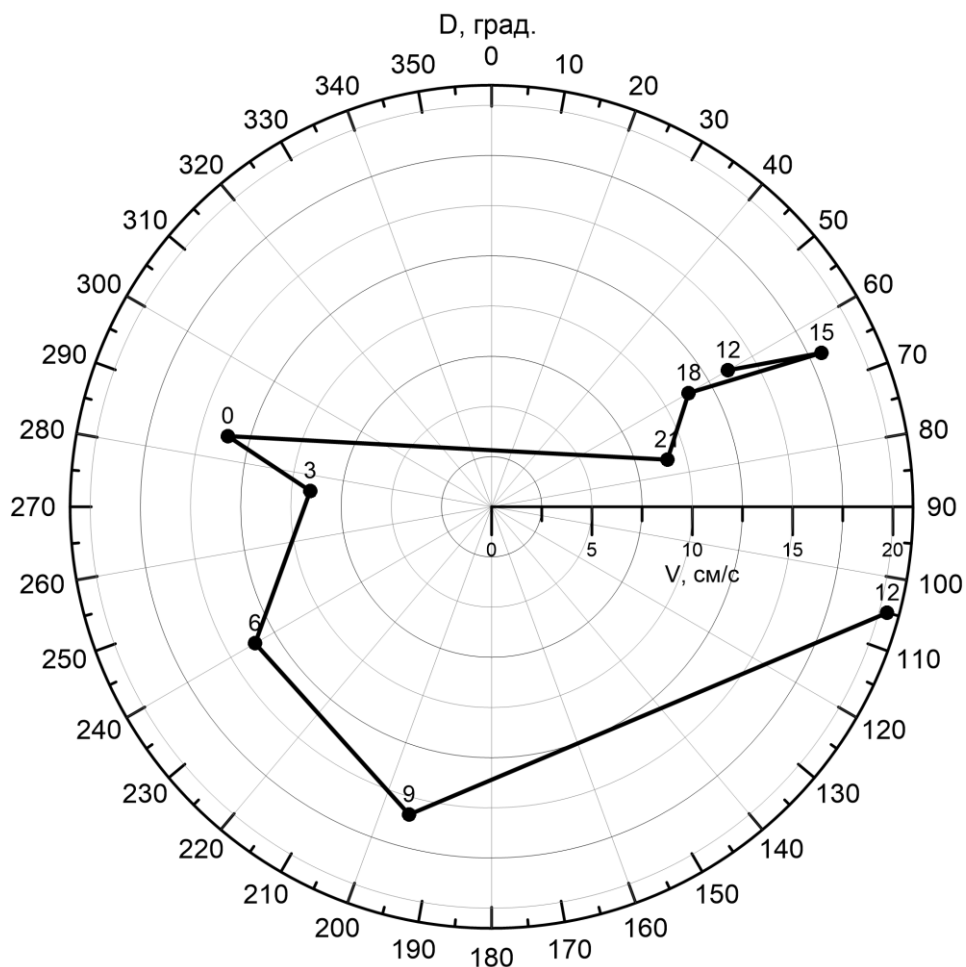
З'єднайте лінією кінці векторів  $V$ 

Рис. 4.1 Годограф швидкості дрейфу нафтової плями

**Контрольні запитання**

1. Які основні сили беруть участь у формуванні дрейфової течії в ідеалізованій моделі Екмана?
2. Опишіть два типи умов, при яких може виникнути горизонтальна сила тиску, що діє на частинку рідини в товщі океану.
3. Під яким кутом до вітру направлена поверхнева течія в глибокому морі?
4. Під яким кутом до вітру направлений повний потік (векторна сума течій від поверхні до глибини тертя)?
5. Чому, коли море мілке, течія направлена майже за вітром?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлов В.І., Кучеренко Н.В.. Спеціальні розділи фізичної океанології. Одеса : Екологія, 2011. 238 с.
2. Океанографические таблицы. Изд. 4-е. Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. 476 с.
3. Descriptive Physical Oceanography: An Introduction (sixth edition) / L.D. Talley, G.L. Pickard, W.J. Emery, J.H. Swift (Eds.). London : Elsevier, 2011. 983 p.
4. Water Encyclopedia: Oceanography; Meteorology; Physics and Chemistry; Water Law; and Water History, Art, and Culture / J. Lehr (Ed.). Hoboken : John Wiley & Sons, 2006. 956 p.
5. Суховій В.Ф. Фізична океанологія. Од., Вид.АО БАХВА, 2001, 320 с.
6. Хільчевський В.К. Основи океанології: підручник / В.К. Хільчевський, С.С. Дубняк. 2-ге вид., доп. і перероб. К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2008. 255 с.

## ДОДАТОК

### Варіанти завдань до практичних робіт № 1-3

#### Північно-Льодовитий океан

Варіант №1

$$\varphi = 85^{\circ}20$$

$$\lambda = 30^{\circ}15$$

Z (м)	T°C	S‰
0	-1,70	31,79
25	-1,69	31,92
50	-1,65	32,04
75	-1,42	33,40
100	-0,93	33,68
150	-0,57	34,04
200	-0,08	34,54
300	1,32	34,70
400	1,93	34,75
500	2,10	34,86
800	0,63	34,88
900	0,04	34,92
1000	-0,24	34,94
1500	-0,45	34,95
2000	-0,70	34,95
3000	-0,69	34,95
4000	-0,64	34,96

Варіант №2

$$\varphi = 85^{\circ}47$$

$$\lambda = 44^{\circ}26$$

Z (м)	T°C	S‰
0	-1,70	31,80
25	-1,76	31,80
50	-1,72	31,80
100	-1,46	33,40
150	-0,98	34,11
200	-0,38	34,74
300	0,04	34,81
400	0,32	34,86
500	0,62	34,90
800	0,17	34,91
1000	-0,10	34,92
1500	-0,46	34,96
2000	-0,70	34,96
3000	-0,68	34,96

Варіант №3

$$\varphi = 85^{\circ}35$$

$$\lambda = 15^{\circ}00$$

Z (м)	T°C	S‰
0	-0,80	34,11
10	-0,80	34,13
25	-1,68	34,42
50	-1,74	34,50
75	-1,56	34,52
100	-0,75	34,70
150	1,25	34,91
200	1,50	34,93
300	1,84	34,94
400	1,80	34,94
500	1,62	34,95
800	0,24	34,96
1000	-0,18	34,96
1500	-0,48	34,96
2000	-0,71	34,97
3000	-0,68	34,97

Варіант №4

$$\varphi = 83^{\circ}05$$

$$\lambda = 15^{\circ}00$$

Z (м)	T°C	S‰
0	-1,75	32,89
10	-1,75	32,89
20	-1,72	32,89
50	-1,71	32,89
75	-1,70	32,90
100	-1,40	33,72
200	-0,35	34,90
300	0,04	34,92
400	0,29	34,95
500	0,54	34,97
800	1,17	34,99
1000	-0,50	35,01
1500	-0,56	35,01
2000	-0,53	35,01



## Атлантичний океан

Варіант №1

$\varphi = 5^{\circ}00$

$\lambda = 25^{\circ}00$

Z (м)	T°C	S‰
0	27,83	34,91
10	27,74	35,89
20	27,74	35,89
30	27,63	35,90
50	24,42	36,11
75	21,69	36,12
100	16,30	36,21
150	12,19	35,63
200	9,90	35,15
250	9,32	34,94
300	8,58	34,85
400	6,63	34,72
500	5,81	34,57
600	4,59	34,48
800	4,16	34,45
1000	4,32	34,56
1200	4,20	34,79
1500	3,63	34,94
2000	3,59	34,98
2500	2,98	34,92
3000	2,62	34,91
4000	2,35	34,88
4500	2,29	34,87

Варіант №2

$\varphi = 3^{\circ}30$

$\lambda = 25^{\circ}30$

Z (м)	T°C	S‰
0	27,28	36,02
10	27,30	36,01
20	27,32	36,02
30	27,28	36,06
50	27,21	36,11
75	21,24	36,15
100	16,26	35,56
150	13,17	35,25
200	12,71	35,19
250	11,96	35,11
300	11,41	35,04
400	9,80	34,87
500	7,59	34,67
600	6,09	34,50
800	4,70	34,44
1000	4,35	34,55
1200	4,39	34,75
1500	4,30	34,91
2000	3,51	34,96
2500	2,91	34,92
3000	2,64	34,91
3500	2,49	34,89
4000	2,38	34,88
5000	2,20	34,86

Варіант №3

 $\varphi = 2^{\circ}00$  $\lambda = 4^{\circ}30$ 

Z (м)	T°C	S‰
0	28,49	35,04
10	27,84	35,04
20	27,77	35,07
40	27,70	35,63
50	24,97	35,63
75	16,50	35,63
100	15,28	35,59
150	14,30	35,45
200	13,72	35,43
250	13,32	35,32
300	12,43	35,21
400	8,32	34,74
500	6,95	34,60
600	6,00	34,51
800	4,41	34,52
1000	4,34	34,66
1500	4,04	34,95
2000	3,40	34,95
2500	2,91	34,92
3000	2,65	34,90
3500	2,49	34,89
4000	2,38	34,88
4500	2,28	34,87
5000	2,20	34,86

Варіант №4

 $\varphi = 2^{\circ}00$  $\lambda = 14^{\circ}00$ 

Z (м)	T°C	S‰
0	29,12	35,45
10	29,09	35,45
20	29,02	35,43
40	28,75	35,48
50	24,98	36,07
75	17,29	35,74
100	15,10	35,55
150	13,78	35,34
200	12,67	35,74
250	11,70	35,38
300	10,73	35,01
400	8,35	34,76
500	6,56	34,59
600	5,15	34,53
800	4,74	34,54
1000	4,46	34,62
1500	4,09	34,96
2000	3,40	34,95
2500	3,92	34,93
3000	2,66	34,91
3500	2,46	34,90
4000	2,40	34,89
4500	2,28	34,87
5000	2,21	34,86

Варіант №5

 $\varphi = 20^{\circ}00$  $\lambda = 2^{\circ}00$ 

Z (м)	T°C	S‰
0	24,73	35,92
10	24,49	35,92
30	23,54	35,80
50	20,89	35,72
75	18,58	35,73
100	16,86	35,57
150	14,24	35,90
200	13,95	35,20
250	11,99	35,05
300	10,22	34,85
400	8,42	34,68
500	6,36	34,51
600	5,81	34,50
700	5,09	34,47
800	4,49	34,46
1000	3,83	34,53
1200	3,62	34,64
1500	3,51	34,78
2400	2,87	34,90
2900	2,59	34,90
3300	2,47	34,89
4000	2,41	34,88
5000	2,47	34,88

Варіант №6

 $\varphi = 23^{\circ}59$  $\lambda = 8^{\circ}30$ 

Z (м)	T°C	S‰
0	23,43	35,59
10	23,37	35,60
30	22,48	35,70
75	16,72	35,52
100	15,85	35,48
175	13,78	35,22
225	12,40	35,07
300	10,95	34,94
450	7,81	34,63
600	5,77	34,50
800	4,37	34,45
1000	3,76	34,53
1300	3,40	34,69
1500	3,35	34,80
1800	3,27	34,87
2000	3,14	34,90
2300	2,99	34,90
2500	2,74	34,87
3000	2,49	34,86
3500	2,27	34,85
4000	1,67	34,78
4500	1,12	34,74

### Варіанти завдань для практичної роботи № 4

#### Варіант №1

	9.04.18 р.				10.04.18 р.				
	Строк спостереження				Строк спостереження				
	12	15	18	21	00	03	06	09	12
$W_{\text{над сушею}}$ , (м/с)	2	4	3	5	5	7	6	5	9
$D_{\text{над сушею}}$ , (град.)	200	170	135	90	75	100	150	170	190

#### Варіант №2

	12.01.15 р.				13.01.15 р.				
	Строк спостереження				Строк спостереження				
	12	15	18	21	00	03	06	09	12
$W_{\text{над сушею}}$ , (м/с)	6	5	6	9	12	6	5	2	4
$D_{\text{над сушею}}$ , (град.)	90	100	110	65	60	0	20	335	320

#### Варіант №3

	8.07.10 р.				9.07.10 р.				
	Строк спостереження				Строк спостереження				
	12	15	18	21	00	03	06	09	12
$W_{\text{над сушею}}$ , (м/с)	5	5	3	7	6	9	10	5	4
$D_{\text{над сушею}}$ , (град.)	335	300	315	300	270	230	90	45	60