

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра океанології
та морського природокористування

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему: «Дослідження мінливості гідрологічних характеристик окремих
регіонів Південного океану»

Виконав студент 4-го року навчання
групи ГО-18
спеціальності 103 «Науки про Землю»
Ясинський Микита Андрійович

Керівник асистент кафедри
П'ятакова Вікторія Францівна

Консультант д.геогр.наук, проф..
Берлінський М.А.

Рецензент ст..викладач
Яров Я.С.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Океанології та морського природокористування
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 103 Науки про Землю
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри океанології та
морського природокористування
Берлінський М.А.
« » 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ясинський Микита Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження мінливості гідрологічних характеристик окремих регіонів Південного океану
Керівник роботи П'ятакова Вікторія Францівна, асистент кафедри
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ОДЕКУ від "21" грудня 2021 року №267 «С»
2. Строк подання студентом роботи 15.06.2022 р.
3. Вихідні дані до роботи Середньорічні та середньомісячні значення температури і солоності морської води на різних глибинах; дані, отримані внаслідок одноразових зйомок , а також дані дрейфуючих буїв; масиви супутникових даних.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис фізико-географічних особливостей регіону дослідження; Дослідження мінливості гідрологічних характеристик шляхом аналізу вертикальних профілів температури, солоності та температурно-солоносних кривих. Порівняння результатів власних досліджень з наведеними у літературних джерелах
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графіки розподілу температури та солоності води з глибиною; температурно-солоносних кривих .

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 05.05.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бально ю шкалою
1	Огляд літератури та дослідження фізико-географічних умов	05.05- 08.05.2022		
2	Короткий огляд баз даних	09.05- 13.05.2022		
	Рубіжна атестація	13.05- 15.05.2022		
3	Обробка вихідної інформації по температурі морської води, солоності	15.05- 20.05.2022		
4	Аналіз полів температури морської води та солоності, у 1980 – 2021 рр.	21.05- 25.05.2022		
4	Висновки	26.05- 28.05.2022		
	Оформлення роботи	28.05- 31.05.2022		
	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	11.06- 16.06.2022		
	Підготовка доповіді, презентації	02.06- 16.06.2022		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студент Ясинський М.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Пятакова В.Ф.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

ВСТУП.....	5
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РЕГІОНУ.....	7
1.1 Фізико - географічні умови.....	7
1.2 Кліматичні умови.....	11
1.3 Рельєф і геологічна будова дна.....	14
1.4 Органічна речовина життя у океані.....	16
2. МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ.....	21
3. МІНЛИВІСТЬ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ОКЕАНУ.....	27
3.1 Температурний режим.....	27
3.2 Режим солоності вод.....	34
3.3 Вертикальна структура і водні маси Південного океану.....	41
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50
ДОДАТКИ.....	52

ВСТУП

Південний океан-наймолодший серед усіх інших признаних океанів. До 8 червня 2021 року офіційно вважалось 4 океани. Але офіційно з 8 червня 2021 року(Саме день Океану) їх стало п'ять. П'ятим став Південний океан (або Антарктичний океан). Але на сьогоднішній день Південний океан (або Антарктичний океан) - четвертий за розміром океан Землі, що оточує Антарктиду.

Вперше цей океан був виділений в 1650 році голландським географом Б. Вареніусом, і до 1-ї чверті 20 століття назва «Південний океан» містилася на картах і атласах, при цьому в багатьох країнах в нього включалася і територія Антарктиди, так як крижаний материк зараховувався до області океану і його кордоном була прийнята широта Південного полярного кола.

З 2-ї чверті 20 століття кордон Південного океану стали проводити від 35 ° пд.ш. (за ознакою циркуляції води і атмосфери) до 60 ° пд.ш. (за характером рельєфу дна). У радянському Атласі Антарктики (т.2, 1969) кордоном Південного океану прийнята північний кордон зони антарктичної конвергенції, розташованої поблизу 55 ° пд.ш.

Південний океан є унікальним природним комплексом. Важливим як з погляду ендемічного органічного світу, так і надання величезного впливу на циркуляцію атмосфери, гідросфери та формування клімату нашої планети. До того ж, він є єдиним океаном, що оточує земну кулю в зональному напрямку і є ланкою, що зв'язує води Тихого, Атлантичного та Індійського океанів. До однієї з основних особливостей Південного океану відноситься наявність у ньому потужної течії, спрямованої із заходу на схід (Течія Західних вітрів або кругової Антарктичної течії), яка, власне, і є механізмом, за допомогою якого здійснюється обмін водними масами між трьома основними океанськими басейнами.

За останні 50-100 років зростаючий вплив господарської діяльності на природні кліматоутворюючі чинники призвів до потенційно небезпечних змін у

кліматичній системі. Ці зміни кардинально зачепили нерозривно пов'язані один з одним океан і атмосферу Землі.

За останні десятиліття Південний океан почав змінюватись ще швидше, що не виключає широкомасштабні наслідки для глобального клімату. Розуміння того, як змінюються гідрологічні та гідродинамічні характеристики Південного океану, в результаті глобальних кліматичних змін, набуло більшої актуальності, оскільки науковий світ дізнався більше про крихкість великих частин антарктичного крижаного щита, які, піддаючись ерозії, можуть вивільнити внутрішні льоди для переміщення в океан, що є потенційними наслідками подальшого глобального підвищення рівня моря.

Більшість змін у Південному океані залишається незрозумілими, тому спостереження необхідно розширювати більш ніж у будь-якому іншому регіоні, щоб прояснити довгострокові тренди океану і зрозуміти, як вони співвідносяться з природною та антропогенною мінливістю.

1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РЕГІОНУ

1.1 Фізико - географічні умови

Перша згадка про Південний океан була ще у 1650 році - голландським географом Б. Вареніусом, і на початку 20 ст. назва «Південний океан» вже була на картах і атласах (при цьому в багатьох країнах до нього включалася і територія Антарктиди, тому що крижаний материк зараховувався до області океану та його кордоном була прийнята широта Південного полярного кола). З другої чверті 20 ст. кордон Південного океану стали проводити від 35° пд. ш. (за ознакою циркуляції води та атмосфери) до 60° пд. ш. (за характером рельєфу дна). У радянському Атласі Антарктики (т. 2, 1969) кордоном Південного океану прийнято північний кордон зони антарктичної конвергенції, розташованої поблизу 55° пд. ш.

За розміром Південний океан займає четверте місце серед океанів Землі. Площа 20,327 млн. км² (якщо прийняти північним кордоном океану 60 градусів південної широти), за рахунками А.Ф. Терешнікова – 36 млн. км², в межах зони антарктичної конвергенції. Найбільша глибина (Південно-Сандвічів жолоб) - 8428 м, середня глибина 3503 м, за іншими джерелами -4500 м [1], що свідчить про те, що він більш ніж в три рази глибший за Північно-Льодовитий океан.

Положення зони антарктичної конвергенції не постійне, воно змінюється як сезонно, так і багаторічно, тому у спрощеному варіанті часто межею Південного океану вважають умовну лінію, яка проходить через миси Голковий, Південний та Горн [2].

Біля берегів Антарктиди виділяється 13 морів: Уедделла, Скоша, Беллінсгаузена, Росса, Амундсена, Дейвіса, Лазарева, Рісер-Ларсена, Космонавтів, Співдружності, Моусона, Дюрвіля, Сомова рис.1.1. Деякі з цих морів також відрізняються від інших значними особливостями, а саме море Скоша вважається самим глибоким за середньою глибиною (3096 м), море Уедделла за прозорістю (79 м) вважають самим чистим морем [1].

Найважливіші острови Південного океану: Кергелен, Південні Шетландські, Південні Оркнейські. Також у Південного океану виділяються сектори, що з його циклічною формою :

- Атлантичний сектор - між північним краєм Антарктичного півострова і меридіаном мису Доброї Надії.

- Індійський сектор - між меридіаном мису Доброї Надії та меридіаном мису Саут-Іст-Кейп на острові Тасманія.

- Тихоокеанський сектор - між меридіаном мису Саут-Іст-Кейп на острові Тасманія і північним краєм Антарктичного півострова.

Існують суперечки щодо доцільності виділення цих вод на окремий океан. Багато хто не підтримує його існування і ділять південні води між трьома сусідніми океанами. Цей океан дуже рідко відображається на географічній карті світу.

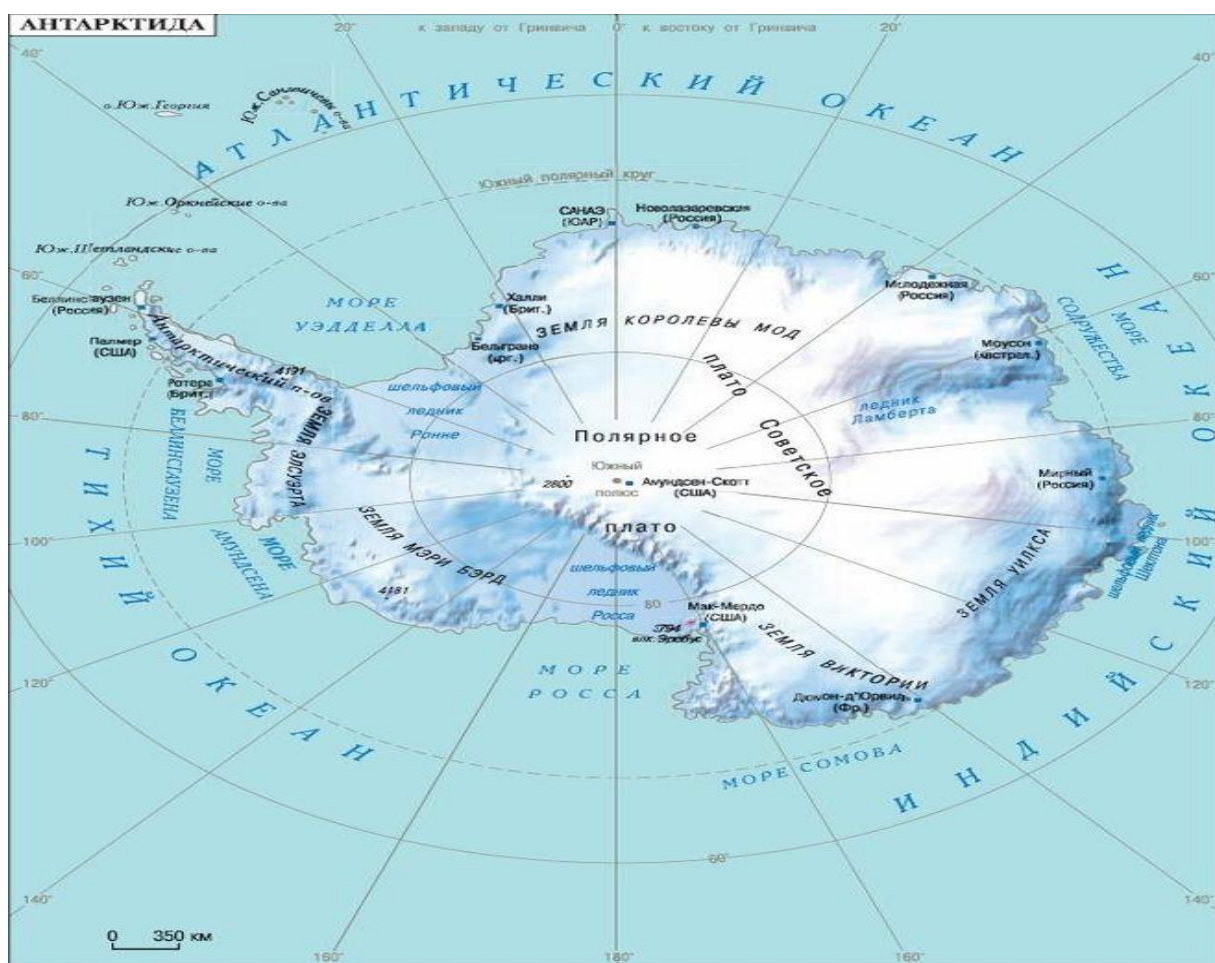


Рисунок 1.1 - Моря біля берегів Антарктиди [3]

Однак своєрідність гідрологічного режиму антарктичних вод між зоною конвергенції та північними берегами Антарктиди є підставою для виділення цієї частини Світового океану в особливий регіон, відмінний від Тихого, Індійського та Атлантичного океанів.

У 1969 р. в Атласі океанів, виданому в СРСР, у зазначених межах був виділений Південний океан, та його описи з'явилися у деяких роботах. Однак у морській практиці Південний океан не виділяється, і у всіх навігаційних матеріалах антарктичні води розглядаються як південні частини Тихого, Індійського та Атлантичного океанів, їх південним кордоном вважається берег Антарктиди і на цій підставі обчислюється їх площа.

Питання кордонів Південного океану залишається відкритим. На рисунку 1.2 представлені різні типи меж, пропонованих щодо його виділення.

Як видно з рисунка та у наведених у розділі даних, межі океану проводяться за різними ознаками і критерієм. Через це його площа може відрізнятись більш ніж удвічі. У свою чергу, така невизначеність створює помилкове враження про марність виділення даної природної одиниці.

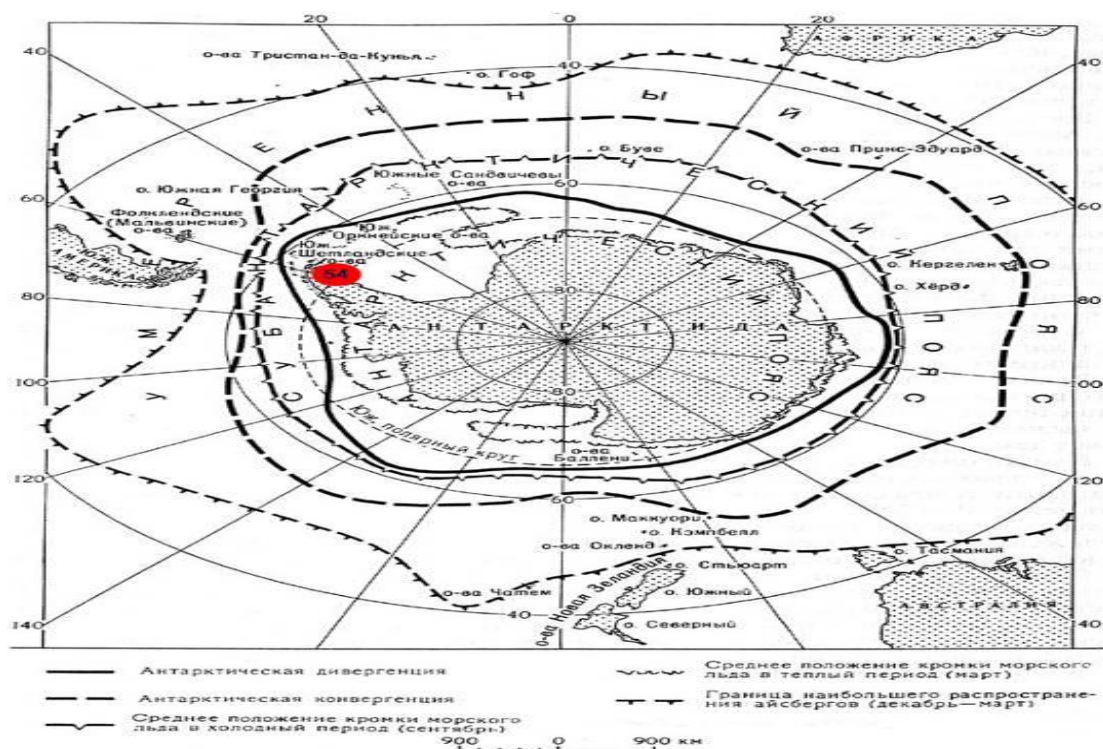


Рис 1.2 - Варіанти меж Південного океану[3].

Навесні 2000 року Міжнародна гідрографічна організація вирішила оголосити водний простір північніше узбережжя Антарктиди до 60° південної широти окремим океаном — Південним. Рішення засноване на останніх океанографічних даних, що вказують на унікальність вод, що оточують Антарктиду.

08-червня 2021 року Національне географічне товариство США визнало існування п'ятого океану на Землі, що називається Південним, і з цього дня почне відзначати його на картах.

Південний океан давно визнаний вченими, але оскільки на міжнародному рівні відповідної угоди не було, ми не визнавали її офіційно», – географ Національного географічного товариства Алекс Тейт (Alex Tait).

Протягом багатьох років фахівці обговорювали, чи мають води навколо Антарктиди унікальні характеристики, щоб заслужити свою власну назву, чи це просто холодне продовження сусідніх океанів.

Алекс Тейт характеризує ці дискусії як свого роду географічне занудство. Він та комітет з картографічної політики Національного географічного товариства багато років розглядали цю зміну, спостерігаючи, як вчені та преса все частіше використовують термін «Південний океан».

«Ми завжди позначали його, але ми позначали його трохи інакше [ніж інші океани]», – каже Тейт. – «Ця зміна була останнім кроком і заявою про те, що ми хочемо визнати її через його екологічний поділ».

Щодо морських назв National Geographic орієнтується на Міжнародну гідрографічну організацію (МГО). Ще в 1937 році МГО визнала Південний океан, але в 1953 році скасувала це рішення під тиском наукової спільноти, яке не могло дійти єдиної думки.

Рада з географічних назв США використовує цю назву з 1999 року, а в лютому 2021 Національне управління океанічних та атмосферних досліджень (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) офіційно визнало Південний океан окремим регіоном. У свою чергу, Комітет з картографічної

політики National Geographic спостерігав, як зростає частота використання терміна з боку вчених та преси.

До Південного океану належить більшість вод, що оточують Антарктиду до 60 градусів південної широти, крім протоки Дрейка і моря Скоша. Тоді як інші океани визначаються континентами, які їх огороджують, Південний океан визначається течією (рис.1.3).

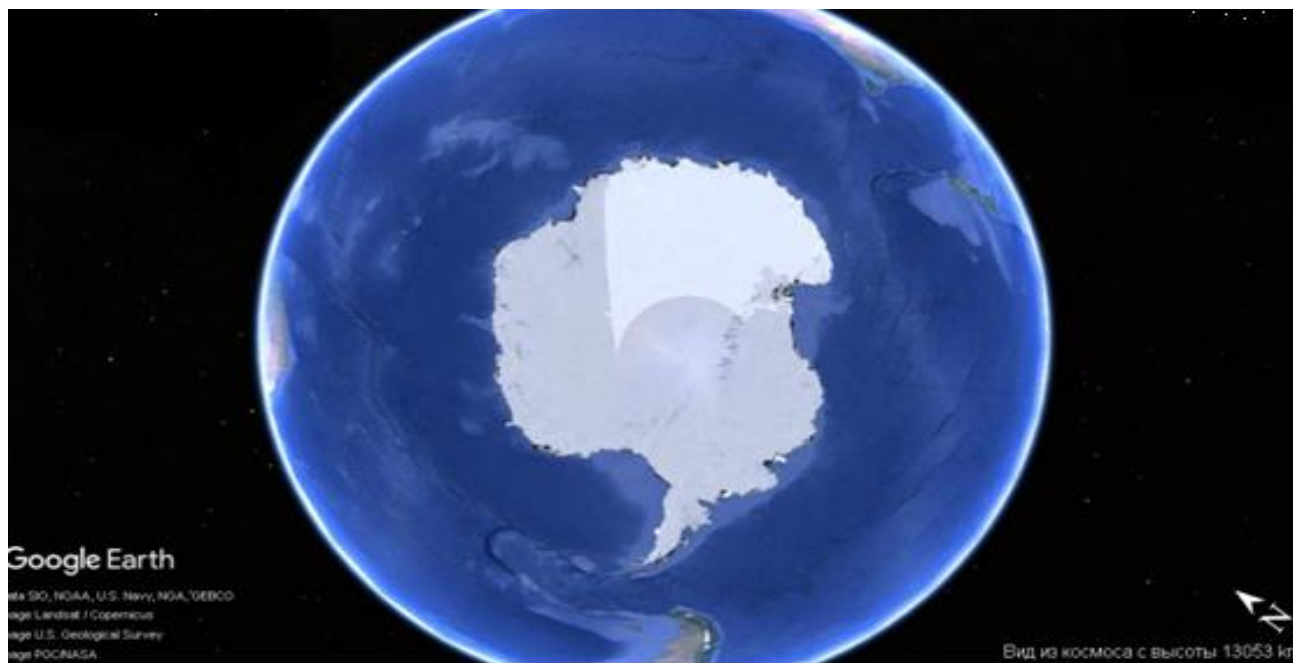


Рисунок 1.3 - Супутниковий знімок району дослідження

1.2 Кліматичні умови

Кліматичні умови Південного океану обумовлені цілим рядом факторів: своєрідним географічним положенням, впливом холодного, високогірного, покритого льодом, материка Антарктиди, постійною наявністю морських льодів, відсутністю теплих течій. Для відкритих просторів океану характерний морський полярний, а для прибережних районів - антарктичний клімат. Внаслідок постійного вихолодження атмосфери над крижаним покривом Антарктиди над нею формується область підвищеного тиску. Сам материк оперезаний досить широкою антарктичної депресією - зоною зниженого тиску. Вона майже всюди

між 60 і 68 ° пд. ш., тільки у Тихоокеанському секторі її середня частина піднімається від 67 ° ю. ш. в районі моря Беллінсгаузена до 75 ° пд. ш. в районі моря Росса.

У зв'язку з таким розподілом атмосферного тиску виникають стокові вітри з материка, що дмуть зі швидкістю 15 м/с. Під впливом сили Коріоліса вони приймають південно-східний напрямок.

На північ від антарктичної депресії, приблизно від 40 ° пд. ш. до межі Південного океану, протягом усього року, формується кільцеподібна область підвищеного тиску.

В області помірних і субполярних широт приблизно до 65 ° пд. ш. майже постійно спостерігаються західні вітри. У зимовий час їх швидкість досягає до 11 м/с, а в літній час - до $9,5$ м/с. Влітку максимальної швидкості ці вітри досягають на 55 ° пд. ш. У зимовий час максимальна швидкість вітрів сягає біля 53 ° пд. ш. Вітри з великими швидкостями бувають дуже часто. Це та область, де штильове затишшя змінюється сильними штормами, особливо в зимовий період. Відмітна кліматична особливість Південного океану - активна циклонічна діяльність. У літню пору вона інтенсивна на південь від 45 ° пд. ш, а взимку в межах від 35 ° пд.ш. до Антарктичного узбережжя. Циклони переміщуються із середньою за рік швидкістю близько 40 км / ч.



Рисунок 1.4 - Південний океан (шторм)

Температура повітря над Південним океаном дуже низька. Її величини розподіляються зонально і змінюються від зими до літа. У прибережній частині

океану температура повітря лише трохи піднімається вище 0°C . Зимово температура повітря тут низька завдяки тому, що в прибережних районах океану спостерігається "набрякання" охолодженого над Антарктидою повітря. В морі Росса, наприклад, середня температура січня $+4,5^{\circ}\text{C}$, а липня -22°C . Дані за температурою над поверхнею океану представлені у таблиці 1.1 [2].

Таблиця 1.1 Температурні показники ($^{\circ}\text{C}$) клімату Південного океану

Широта	Зима	Весна	Літо	Осінь	Рік
$66^{\circ}2'$	-19,1	-12,4	-1,8	-12,6	-11,5
$70^{\circ}30'$	-16,8	-11,1	-1,5	-9,1	-9,6
$71^{\circ}18'$	-24,3	-17,1	-0,9	-13,4	-14,0
$77^{\circ}49'$	-25,6	-19,6	-5,9	-20,2	-17,8

Хмарний покрив особливо щільний влітку. У січні хмарність на південь від 60° пд. ш. майже суцільна: 8,5-9,5 балів. До північному кордоні океану хмарність зменшується до 7,5-8,0 балів. Взимку розподіл хмарності зворотній - найбільше середнє місячне значення хмарності 7-7,5, місцями 8 балів спостерігається поблизу північного кордону океану. У напрямку континенту кількість хмар зменшується. У липні середня хмарність на південь від полярного кола 6-6,5 балів, місцями навіть менше. Кількість атмосферних опадів зменшується в напрямку з півночі на південь як взимку, так і влітку. З північного кордону океану воно досягає 1000 мм/рік, а місцями (наприклад, поблизу південного краю Південної Америки) - навіть 1500 мм/рік. На південь від паралелі 60° річна кількість опадів зменшується до 500 мм/рік. У прибережній частині океану кількість опадів дещо збільшується (до 600 мм і навіть більше) на рік. У приморській частині самого континенту річна кількість опадів також досягає 500-600 мм/рік. У внутрішніх районах Антарктичного континенту річна кількість опадів 100-150 мм [4].

Таким чином, в кліматичному відношенні для Південного океану характерні два вітрових пояса, смуга максимальних швидкостей вітру, активна циклонічна діяльність, зональний розподіл температурного режиму повітря.

1.3 Рельєф і геологічна будова дна

Виходячи із сучасних досягнень природничої науки, у нас є знання того, що материк Антарктида та води навколо його, лежать в основному на континентально-океанічної Антарктичної літосферній плиті [1]. Однак є ділянки дна океану, особливо з півночі, які розташовані на інших плитах – тихоокеанської, та плитах прилеглих до моря Скоша і ін. З цим і пов'язані особливості рельєфу дна Південного океану та його геологічної будови. У рельєфі дна чітко виражені всі основні геоморфологічні форми. Шельфова зона характеризується незначною шириною, десь близько 150 км. Лише в морях Росса і Уедделла його ширина досягає значних розмірів - 1000-1100 км. Середня же глибина шельфової зони досягає 200 м.

Материковий схил у Антарктиди, особливо його східна частина, розчленований ступенями і прорізаний безліччю підводних каньйонів. У приантарктичних частинах Південної Америки материковий схил крутий, у тихоокеанічному узбережжі відносно пологий і слабо розчленований у антарктичного берега.

Найбільшою підводною геологічною структурою в Південному океані є океанічні хребти. Загальна протяжність серединноокеанічного хребта складає більше 10 тис. морських миль. Як і в інших районах, хребет має центральний рифт, що характеризується високою сейсмічністю, наявністю вулканічних порід молодого віку, молодими скидними терасами і аномально високими величинами геотермічного потоку. Осадочний покрив в районі рифу дуже тонкий, місцями ж він взагалі відсутній. Поперечні хребти Південного океану з'єднують окремі ділянки серединно-океанічного хребта з Антарктидою. Найбільш примітним з них є хребет Скоша (дуга Скоша), який з'єднує Анди з Антарктидою (Земля

Грейама) через банку Бердвуд, скелі Крок, о. Південна Георгія, Південні Сандвічеві, Південні Оркнейські і Південні Шетландськіє острова. Хребет Скоша, на думку геологів - древній, частково занурений сегмент материкового походження. Ложе океану характеризують ряд підводних хребтів, а також невеликих підняття і улоговин. Найбільш великими хребтами є Західно-Індійський і Центрально-Індійський, в межах яких чітко простежуються рифтові долини. Вони, по суті, являють собою південні відроги серединно-океанічних хребтів (рис. 1.5).

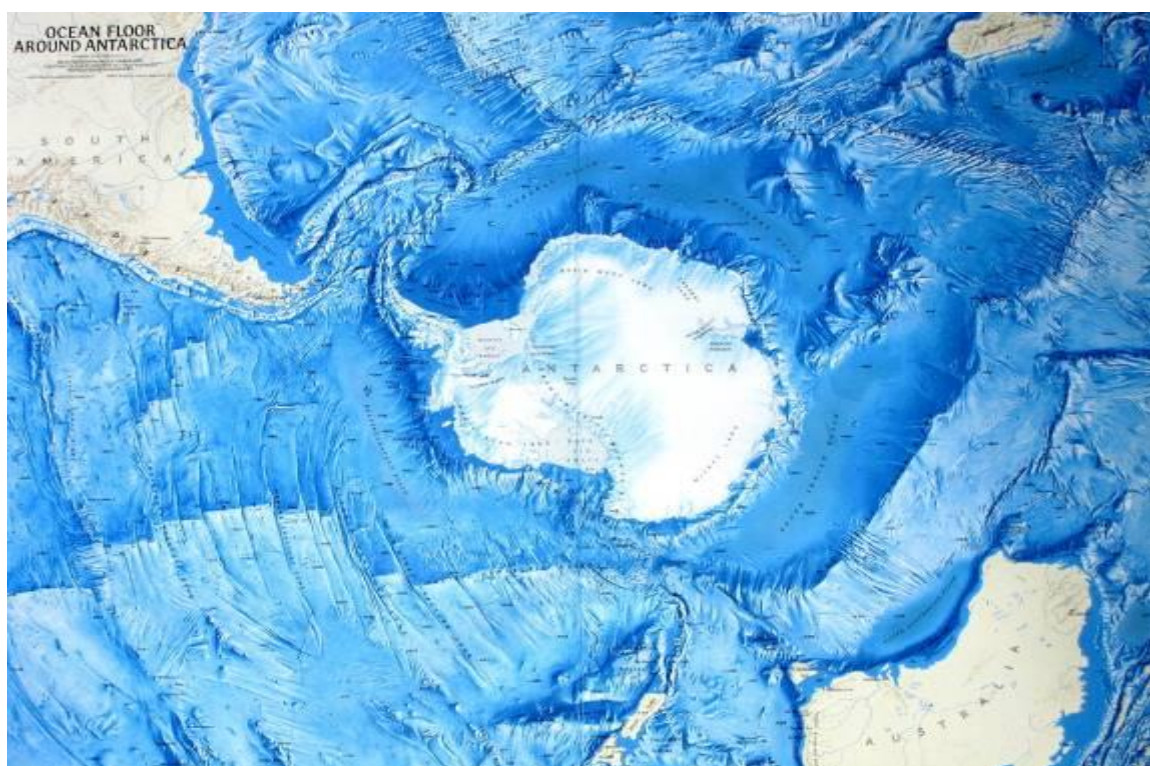


Рисунок 1.5 - Рельєф дна Південного океану[3]

Незвичайно глибокий шельф і великі площі глибоководних океанських басейнів позначають, що більше 90% антарктичного регіону знаходиться на глибині більше 1000 м (рис.1.6).

В цілому рельєф дна Південного океану не впливає на обмін глибинними водами з сусідніми океанами.

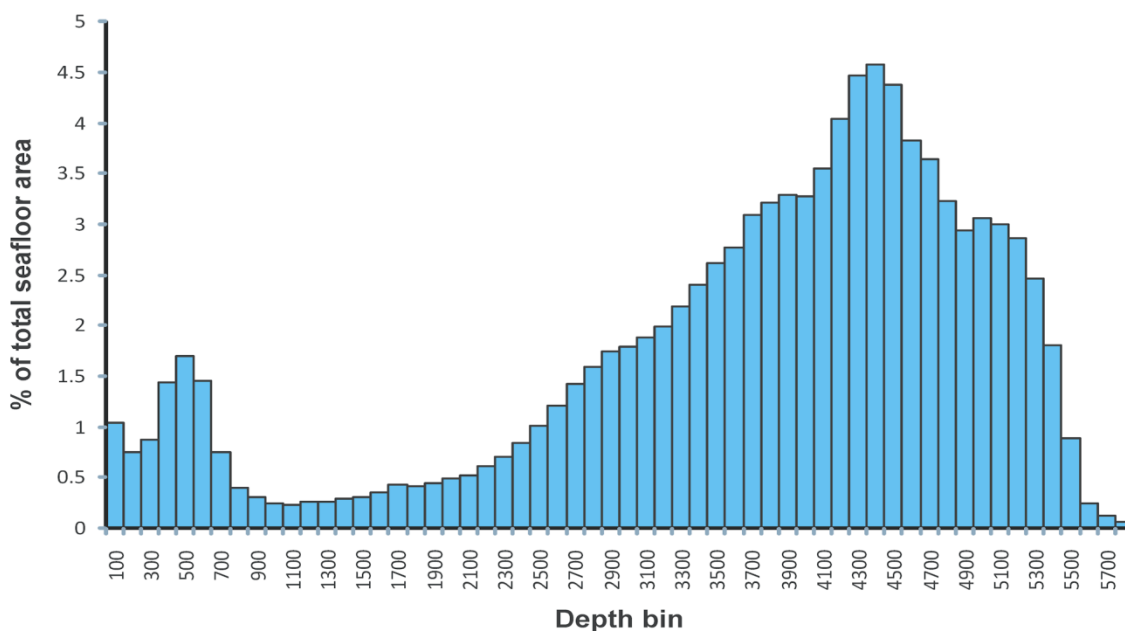


Рисунок 1.6 - Відсоток площі морського дна Антарктики, знайденої в межах 100-метрового інтервалу глибин [5]

Донні відкладення розташовані в основному зонально. В межах підводної окраїни переважають айсбергового відкладення, які як надалі від Антарктиди змінюються кременистими діатомовими мулами, що в свою чергу найкраще представлені в улоговинах ложа океану. На серединних хребтах, чітко розвинені змішані кремнисто-вапняні відкладення і змінюють їх на північ форамініферові. У великій улоговині Крозе поширена червона глина з високим вмістом діатомових мулів. Потужність осадових відкладень в Антарктичній зоні Індійського океану досягає 150 м. На вершинах невисоких підводних гірських підняттяв опади часто відсутні. Материкове підніжжя в межах Тихоокеанського сектора Південного океану складено акумулятивними утвореннями з теригенних і айсбергового матеріалів потужністю до 2000 м.

1.4 Органічна речовина та життя у океані

Морське біологічне дослідження в регіоні відносяться до дев'ятнадцятого століття, але, незважаючи на довгу історію досліджень, мало відомо про складні взаємодії між фізичним середовищем з високою сезонністю і видами, що

населяють Південний океан. З океанографічного погляду Південний океан є основним двигуном глобальної циркуляції океану і відіграє життєво важливу роль у взаємодії з глибоководною циркуляцією у кожному з Тихого, Атлантичного та Індійського океанів. Перепис морського життя Антарктики та Інформаційна мережа з морського біорізноманіття Наукового комітету з антарктичних досліджень (SCAR-MarBIN) прагнули координувати та об'єднати наявні наукові знання та дані про біорізноманіття, щоб покращити розуміння біорізноманіття Південного океану. Таксономічні списки всіх морських видів були складені для формування Реєстру антарктичних морських видів, який в даний час включає понад 8200 видів [5].

Наявність в океані Антарктичної Циркумполярної течії обумовлює склад і поширення органічного життя. Величезні маси льоду обмежують життя в океані, але тим не менше антарктичні моря по великій кількості і різноманітності живих організмів можуть змагатися з багатьма тропічними районами Світового океану. Тривале існування флори і фауни в середовищі, яке мало змінюється (не менше 5 млн років) призвело до того, що організми пристосувалися до суворих умов проживання. Діатомові водорості зберігають життєздатність до температури - 20° С. Риби виробили пристосування життя в переохолодженій воді, а мешканці нижньої поверхні припая користуються льодом, як укриттям, де формуються багаті пасовища льодових водоростей - відростачів.

З Приполярним становищем Південного океану пов'язана різка сезонна динаміка основної умови фотосинтезу - сонячної радіації. В таких умовах протягом року спостерігається велика амплітуда кількісних змін фітопланктону і зміщення зони цвітіння з півночі, де весна починається раніше, на південь, де вона запізнюється. У низьких широтах встигають розвинутися два піки цвітіння, а в високих тільки один. У поверхневих водах яскраво виражена біологічна широтна зональність. У мешканців дна подібної зональності немає, так як в їх розвитку важливу роль відіграє рельєф дна і бар'єри, що перешкоджають обміну флори і фауни. У Південному океані в фітопланктоні, як вже було відмічено вище, переважають діатомові водорості (близько 180 видів).

Синьо-зелені водорості складають менше число. У кількісному відношенні також переважають діатомові водорості, особливо в високих широтах, де їх майже 100%. В період максимального цвітіння чисельність діатомових водоростей досягає свого найбільшого скупчення.

Існує чітка залежність між розподілом водоростей і вертикальної стійкістю вод. У літню пору значна маса водоростей знаходиться в поверхневому 25-метровому шарі.

У напрямку з півдня на північ відбувається зміна складу фітопланктону: поступово випадають з флори високоширотні холодноводні види, заміщаючи тепловодними.

Зоопланктон в водах Південного океану представлений копеподами (близько 120 видів), амфіпод (близько 80 видів) і ін., Менше значення мають хетогнат, поліхети, остракоди, аппендікулярії і молюски. У кількісному відношенні на першому місці копеподи, на частку яких припадає майже 75% біомаси зоопланктону тихоокеанського та індійського сектора океану. В атлантичному секторі океану копеподи мало, так як широкого поширення набули еуфаузіди (криль).

Для Південного океану, особливо для його антарктичних областей, характерно масове скупчення криля (антарктичних рачків). Біомаса криля в цих районах досягає 2200 млн. т, що дає можливість щорічно виловлювати до 50-70 млн. т криля. Тут криль - це основне живлення вусатих китів, тюленів, риб, головоногих молюсків, пінгвінів і трубконосих птахів. Рачки харчуються фітопланктоном.

Чисельність зоопланктону протягом року має два піки. Перший пов'язаний з підйомом пере зимувальних видів і відзначається він у поверхневих водах. Другий пік характеризується великою кількістю зоопланктону у всій товщі і обумовлений появою нового покоління. Обидва піку проявляються у вигляді двох широтних смуг згущення зоопланктону. Це період цвітіння зоопланктону влітку, коли велика частина зоопланктону переходить в верхні шари і

переміщається на північ, де помітне накопичення відбувається в зоні антарктичної конвергенції.

Взимку згущення спостерігається в області дивергенції, де збираються особи з глибинної водної маси. Взимку максимальна видова чисельність відзначена на глибинах 250-1000 м.

Питання про вертикальному розподілі зоопланктону ускладнюється здатністю багатьох організмів здійснювати регулярні (добові, сезонні) міграції з однієї зони в іншу.

Фітобентос і зообентосу в водах Південного океану вражає своїм багатством і різноманітністю. Чисельність фітобентосу зменшується від Південної Америки до Антарктиди. Якщо на Вогненній Землі відомо 300 видів, в Кергелені - 138, то біля узбережжя Антарктиди від 20 до 40 видів. В основному переважають різні види червоних водоростей. Бурі водорості досягають гігантських розмірів (маркоцістіс - 80, а іноді 90 м довжини) при обмеженій біомасі.

З представників зообентосу переважають фільтратори, переважно губки (300 видів), поліхети (300), мшанки (320), брахиоподи (15), молюски (300), голкошкірі (320 видів).

Біомаса зообентосу в прибережних районах становить в середньому до $0,5 \text{ кг/м}^2$, а місцями доходить до 3 кг/м^2 на глибинах 20-50 м в поверхневій зоні немає постійних мешканців. Уздовж узбережжя фауна розподіляється нерівномірно. Зменшення біомаси починається з глибини 500 м. Слід зазначити, що якщо в інших областях Світового океану нижня межа субліторали знаходиться на глибині 200 м, то поблизу Антарктиди субліторальній тварини мешкають на глибинах 500-700 м. Найбільше видове різноманіття характерно до глибини 200-300 м, риб - на глибинах 200-500 м.

У Антарктичної області Південного океану фауна багата, унікальна і налічує багато ендеміків. Для фауни притаманний гігантизм багатьох представників (наприклад, серед губок).

Поблизу архіпелагу Кергелен фауна в 5 разів бідніша, ніж у приматерікових районів. Риби Південного океану налічують близько 100 видів. Серед них лише 12 придонних, що відносяться до сімейства нототеневих, що мають промислове значення. У антарктичному секторі широко представлені білокровні щуки, макруруси, сіра і мармурова нототенії, південна путасу. В індійському секторі океану число промислових риб невелика. Тут мешкає смугаста білокровна щука (крижана риба), сіра і мармурова нототенії. У тихоокеанському секторі, найбільшому за площею, зустрічається південна путасу і новозеландська макрорунос.

Ссавці. Загальна чисельність китів в Південному океані оцінюється приблизно понад 500 тис. голів. З ластоногих зустрічаються тюлень-крабод, морський леопард, південний морський слон, тюлень Росса, тюлень Уедделла і ряд інших. Антарктичні тюлені складають до 56% загальносвітової чисельності ластоногих.

Відповідно до Системи Договору про Антарктику, діє кілька міжнародних угод щодо захисту дикої природи та рослинності Антарктики. Антарктида охороняється Протоколом про охорону навколишнього середовища, який набув чинності в січні 1998 року. В даний час існує 67 Особливо охоронюваних територій Антарктики (ASPAs) і 7 Особливо керованих районів Антарктики (ASMAs), з яких 6 є спеціальними морськими ASPAs, а 11 ASPAs і 4 ASMAs містять як морське, так і наземне середовище проживання (рис. 1.7). Зовсім нещодавно АНТКОМ прийняв пропозицію Австралії про оголошення двох районів Південного океану вразливими морськими екосистемами (VMEs) і заборону риболовлі у водах АНТКОМ на глибині менше 550 м, щоб захистити придонні місця існування. Риболовля на цих територіях наразі заборонена, доки не буде прийнято рішення щодо відповідної системи управління для цих районів.

Враховуючи швидкі кліматичні зміни, що впливають на регіон, визначення географічних районів з загрозами у Південному океані, які, ймовірно, найбільше постраждають від кліматичних та океанографічних змін, має бути головним

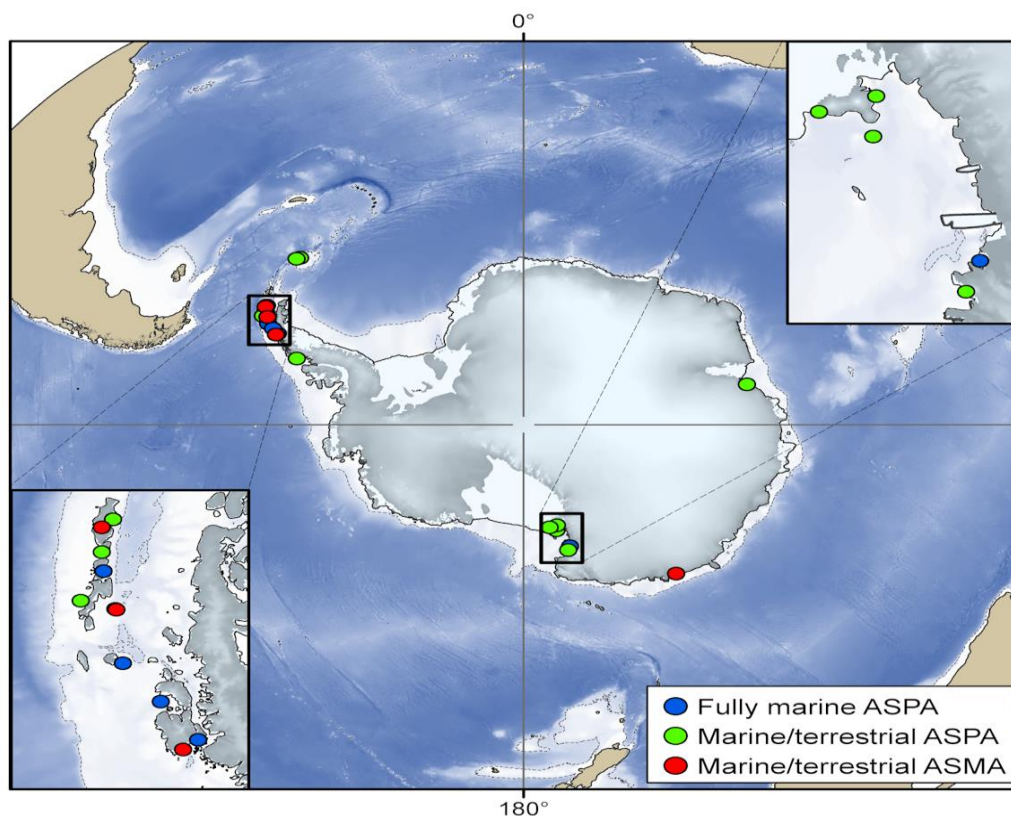


Рисунок 1.7 - Морські заповідники в Антарктиці [5]

пріоритетом, щоб забезпечити найкраще використання матеріальних ресурсів та висвітлити ранні ознаки будь-яких змін [5].

2. МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ

Південний океан грає фундаментальну роль у глобальному кліматі. Не маючи континентальних бар'єрів, він поширює кліматичні сигнали по Тихому, Атлантичному та Індійському океанах через свою швидкоплинну і глибоку домінуючу течію — Антарктичну Циркумполярну течію. Динаміка цієї течії у поєднанні з інтенсивними атмосферними та льодовими умовами робить Південний океан ключовим регіоном для з'єднання поверхневого шару океану із глибинними водами Світового океану. Дослідження глобальної температури океану показують, що Південний океан відіграє важливу роль у глобальному поглинанні та зберіганні тепла океану. За оцінками, з 2006 року 60–90%

глобальної зміни вмісту тепла в океані, пов'язаного із глобальним потеплінням, відбувається у Південному океані [8].

На сучасному етапі розвитку океанології вивчення мінливості в товщі вод Світового океану на часових відрізках від року до десятиліть проводиться з урахуванням цілого спектра різних типів натурних даних, і навіть з допомогою чисельного моделювання океанських процесів. Основний підхід до дослідження довгострокових змін в океані - аналіз даних суднових спостережень, отриманих на розрізах, що повторюються. Інші типи даних (тимчасові ряди, супутникові спостереження, масиви різнорідних даних, поля опосередкованих океанологічних параметрів, дані дрейфуючих буїв), а також результати модельних розрахунків мають суттєві недоліками:

- безперервні часові ряди вимірювань параметрів морської води, отримані у стаціонарних пунктах спостережень (у тому числі на станціях погоди), не дозволяють судити про просторову структуру досліджуваних явищ;

- масиви супутникових даних мають широке просторове покриття акваторії океанів, але не можуть бути використані в дослідженні мінливості циркуляції глибинних вод у масштабі десятиліть, оскільки містять лише інформацію про властивості верхнього шару океану, зібрану протягом останніх десятиліть;

- існуючі масиви різнорідних даних поєднують у собі вимірювання, виконані з різною точністю, і, що не менш важливо, з різною тимчасовою періодичністю, та їх аналіз може призвести до неправильних чи неточних оцінок мінливості структури та циркуляції вод [7];

- поля середніх океанологічних параметрів не підходять для дослідження різномасштабної мінливості океанських процесів, оскільки інтерполяція неоднорідних даних призводить до спотворення та загасання кліматичних сигналів;

- дані, отримані внаслідок одноразових зйомок на океанських розрізах, а також дані дрейфуючих буїв не дозволяють вести об'єктивне дослідження довготривалої мінливості гідрологічної структури та циркуляції вод та можливо

лише на основі даних вимірювань, виконаних з постійною періодичністю одних і тих же географічних координат.

В роботі використовувалась база даних Світового океану (WOD), яка є продуктом NCEI (National Centers for Environmental Information) та IODE (International Oceanographic Data and Information Exchange). Робота цієї бази фінансується в партнерстві з National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) OAR (Oceanic and Atmospheric Research). База даних Світового океану (WOD) являє собою збір океанічних даних, що пройшли наукову перевірку якості.

WOD включає 20 547 різних наборів даних, отриманих та збережених у NCEI. Дані представляють собою результати 216 845 океанографічних рейсів на 8 215 різних платформах з 798 інститутів по всьому світу і 553 окремих проекту. Кількість платформи менше, чим можна очікувати, так як деякі ідентифікатори платформи є загальними (наприклад, профілюючий буй, заякорений буй, дрейфуючий буй), так як список платформи, в основному, які використовуються для пізнання судових органів. Є 3,56 млрд. вимірювання окремих профілів (глибина/тиск в залежності від вимірювання змінної) в WOD. З цих 1,95 мільярда — температура, 1,13 мільярда — солоність, 260 мільйонів — кислород і 4,5 мільйона — планктон. Також ще 22 мільйони метеорологічних спостережень за станом моря. Ці вимірювання складають 15,7 мільйона океанографічних відгуків у WOD.

База даних Світового океану (WOD) поширюється через архів NCEI (National Centers for Environmental Information) <https://catalog.data.gov/dataset/ncei-standard-product-world-ocean-database-wod> саме ці дані використовувались для роботи над дипломом.

Проаналізував бази контактних вимірів для окремих районів Південного океану, які були необхідні для роботи, з'ясувалося що найбільша кількість вимірів, висока точність даних, а також великі й безперервні ряди спостережень

знаходиться у базах даних CTD (Conductivity-Temperature-Depth data), та набор даних SUR (Surface only data).

Інструмент профілю Conductivity-Temperature-Depth (CTD) вимірює температуру, солоність і тиск з високою роздільною здатністю по вертикалі на глибині до 10 000 м. Фундаментальні фізичні співвідношення між температурою (солоністю тощо) та електромагнітними властивостями морської води використовуються для розробки датчиків CTD і відповідних алгоритмів перетворення. Частота дискретизації датчиків CTD – до 24 Гц для SBE 911plus (Sea-Bird Scientific; SBE 911plus CTD) – є важливим фактором, який визначає здатність CTD здійснювати «безперервні» вимірювання. Район дослідження та координати для якого були отримані дані представлені на рисунку 2.1.

Інструмент профілю SUR (Surface only data) включає лише вибрані набори поверхневих даних, які містили дані з конкретного періоду часу та океанських зон, які інакше не були добре охоплені даними профілю.

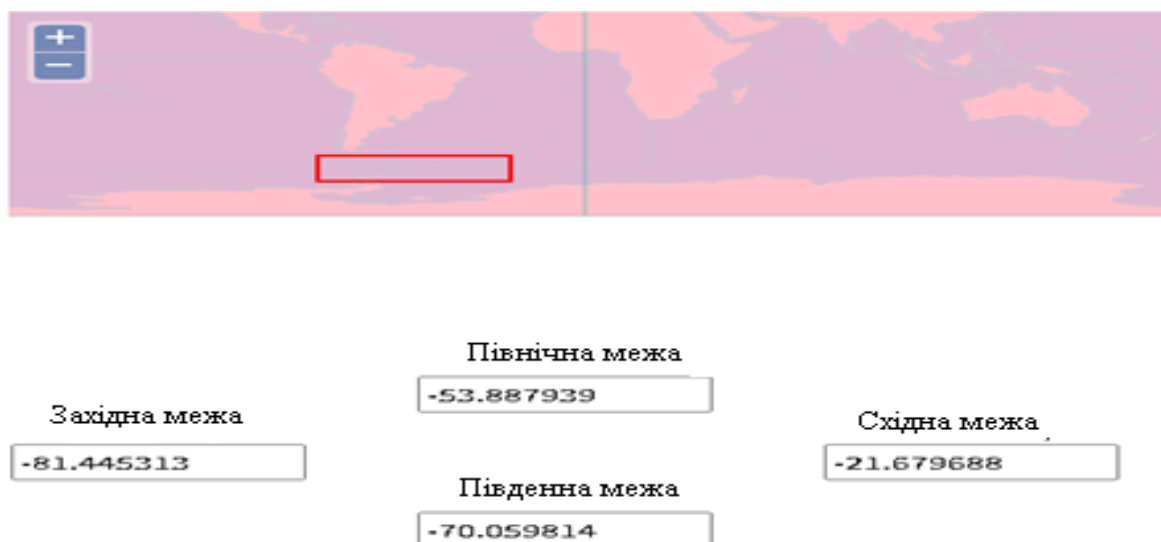


Рисунок 2.1 - Район інвентаризації даних

База даних CTD по району дослідження включає в себе дані 7800 профілів температури й солоності в періоді 1980 – 2021 рр. осередненні дані за яким будувався аналіз надані.

В роботі над збором вихідних даних також використовувалась створена у 2011 році Система спостережень за Південним океаном SOOS (The Southern

Ocean Observing System), яка є - спільною ініціативою Наукового комітету з дослідження Антарктики та Наукового комітету з океанологічних досліджень. Ця ініціатива сприяє збору найважливіших результатів фізичних, хімічних та біологічних океанографічних спостережень у Південному океані. Регіональні мережі для спостережної діяльності, що функціонують у межах Системи спостережень за Південним океаном сприяють обміну інформацією, передачі технологій, стандартизації вимірювань та спільному користуванню даними <https://soos.aq/data/metadata-portal>. На цьому порталі були замовлені середньо багаторічні дані по глибині (нормальні) температури та солоності.

Дані з платформи SOOS отримані в результаті зйомок рейсів судна «Академик Трешников» , під керівництвом головного наукового співробітника Девіда Уолтона (20.12.2017 – 19.03.2019).

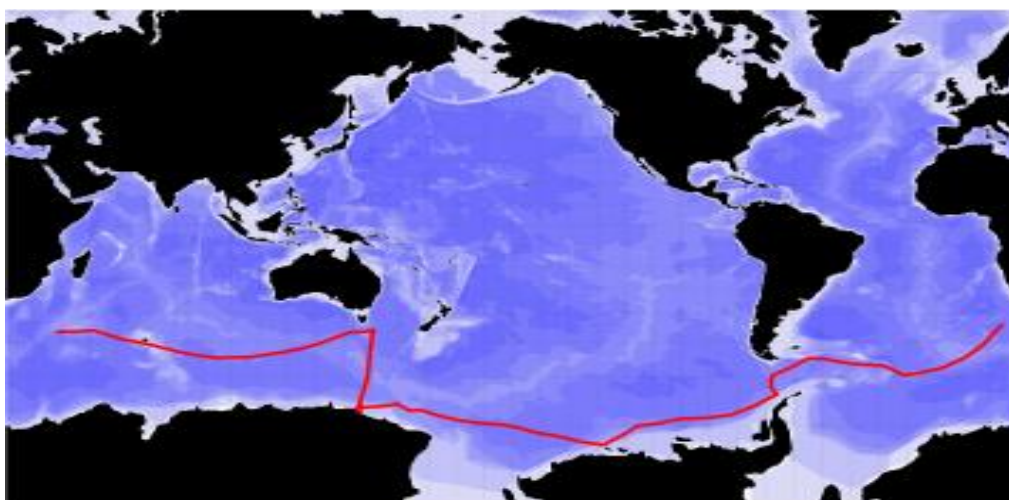


Рисунок 2.2 – Гідрографічний рейс (20.12.2017 – 19.03.2019)

Динаміка середньомісячної температури води та солоності спостерігалась та аналізувалась завдяки широкому спектру продуктів, які створюють у Морській службі програми "Copernicus" (координатор і керівник – Європейська комісія у партнерстві з Європейським космічним агентством (ЄКА), державами-членами ЄС та агенціями ЄС) та які є відкритими для доступу за головною адресою - copernicus.eu .

Розглянуто продукти, отримані за результатами чисельно-модельних розрахунків і супутникових спостережень, із зазначенням просторових і часових характеристик для району дослідження (рис.2.3.). У наступних розділах буде наведено приклади візуалізації фізичного аналізу окремих регіонів Південного океану.

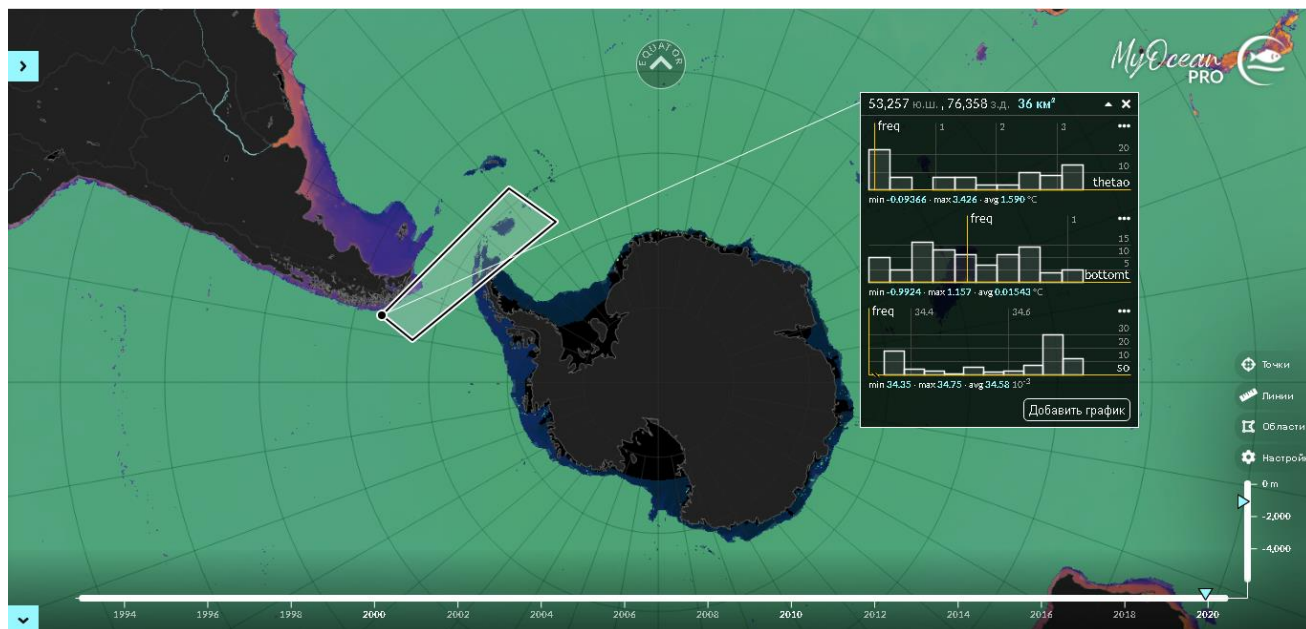


Рис.2.3 – Район дослідження та приклад візуалізації даних за просторовими та часовими характеристиками

Дослідження вертикальної структури вод є одним із важливих завдань фізичної океанографії. Аналіз властивостей основних елементів структури, наприклад, таких як верхній квазіоднорідний шар і шар стрибка дає можливість судити про умови накопичення і віддачі тепла, процеси льодоутворення, особливості циркуляції вод, характеристики водних мас, межі їх розділу. Тому вивчення вертикальної будови вод вимагає до себе підвищеної уваги.

Для будування графіків вертикального розподілу температури та солоності, графіків TS – аналізу, окрім розповсюджених графічних програм, була задіяна програма ODV (Ocean Data View) . ODV – це вільно доступний інструмент для роботи з океанографічними даними. Він має дуже наочний інтерфейс і безліч вбудованих функцій для розрахунку загальних параметрів і

візуалізації даних у декількох корисних форматах. Програма доступна для побудови розрізів (інтерпольовані контурні графіки) і побудови графіків поверхонь (де поверхня відноситься до будь-якої із поверхні, а не до «поверхні океану», для цього може бути задана певна глибина або щільність пізніше, а також поверхня океану), яка доступна в Інтернеті для некомерційного використання за адресою: <https://odv.awi.de/software/download/>.

3. МІНЛИВІСТЬ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ОКЕАНУ

3.1 Температурний режим

Гідрологічні умови Південного океану формуються під впливом його географічного положення, своєрідних зв'язків з прилеглими водами інших океанів на півночі, безперервності кільця антарктичних вод, особливостей атмосферної циркуляції, сусідства покритого потужним крижаним панциром материка Антарктида.

Для Південного океану характерні невисокі температури поверхневих вод, їх зональний розподіл і порівняно невеликі зміни в зимовий і літній час.

Взимку в самих південних районах океану вода дорівнює - 1,8 - 1,9 °С, на північ її значення підвищуються. Нульова ізотерма проходить між 60 і 55 ° пд. ш. Від 55 до 50 ° пд. ш. Температура води на поверхні досягає - 1,5 ° С, а у північних кордонів океану до 10-12 ° С.

У літню пору біля берегів Антарктиди температура поверхні вод має значення від - 1 до 0,5 °С, нульова температура спостерігається в межах 65-62 ° ю. ш. ; близько 60-55 ° ю. ш. вона підвищується до 10-15 ° С відповідно. Температура води змінюється з глибиною, але її величина неоднакова на одних самих горизонтах і в різних районах океану. У Антарктичного узбережжя величини поверхневої температури води зберігаються до горизонтів 25-50 м,

звідки до глибини 100 м вони знижуються до $-1,9^{\circ}\text{C}$. Далі до глибини 600 м вона змінюється незначно, потім до глибини 1000-1200 м вона повільно знижується, до самого дна температура знижується до 1°C [2].

У першій «Оцінці стану Світового океану», що вийшла в 2015 році під егідою Організації Об'єднаних Націй зазначено, що у більшості регіонів планети динаміка зміни океанічних температур із усередненням по глибині період 1971-2010 років була позитивною (тобто спостерігалось потепління). Потепління більш очевидне у Північній півкулі, особливо у північній частині Атлантики, однак, сильно варіюється в залежності від географічного району. Динаміка зміни температури верхніх шарів із зональним усередненням вказує на потепління майже на всіх широтах та глибинах. Водночас, оскільки в Південній півкулі обсяг океанічних вод більший, їх потепління робить більший внесок у тепломістку Світового океану в цілому.

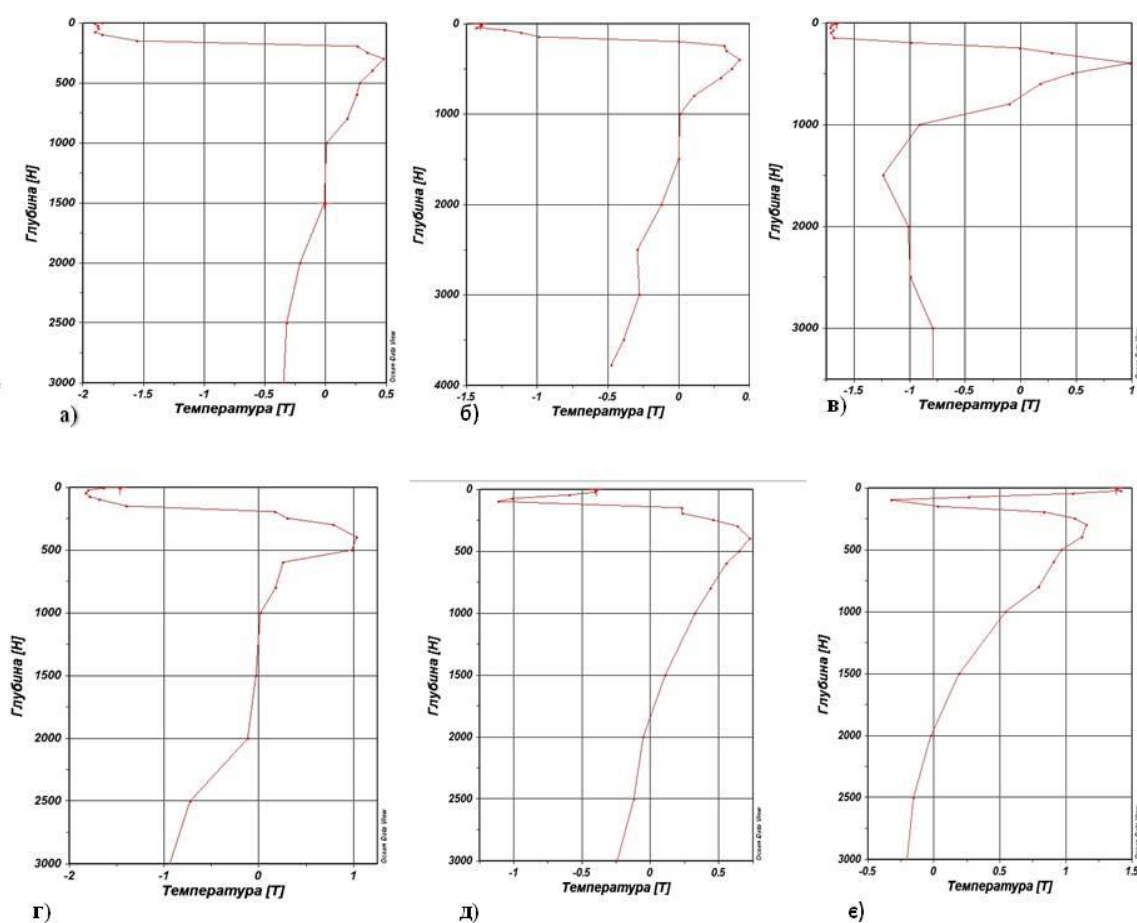


Рисунок 3.1- Вертикальні профілі температури води по роках
(а – 1980 р., б – 1985 р., в – 1992 р., г – 2005р., д – 2013р., е – 2021 р.)

На рис. 3.1 показані вертикальні профілі температури води по квадрату дослідження, відміченому у другому розділі для обраних років. Кожен наданий на окремому полі, задля більш детального опису.

За допомогою графічного представлення можна виділити основні елементи вертикальної будови вод: товщини верхнього квазіоднорідного шару, а також розрахувати градієнти, вертикального розвитку та глибини залягання шару стрибка.

На рис.3.2 показані всі вертикальні профілі на одному полі для.

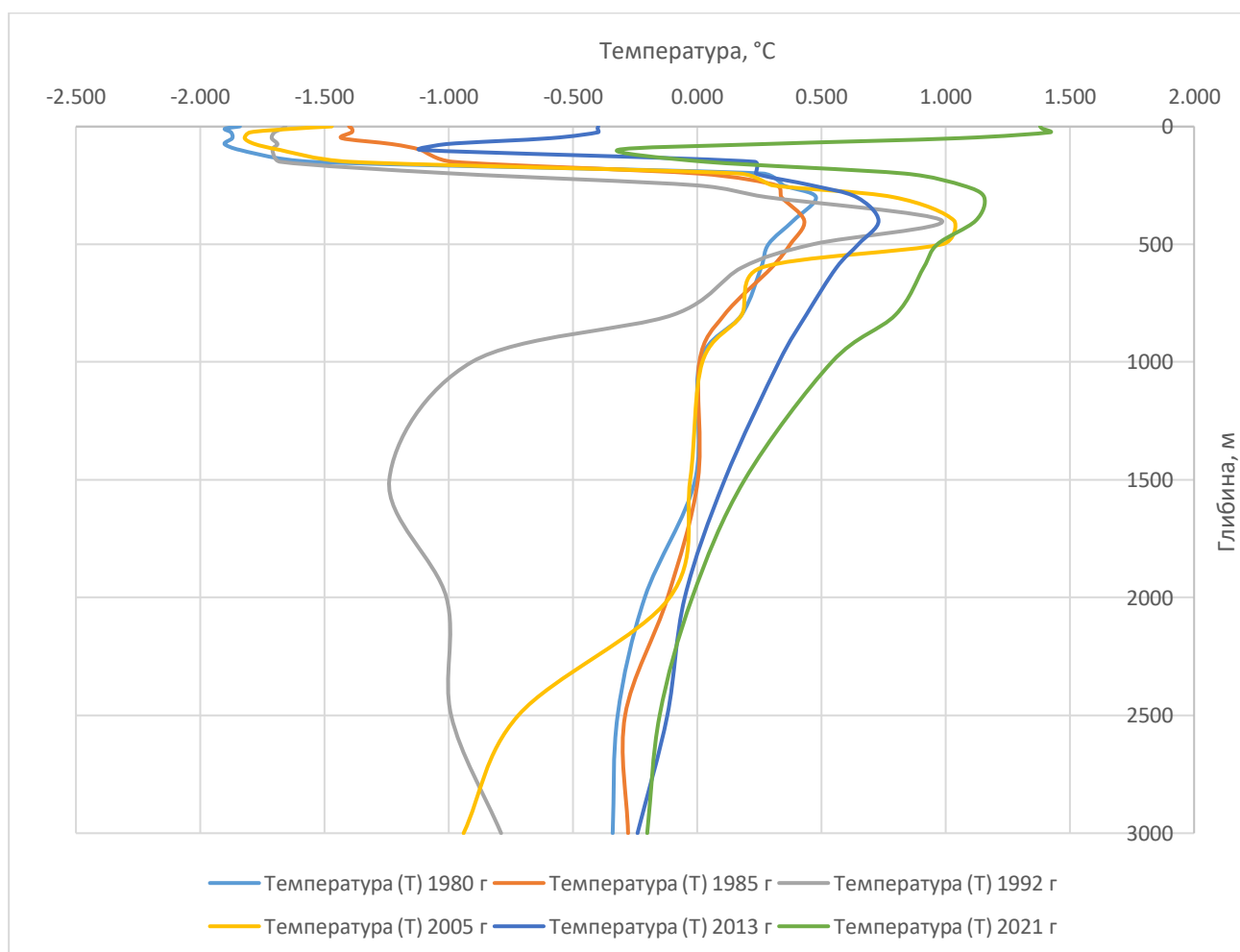


Рисунок 3.2 – Криві вертикального розповсюдження температури води

Для Південного океану характерні невисокі температури поверхневих вод, їх зональний розподіл та порівняно невеликі зміни у зимовий та літній час [1].

Взимку в найпівденніших районах океану вона дорівнює $-1,8-1,9$ °С, на північ її значення підвищуються. Нульова ізотерма проходить між 60 і 55° пд. ш. Від 55 до 50° пд. ш. температура води лежить на поверхні досягає $1,5$ °С, а біля північних кордонів океану до $10-12$ °С.

Влітку біля берегів Антарктиди температура поверхневих вод має значення від -1 до $0,5$ °С, нульова температура спостерігається в межах $65-62^{\circ}$ пд. ш.; близько $60-55^{\circ}$ пд. ш. вона підвищується до $10-15$ °С відповідно. Температура води змінюється з глибиною, але зміна не рівномірно на одних і тих же горизонтах та в різних районах океану. Біля Антарктичного узбережжя величини поверхневої температури води зберігаються до горизонтів $25-50$ м, звідки до глибини 100 м вони знижуються до $-1,9$ °С. Далі до глибини 600 м вона змінюється незначно, потім до глибини $1000-1200$ м вона повільно знижується, до дна температура знижується до 1 °С.

Особливості вертикального розподілу температури за глибиною середніх річних умов. На рис 3.2 наводиться загальний графік, на яких представлено 6 кривих за всі періоди, що досліджуються. Як і слід очікувати, максимальні значення спостерігаються в поверхневому шарі, причому в міру віддалення від берега температура знижується. Розподіл температури носить переважно зональний характер, причому у напрямку на південь вертикальний розподіл температури стає дедалі гладкішим, а градієнти її як у вертикалі, і по горизонталі швидко зменшуються.

На графіці за 1980 та 1985 рр., ми спостерігаємо початок відліку від мінімальних температур за всі графіки. Так само початок у 1992 і 2005 також з одних з найменших значеннях на поверхні. За 2013 та 2021 ми бачимо різке підвищення температур на поверхні.

На всіх графіках, крім 2021 видно максимальне значення температури на глибині 500 м.

У 2021 році максимум спостерігається на поверхні. У 1992 року ми можемо спостерігати дуже різке зменшення температури, всіх глибинах .

Найбільше відхилення за роками ми можемо спостерігати 1992 р. На горизонті 1500 м відхилення від середньої багаторічної норми становить 2,019 °С .

Доступно мало даних за 1940-і роки, що пояснює великі смуги помилок, пов'язані з профілями 1990-х – мінус 1940-і роки. Профілі показують, що океан Південної півкулі поступово нагрівався в період між 1930-ми та 1990-ми роками, також можливо зробити висновок, що потепління посилюється біля поверхні. Порівняння вимірювань температури, отриманих наприкінці двадцятого або початку двадцять першого століття, з температурними записами попередніх десятиліть однозначно: Південний океан у межах і на північ від Антарктичної циркумполярної течії прогрівся на всіх глибинах у верхніх 2000 м (рис3.3) [8,9].

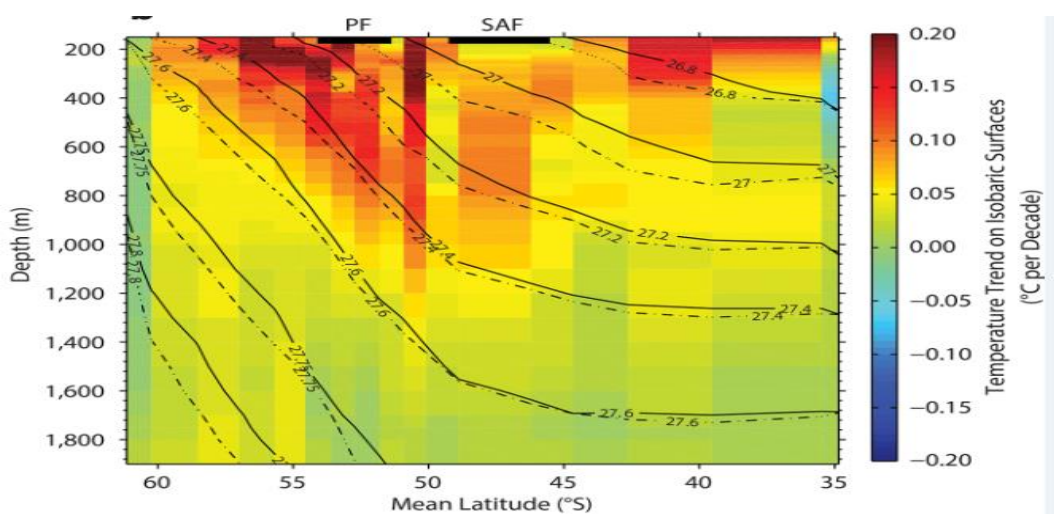


Рисунок 3.3 - Середньодекадні тренди потенційної температури, усереднені на ізобаричних поверхнях (чорні контури - міграція ізопікнічних поверхонь за останні чотири десятиліття, штрихові - потенційні щільності) [8].

На рис. 3.4 показані середні відмінності між еталонними профілями температури 1990-х років та профілями, зібраними протягом усього історичного запису.

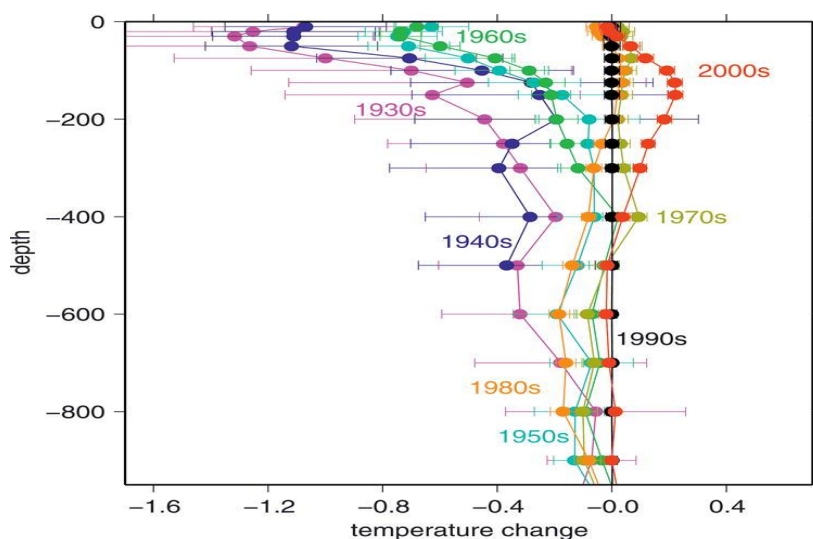


Рисунок 3.4 – Вертикальні профілі температур відсортовані за десятиліттями [8].

Таблиця 3.1 -Відхилення температури води від нормального (показник осереднений за багаторічний період до 1970 р)

Глибина	1980 р.	1985 р.	1992 р.	2005 р.	2013 р.	2021 р.
0	0,33	-0,121	0,147	-0,04	-1,112	-2,89
10	0,421	-0,091	0,19	0,149	-1,079	-2,87
25	0,356	-0,09	0,181	0,278	-1,121	-2,941
50	0,371	-0,07	0,212	0,321	-0,91	-2,554
75	0,452	-0,339	0,239	0,33	-0,441	-1,715
100	0,41	-0,319	0,279	0,248	-0,32	-1,11
150	0,502	-1,053	0,628	0,348	-1,281	-1,083
200	-0,863	-0,603	0,381	-0,768	-0,837	-1,434
250	-0,646	-0,639	-0,295	-0,603	-0,76	-1,367
300	0,192	0,331	0,391	-0,119	0,029	-0,485
400	0,533	0,545	-0,065	-0,114	0,19	-0,201
500	0,763	0,675	0,583	0,063	0,401	0,083
600	0,853	1,101	0,932	0,853	0,55	0,199
1000	1,009	1,011	1,927	0,999	0,691	0,478
1500	0,788	0,899	2,019	0,808	0,669	0,589
2000	1,111	1,019	1,909	1,011	0,95	0,92

Найбільші відхилення за роками надані в таблиці 3.2, також по глибинам зібрані у таблиці 3.3.

Таблиця 3.2 Максимальні відхилення температури води часовими даними

Рік	1980 р	1985 р	1992 р	2005 р	2013 р	2021 р
Відхилення, °С	1,111	1,101	2,019	1,011	0,95	0,92

Таблиця 3.3 -Найбільше відхилення по горизонтах:

Глибина	Макс відхил	Рік
0	-2,89	2021
10	-2,87	2021
25	-2,941	2021
50	-2,554	2021
75	-1,715	2021
100	-1,11	2021
150	-1,281	2013
200	-1,434	2021
250	-1,367	2021
300	-0,485	2021
400	0,585	1985
500	0,763	1980
600	1,101	1985
1000	1,927	1992
1500	2,019	1992
2000	1,909	1980

Як видно з останньої таблиці в 2021 році були відхилення від середньо-багаторічних значень найістотніші, при тому у верхньому 300 метровому шарі, зі знаком мінус, що дає нам можливість припустити, що йде охолодження поверхневого та підповерхневого шару за рахунок можливого танення льодовиків, або інших процесів пов'язаних із глобальною циркуляцією.

3.2 Режим солоності вод

На переважній частині океану менше середньої солоності Світового океану і дорівнює 34-34,2‰. Лише в межах самих північних околиць вона збільшується до 34,8-35‰. У розподілі величини солоності на поверхні добре виражена зональність. Збільшення солоності відбувається з півдня на північ. Порівняно незначні сезонні вимірювання поверхневої солоності чітко виражені в водах, близьких до берегів, де відбувається утворення і танення льоду. Взимку тут солоність трохи підвищена і досягає 34,4‰, що пояснюється осолонення води при льодоутворенні. Влітку внаслідок танення льоду в примежевої зоні солоність зменшується до 33,8‰. У цей сезон тут утворюється тонка плівка розпріснених і прогрітих вод. При відсутності сильних вітрів вона утримується довго, не змішуючись з підстильної її солоною і холодною водою. У цьому найхарактерніша особливість льодовитих районів Південного океану.

Солоність змінюється з глибиною. У зимовий час в приматерикових водах зміна солоності поверхневих вод до глибини 100 м непомітне і досягає 34‰. Глибше солоність збільшується і у дна становить 34,7‰. У центральних районах солоність на поверхні 34,6‰. Такі величини солоності спостерігаються до глибини 50 м, а на дно вони поступово збільшуються. На північних околицях океану поверхнева солоність близька до 35‰, а глибше відбувається її зниження, що досягає 34,2‰. Влітку при таненні льодів солоність на поверхні зменшується до 33-33,5‰. Розпріснення захоплює шар 25-50 м, звідси солоність поступово збільшується з глибиною до самого дна, де вона має такі ж значення, як і взимку[11].

Поряд із широкомасштабним потеплінням океану відбуваються також зміни у солоності океану. Варіативність показників солоності океану повсюди у світі обумовлена відмінностями у співвідношенні припливу прісної води (з річок та від танення льодовиків та полярного льодового покриву), опадів та випаровування вологи, на які впливають природні кліматичні явища, а також зміна клімату.

На рис. 3.5 показані вертикальні профілі солоності води по квадрату дослідження відміченому у другому розділі для обраних років

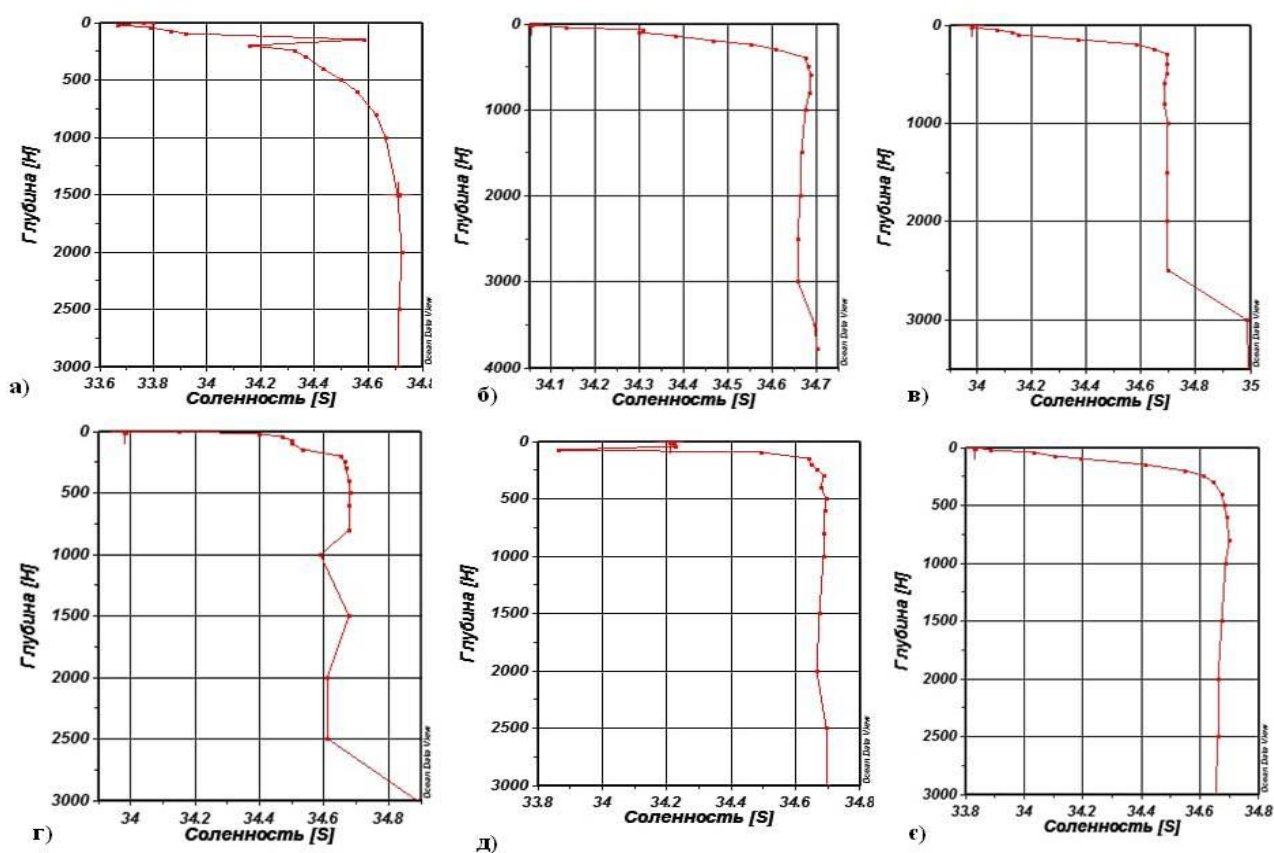


Рисунок 3.5 - Вертикальні профілі солоності води

(а – 1980 р., б – 1985 р., в – 1992 р., г – 2005р., д – 2013р., е – 2021 р.)

За для зрівняння також розмістили всі криві на одній площині та надали їх на рис. 3.6.

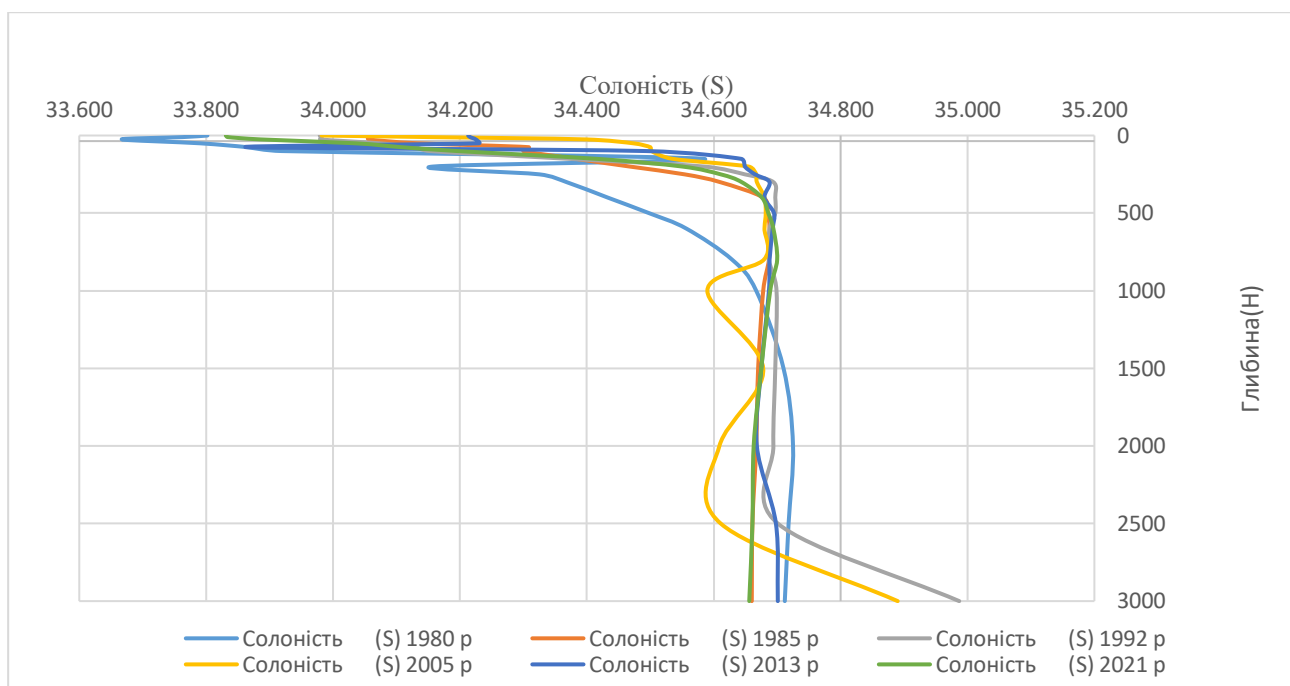


Рисунок 3.6. – Профілі солоності 1980-2021

Діапазон солоності регіону дослідження в цілому варіюється в межах 33 - 36%. Відповідно, якщо говорити про середню солоність регіону, то вона наближена до середньої солоності Світового океану і становить близько 35%. Цифра коливається залежно від відомих факторів, таких як – приплив прісної води, кількість опадів та інтенсивність випаровування, на що в свою чергу впливають різні природні явища та, звичайно, зміна клімату.

Більш складним є вертикальний розподіл солоності. Максимальні її значення відзначаються в поверхневому шарі, але на крайньому південному сході і обумовлені холодними розпресненими водами, що рухаються на північ. Найменші значення солоності (33%) відзначаються в центральне частини. Низька солоність води у зазначених районах пов'язана з великою кількістю опадів, що поблизу узбереж перевищують 3000 мм на рік.

Слід зазначити наявність добре вираженого збільшення нижче за глибину в 100 м, що, очевидно, пов'язане з проникненням у ці шари проміжних субтропічних вод. Сезонні відмінності у розподілі солоності навіть у верхньому шарі океану невеликі.

При детальному розгляді графіків за обробленими даними, можемо зробити деякі висновки. По кривій вертикального розподілу за 1980 рік - ми спостерігаємо низьку, не характерну солоність на поверхні зі зниженням до 100 м, із відносною стаціонарністю до 50м. Галоклін спостерігається в шарі 150 - 200 м, з горизонтальною різницею - 0,665 ‰. Нижче 200 м спостерігається поступове стабільне збільшення солоності, з горизонтальною різницею 0,91 ‰.

За даними за 1985 рік солоність поверхневого шару вище, якщо порівнювати з 1980 роком. Стаціонарність розподіл відзначається в шарі всього до 25 м, галоклін простежується вище, починаючи з 75 м. Горизонтальна різниця в цілому склала трохи більше 0,5 ‰.

Схожу ситуацію ми спостерігаємо і на кривій за даними за 1992 р. порівняно з 1985 р. Спостерігаються високі значення солоності на великих глибинах, але вже з горизонтальною різницею вже близько 1‰.

У 2005 році, характеризується найбільшою стабільністю, зі свідченнями досить наближеними до середніх, ніж попередні. Але так само зі збільшенням солоності до глибини 2000м.

Криві 2013 та 2021 рр. схожі за своїми даними, відрізняються поверхневим розподілом, що пов'язано з географічним розташуванням. Горизонтальна різниця склала відповідно 0,5 та 0,8 ‰.

В наукових публікаціях останніх років [8,9,12] передбачається, що тренди солоності, що спостерігаються, з 1958 по 2008 рр. є лише частиною тривалішого циклу але приблизні повторні розрізи з 20-річними інтервалами показують сильне опріснення на більшості рівнів (рис.3.6).

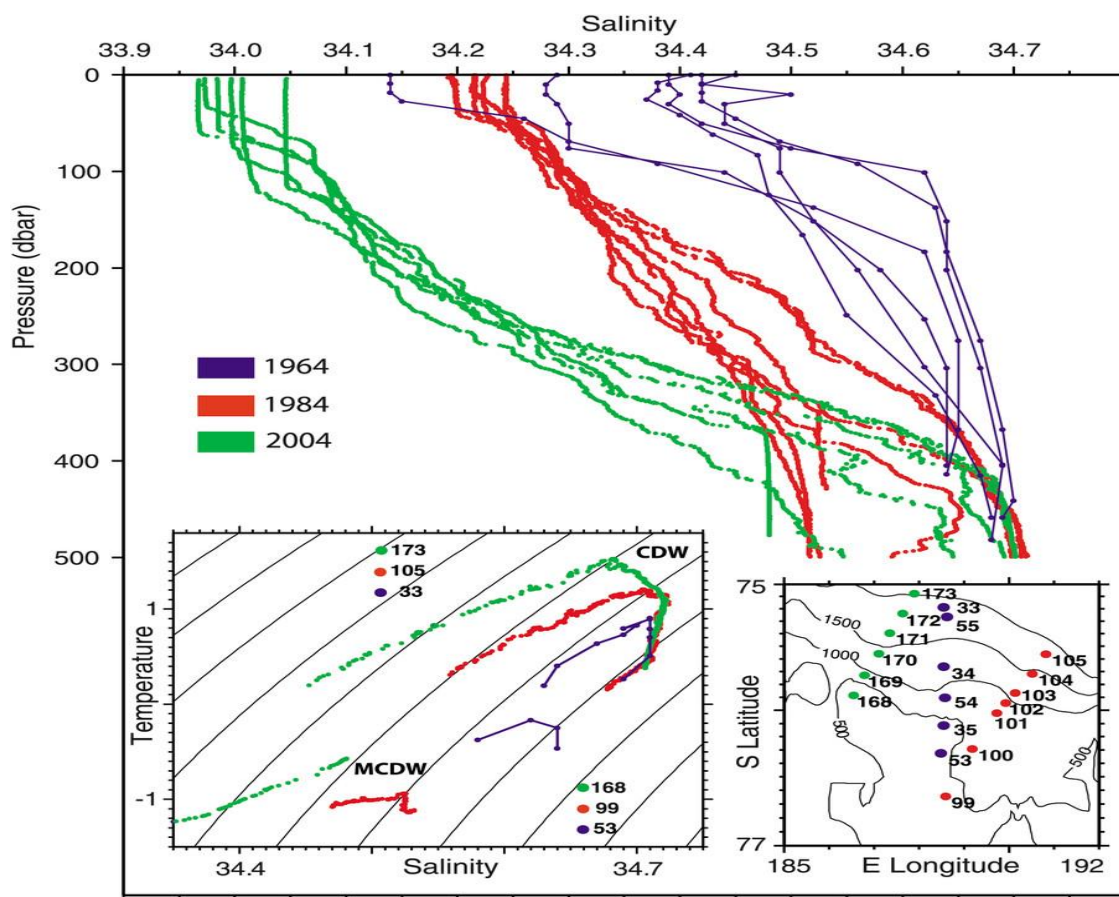


Рисунок 3.6- Профілі солоності з 20-річним інтервалом [12].

Зменшення солоності вод призвело до зниження їх щільності, що, у свою чергу, призводить до зниження солоності та щільності глибинних та придонних вод. Імовірно, згідно з гіпотезою змішування, зростання переважання опріснення може призвести до нездатності підтримувати колишню щільність новостворених придонних вод. До того ж пов'язана з цим температура води може підвищитися пропорційно до підвищення температури замерзання поверхні моря, яке повинно супроводжуватися зниженням солоності. Що дозволяє в свою чергу стверджувати, що очікується подальше зниження солоності вод Південного океану.

Таблиця 3.4 Відхилення солоності води від нормального (показник осереднений за багаторічний період до 1970 р)

Глибина	1980 р.	1985 р.	1992 р.	2005 р.	2013 р.	2021 р.
0	0,3	0,049	0,123	0,12	-0,111	0,271
10	0,336	0,044	0,117	-0,054	-0,117	0,265
25	0,335	-0,054	0,022	-0,396	-0,223	0,116
50	0,19	-0,153	-0,093	-0,493	-0,25	-0,055
75	0,187	-0,256	-0,078	-0,448	0,187	-0,056
100	0,317	-0,064	0,084	-0,266	-0,257	0,04
150	-0,594	-0,392	-0,381	-0,545	-0,653	-0,425
200	-0,007	-0,318	-0,435	-0,505	-0,499	-0,401
250	-0,087	-0,316	-0,411	-0,429	-0,427	-0,373
300	0,112	-0,13	-0,214	-0,188	-0,208	-0,164
400	0,092	-0,153	-0,172	-0,155	-0,155	-0,151
500	0,05	-0,137	-0,149	-0,134	-0,147	-0,138
600	0,053	-0,078	-0,078	-0,07	-0,083	-0,084
1000	0,023	0,012	-0,009	0,1	0,003	0,001
1500	0,005	0,045	0,018	0,037	0,04	0,04
2000	-0,015	0,043	0,016	0,101	0,042	0,047

Найбільше відхилення за тимчасовими періодами ми можемо спостерігати в 1980 р. На горизонті 10 м = 0,336%.

Таблиця 3.5 Максимальні відхилення за роками

1980 р	1985 р	1992 р	2005 р	2013 р	2021 р	2021 р
0,336	0,336	0,049	0,123	0,12	0,187	0,271

Таблиця 3.6 - Максимальні відхилення по горизонтах

Глибина	Макс відхил	Дата
0	0,3	1980
10	0,336	1980
25	-0,396	2005
50	-0,493	2005
75	-0,448	2005
100	0,317	1980
150	-0,653	2013
200	-0,505	2005
250	-0,429	2005
300	-0,214	1992
400	-0,155	2005,2013
500	-0,149	1992
600	0,053	1980
1000	0,1	2005
1500	0,045	1985
2000	0,101	2005

З таблиці ми можемо бачити, що у 1980 та 2005 роках зміни спостерігалися досить значні. На горизонтах нижче 25 м у більшості років спостерігається зменшення солоності. У наступному розділі буде надаватися TS-аналіз, на основі якого можливо буде робити більш детальні висновки.

3.3 Вертикальна структура і водні маси Південного океану

Південний океан відрізняється від інших океанів специфічною вертикальною структурою, яка має назву – антарктична структура. Термохалінна стратифікація тут виражена слабо, а змінення щільності з глибиною невелике. Проте окремі шари води все ж відрізняються за своїми характеристиками завдяки різним процесам їх формування. Згідно з [2,11] було визначено, що Південному океану властиві наступні структурні зони, яким відповідають такі водні маси: поверхнева, холодна підповерхнева, глибинна верхня, глибинна нижня, донна. Описати їх можна наступним чином.

Поверхнева вода. Поверхнева водна маса має зимову і літню модифікації. У зимовий сезон тривале охолодження і осолонення внаслідок інтенсивного льодоутворення створюють сприятливі умови для глибокої конвекції, яка в Південному океані досягає 200 м. В шарі конвекції формується зимова модифікація поверхневої вода. Температура цієї води змінюється по акваторії океану від -1°C поблизу його північного кордону до $-1,9^{\circ}\text{C}$ в найпівденнішій частині, де проходить процес льодоутворення. Солоність води змінюється від 34,0 до 34,6 % відповідно.

Влітку відбувається прогрівання верхнього шару води, танення льодів і опрісненню цього верхнього шару. Знижена (до 33,8 %) солоність створює значну вертикальну стійкість на кордоні розпрісненого шару, яка перешкоджає перемішуванню його з нижче лежачою водою. Товщина річного прогріву неоднакова, вона змінюється від 100-120 м поблизу північного кордону до 40 м на крайньому півдні, але повсюдно в межах Південного океану залишається менше глибини зимової конвекції. Температура води в верхньому шарі влітку підвищується до $4-5^{\circ}\text{C}$ на півночі океану і до $-1,5^{\circ}\text{C}$ на півдні біля берегів Антарктиди. Нижче цього шару зберігається більше холодна прошарок.

Поверхнева антарктична вода переміщається плином Західних вітрів на схід, але завдяки відхиляючої силі обертання Землі це переміщення має і північну складову. На деякій широті щільність поверхневої антарктичної води

виявляється більше щільності більш теплих субантарктичних вод, тому далі ця вода вже не може поширюватися по поверхні і опускається вниз, змішуючись про субантарктичними водами. В результаті змішування утворюється нова водна маса, яка відповідно до її щільністю займає проміжний шар. Ця водна маса, що отримала назву *субантарктичний проміжної води*, поширюється (як уже було показано) далеко на північ в Атлантичному, Індійському і Тихому океанах.

Зона змішування вод - антарктична конвергенція - збігається зі стрижнем течії Західних вітрів. Хоча в цій зоні відбувається занурення поверхневої антарктичної води, постійне надходження цієї води з півдня підтримує в зоні конвергенції значні горизонтальні градієнти гідрологічних характеристик, особливо температури води, тобто зона конвергенції є фронтальною зоною (південний полярний фронт), що відокремлює антарктичну зону від субантарктичний [13].

Підповерхнева вода. Холодний прошарок, що зберігається в літній сезон як залишок зимового охолодження є підповерхнева водна маса. Її характеристики залишаються тими ж, що і характеристики усього шару конвекції в зимовий сезон. Зрозуміло що, на верхній і нижній межах підповерхневого шару вони дещо змінюються внаслідок перемішування з поверхневою і підстильною водою, але в ядрі шару залишаються майже незмінними. Глибина залягання ядра неоднакова, вона збільшується з півдня на північ від 75 до 200, а місцями до 300 м.

Глибинні води. Холодний підповерхневий шар в Південному океані стелить глибинною водою, яка складається з двох шарів. Верхній шар цієї води має максимум солоності і максимум температури, нижній – тільки максимум солоності. Надходять ці води з півночі, а в Індоокеанському і Тихоокеанському секторах переносяться із заходу. У межах Південного океану глибинні води піднімаються до поверхні. Особливо помітний цей підйом поблизу зони антарктичної дивергенції, де вертикальні складові швидкості спрямовані вгору. Нижня межа верхньої глибинної води змінюється з півночі на південь від 1750 до 1000 м, а ядро - від 1000 до 500- 300 м. Температура верхньої глибинної води

від $-0,5$ до $3,1$ ° C, солоність 34,3-34,4 %. Іноді цю воду називають теплою проміжною водою.

Нижня межа нижньої глибинної води піднімається з півночі на південь від 4000 до 1500 м. Температура її нижче температури верхньої глибинної води, а солоність вище і досягає 34,66-34,68 %.

Донна вода. Найбільш щільна в Світовому океані вода, яка займає придонний шар нижче 4000 м, утворюється в Південному океані. Основним з районів її формування є море Уеддела, яке володіє широким шельфом. Зовнішній край шельфу поступово переходить в материковий схил, що опускається до океанічного ложа Африкансько-Антарктичної улоговини. Центральна велика частина улоговини має глибину більше 5000 м.

У зимовий сезон на шельфі моря Уеддела утворюється вода високої щільності завдяки низькій температурі і досить високій солоністі. Інтенсивне льодоутворення призводить до того, що солоність води підвищується до 34,62 %, а температура опускається до $-1,9$ ° C. Тільки після цього вода набуває таку щільність (більше 27,87 ум. од.), що може опускатися про шельфу по схилу в більш глибокі шари. Поблизу материкового схилу вона змішується з глибинною водою, температура якої близько $+0,5$ ° C, а солоність 34,68 %.

В результаті змішування утворюється вода з температурою близько $-0,9$ ° C і солоністю 34,65 %. Ця вода має щільність більшу, ніж щільність глибинної води, і опускається в придонний шар. Далі вона поширюється на північ і на схід і заповнює придонний шар в трьох океанах; Атлантичному, Індійському і Тихому. Тільки в Північний Льодовитий океан, який огорожений високими порогами, антарктична донна вода не потрапляє.

Як було зазначено, Південний океан грає важливу роль у поглинанні надлишкового тепла через його унікальну схему циркуляції. Південний океан забезпечує основні зв'язки між основними океанськими басейнами світу та між глибшими та верхніми шарами глобальної циркуляції океану. На рис представлена схема, що показує тренди температури в різних шарах, шари визначаються як основні водні маси Південного океану. Чорні стрілки показують

основні шляхи перекидання в басейні, а пунктирні чорні контури показують вертикальний зріз Антарктичної циркумполярної течії, що глибоко йде, циркулює за годинниковою стрілкою навколо антарктичного континенту. Червоні стрілки та пов'язані з ними числа є процесами, що відіграють роль у потеплінні Південного океану, і обговорюються в тексті: (1) посилення поверхневої стратифікації (2) посилення поглинання тепла в субполярних басейнах, (3) підвищений перенесення тепла на північ, пов'язаний з підвищеним субполярним поглинанням тепла (рис. 3.7).

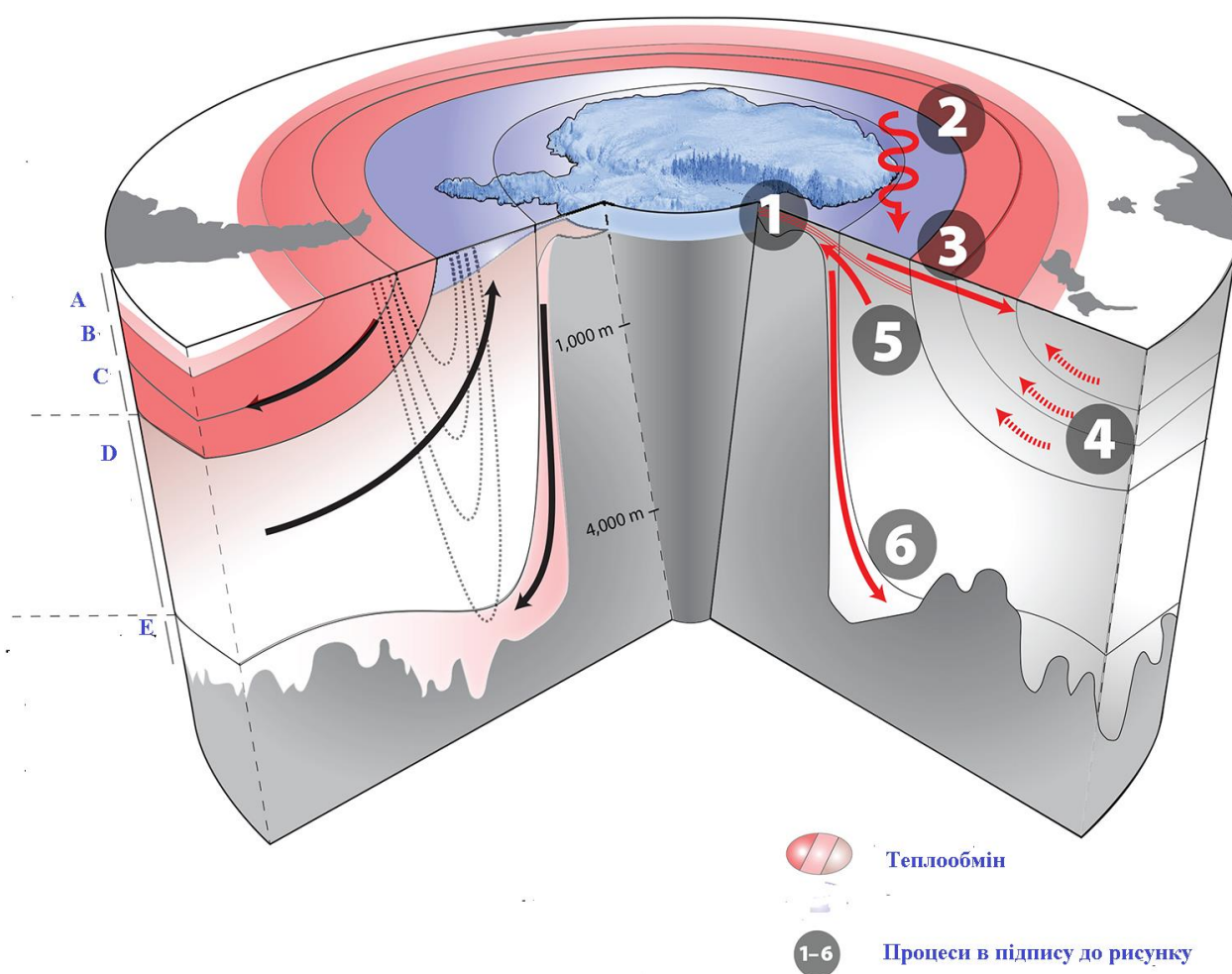


Рисунок 3.7 – Схема розповсюдження водних мас Південного океану з відзначеними температурними трендами по шарах (А – поверхова, В – проміжна, С – підповерхова, D – глибинна, E – донна водна маса) [8].

Робота у цьому розділі побудована за принципом переходу від аналізу загальної структури та мінливості великомасштабних полів до детальнішого їх розгляду у вибраному районі за окремими періодами, де проводилися спеціалізовані спостереження. У розділах 3.1 і 3.2 розглядалися характеристики температури та солоності та їх розподіл з глибиною. В цьому ж використовуємо TS аналіз кожного конкретного року (рис. 3.8).

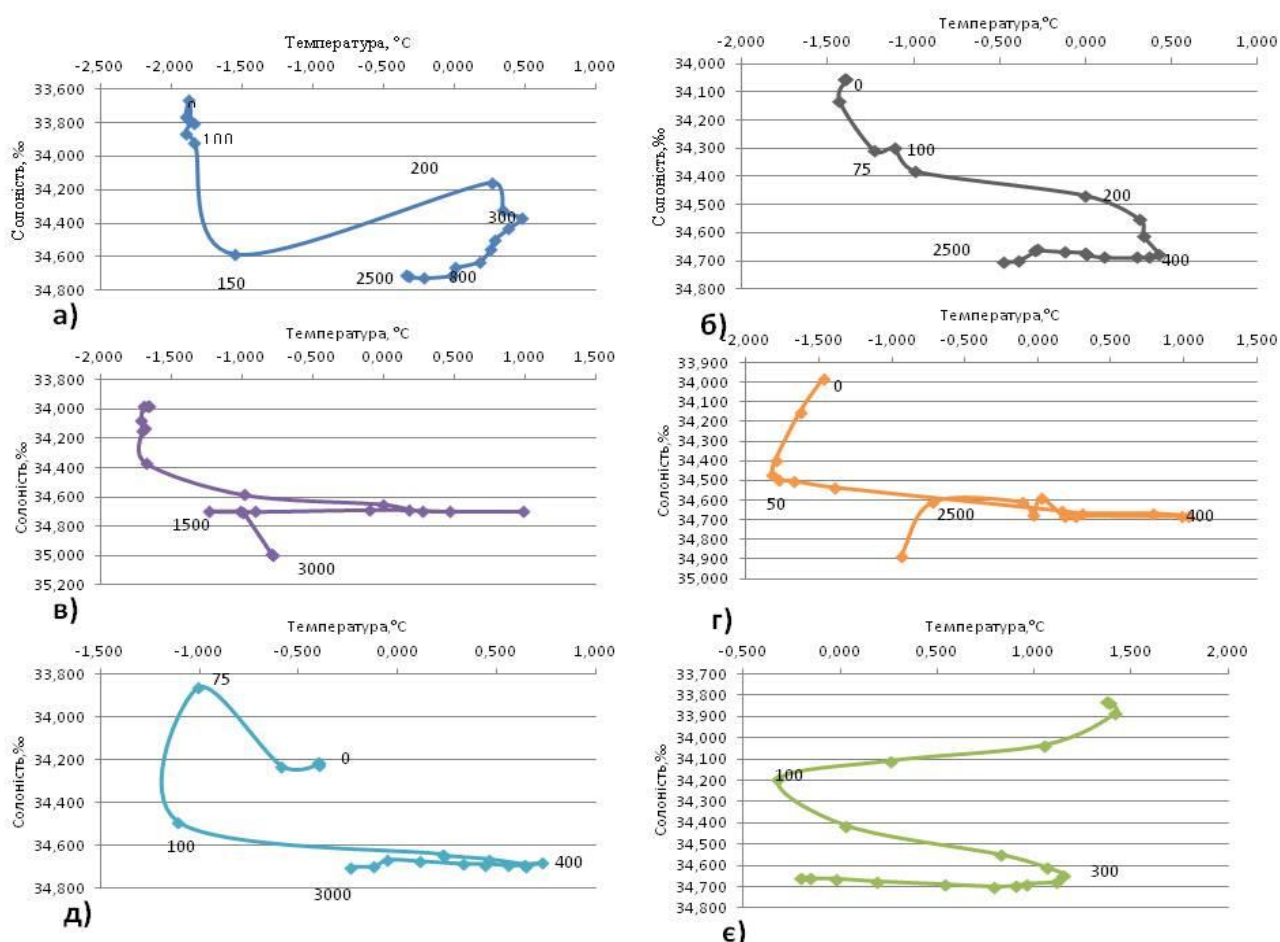


Рисунок 3.8 – Температурно - солонісні діаграми (а – 1980 р., б – 1985 р., в – 1992 р., г – 2005р., д – 2013р., е – 2021 р.)

Полярне посилення змін характеристик водних мас є важливим показником спрямованості кліматичних змін. Верхній шар океану здатний акумулювати більше тепла, ніж вся атмосфера, саме в них ми спостерігаємо мінливість параметрів. В областях з інтенсивною тепловіддачею з океану в

атмосферу відбувається утворення водних мас та перерозподіл властивостей у глибинні шари. У багатьох роботах, частина з яких згадувалась у попередніх розділах доведено, що Південний океан виступає в ролі ланки, що згладжує різкі зміни при зміні атмосферних режимів.

Аналізуючи TS – криві представлені малюнку 3.8 можна зробити деякі загальні висновки. Так видно, як утворюється "приповерхневий віяло", що характерно для областей вертикальної взаємодії водних мас. При цьому простежуються добре виражені локальні екстремуми у вертикальному розподілі. Це підповерхневий мінімум на глибині 200 м і проміжний максимум на глибині 400 м. Очевидно, перший з них обумовлений дією спрямованої на північ Перуанської течії, а другий – на південь Перуансько-Чилійської протитечі, що виносить із субтропіків більш солоні води.

Побудованих нами TS-криві в різні роки, все ж таки дозволяють виділити наступні водні маси:

- 1) Досить холодна розпреснена антарктична проміжна вода (АнП)
- 2) Порівняно тепла солоні субтропічна підповерхнева вода південної частини Південного океану
- 3) Порівняно тепла солоні субтропічна підповерхнева вода південної частини Південного океану.
- 4) Щодо тепла розпреснена субантарктична поверхнева вода південної частини.
- 5) Вторинна водна маса, пов'язана з локальним максимумом солоності, що відображає змішування проміжних та підповерхневих вод.

Повноцінно оцінити сезонну та міжрічну мінливість у роботі повністю не вийшло, через малу кількість оброблених даних. Але за загальною зміною

характеристик у водних масах з 1970 року, яка детально описана у звіті «Друга Оцінка стану Світового океану», що вийшла у 2021 році під егідою Організації Об'єднаних Націй, складається з значного потепління на північ від і всередині Антарктичної циркумполярної течії . У деяких регіонах спостерігається незначне потепління та підняття субполярних глибинних вод (які лежать безпосередньо біля берегів антарктичного континентального шельфу), що загрожує вторгненням на континентальні шельфи із серйозними потенційними наслідками для танення антарктичних шельфів.

ВИСНОВОК

Південний океан, внаслідок його унікальної географії, значно впливає на глобальну циркуляцію океану і клімат Землі. Південний океан забезпечує основні зв'язки між океанськими басейнами Землі та, маючи специфічну вертикальну структуру, регулює здатність океану зберігати та переносити тепло, вуглець та інші властивості, що впливають на клімат та глобальні біогеохімічні цикли.

Порівняння вимірювань температури, отриманих наприкінці двадцятого або початку двадцять першого століття, з температурними записами попередніх десятиліть однозначно показують, що Південний океан у межах і на північ від Антарктичної циркумполярної течії прогрівся на всіх глибинах у верхніх 2000 м.

У 2021 році відхилення від середньо-багаторічних значень найістотніші, особливо у верхньому 300 метровому шарі.

Поряд із широкомасштабним потеплінням океану відбуваються також зміни у солоності океану. Варіативність показників солоності океану повсюди у світі обумовлена відмінностями у співвідношенні припливу прісної води (з річок та від танення льодовиків та полярного льодового покриву), опадів та випаровування вологи, на які впливають природні кліматичні явища, а також зміна клімату.

Максимальні її значення відзначаються в поверхневому шарі, але на крайньому південному сході обумовлені холодними розпрісненими водами, що рухаються на північ. Найменші значення солоності, а це - 33‰, відзначаються в центральній частині. Низька солоність води у зазначених районах пов'язана з великою кількістю опадів, що поблизу узбережжя перевищують 3000 мм на рік.

Слід зазначити наявність добре вираженого збільшення нижче за глибину в 100 м, що, очевидно, пов'язане з проникненням у ці шари проміжних субтропічних вод.

За загальною зміною характеристик у водних масах з 1970 року у деяких регіонах спостерігається незначне потепління та підняття субполярних

глибинних вод, які лежать безпосередньо біля берегів антарктичного континентального шельфу, що загрожує вторгненням на континентальні шельфи із серйозними потенційними наслідками для танення антарктичних шельфів.

Зміни у фізичному стані Південного океану вже відбуваються, океан нагрівається швидше і на більшу глибину, ніж у середньому у світовому океані. Верхні шари оновилися і спостерігається повсюдне потепління антарктичної донної води.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Океаны. (Энциклопедический путеводитель). М.: Изд-во «Махаон», 2007. 304 с.
2. Даниленко О.О., Рубан І.Г. Головні риси гідрологічного режиму окремих регіонів Світового океану: навч. посібник. Одеса: ТЕС, 2018. 326 с.
3. Travel Finders. URL: <http://travelfinders.com/antarctic-map.html> (дата звернення 29.04.2022)
4. Чеплак Л. І. Циркуляція вод у протоці Дрейка. Режим доступу: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/952/1/Cheplak.pdf>
5. Antarctic marine biodiversity – what do we know about the distribution of life in the southern ocean? / Huw J. Griffiths. 2010. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011683>
6. Robertson, R., M. Visbeck, A. L. Gordon, and E. Fahrbach, 2002: Long-term temperature trends in the deep waters of the Weddell Sea. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 4791–4806.
7. Gregory et al., 2004; AchutaRao et al., 2006; Koltermann and Gouretski, 2007
8. Салли, Ж.-Б. 2018. Потепление Южного океана. *Океанография* 31(2) : 2018. С. 52-62. Режим доступу: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.215>
9. Сыров С. Южный океан и глобальное потепление. Режим доступу: <https://22century.ru/global-threats/868>
10. Ясинський М.А., П'ятакова В.Ф. Вплив змін клімату на циркуляцію вод Південного океану // Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: тези доповідей VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого, Львів, 2022 р. С. 106-107.
11. Суховей В.Ф. Основные черты гидрологического режима Индийского, Южного и Северного Ледовитого океанов. Киев. 1991. 124 с.
12. Стэнли С. Джейкобс, Клаудия Ф. Д. Крупные тренды солёности за несколько десятилетий вблизи тихоокеанско-антарктической континентальной окраины. Режим доступу: <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3284.1>
13. Ясинський М.А., П'ятакова В.Ф. Південний океан. Сучасний стан і перспективи дослідження // Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: Winter Debates: Proceedings of the 3rd International Scientific

and Practical Internet Conference, February 3-4, 2022. FOP Marenichenko VV, Dnipro, Ukraine, 463 p.

14. Безруков Ю.Ф. Океанология. Часть I. Физические явления и процессы в океане. Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского, 2006. 159 с.

15. Безруков Ю.Ф. Океанология. Часть II. Динамические явления и процессы в океане. - Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского, 2006. 123

ДОДАТКИ

Додаток А - Середньорічні значення температури і солоності морської води на різних глибинах для різних років

1980			1985		
Глибина (Н)	Температура (Т)	Солоність (S)	Глибина (Н)	Температура (Т)	Солоність (S)
0	-1,840	33,802	0	-1,401	34,053
10	-1,901	33,763	10	-1,389	34,055
25	-1,876	33,667	25	-1,39	34,056
50	-1,871	33,790	50	-1,43	34,133
75	-1,902	33,865	75	-1,229	34,308
100	-1,84	33,919	100	-1,111	34,300
150	-1,552	34,584	150	-0,985	34,382
200	0,263	34,157	200	0,003	34,468
250	0,346	34,325	250	0,32	34,554
300	0,478	34,368	300	0,339	34,61
400	0,387	34,433	400	0,431	34,678
500	0,287	34,498	500	0,375	34,685
600	0,257	34,557	600	0,299	34,688
800	0,179	34,629	800	0,109	34,687
1000	0,011	34,667	1000	0,009	34,678
1500	-0,008	34,71	1500	0,003	34,67
2000	-0,211	34,725	2000	-0,119	34,667
2500	-0,32	34,718	2500	-0,29	34,661
3000	-0,34	34,712	3000	-0,278	34,66
			3500	-0,389	34,698
			3780	-0,478	34,703

Продовження табл. А

1992			2005		
Глибина (Н)	Температура (Т)	Солоність (S)	Глибина (Н)	Температура (Т)	Солоність (S)
0	-1,657	33,979	0	-1,470	33,982
10	-1,67	33,982	10	-1,629	34,153
25	-1,701	33,980	25	-1,798	34,398
50	-1,712	34,073	50	-1,821	34,473
75	-1,689	34,130	75	-1,78	34,500
100	-1,709	34,152	100	-1,678	34,502
150	-1,678	34,371	150	-1,398	34,535
200	-0,981	34,585	200	0,168	34,655
250	-0,005	34,649	250	0,303	34,667
300	0,279	34,694	300	0,789	34,668
400	0,985	34,697	400	1,034	34,68
500	0,467	34,697	500	0,987	34,682
600	0,178	34,688	600	0,257	34,68
800	-0,098	34,687	800	0,179	34,679
1000	-0,907	34,699	1000	0,021	34,59
1500	-1,239	34,697	1500	-0,028	34,678
2000	-1,009	34,694	2000	-0,111	34,609
2500	-0,99	34,701	2500	-0,72	34,611
3000	-0,789	34,987	3000	-0,94	34,89
3500	-0,78	34,998			

Продовження табл. А

2013			2021		
Глибина (Н)	Температура (Т)	Солоність (S)	Глибина (Н)	Температура (Т)	Солоність (S)
0	-0,398	34,213	0	1,380	33,831
10	-0,401	34,216	10	1,39	33,834
25	-0,399	34,225	25	1,421	33,886
50	-0,59	34,230	50	1,054	34,035
75	-1,009	33,865	75	0,265	34,108
100	-1,11	34,493	100	-0,32	34,196
150	0,231	34,643	150	0,033	34,415
200	0,237	34,649	200	0,834	34,551
250	0,46	34,665	250	1,067	34,611
300	0,641	34,688	300	1,155	34,644
400	0,73	34,68	400	1,121	34,676
500	0,649	34,695	500	0,967	34,686
600	0,56	34,693	600	0,911	34,694
800	0,439	34,688	800	0,798	34,7
1000	0,329	34,687	1000	0,542	34,689
1500	0,111	34,675	1500	0,191	34,675
2000	-0,05	34,668	2000	-0,02	34,663
2500	-0,12	34,698	2500	-0,151	34,661
3000	-0,24	34,701	3000	-0,201	34,656