

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра океанології та
морського природокористування

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Коливання рівня в тропічній зоні Тихого океану

Виконав студент 2 курсу групи МО-61
спеціальність 103 «Науки про Землю»
Журавльова Анастасія Сергіївна

Керівник: к.ф.-м.н., доц..
Рубан І. Г

Консультант: _____

Рецензент: к геогр.н.,
Лужбін А.М.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра Океанології та морського природокористування
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Океанологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

“ 02 ” 11 20 17 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Журавльова Анастасія Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Коливання рівня в тропічній зоні Тихого океану

Керівник роботи Рубан Ігор Георгійович, к. ф.-м. н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого освіти від “ 02 ” 11 20 17 року № 321С

2. Строк подання студентом роботи 1.06.2018

3. Вихідні дані до роботи 1. Дані коливань рівня на прибережних станціях Тихого океану

2. Супутникові дані коливань рівня у Тихому океані

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Довгоперіодна мінливість коливань рівня у Тихому океані. Розрахунок багаторічних трендів коливань. Зв'язок цих коливань з факторами, що впливають на рівень.

2. Зв'язок коливань рівня на міжрічних масштабах з явищами Ель-Ниньо.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Графіки часового ходу коливань рівня на станціях тихоокеанського узбережжя

2. Коефіцієнти кореляції між коливаннями рівня на різних станціях

3. Взаємкореляційні функції та функції спектральної щільності

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 2 листопада 2017 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Одержання завдання на виконання магістерської роботи	26.03 – 5.04.18 р.	100	Відмінно
2	Пошук та підбір літератури та інших джерел інформації	6.04-16.04	100	Відмінно
3	Фізико – географічна характеристика району дослідження	17.04-25.04	100	Відмінно
4	Отримання вихідних даних	26.4-30.04	90	Відмінно
5	Розрахунок довгоперіодної мінливості рівня	06.05-10.05	95	Відмінно
6	Розрахунок міжгодової мінливості рівня	09.05-12.05	94	Відмінно
7	Оформлення кваліфікаційної роботи.	13.05-18.05	95	Відмінно
8	Проходження нормативного контролю.	20.05		
9	Підготовка презентації кваліфікаційної роботи.	21.05-28.05	90	Відмінно
	Попередній захист роботи	29.05.		
	Здача на кафедру	1.06.2018		
	Перевірка на плагіат	6-8.06.2018		
	Рецензування	8-10.06.2018		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		94	Відмінно

Студент _____ Журвльова А.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Рубан І. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

магістерської роботи « Коливання рівня в тропічній зоні Тихого океану»
ст. гр. МО-61 Журавльової Анастасії Сергіївни

Актуальність: аномально високі темпи зростання рівня Світового океану в останні роки.

Ціль роботи: кількісне визначення темпів зростання рівня Тихого океану.

Завдання: 1) дослідження довгоперіодної мінливості рівня на окремих станціях Тихого океану.

2) визначення зв'язку коливань рівня на міжгодових масштабах з явищем Ель-Ніньо.

Об'єкт дослідження : екваторіальна зона Тихого океану.

Предмет дослідження: коливання рівня на ГМС станціях екваторіальної зони Тихого океану.

Методи дослідження: статистичний аналіз часових рядів.

У роботі розглянуто коливання рівня на 11 станціях у тропічній зоні Тихого океану. Отримані результати стосовно довгоперіодної та міжгодової мінливості коливань рівня. Розглянуто зв'язок цих коливань з явищем Ель-ніньо. Проведено порівняльний аналіз коливань рівня на берегових станціях з даними супутникових спостережень.

Робота містить: 50 стор., 19 рис., 12 таблиць., 18 джерел.

Ключові слова: Тихий океан, тропічна зона, Ель-Ніньо, рівень, станція, мінливість.

SUMMARY

master's thesis "Level fluctuations in the tropical zone of the Pacific Ocean"

Art. gr. MO-61 Anatasiya Zhuravlyova

Actuality: a high growth rates of the oceans in recent years.

The aim: quantitative determination of the pace of growth of the Pacific Ocean.

The task: 1) investigation of the long-period variation of the level at separate stations of the Pacific Ocean.

2) determination of the relationship between the level fluctuations on an interannual scale with the El Niño phenomenon.

The subject of studies: equatorial zone of the Pacific Ocean.

The theme of studies: volatile level on the GMS stations of the equatorial zone of the Pacific Ocean.

Methods of studies: Statistical analysis of time series.

In this paper, the fluctuations of the level at 11 stations in the tropical zone of the Pacific Ocean are considered. The obtained results concerning the long-period and interannual variability of the level fluctuations. The connection of these oscillations with the El Niño phenomenon is considered. A comparative analysis of the level fluctuations at coastal stations with satellite observations is carried out.

The manuscript contents: 50 pages, 19 figures, 12 tables, 18 references.

Key words: Pacific Ocean, tropical zone, El Niño, level, station, volatility.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗМІНИ РІВНЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ.....	8
2 ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ЗВ'ЯЗКУ КОЛИВАНЬ РІВНЯ З ДЕЯКИМИ ФАКТОРАМИ, ДІЮЧИМИ НА ЙОГО ФОРМУВАННЯ.....	15
3 ВИКОРИСТАНІ МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І МЕТОДИКА ЇХ ОБРОБКИ	25
4 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	28
ВИСНОВКИ.....	49
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	50

ВСТУП

Рівень моря - один з найбільш важливих елементів, що характеризують як динаміку прибережної зони морів, з якою пов'язана активна господарська діяльність людини, так і динаміку океанічних басейнів в цілому, будучи індикатором геліогеофізичних процесів і мінливості циркуляції вод. Коливання рівня морів і океанів є наслідком реакції вільної поверхні на вплив великого числа зовнішніх факторів: змін атмосферного тиску і дотичного напруження вітру, приливообразуючих і геліогеофізичних сил, змін полів щільності і циркуляції вод, змін водного балансу і морфометричних особливостей того чи іншого басейну.

Через переплетення впливів цих факторів на вільну поверхню коливання рівня зручно розглядати як імовірнісний процес, закономірності якого розрізняються за діапазонами міжрічної, сезонної, синоптичної і мезомасштабної мінливості. У даній роботі аналізуються коливання рівня з міжрічної мінливістю. Коливання рівня моря з періодами від декількох років до декількох десятиліть і більше можуть бути викликані різними причинами. Першоджерелом більшості з них є коливання геліогеофізичних і кліматичних параметрів, які або безпосередньо впливають на стан рівної поверхні в різних районах Світового океану, або призводять до відповідних коливань різних кліматичних характеристик, які в свою чергу призводять до зміни рівня. У даній роботі розглядається зв'язок коливань рівня в екваторіальній зоні Тихого океану з такими характеристиками як коливання сонячної активності (вираженої в числах Вольфа), коливання швидкості обертання Землі, індексами атмосферної циркуляції і евстатическіє коливання рівня. Багато цікавих і важливих проблем, пов'язаних з багаторічними коливаннями рівня моря не були порушені в даній роботі, оскільки «не можна обійняти неосяжне».

1 ЗМІНИ РІВНЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

Світовий океан - це глобальне пов'язане тіло морської води, що оточує континенти й острови. Майже три чверті (71%) поверхні Землі вкрито Світовим океаном.

Континенти і великі архіпелаги поділяють Світовий океан на п'ять великих частин (океанів):

- Атлантичний океан;
- Індійський океан;
- Тихий океан;
- Північний Льодовитий океан;
- Південний океан.

Раніше було не прийнято виділяти Південний океан, однак у 2000 році Міжнародний гідрографічний союз прийняв поділ на п'ять перерахованих вище океанів. Аргументи на користь такого рішення наступні: в південній частині Атлантичного, Індійського і Тихого океанів кордону між ними досить умовні, в той же час води, прилеглі до Антарктиди, мають свою специфіку, а також об'єднані Антарктичним циркумполярною течією [1].

Сучасний стан проблеми коливань рівня Світового океану, з урахуванням вкладу в них різних факторів викладено в доповіді Міжурядової групи експертів зі зміни клімату. (Intergovernmental Panel of Climate Change) в 2000 році. Як впливає з цієї доповіді, в відповідність з деякими сценаріями зміни клімату, заснованих на результатах чисельного моделювання, при подвоєнні змісту CO_2 і відповідного збільшення середньої глобальної температури приземного шару відбудуться значні зміни компонент гідрологічного циклу, в тому числі зменшення маси гірських льодовиків, морських льодів, шельфових льодовиків в Антарктиді. Внаслідок цього рівень Світового океану може підвищитися на 10-30 см в 2030 р. і в межах 30-100 см (найбільш ймовірно 65 см) до кінця наступного століття.

Природно, якщо такий розвиток змін клімату стане реальністю, то це загрожуватиме катастрофічним збитком для інфраструктури прибережних територій, де проживає близько мільярда жителів Землі. Тому проблема можливих змін рівня Світового океану в зв'язку з потеплінням клімату набуває виняткової актуальності.

Відомо, що систематичні спостереження за рівнем моря мають досить тривалу історію. Так, регулярні вимірювання рівня почалися в Амстердамі в 1765 р, причому епізодичні спостереження тут виконувалися ще на початку 18-го століття. В даний час мережа спостережень налічує понад 1700 станцій,

які Міжурядової океанографічної комісією при ЮНЕСКО об'єднані в єдину міжнародну систему GLOSS (Global Sea Level Observing System) - Глобальну Систему Спостережень за Рівнем Моря. Основною частиною цієї системи служать середньомісячні дані по рівню, що зберігаються в базі даних Permanent Service for Mean Sea Observing System (PMSL).

Іншим джерелом інформації про рівень служить метод супутникової альтиметрії. Її принципова відмінність від традиційних спостережень футшток полягає в тому, що альтиметричний метод дозволяє отримати оцінки рівної поверхні океану практично на всій його акваторії, а не тільки уздовж його берегової лінії. Супутникова альтиметр здійснює вимір відстані між супутником і поверхнею відображення за часом проходження сигналу бортового радарного висотоміра, передає зі швидкістю світла високочастотні радіосигнали й одержує відбитий від морської поверхні сигнал. Незалежне визначення параметрів орбіти супутника (широта, довгота, висота) щодо земного еліпсоїда дозволяє знайти висоту рівня океану. При цьому альтиметричні вимірювання, відлічувані від поверхні геоїда,

Так як існує велика кількість різних за своєю природою факторів, що діють на формування рівня, то їх доцільно об'єднати в три великі групи: космогеофізичесіє сили, геолого-геодинамічні процеси, гідрометеорологічні процеси [2].

До космогеофізичних факторів належать Приливуотворюючої сили Місяця і Сонця, вільні і вимушені коливання полюсів Землі, нерівномірні зміни швидкості обертання Землі і астрономічні сили, пов'язані зі зміною орбітальних параметрів Землі, положенням її в Сонячній системі і т.п. Приливуотворюючої сили формують, перш за все, півдобові і добові коливання рівня, які внаслідок своєї періодичності легко фільтруються (виключаються) вже при осередненні уроченних даних за місяць і тим більше за рік. Накладення вільних (14 міс.) і вимушених (12 міс.) Коливаний полюсів Землі викликає явище резонансу, в результаті чого виникає так званий «полюсний» прилив з періодом 6-7 років, амплітуда якого може досягати декількох см. При цьому в основному він відповідає закономірностям формування Долгоперіодніє статичного припливу. «Ротаційний» прилив, обумовлений нерівномірним зміною швидкості обертання Землі, не перевищує декількох міліметрів. Що стосується астрономічних факторів, то вони викликають коливання рівня з періодами від тисяч до мільйонів років.

До геолого-геодинамічних процесів належать землетруси, виверження вулканів, тектонічні рухи земної кори, накопичення донних опадів за рахунок твердого стоку річок, льодовиків, ерозії берегів і т.д., які викликають

деформаційні коливання рівня, а також водообмін через дно океанів і морів з глибинними (ювенільний) водами, що супроводжується зміною обсягу вод. Для них характерно те, що вони призводять або до епізодичним імпульсивним змін рівня (підводні землетруси і виверження вулканів) у вигляді хвиль цунамі і великих сейш, або до повільним межвековим його змін з масштабами, вимірюваними тисячоліттями і мільйонами років. Характерний приклад - потужне цунамі, яке сталося в Індійському океані в кінці грудня 2004 року, яке забрало життя понад сотні тисяч людей.

З практичної точки зору особливий інтерес представляють гідрометеорологічні процеси, до яких відносяться складові водного балансу, вітер, атмосферний тиск, зміна щільності морської води, течії, що формують широкий спектр тимчасових коливань рівня з періодами від хвилин до сотень і тисяч років. При цьому коливання рівня, викликані силадовими водного балансу, отримали назву гляціоевстатическіх або просто евстатическіх; викликані змінами атмосферного тиску - анемобимиаричними (статичними), а змінами густини морської води - стеричне. Сумарний ефект дії гідрометеорологічних чинників, виключаючи вітрові хвилі, зазвичай складає десятки см, а для деяких районів за певних умов (наприклад, під час штормових нагонов) може досягати декількох метрів.

Звідси випливає, що сума евстатичних і стеричних факторів обумовлює об'ємні коливання вод океану, в той час як всі інші вже відносяться до деформаційних коливань рівня. Як відомо, об'ємні коливання рівня пов'язані зі змінами в басейні кількості води, а деформаційними називаються такі коливання, при яких відбувається перерозподіл маси води в межах моря (басейну) при незмінному обсязі води таким чином, що рівень підвищується в одних районах і знижується в інших. Стосовно до глобального рівня Світового океану деформаційні коливання слід розглядати у вигляді двох доданків - тектонічних рухів земної кори і донного накопичення опадів.

Природно вважати, що коливання глобального рівня Світового океану як індикатора процесів глобального водообміну і перерозподілу гідросфери повинні бути тісно пов'язані зі змінами клімату.

Приблизно до початку 1940-х років спостерігалось порівняно швидке зростання температури. Особливо яскраво він проявлявся в високих широтах північної півкулі. Тому 20-40-ті роки отримали назву «потепління Арктики». Потім аж до середини 70-х років відзначалося практично повсюдне похолодання. Останнє десятиріччя 20-го століття вважається найтеплішим за весь період інструментальних спостережень температури повітря.

Таким чином, зробивши однозначний висновок про глобальне потепління в 20-м столітті, відразу ж виникає питання про його причини. Все кліматоутворюючі фактори можна розділити на 4 групи:

- Зовнішні астрономічні фактори;
- Зовнішні (по відношенню до кліматичної системи) геофізичні фактори;
- Внутрішні геофізичні фактори;
- Антропогенні фактори.

Антропогенні зміни клімату, перш за все, зв'язуються з викидами в атмосферу відходів промислового виробництва (домішки і газу), а також спалюванням викопного палива (нафтові продукти, газу, деревина). При цьому особливої уваги заслуговує вуглекислий газ CO_2 , стрімке зростання вмісту якого вже давно зафіксовано дослідниками. В даний час атмосфера містить на 25 % більше CO_2 , ніж було накопичено за останніх 160 000 років і зміст цього газу за останні роки зростає на 0.5 % щорічно. Слід очікувати, що приблизно до 2050 року відбудеться його подвоєння в порівнянні з доіндустріальною епохою. Відзначимо, що починаючи з 1970-х років, зріст концентрації CO_2 став випереджати зростання надходження вуглецю безпосередньо від спалювання викопного палива,

Крім CO_2 найбільш важливими парниковими газами антропогенного походження є метан, хлорфторвуглеродна з'єднання і закис азоту. Крім зростання концентрації парникових газів певний вплив на клімат можуть надавати також зрошення, великомасштабна вирубка лісів, урбанізація та інші процеси.

Як відомо, вуглекислий газ, а також інші малі газові складові, пропускають короткохвильову сонячну радіацію до поверхні Землі, але значно послаблюють довгохвильове випромінювання. Завдяки цьому розвивається так званий «парниковий (оранжерейний) ефект» в атмосфері і температура приземних шарів повітря підвищується. Крім того, збільшення CO_2 відбувається також за рахунок збільшення вирубки лісів і зменшення фітомаси, через що порушується процес фотосинтезу на Землі. У відповідність з деякими сценаріями зміни клімату при подвоєнні вмісту CO_2 середня глобальна температура приземного шару може збільшитися на 1.8-4.7°C.

В даний час велика кількість дослідників дотримується думки, що спостережуване потепління клімату викликане переважно підвищенням в атмосфері концентрації парникових газів. Безумовно, певний внесок парникових газів в потепління клімату має місце. Однак, воно обумовлено не

тільки зростанням концентрації парникових газів, а й природними факторами. Такий висновок можна зробити з кількох причин:

- просторовий розподіл потепління в обох півкулях зовсім по-різному і не відповідає результатам чисельного моделювання;
- оцінки «парникового потепління» дають значення, близькі до природного обумовленості клімату;
- зростання концентрації CO₂ та інших парникових газів може бути частково викликаний і природними факторами;
- вельми важливо, що потепління в 20-м столітті було сконцентровано протягом двох періодів: в 20-40-ті роки і після 1975 року. З 40-х років до початку 70-х в північній півкулі мало місце похолодання клімату, хоча в цей час промисловість інтенсивно розвивалася. У південній півкулі приповерхнева температура повітря залишалася незмінною. Після 1975 року потепління було дуже неоднорідним. У деяких регіонах (в основному в північній півкулі) аж до останнього часу тривало похолодання.

Є підстави вважати, що при підвищенні приповерхневої температури повітря збільшується кількість опадів над океаном. Внаслідок цього має відбуватися як безпосереднє підвищення рівня Світового океану, так і опосередковане за рахунок зниження щільності морської води. Крім того, можливе підвищення температури верхнього шару, яке також призводить до підвищення рівня. Що стосується підвищення температури, то в цьому випадку зростання рівня Світового океану може бути пов'язаний зі змінами маси льодовикових щитів Антарктиди і Гренландії, а також підвищенням температури води в товщі океану.

Розглянемо деякі гіпотези щодо майбутніх змін рівня Світового океану. У 2001 році було опубліковано дослідження, висновки якого йшли врозріз з панівною теорією: в ньому підйом рівня світового океану оцінювався всього 0.5 мм в рік, а головною його причиною називалося термічне розширення води. Розбіжність між результатами цього дослідження і висновками більшості вчених пояснювалося тоді методологічними причинами. Сесіль Кабан, що писала в той час дисертацію в Лабораторії геофізики і космічної океанології (Тулуза), висунула припущення, що дані двох десятків мареографів, заміряли рівень океану по всьому світу, можуть спотворюватися в силу того, що в різних географічних зонах рівень моря піднімається на різну величину.

У наступному році Джон Антонов, вчений з американського Національного управління з вивчення та освоєння океану і атмосфери (NOAA), назвав цю тезу оманою, заявивши, що одним лише цим феноменом

неможливо пояснити підвищення рівня океану. Він запропонував брати до уваги приплив в океан мас води ззовні. Ця ідея базувалася на констатації того факту, що за останні 50 років морська вода стала менш солоною. Що можна пояснити або припливом в океани води з полярних куполів, або таненням морського льоду.

Лорі Міллер з NOAA і Брюс Дуглас з Лабораторії берегових досліджень Флоридського університету теж критикують тезу, висунутий французькими вченими. Поділяючи позицію Антонова, вони йдуть ще далі. Американські океанологи показують, що зниження солоності викликається в основному припливом водних мас з континентів і що танення морських льодів бере участь в цьому процесі лише в незначній мірі. Вчені вважають, що їх французькі колеги помилилися, так як досліджували рівень води в Північній Атлантиці: течія Гольфстрім «мігрувало» на північ, що спричинило за собою неправильна підвищення температури води.

Кеннет Міллер, професор університету Rutgers University з Нью Джерсі, разом зі своїми колегами провів нові дослідження підвищення рівня моря за останні 100 мільйонів років. Вони взяли п'ять зразків осадових порід, в тому числі викопних рослин, які в них містилися, їх ізотопів і елементного складу. Це дозволило розрахувати рівень Світового океану на той період.

Деякі з результатів досліджень воістину вражають. Вони показали, що під час пізнього крейдового періоду, в кінці епохи динозаврів, рівень Світового океану часто коливався в межах десятків метрів. Такі коливання могли бути викликані тільки змінами розмірів льодових шапок, і це показує, що думка більшості експертів про те, що Земля в той час була вільною від льоду, є невірним.

За підрахунками, зробленими дослідниками, до початку індустріальної епохи рівень Світового океану підвищувався в середньому зі швидкістю 1 мм на рік. Після індустріальної революції темпи підвищення рівня океану подвоїлися. Рівень Світового океану підвищується зараз на 2 мм в рік, що в два рази вище тих темпів, якими рівень океану підвищувався протягом п'яти тисяч років до індустріальної епохи. Зміни почалися в середині 19 століття, коли робота фабрик, а також збільшення використання вугілля і пізніше нафти почали виробляти парниковий ефект в атмосфері. «Головна зміна, що відбулася в 19 столітті, - це збільшення використання викопного палива і поява великої кількості парникових газів», - говорить професор Міллер.

За повідомленнями агентства NASA, протягом 50 років рівень моря піднімався в середньому на 2 міліметри в рік. Однак останні 12 років вода піднімається вже на три міліметри в рік.

Для спостереження за рівнем моря NASA у своєму розпорядженні цілий супутниковим комплексом. В першу чергу це американо-французький супутник TOPEX / Poseidon, який використовує радар для визначення рівня моря. Супутник GRACE детально вимірює гравітаційне поле Землі, дозволяючи простежити за рухом води по поверхні і в надрах Землі. Нарешті, супутник ICESAT стежить за станом полярних льодових шапок Землі. Саме з їх таненням вчені пов'язують спостерігається прискорення підйому рівня моря. За існуючими оцінками, підвищення рівня моря на 1 метр серйозно змінить життя понад 100 мільйонів людей.

Австралійські вчені, проаналізувавши дані, що надходять від самописців рівня моря по всьому світу, з'ясували, що з 1870 по 2004 рік рівень океану виріс на 19.5 см, а в останні 50 років рівень моря піднімався особливо швидко. Причому темпи підйому прискорюються. За весь період з 1870 по 2004 рік середнє підвищення рівня моря склало 1.44 мм на рік. Однак в 20-м столітті рівень зростав в середньому на 1.77 мм на рік, а якщо брати період починаючи з 1950 р, то середнє зростання склало 1.75 мм на рік.

Хоча існуючі кліматичні моделі теж пророкують збільшення темпів підйому рівня моря, австралійські вчені говорять, що вони першими підтвердили таку тенденцію за допомогою даних за великий період часу. Якщо зростання продовжиться з такою ж швидкістю як зараз, то, попереджають вчені, в нинішньому столітті моря піднімуться на 28-34 см.

2 ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ЗВ'ЯЗКУ КОЛИВАНЬ РІВНЯ З ДЕЯКИМИ ФАКТОРАМИ, ДІЮЧИМИ НА ЙОГО ФОРМУВАННЯ

Коливання рівня і сонячна активність. Вже давно передбачалося, що флуктуації надходження енергії від Сонця можуть впливати на погоду і клімат Землі. Природно, безпосередньо впливати на рівень Світового океану коливання енергії, пов'язані з сонячною активністю не можуть, проте існують чинники, пов'язані з циклами сонячної активності, які можуть викликати коливання рівня відповідних часових масштабів. Так, деякі дослідники вважають, що коливання сонячної активності викликають обурення таких метеорологічних факторів, як циркуляція атмосфери, атмосферний тиск, ледовитість, опади і річкового стоку. Всі ці фактори можуть впливати на коливання рівня Світового океану.

Основним заходом сонячної активності є число сонячних плям, видимих на диску Сонця в кожен даний момент часу. Підрахунок кількості сонячних плям почався з середини 18 століття, а з 1843 року ця підрахунок проводиться за методикою, запропонованої швейцарським астрономом Р.Вольфом. Практично в цей же час була знайдена періодичність в кількості цих плям. Спектральний аналіз всього ряду спостережень сонячних плям, проведений різними авторами, дозволив виділити кілька різних періодичностей, причому вони дещо відрізняються один від одного в залежності від довжини вибірки та методу обробки. Проте основні характерні особливості в різних спектрах в загальному подібні в наступному: 1) є короткий період з довжиною близько 5.5 р.; 2) 11-річний період складається з триплету, в якому найкоротший період становить 8 років, а найдовший - 13 років; 3) є більш фундаментальний 22-річний цикл, що складається з двох 11-річних, протягом якого змінюється магнітна полярність біполярних груп сонячних плям; 4) також є тривалий період з тривалістю близько 90 років.

Коливання рівня і обертання Землі. Останнім часом в літературі з'явилися теорії про те, що рухи атмосфери і океану тісно пов'язані з місячно-сонячними приливами і рухом полюсів Землі. Механізм зв'язку з цим не цілком ясний. Одна з концепцій [5] зводиться до наступного. Атмосферна циркуляція, що виникає через неоднакового припливу тепла до атмосфери, збуджує течії в океані. Взаємодія атмосферної циркуляції з процесами в океані породжують стохастичні коливання атмосфери і океану. Вони взаємодіють з вимушеними місячно-сонячними приливними коливаннями. Повітряні і водні маси перерозподіляються по поверхні Землі і змінюють

компоненти тензора інерції. Ось фігури (вісь найбільшого моменту інерції) Землі відхиляється від осі обертання, що, за законами механіки, призводить до виникнення вільної нутації або руху полюсів Землі.

На внутрішні стохастичні коливання атмосфери і океану накладаються зовнішні приливні впливи. Завдяки цьому в системі Земля - атмосфера - океан виникає комбінаційний резонанс. Рухи океану і атмосфери збуджують вільну нутацію полюсів. Рух полюсів Землі породжує полюсний прилив в океані і атмосфері, який взаємодіє з гармоніками Долгоперіодніє припливів. Таким чином, рух полюсів Землі, багаторічні хвилі, Ель-Ніньо і Ла-Ніньо в океані, Південне коливання в атмосфері і квазидвухлетня циклічність вітрів в екваторіальній стратосфері є окремими частинами єдиного феномена - багаторічних коливань системи Земля-океан-атмосфера. Але, оскільки атмосфера знаходиться в безперервному русі відносно земної поверхні, виникають сили механічного взаємодії атмосфери з поверхнею, що підстилає. Між атмосферою і Землею відбувається обмін моментом імпульсу, наслідком якого є нестабільність швидкості обертання Землі. Крім того, на коливання швидкості обертання Землі і рух її полюсів впливає також зміна льодового щита планети, як внаслідок зміни його форми, так і внаслідок зміни геометрії всієї планети при зміні рівня Світового океану через танення льодів. Однак, ці модельні розрахунки дуже недосконалі і методологічна помилка, укладена в них, перевищує отриманий кількісний результат. так і внаслідок зміни геометрії всієї планети при зміні рівня Світового океану через танення льодів. Однак, ці модельні розрахунки дуже недосконалі і методологічна помилка, укладена в них, перевищує отриманий кількісний результат. так і внаслідок зміни геометрії всієї планети при зміні рівня Світового океану через танення льодів. Однак, ці модельні розрахунки дуже недосконалі і методологічна помилка, укладена в них, перевищує отриманий кількісний результат.

Коливання рівня і температура. На жаль, нам не вдалося дістати часових рядів глобальних змін температури повітря, але в мережі ІНТЕРНЕТ були знайдені графіки зміни температури за останні приблизно 140 років і графік змін рівня приблизно за той же період. Ці графіки представлені на рис. 2.1 і 2.2.

На рис.2.1 показаний графік часової зміни температури повітря на Землі. На ньому можна виділити кілька чергуються періодів. З початку ряду до 1910 року - незначне похолодання, з 1910 по 1942 - зростання температури приблизно на 0.5° , з 1942 по 1975 - знову незначне похолодання і з 1975 по теперішній час - інтенсивне зростання також приблизно на пів градуса.

Причини цих змін температури не з'ясовані, проте більшість дослідників вважають, що інтенсивне зростання температури в 20-м столітті пов'язаний з господарською діяльністю людини.

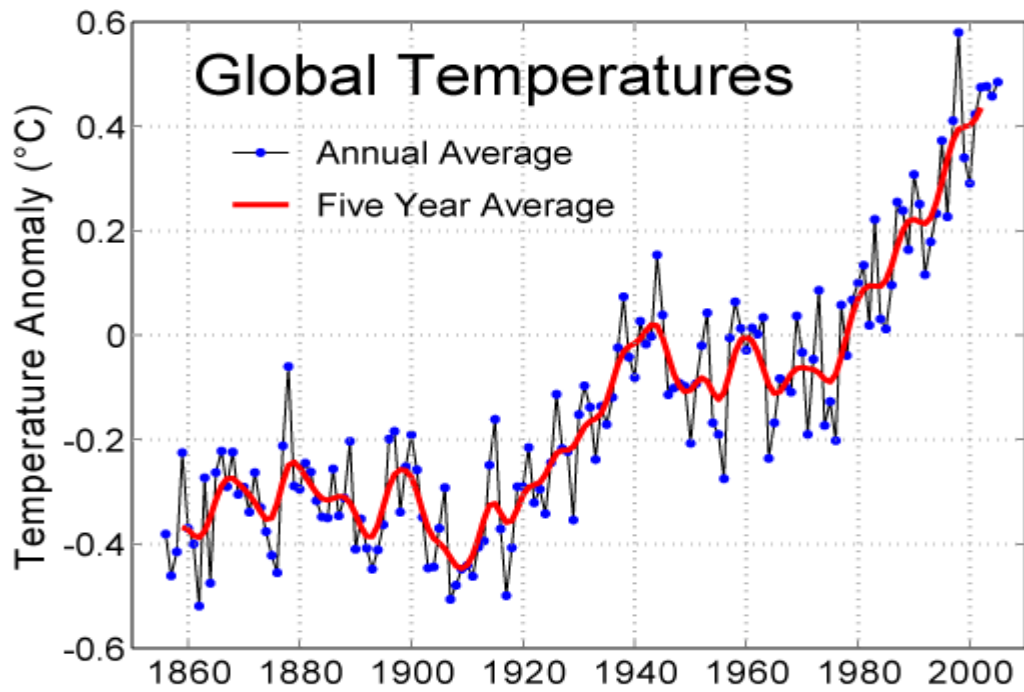


Рис.2.1 Графік аномалій змін температури повітря на земній кулі за 1855-2005 роки (середньорічні значення і значення, усереднені за п'ятиріччя)

На рис.2.2 показаний часовий хід рівня Світового океану. Цей малюнок також отримано за даними інструментальних спостережень, зібраним і обробленим в океанографічній лабораторії Праудмена, Ліверпуль, Великобританія.

Кольорові лінії на цьому малюнку показують хід рівня на 23 геологічно стійких станціях, чорна лінія - середні значення рівня по 23 станціям з трирічним осередненням, і червоною лінією показаний хід рівня за даними супутникових альтиметричних спостережень. Аналіз цих даних, а також палеокліматических даних показав, що за період від 1000 р.до н.е. до початку 19-го століття зростання рівня становив 0.1-0.2 мм в рік. З 1900 року зростання рівня виріс з 1 до 3 мм на рік. Дані супутникових спостережень також говорять про те, що з 1992 року до 2005 року зростання рівня в середньому складає 3 мм на рік.

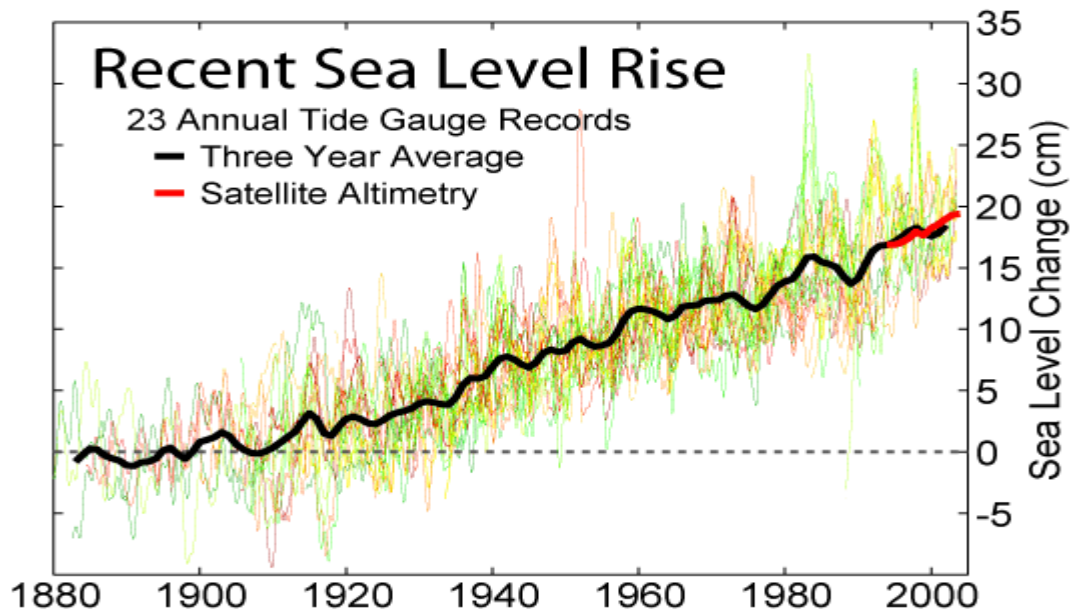


Рис.2.2 Часовий хід змін рівня Світового океану

Порівняння графіків 2.1 і 2.2 показує, що зміни рівня, маючи ту ж тенденцію, що і температура, в деталях, однак, з нею не збігаються. Чергування відносного зниження температури та інтенсивного її зростання не супроводжуються аналогічними коливаннями рівня. Іншою особливістю тимчасового ходу рівня можна вважати те, що на його графіку можна помітити досить регулярно повторювані відрізки незначних знижень рівня, які в загальному можуть не відзначатися на графіках ходу рівня окремих станцій. Їх періодичність коливається в межах 5-10 років.

Цікаво також розглянути коливання рівня Світового океану за останні 15 років, отримані за даними супутникових альтиметричних спостережень. Ці спостереження почалися в серпні 1992 року з запуском американо-французького супутника Тorex / Poseidon, який проіснував до 2005 року. У 2001 році був запущений ще один супутник для вимірювання рівня океану - Jason-1, який і здійснює спостереження в даний час. На рис.2.3 показаний графік коливань рівня Світового океану за десятиденними спостереженнями. Максимальна похибка становить 3-4 мм.

Аналіз графіка показує, що в розглянутий період відбувалося зростання рівня з середньою швидкістю 3.2 ± 0.4 мм/рік. Причому зростання це був майже лінійним, за винятком останніх двох років (починаючи, приблизно, з 2006 року).

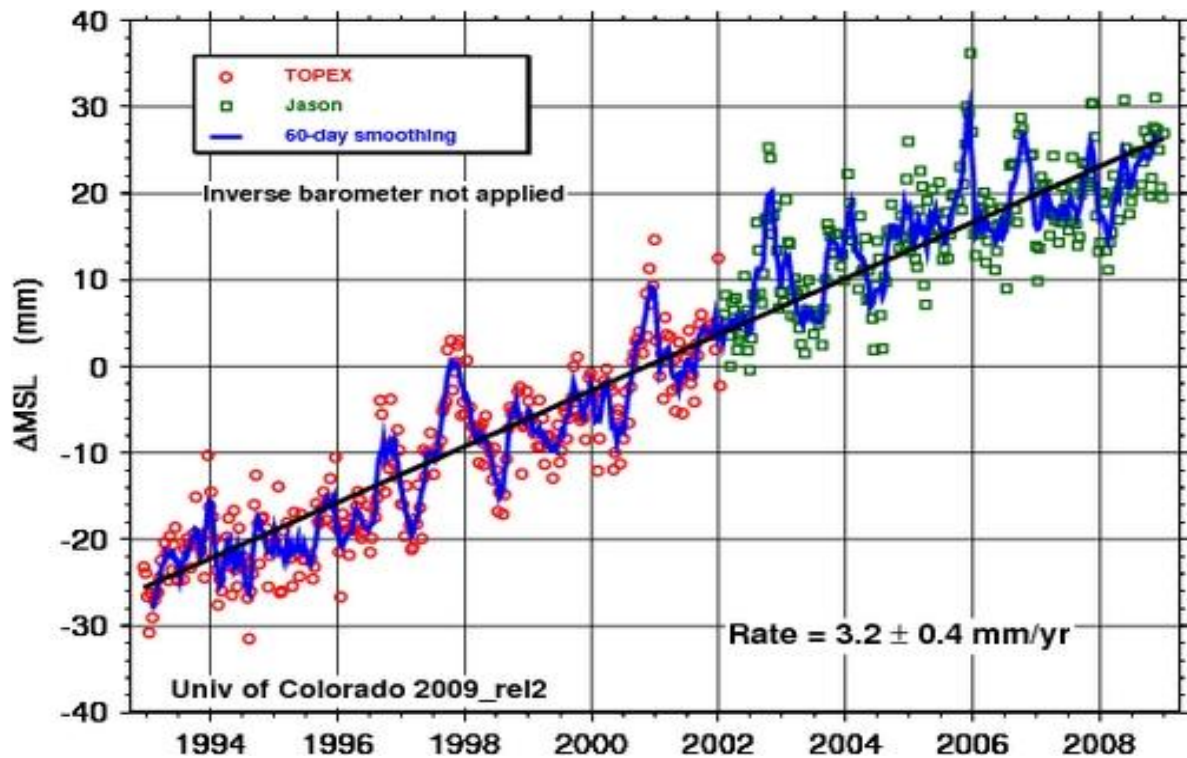


Рис.2.3 Часовий хід зміни рівня Світового океану за 1993-2008 роки за даними супутникових альтиметричних спостережень

У таблиці 2.1 показані розрахунки різних авторів, які оцінюють підвищення рівня, пов'язане з температурним розширенням водної маси (стеричного розширення).

Таблиця 2.1 - Оцінки підвищення рівня моря, викликаного стеричним ефектом.

Автор	Даний період	товщина шару	Оцінка стеричного зміна рівня і його середнев. помилка (мм / рік)
Антонов та ін. (2005)	1955-1988	0-3000	0.40 ± 0.05
Антонов та ін. (2005)	1955-2003	0-700	0.34 ± 0.04
Ишии і ін. (2005)	1955-2003	0-700	0.38 ± 0.04
Антонов та ін. (2005)	1993-2003	0-700	1.23 ± 0.2
Ишии і ін. (2005)	1993-2003	0-700	1.8 ± 0.2
Вілліс і ін. (2005)	1993-2003	0-750	1.6 ± 0.3

Як видно з таблиці, оцінки, виконані різними авторами, в цілому збігаються один з одним. Слід зазначити збільшення тренда стеричного

підвищення рівня за 1993-2003 роки, що збігається із загальним підвищенням рівня, зазначеним за цей період за даними супутникових альтиметричних спостережень. Якщо ці оцінки вірні, то можна зробити висновок, що, приблизно, 30-50% загального підвищення рівня викликано підвищенням рівня внаслідок термічного розширення водних мас.

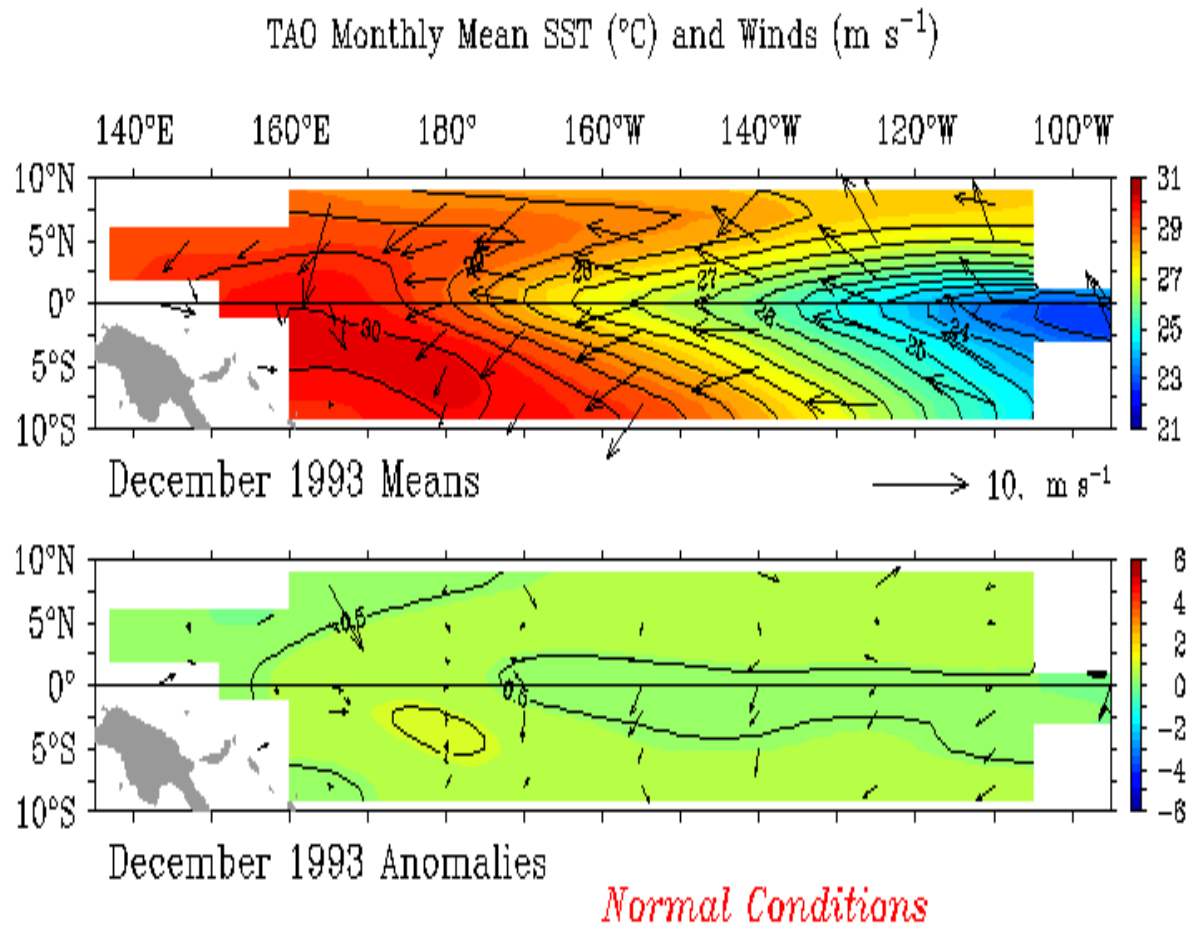
Коливання рівня і явище Ель-Ніньо. Феномен Ель-Ніньо, будучи важливою ланкою взаємодії між океаном і атмосферою, має велике значення для клімату всієї земної кулі. Тому для того, щоб будувати довгострокові прогнози можливих погодних аномалій терміном від кількох місяців до року, вченим потрібно постійно проводити моніторинг тропічній частині Тихого океану. Так, наприклад, Національна адміністрація з океану та атмосфери США (NOAA) розгорнула в екваторіальному поясі Тихого океану цілу мережу спеціальних буїв, які щодня знімають і в режимі реального часу передають інформацію про температуру, течіїх і вітрах в досліджуваній частині океану.

Феномен Ель-Ніньо - це температурна аномалія у поверхні океану, що веде до погодних примх по всій планеті. При відсутності Ель-Ніньо вітри в тропічній частині Тихого океану дмуть на захід, переносючи теплі океанічні води в західні райони океану. У цьому випадку рівень моря біля берегів Індонезії приблизно на 0,5 метра вище, ніж біля берегів Еквадору. Температура води біля поверхні океану в його західній частині приблизно на 8°C вище, ніж поблизу Південної Америки (тут позначається підйом більш холодний води з глибин океану до поверхні). Піднімаються до поверхні холодні маси води багаті на поживні речовини і організми, що призводить до бурхливого розвитку і різноманіттю місцевих морських екосистем. При цьому в східній частині Тихого океану встановлюється суха погода. У свою чергу в теплішу - західній частині акваторії Тихого океану,

У роки активності Ель-Ніньо спостерігається наступна картина: Вітри в західній і центральній частині Тихого океану слабшають, порушуючи при цьому в східних областях Тихого океану процес перенесення теплих вод на захід і підняття холодних вод до поверхні. Зате в західній акваторії Тихого океану спостерігається підняття холодної води з глибин. Так, наприклад, в період активності Ель-Ніньо в 1982-83 рр. вимірювання показали, що ізотерма $T = 17^{\circ}\text{C}$ поблизу 110°З.Д. опустилася приблизно на 150-метрову глибину (в звичайні роки вона утримується на глибині близько 50 метрів). Процес підняття холодних водних мас до поверхні припиняється, що веде до підвищення температури поверхні океану на захід від берегів Південної Америки, зниження кількості видів морських мешканців. Атмосфера реагує

на ці зміни температури поверхні океану в такий спосіб: найбільша кількість атмосферних опадів під час Ель-Ніньо відзначається тепер на сході Тихого океану. Так, наприклад, в Перу відзначаються сильні повені, викликані інтенсивними зливами. Зате в Індонезії і в Австралії, навпаки, встановлюються посушливі умови. Встановлено, що концентрація теплих вод на сході Тихого океану позначається на погоді всієї земної кулі! І сюрпризи погоди, пов'язані з Ель-Ніньо, можуть спостерігатися навіть у віддалених від Тихого океану районах. Ймовірно, що і аномально тепла зима 2006-2007 рр. в Європі є результатом порушення цього теплового балансу в Тихому океані. встановлюються посушливі умови. Встановлено, що концентрація теплих вод на сході Тихого океану позначається на погоді всієї земної кулі! І сюрпризи погоди, пов'язані з Ель-Ніньо, можуть спостерігатися навіть у віддалених від Тихого океану районах. Ймовірно, що і аномально тепла зима 2006-2007 рр. в Європі є результатом порушення цього теплового балансу в Тихому океані. встановлюються посушливі умови. Встановлено, що концентрація теплих вод на сході Тихого океану позначається на погоді всієї земної кулі! І сюрпризи погоди, пов'язані з Ель-Ніньо, можуть спостерігатися навіть у віддалених від Тихого океану районах. Ймовірно, що і аномально тепла зима 2006-2007 рр. в Європі є результатом порушення цього теплового балансу в Тихому океані.

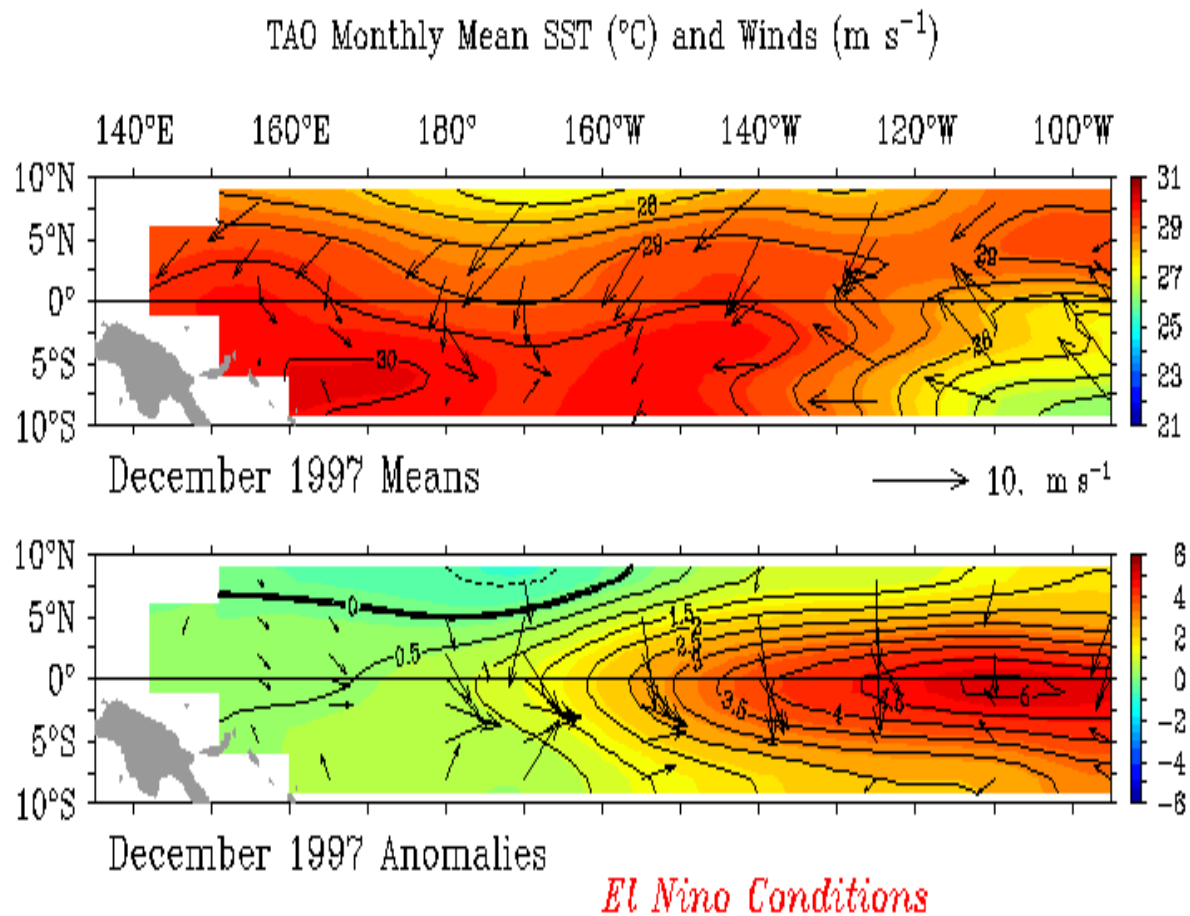
Як визначають наявність Ель-Ніньо? Знаючи вищеописані ознаки, неважко визначити наявність феномена Ель-Ніньо. Але для наочності пропонується розглянути два малюнки: один для нормальних умов, інший - при наявності Ель-Ніньо. Так, в грудні 1993 року (рис.2.4) температура поверхні океану (SST - Sea Surface Temperature) і вітровий режим були в нормі: теплі води були сконцентровані в західній частині Тихого океану (червоний колір на верхній схемі), а холодні води, звані ще «холодним мовою», були на сході Тихого океану (зелений колір на тій же схемі). Вітри в західній частині Тихого океану були слабкими (вітер відзначений стрілками), а в східній частині Тихого океану вітри дули на захід у напрямку до Індонезії. На схемі знизу показані аномалії, тобто наскільки температура поверхні моря і режим вітру відрізняються від звичайних значень.



TAO Project Office/PMEL/NOAA

Рис.2.4 Температура поверхні і вітровий режим в тропічній зоні Тихого океану в грудні 1993 року.

Тепер розглянемо температурний режим і режим вітру в тропічній частині Тихого океану в грудні 1997 року, коли феномен Ель-Ніньо був поблизу максимуму своєї активності. З наведених схем видно (рис.3.5), що в грудні 1997 року теплі води (червона заливка на верхній схемі) поширювалися навпаки - із західної частини Тихого океану на схід у напрямку до Південної Америки. «холодний» в аналізованому періоді практично перестав існувати (зелений колір на тій же схемі), а зазвичай слабкі для західної акваторії Тихого океану вітри посилюлися і стали дути з заходу на схід, переносючи теплі океанічні води до Південної Америки. На схемі аномалій наочно видно, що в центральних районах Тихого океану температура була набагато вище норми (виділено червоним кольором).



TAO Project Office/PMEL/NOAA

Рис.2.5 Температура поверхні і вітровий режим в тропічній зоні Тихого океану в грудні 1997 року.

А в грудні 1998 року був сильний (холодний) феномен Ла-Нінья, коли в східних районах Тихого океану спостерігалася аномально низька температура поверхні моря, що призвело до поширення холодних вод і на центральну частину океану. Появи подібних холодних аномалій зазвичай (але не завжди) слідують за проявами Ель-Ніньо.

По суті, Ель-Ніньо і Ла-Нінья - це протифази циклу так званої Південної Осциляції Ель-Ніньо (El Nino-Southern Oscillation (ENSO)). І якщо Ель-Ніньо - це тепла фаза цього циклу, то Ла-Нінья - холодна.

Як зазначалося вище, прояв феномена Ель-Ніньо позначається не тільки на вітровому і температурному режимі тропічної зони Тихого океану, а й на змінах його рівневої поверхні. На рис.2.6 показані значення рівня в нормальній фазі (2.6а) і в фазі розвиненого Ель-Ніньо (2.6 б)

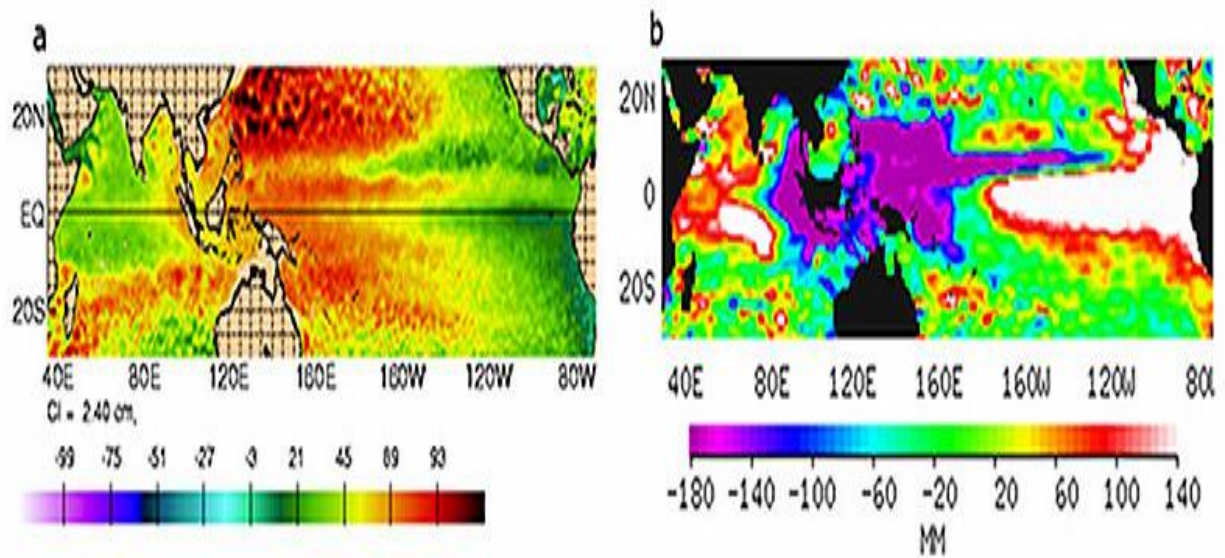


Рис.2.6 Рівень тропічної зони Тихого океану в листопаді 1996 року (а) і в листопаді 1997 року (б)

З рисунка видно, що перепад рівня в нормальну фазу і в фазу розвиненого Ель-Ніньо може становити величину порядку 1.5 м.

3. ВИКОРИСТАНІ МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І МЕТОДИКА ЇХ ОБРОБКИ

Дана робота зажадала знаходження і переробки величезної кількості вихідного матеріалу. Якість його, однак, слід визнати цілком задовільним, оскільки це в основному дані, що пройшли стадію попередньої обробки і усереднення за деякий проміжок часу в відповідних організаціях з досить великими колективами дослідників. Однак певні труднощі все-таки зустрічалися. Наприклад, досить складною є проблема заміни відсутніх значень рівня. Оскільки тимчасові рамки виконання роботи не дозволили провести заміну цих значень (наприклад, шляхом порівняння цих даних з даними ходу рівня на декількох прилеглих станціях), то відсутні значення рівня восполнялись простий лінійною інтерполяцією крайніх значень вихідного ряду.

Після попередньої обробки вихідних рядів, надалі проводився їх статистичний аналіз за допомогою стандартного пакета статистичних програм SPSS [7]. При аналізі коливань рівня також допускалися деякі неточності. Наприклад, в ряді випадків не фільтрувався низькочастотний тренд. У деяких випадках це було виправдано, оскільки з видаленням тренда могла бути виключена і корисна інформація, але в деяких випадках (при аналізі високочастотних коливань) така фільтрація поліпшила б аналіз. Також не були показані довірчі інтервали при розрахунках функцій спектральної щільності. Цей недолік пов'язаний з недоліками використовуваної програми. У ній довірчі інтервали будуються не для вихідних значень функції спектральної щільності, а для її лінійного наближення, причому величина інтервалу залишається постійною для всієї смуги частот,

Вихідні ряди рівнів були отримані за даними Proudman Oceanology Laboratory (сайт www.pol.ac.uk)[14]. Технічні характеристики цих рядів представлені в таблиці 2.1.

Джерела інших даних наступні:

- середньорічні значення індексів сонячної активності (числа Вольфа) - ІНТЕРНЕТ (сайт wdcb.ru);
- індекси ЮК - <http://ggweather.com/euco/> [5].

Для аналізу багаторічної мінливості рівня в тропічній зоні Тихого океану були обрані 20 берегових та острівних урівневих станцій на всій акваторії тропічної зони. Основними вимогами до рядів спостережень на цих станціях були їх тривалість (мінімальна - близько 50 років) і пропуски в

спостереженнях (не більше 10 %). Схема розташування станцій показана на рис.3.1. Технічні характеристики кожної станції наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики урівневих станцій в тропічній зоні Тихого океану.

№	станція	Широта.	довгота	терміни спостережень	К-ть років спостережен о.
1	Маніла (Філіппіни)	14°35'с.ш.	120°58'в.д.	1901-2007	93
2	Легаспі (Філіппіни)	13°09'с.ш.	123°45'в.д.	1947-2007	61
3	Цебу (Філіппіни)	10°18'с.ш.	123°55'в.д.	1935-2007	64
4	Давао (Філіппіни)	07°05'с.ш.	125°38'в.д.	1948-2007	51
5	Холо (Філіппіни)	06°04'с.ш.	121°00'в.д.	1944-1996	49
6	Таунсвілл (Австралія)	19°15'ю.ш.	146°50'в.д.	1959-2007	49
7	Гуам (Гуам)	13°26'с.ш.	144°39'в.д.	1948-2007	59
8	Чуук (Мікронезія)	07°27'с.ш.	151°51'в.д.	1947-1995	48
9	Кваялейн (Маршал.о-ва)	08°44'с.ш.	167°44'в.д.	1946-2007	62
10	Вейк Айленд (Маршал.о-ва)	19°17'с.ш.	166°37'в.д.	1950-2007	56
11	Паго Паго (Самоа)	14°17'ю.ш.	170°41'з.д.	1948-2007	58
12	Гонолулу (США)	21°19'с.ш.	157°52'з.д.	1905-2007	103
13	Кахулуї (США)	20°45'с.ш.	156°28'з.д.	1947-2007	59
14	Хіло (США)	19°44'с.ш.	155°04'з.д.	1946-2007	62
15	Акапулько * (Мексика)	16°50'с.ш.	99°55'з.д.	1952-2001	47
16	Бальбоа (Панама)	08°58'с.ш.	79°34'з.д.	1908-1996	89
17	Буенавентура * (Колумбія)	03°54'с.ш.	77°06'з.д.	1941-2001	59
18	Тумако * (Колумбія)	01°50'с.ш.	78°44'з.д.	1951-2000	50
19	Лібертад (Еквадор)	02°12'ю.ш.	80°55'з.д.	1948-2003	56
20	Матарані * (Перу)	17°00'ю.ш.	72°07'з.д.	1941-1988	46

* - Дані рівня на станції не приведені до єдиної рівної поверхні

Для аналізу міжрічної мінливості рівня були обрані п'ять станцій протягом усього екваторіальній зони Тихого океану. Ці станції показані на рис.3.1 точками червоного кольору з латинської нумерацією, а їх технічні характеристики наведені в таблиці 3.2.

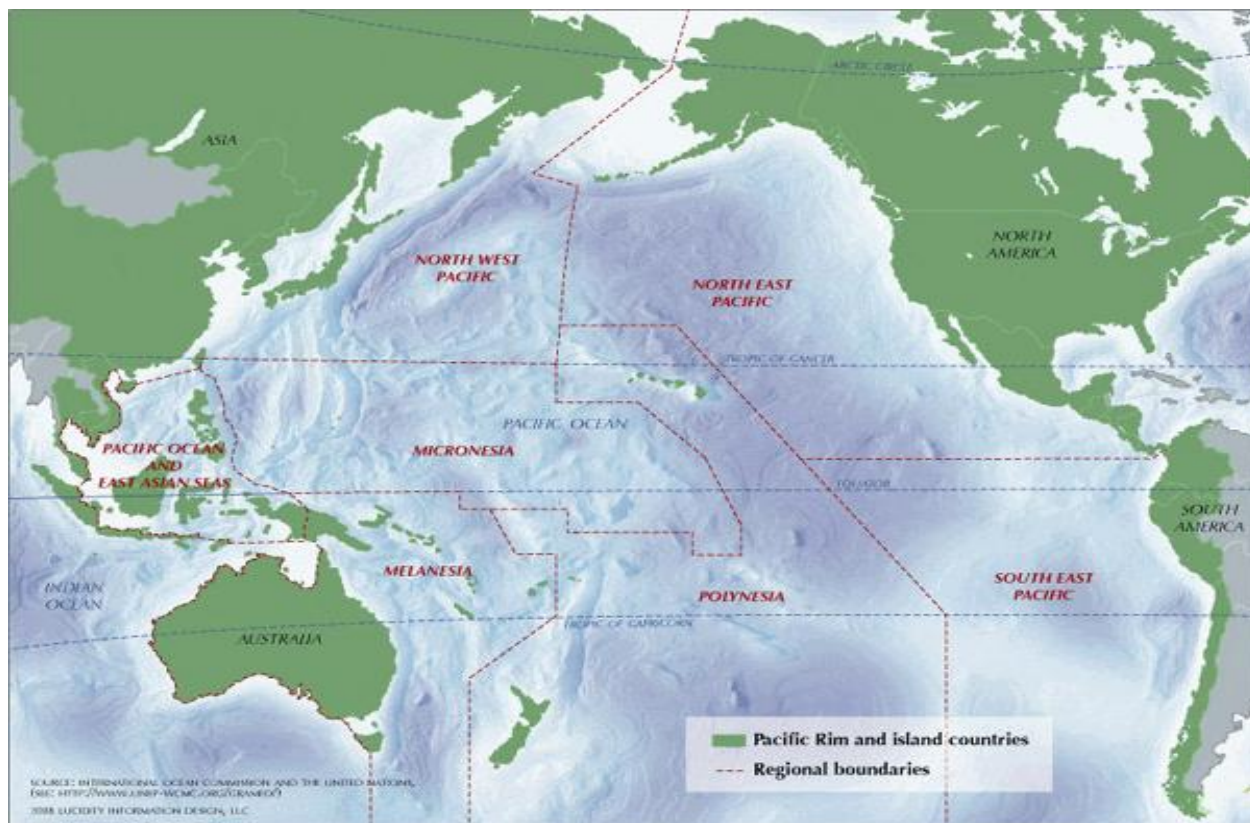


Рис 3.1 Схема розташування станцій

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики урівневих станцій в екваторіальній зоні Тихого океану.

№	станція	належність	широта	довгота	Період спостережень
I	Малакал	Белау	07°20'с.ш.	134°28'в.д.	1969-2003
II	Капінга-маранга	Мікронезія	01°05'с.ш.	154°47'в.д.	1978-2003
III	Крістмас	Республіка Кірібаті	01°59'с.ш.	154°47'з.д.	1974-2003
IV	Санта-Круз	Еквадор	00°45'ю.ш.	090°19'з.д.	1978-2004
V	Лібертад	Еквадор	02°12'ю.ш.	080°55'з.д.	1949-2003

4 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Аналіз коливань рівня в тропічній зоні Тихого океану можна розділити на два окремих етапи: 1) аналіз багаторічної мінливості рівня; 2) аналіз зв'язку коливань рівня з явищем Ель-Ніньо.

Аналіз багаторічної мінливості рівня. Для аналізу коливань рівня використовувалися середньомісячні дані. Станції вибиралися за двома критеріями: по-перше, як було зазначено в розділі 3, вони повинні були бути максимальної довжини для даного регіону з найменшою кількістю пропусків у спостереженнях, і, по-друге, розташовані вони повинні бути таким чином, щоб максимально охопити всю тропічну зону Тихого океану. В результаті були обрані 20 урівневих станцій, відомості про яких наведені в таблиці 3.1. Оскільки кількість станцій, які відповідають зазначеним вище вимогам, виявилось досить великим, і часу на їх обробку могло не вистачити, було вирішено обмежитися тільки деякими з них. З викладеного вище схеми розташування станцій, деякі з них об'єднані в компактні групи, кожна з яких може бути представлена тільки однією, найбільш репрезентативною станцією. В результаті було вибрано 6 районів: 1 - район східно морів, в якому знаходяться 5 станцій на Філіппінах; 2 - район Меланезії (1 станція на узбережжі Австралії); 3 - Мікронезія (4 станції); 4 - 3 станції на Гавайських островах; 5 - Полінезія (1 станція на о-ві Паго Паго); 6 - східне узбережжя Тихого океану (6 станцій). Далі для кожного району вибиралася одна, найбільш репрезентативна станція. Вибір відбувався за двома критеріями. По-перше будувалася таблиця парних коефіцієнтів кореляції між усіма станціями даного району. З усіх станцій вибиралася та, яка найкращим чином корелювала з сусідніми станціями. По-друге, для кожної станції було отримано рівняння регресії, яке відображало середню швидкість підйому або опускання рівня на даній станції і ті станції,

У таблицях 4.1-4.4 наведені коефіцієнти парної кореляції для кожного району. Нижче показані рівняння регресії для кожної станції даного району.

Після аналізу даних по кожному району для подальшого аналізу було обрано такі станції:

- 1 район - Маніла
- 2 район - Таунсвілл
- 3 район - Кваялейн
- 4 район - Паго Паго
- 5 район - Гонолулу
- 6 район - Бальбоа

Ці станції на рис.3.1 виділені синім кольором.

Таблиця 4.1 - Район 1

		Маніла	Легаспі	Цебу	Давао	Холо
Маніла	кореляція Пірсона	1	, 882 (**)	, 430 (**)	, 767 (**)	, 298 (**)
Легаспі	кореляція Пірсона	, 882 (**)	1	, 500 (**)	, 704 (**)	, 477 (**)
Цебу	кореляція Пірсона	, 430 (**)	, 500 (**)	1	, 525 (**)	, 677 (**)
Давао	кореляція Пірсона	, 767 (**)	, 704 (**)	, 525 (**)	1	, 474 (**)
Холо	кореляція Пірсона	, 298 (**)	, 477 (**)	, 677 (**)	, 474 (**)	1

** Кореляція значуща на рівні 0.01 (2-сторін.).

Рівняння регресії:

$$\text{Маніла: } H = 6509.97 + 0.64x$$

$$\text{Легаспі: } H = 6730.64 + 0.44x$$

$$\text{Цебу: } H = 6928.75 + 0.06x$$

$$\text{Давао: } H = 6953.13 + 0.16x$$

$$\text{Холо: } H = 7038.07$$

район 2

Рівняння регресії:

$$\text{Таунсвілл: } H = 6832.12 + 0.09x$$

Таблиця 4.2 - Район 3

		Гуам	Чуук	Кваялейн	Вейк Айленд
Гуам	Кореляція Пірсона	1	,509(**)	,623(**)	,281(**)
	Знч.(2-сторон)		,000	,000	,000
	N	676	478	661	596
Чуук	Кореляція Пірсона	,509(**)	1	,781(**)	,153(**)
	Знч.(2-сторон)	,000		,000	,001
	N	478	490	480	433
Кваялейн	Кореляція Пірсона	,623(**)	,781(**)	1	,251(**)
	Знч.(2-сторон)	,000	,000		,000
	N	661	480	721	633
Вейк Айленд	Кореляція Пірсона	,281(**)	,153(**)	,251(**)	1
	Знч.(2-сторон)	,000	,001	,000	
	N	596	433	633	640

** Кореляція значима на рівні 0.01 (2-сторін.).

Рівняння регресії:

$$\text{Гуам: } H = 6970.0 + 0.09x$$

$$\text{Чуук: } H = 6925.4 - 0.01x$$

$$\text{Кваялейн: } H = 6877.43 + 0.13x$$

$$\text{Вейк Айленд } H = 6886.27 + 0.16x$$

район 4

Рівняння регресії:

$$\text{Паго Паго: } H = 6818.61 + 0.19x$$

Таблиця 4.3 - Район 5

		Гонолулу	Кахулуї	Хіло
Гонолулу	кореляція Пірсона	1	, 913 (**)	, 756 (**)
	ЗНЧ. (2-сторін)		, 000	, 000
	N	тисячі		
		двісті		
		тридцять	672	733
		шість		
Кахулуї	кореляція Пірсона	, 913 (**)	1	, 860 (**)
	ЗНЧ. (2-сторін)	, 000		, 000
	N	672	672	672
Хіло	кореляція Пірсона	, 756 (**)	, 860 (**)	1
	ЗНЧ. (2-сторін)	, 000	, 000	
	N	733	672	733

** Кореляція значуща на рівні 0.01 (2-сторін.).

Рівняння регресії:

$$\text{Гонолулу: } H = 6943.37 + 0.12x$$

$$\text{Кахулуї: } H = 6828.53 + 0.19x$$

$$\text{Хіло: } H = 6821.78 + 0.27x$$

Таблиця 4.4 - Район 6

Акапулько	Кореляція Пірсона	1	,432(**)	-,016	,149(**)	,372(**)	-,305(**)
	Знч.(2-сторон)		,000	,723	,001	,000	,000
	N	522	466	476	471	500	384
Бальбоа	Кореляція Пірсона	,432(**)	1	,245(**)	,055	,176(**)	,032
	Знч.(2-сторон)	,000		,000	,227	,000	,476
	N	466	1061	615	478	549	514
Буенавентура	Кореляція Пірсона	-,016	,245(**)	1	,703(**)	,169(**)	,676(**)
	Знч.(2-сторон)	,723	,000		,000	,000	,000
	N	476	615	668	499	561	482
Тумако	Кореляція Пірсона	,149(**)	,055	,703(**)	1	,268(**)	,108(*)
	Знч.(2-сторон)	,001	,227	,000		,000	,040
	N	471	478	499	530	514	363
Ліббертад	Кореляція Пірсона	,372(**)	,176(**)	,169(**)	,268(**)	1	-,097(*)
	Знч.(2-сторон)	,000	,000	,000	,000		,048
	N	500	549	561	514	635	414
Матарані	Кореляція Пірсона	-,305(**)	,032	,676(**)	,108(*)	-,097(*)	1
	Знч.(2-сторон)	,000	,476	,000	,040	,048	
	N	384	514	482	363	414	519

** Кореляція значима на рівні 0.01 (2-сторон.).

* Кореляція значима на рівні 0.05 (2-сторон.).

Рівняння регресії:

$$\text{Акапулько: } H = 1266.19 + 0.01x$$

$$\text{Бальбоа: } H = 6982.02 + 0.12x$$

Буенавентура: $H = 2699.31 + 0.13x$

Тумако: $H = 3180.75 - 0.11x$

Лібертад: $H = 7082.66 - 0.1x$

Матарані: $H = 388.0 + 1.39x$

На рис.4.1 наведені графіки часового ходу рівня для обраних станцій.

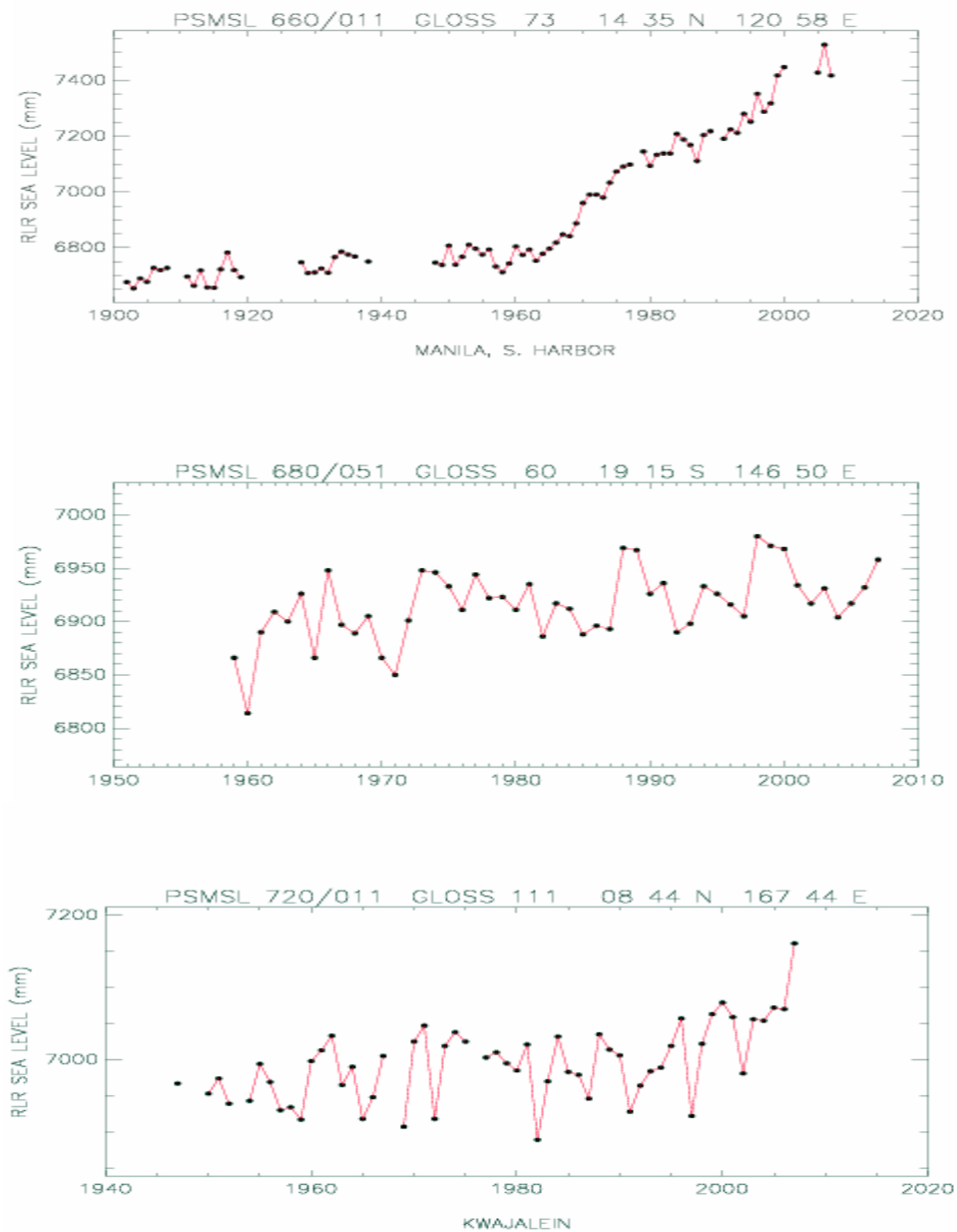


Рис.4.1 Графіки тимчасового ходу для станцій Маніла (а), Таунсвілл (б), Кваялейн (в), Паго Паго (г), Гонолулу (д) і Бальбоа (е)

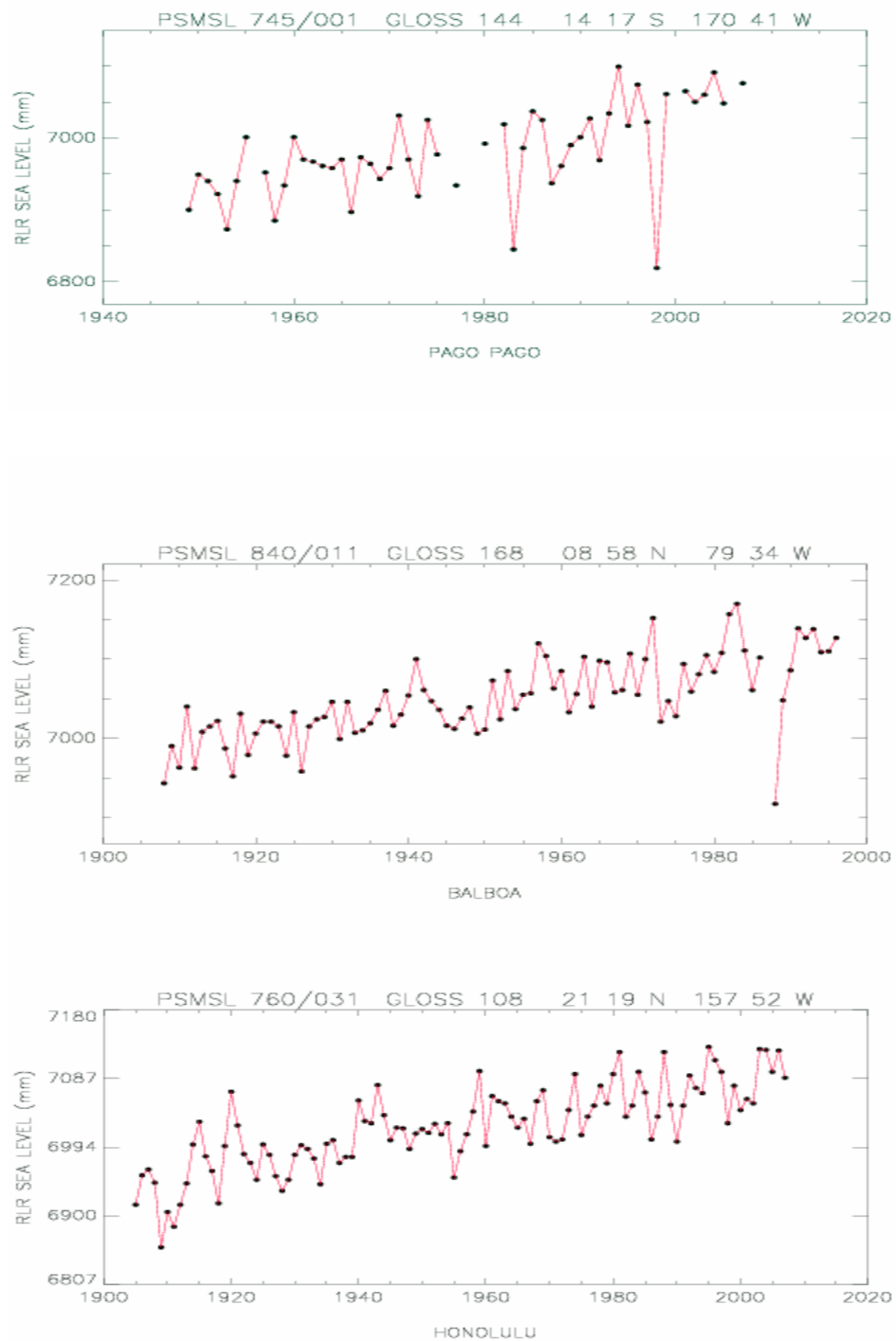


Рис 4.1 Продовження

Тепер, для того, щоб з'ясувати, чи однакові фактори впливають на коливання рівня на всіх станціях, з'ясуємо статистичні характеристики

кожного ряду и коефіцієнти парної кореляції між ними. Результати представлені в таблицях 4.5 , 4.6

Таблиця 4.5 – Статистичні характеристики вихідних рядів спостережень

Статистика							
	(Маніла)	(Таунсвил)	(Кваялейн)	(ПагоПаго)	(Гонолулу)	(Бальбоа)	
N	1236	588	739	711	1236	1068	456
Мінімум	649	671	669	672	6785	6707	
Максимум	771	718	721	7154	726	736	
Середнє	6908,1	6916,1	6991,1	6982,1	7020,6	7048,1	
Стд. відхилення	272,3	85,92	72,7	74,4	73,01	115,6	

Аналізуючи таблицю 4.5 слід звернути увагу на наступні фактори: 1) Чрезвичайно високе значення размаху коливання рівня на станції Маніла. Різниця між мінімальним та максимальним значеннями складає 1225 мм, а стандартне відхилення – 272 мм, тоді як на інших станціях вони значно менші. 2) Середнє значення рівня зростає в міру пересування з заходу на схід. Різниця між крайніми точками (Маніла та Бальбоа) складає 140 мм. Коефіцієнти парної кореляції між станціями регіону приведені в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Коефіцієнти кореляції між урівневими станціями

Кореляції							
		LINT(Маніла)	LINT(Таунсвилл)	LINT(Кваялейн)	LINT(ПагоПаго)	LINT(Гонолулу)	LINT(Бальбоа)
LINT(Маніла)	Кореляція Пірсона Знч.(2-сторон) N						
LINT(Таунсвилл)	Кореляція Пірсона Знч.(2-сторон) N	-,091* ,028 588					
LINT(Кваялейн)	Кореляція Пірсона Знч.(2-сторон) N	,458** ,000 739	,211** ,000 588				
LINT(ПагоПаго)	Кореляція Пірсона Знч.(2-сторон) N	,506** ,000 711	-,039 ,340 588	,349** ,000 711			
LINT(Гонолулу)	Кореляція Пірсона Знч.(2-сторон) N	,543** ,000 1236	-,266** ,000 588	,133** ,000 739	,211** ,000 711		
LINT(Бальбоа)	Кореляція Пірсона Знч.(2-сторон) N	,432** ,000 1068	-,672** ,000 456	-,120** ,003 607	,101* ,015 579	,376** ,000 1068	

*. Кореляція значима на рівні 0.05 (2-сторон.).

**. Кореляція значима на рівні 0.01 (2-сторон.).

Як видно з таблиці, більшість коефіцієнтів кореляції значимі, що говорить про те, що коливання рівня на всіх станціях знаходяться під

впливом одних і тих же процесів. Виняток становлять кореляції між Таунсвілла і Манілою, Таунсвілла і Паго Паго і Бальбоа і Паго Паго. Найвищий позитивний коефіцієнт кореляції спостерігається між Гонолулу і Манілою (0.543), а негативний між Бальбоа і Таунсвілла (-0.672) (станції знаходяться на протилежних берегах Тихого океану). Слід зазначити, що територіальна близькість станцій не означає збільшення коефіцієнта кореляції між ними. Наприклад, коливання рівня в Манілі найкраще корелюють з коливаннями рівня в Гонолулу (0.543), а не з набагато ближче розташованими Кваялейном (0.458) або Таунсвілла (-0.091). Отже, на кожній зі станцій визначальними можуть бути різні процеси. Спершу спробуємо з'ясувати, які ж процеси відіграють провідну роль в мінливості коливань рівня на кожній станції. Для цього були пораховані функції спектральної щільності для всіх станцій і графіки взаємної спектральної щільності для різних пар станцій. Їх графіки наведені на рис.4.2 і 4.3 відповідно.

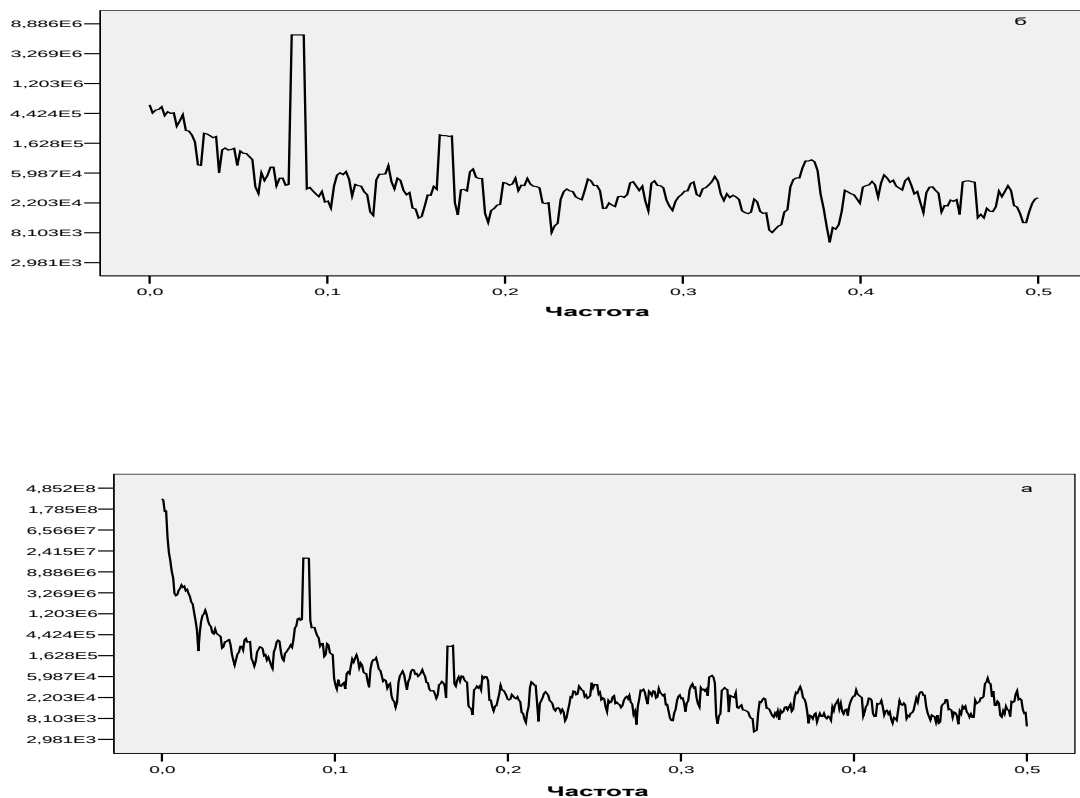


Рис.4.2 Графіки спектральних функцій коливань рівня моря на станціях Маніла (а), Таунсвілл (б), Кваялейн (в), Паго Паго (г), Гонолулу (д), Бальбоа (е)

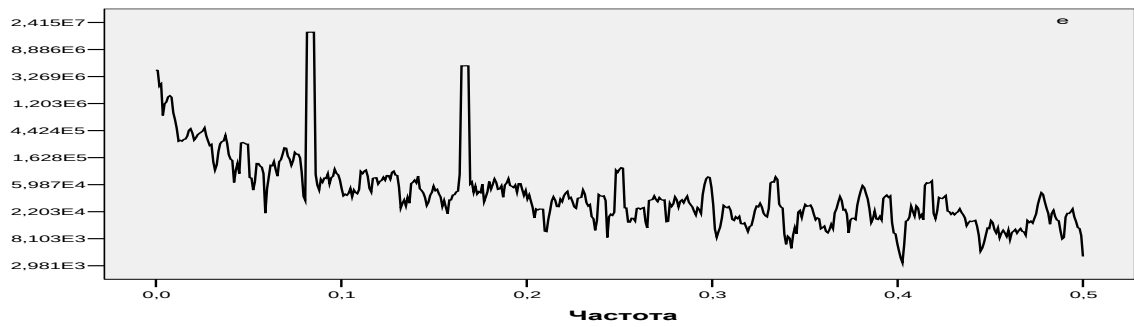
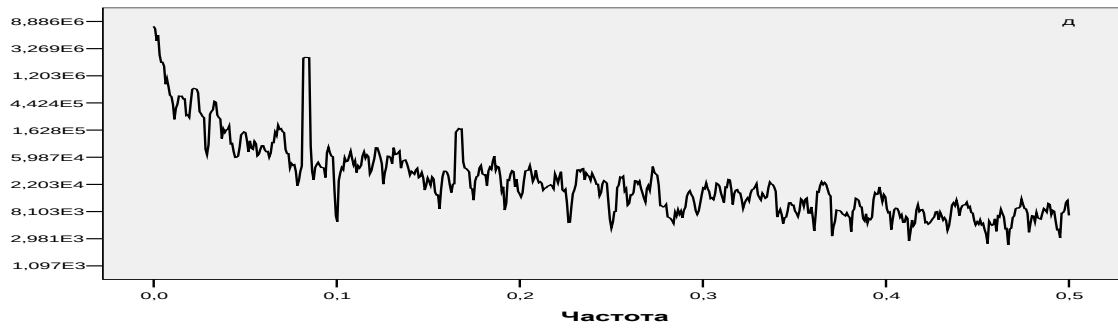
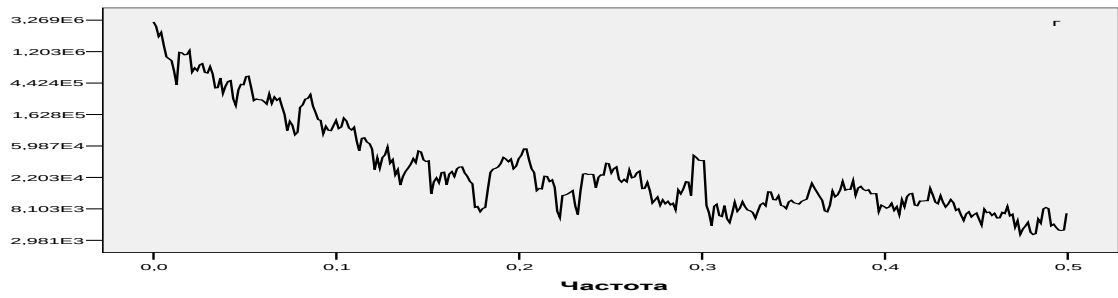
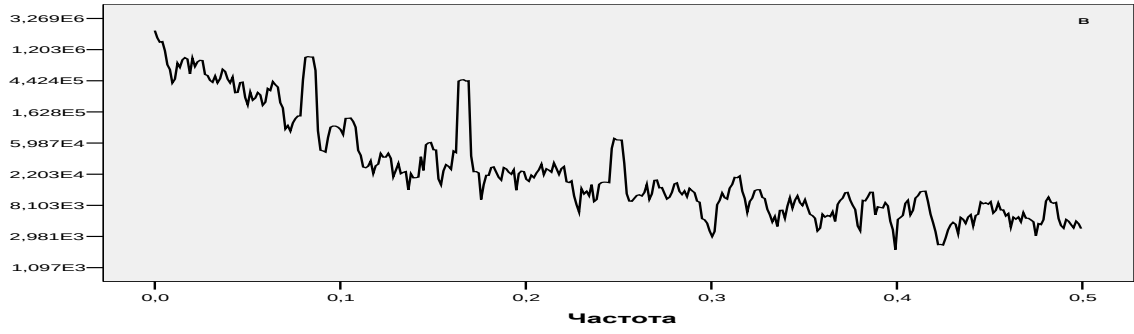


Рис. 4.2 Продолжения

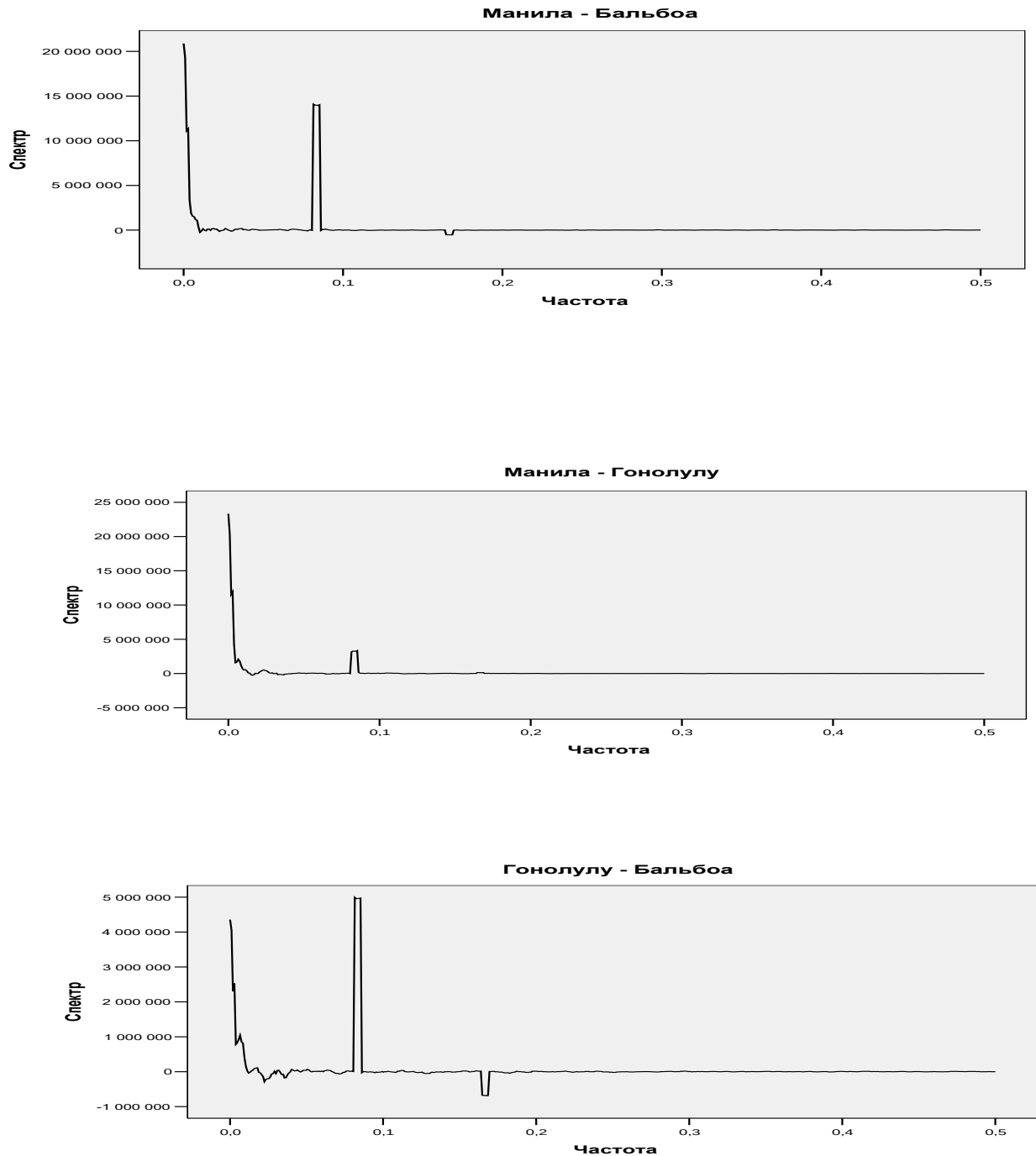


Рис.4.3 Графіки взаємної спектральної щільності на станціях Маніла-Гонолулу (а), Маніла-Бальбоа (б) і Гонолулу-Бальбоа (в)

Аналіз графіків спектральної щільності на кожній станції дозволяє виділити кілька значущих піків. На всіх станціях добре простежується сплеск спектральної енергії на частоті 0.9 міс^{-1} і 0.16 міс^{-1} , що відповідає процесам річного та піврічного періодів. На деяких станціях можна відзначити слабкі сигнали на періодах 3-4 місяці. Однак ні на одній зі станцій немає значущих

піків на періодах понад один рік. Тобто, на них не простежується зв'язку ні з сонячною активністю (періоди 5.6, 8.4, 11 і 22 роки), ні з Чандлеровское періодом варіацій швидкості обертання Землі (14 місяців).

Аналогічну картину можна простежити і на графіках взаємної спектральної щільності між станціями регіону (рис.4.3). Тут також відзначаються яскраво виражені піки на частоті відповідної річного періоду і інших значущих піків не видно. Для підтвердження відсутності зв'язку між можливими причинами, що викликають коливання рівня на міжрічному масштабі і самими коливаннями рівня на станціях тропічної зони Тихого океану, були побудовані графіки взаємної спектральної щільності між тимчасовими рядами чисел Вольфа, індексами ЮК, відхиленнями швидкості обертання Землі і коливаннями рівня на обраних станціях. Результати представлені на рис 4.4 і 4.5.

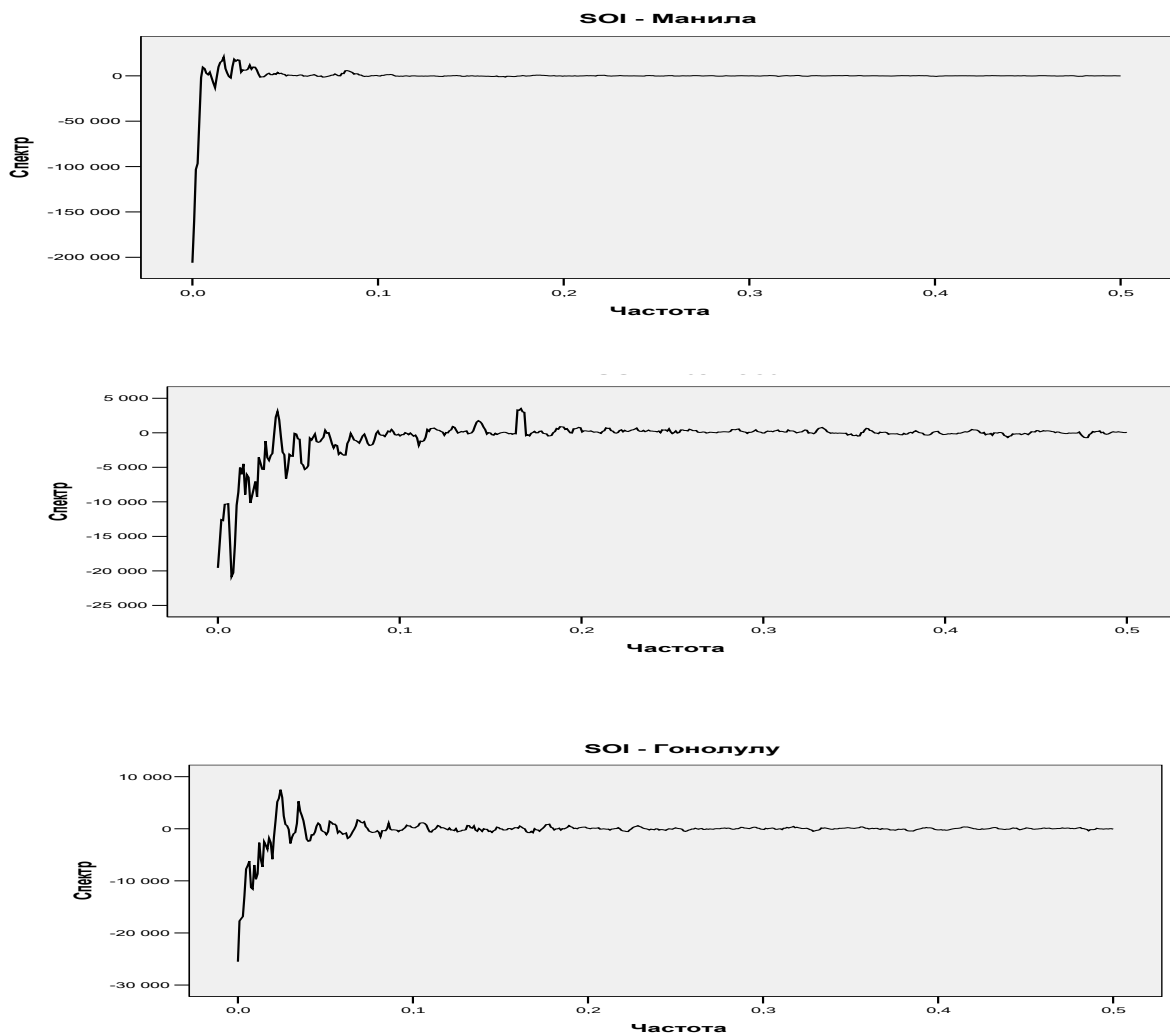


Рис.4.4 Графіки взаємної спектральної щільності індексу ЮК з коливаннями рівня на ст.Маніла (а), Гонолулу (б), Бальбоа (в)

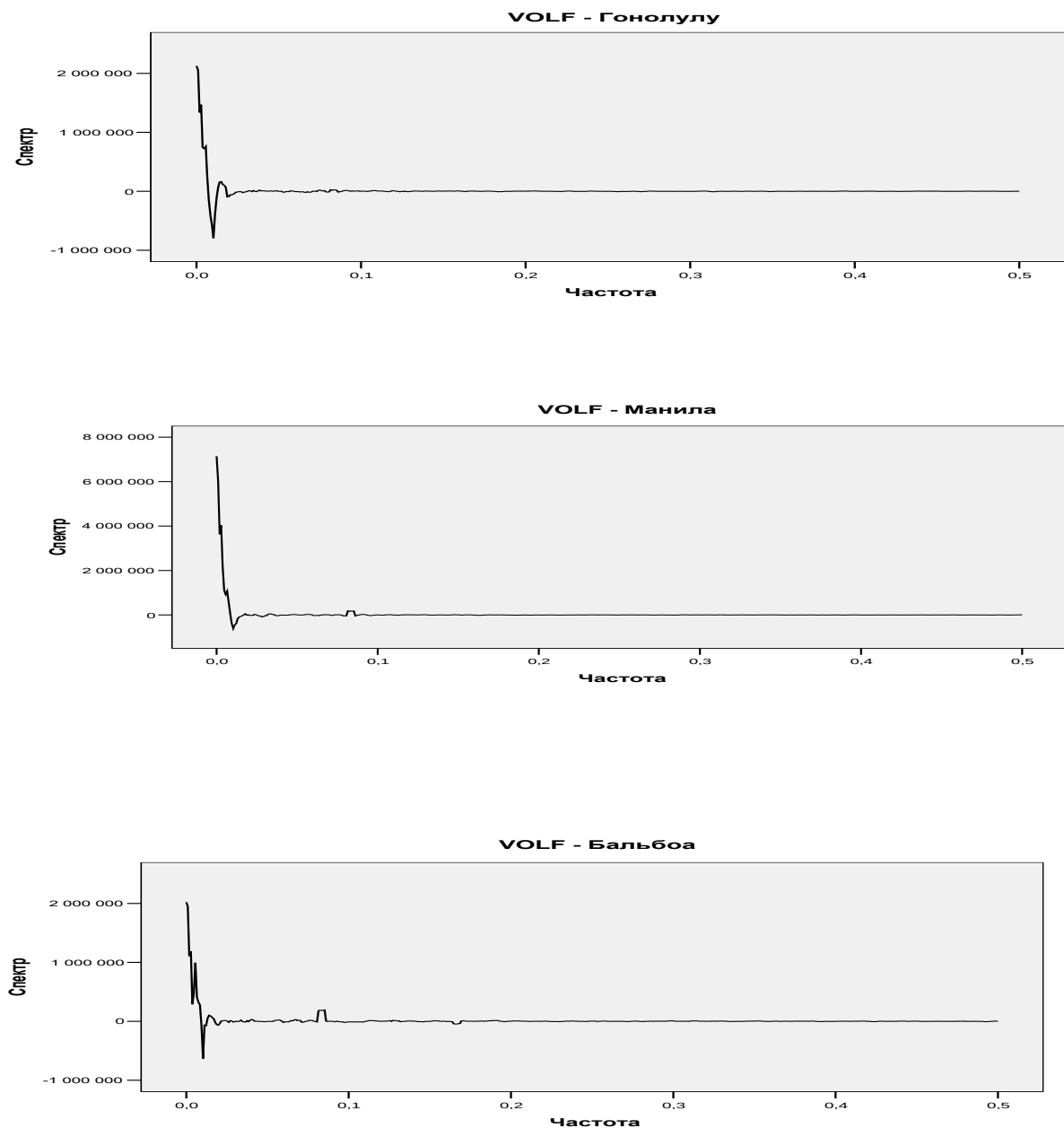


Рис.4.5 Графіки взаємної спектральної щільності чисел Вольфа з коливаннями рівня на ст. Маніла (а), Гонолулу (б) і Бальбоа (в)

На рис.4.4 можна виділити переважну частоту, на якій можна було б відзначити енергетичний пік зв'язку між індексом ЮК і коливаннями рівня на будь-якої зі станцій. На всіх трьох графіках можна помітити цілу серію піків, які знаходяться в інтервалі від 0.02 до 0.05 міс^{-1} , Що відповідає періодам від 2 до 5 років. Більш низькі частоти не є енергонесучими, більш високі - відповідають спектру білого шуму. З цього можна зробити висновок, що зв'язок між індексом ЮК і коливаннями рівня в тропічній зоні Тихого океану

існує в діапазоні 2-5 років, що відповідає періодам явища ЕНЮК (Ель-Ніньо - Південне Коливання). Причому слід зазначити, що інтенсивність зв'язку з цим зростає із заходу на схід і досягає максимуму у східного узбережжя Тихого океану.

Що стосується зв'язку між числами Вольфа і коливаннями рівня, то наявності такого зв'язку не виявлено. На рис. 4.5б і 4.5в можна відзначити невеликі піки на частоті, що відповідає періоду 10-11 років, проте вони не виходять за межі довірчих інтервалів.

Аналіз зв'язку коливань рівня з явищем Ель-Ніньо. Для аналізу зв'язку коливань рівня в тропічній зоні Тихого океану з явищем Ель-Ніньо були обрані 5 станцій, розташованих поблизу екватора (технічні характеристики станцій вказані в гл.3). Станції вибиралися таким чином, щоб всю відстань між східною і західною границями океану було покрито приблизно рівномірно. Розглядалися два тимчасових ряди, по п'ять років кожен, відповідні зародженню, розквіту, згасання явища Ель-Ніньо і переходу його в Ла-Ніньо. Це найбільш яскраво виражені явища другої половини минулого століття 1981-1985, 1996-2000 рр. і початку нинішнього століття 2015-2017 рр. Однак дані про коливання рівня в 2014-2016 рр є не на всіх обраних станціях. На станціях Крістмас і Лібертад дані по рівню відсутні. Таким чином, за цей період були оброблені тільки три станції - Малакал, Санта-Круз та Капінгамарангі.

Відповідно до більшості моделей коливань рівня, розроблених останнім часом, коливання на західних і східних берегах океану повинні відбуватися в протифазі (рис.4.6)

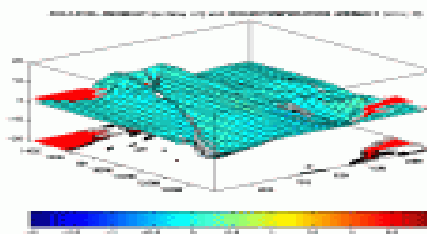


Рис.4.6 Модель рівної поверхні тропічної зони Тихого океану

Розглянемо графіки часового ходу рівня на відібраних станціях протягом 1981-1985 років. На рисунку добре видно, як позитивна аномалія рівня, що утворилася в попередні місяці у західних берегів Тихого океану, поступово переміщується на схід і до зимових місяців 1983 года, тобто до моменту максимального розвитку Ель Ніньо, досягла берегів Південної Амер

ики. У той же час у західних берегів утворилася добре виражена негативна аномалія. Причому слід зазначити, що амплітуда позитивної аномалії в міру пересування до східних берегів зростала. І якщо зростання амплітуди безпосередньо біля берега (на станції Лібертад) можна пояснити впливом твердого кордону, то зростання амплітуди коливання рівня на станціях, розташованих у відкритому океані, пояснень поки не знайдено.

Аналогічна картина спостерігалася і в 1996-2000 роках. Знову позитивна аномалія рівня, що накопичилася на заході, починає переміщатися на схід, збільшуючи свою амплітуду, і до зими 1997-1998 року досягає максимуму у східних берегів Тихого океану. Ель-Ніньо 2016-2017 року на графіках виражено менш показово, оскільки до початку 2017 р. (тобто по завершенню даних спостережень) активна фаза Ель-Ніньо ще не завершилася. Порівнюючи перші два випадки можна відзначити ще одну особливість. У міру підходу гребеня хвилі до східного берега, він розпадається на кілька окремих гребенів. У 83 році їх було два, а в 1997 навіть три. Причина цього розпаду на окремі хвилі також поки не знайдена.

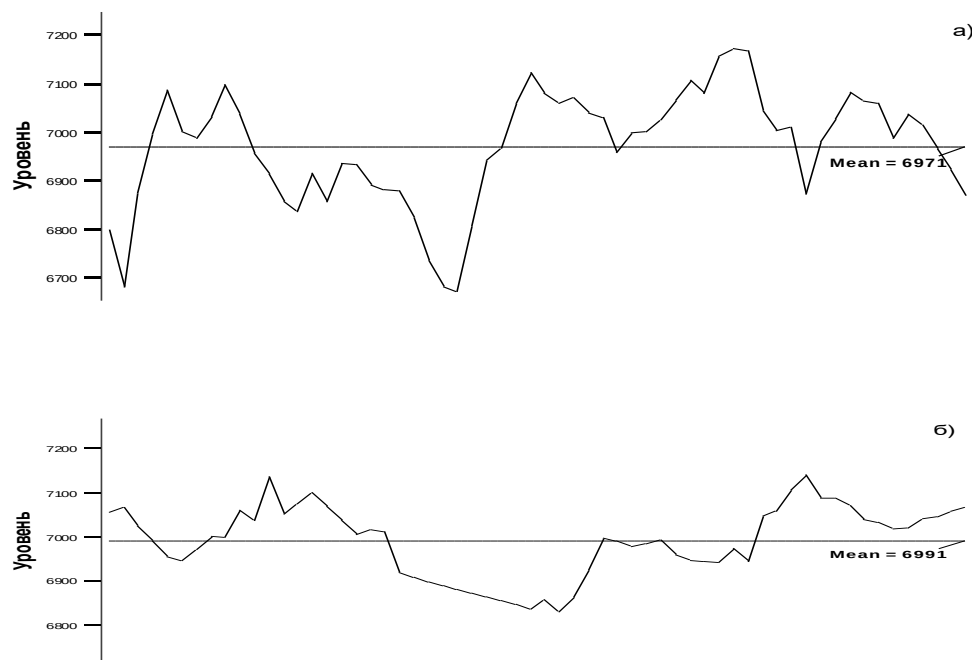


Рис.4.7 Графіки часового ходу рівня моря на станціях Малакал (а), Капінгамарангі (б), Крістмас (в), Санта Круз (г) і Лібертад (д) в 1981-1986 рр.

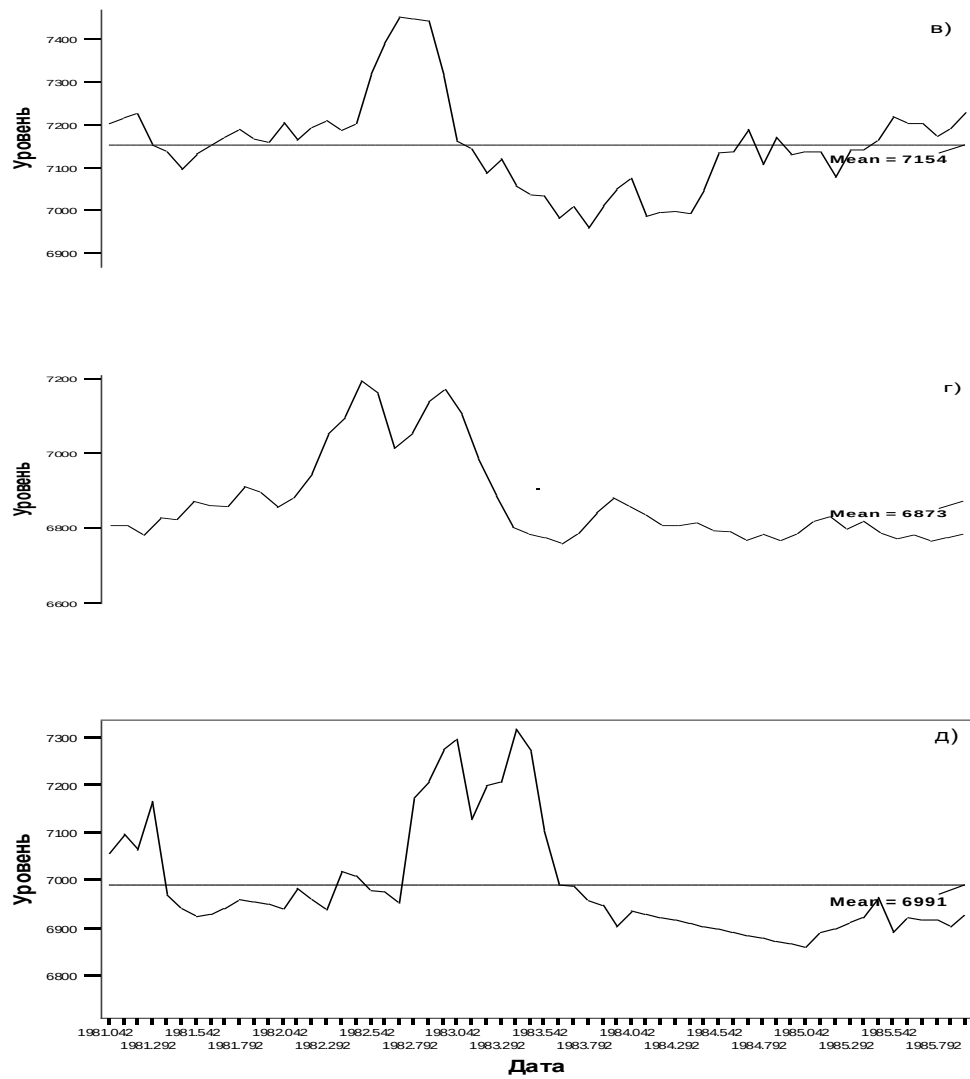


Рис.4.7 Проовження.

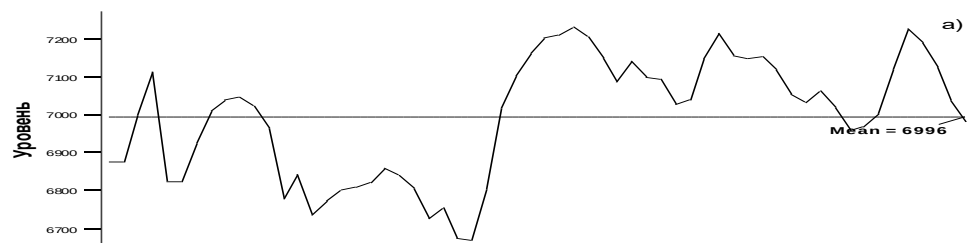


Рис.4.8 Графіки часового ходу рівня моря на станціях Малакал (а), Капінгамарангі (б), Крістмас (в), Санта Круз (г) і Лібертад (д) в 1996-2000 рр

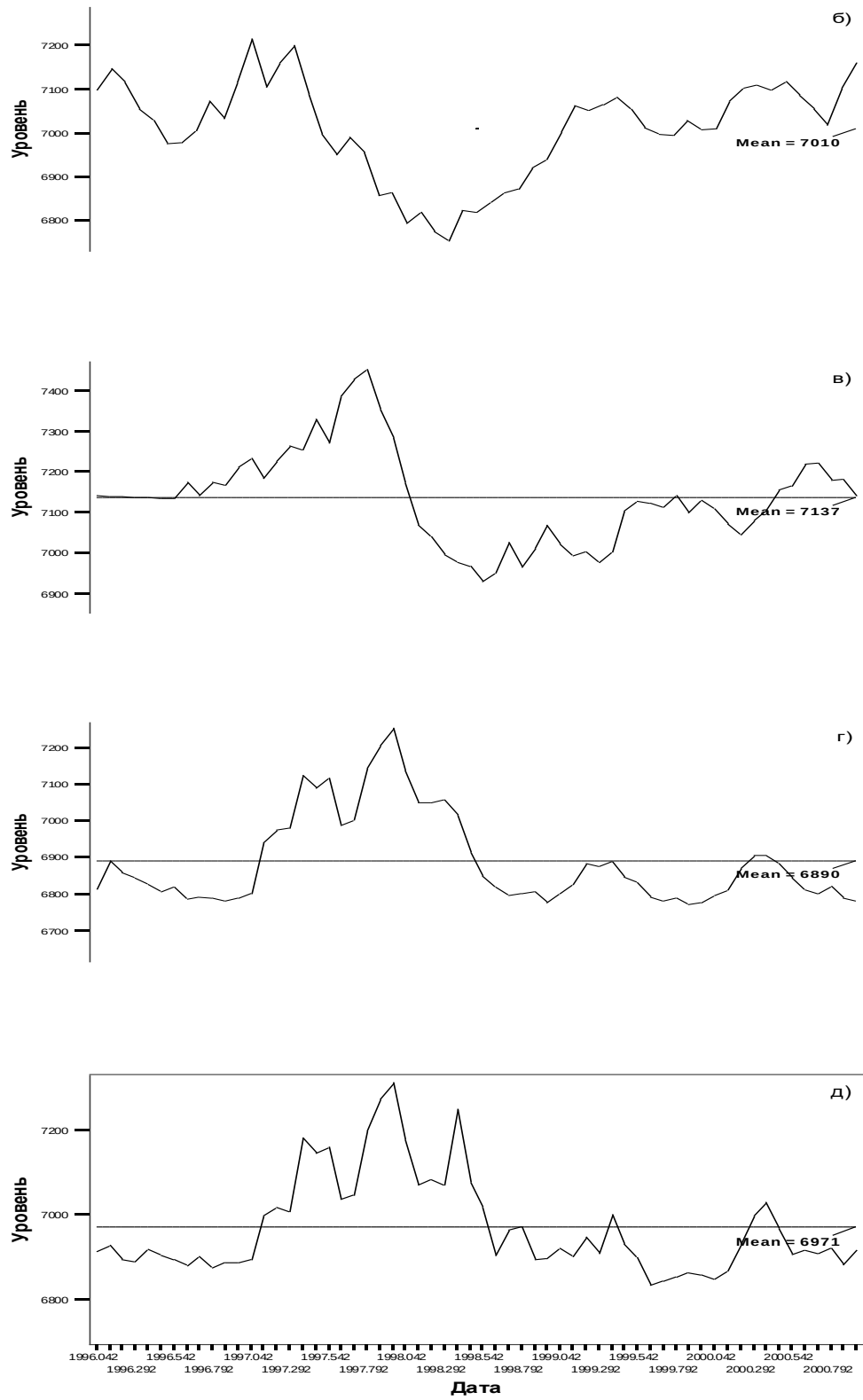
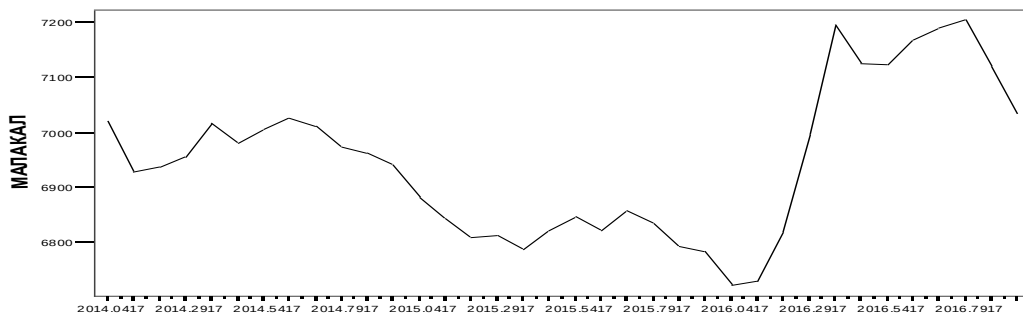
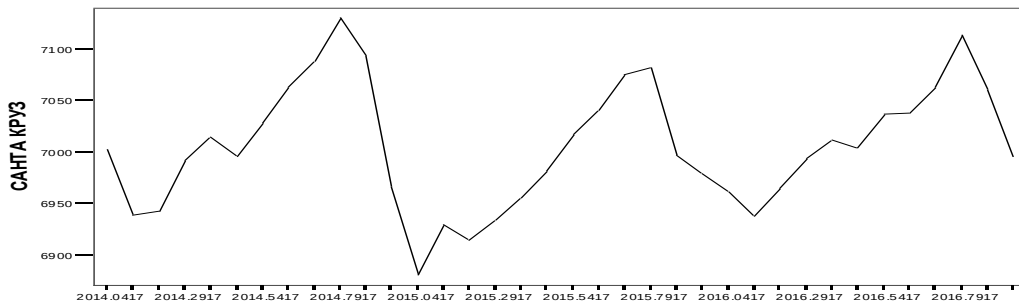


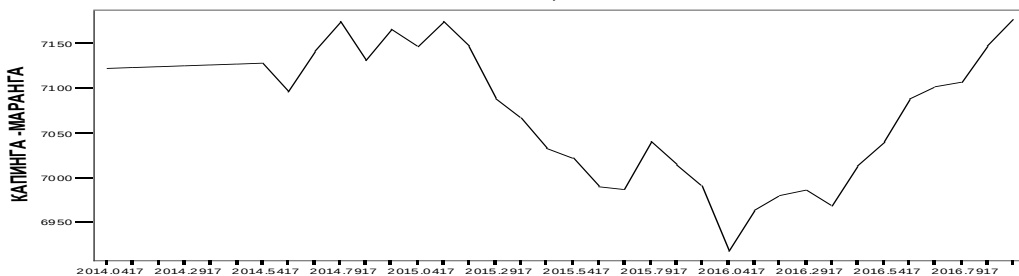
Рис.4.8 Продолжения.



а)



б)



г)

Рис.4.9 Графіки часового ходу рівня моря на станціях Малакал (а), Санта-Круз (б) та Капінгамарангі (г) в 2014-2016 рр.

Ще одну дивну особливість можна побачити на графіку 4.9 (б). На цьому графіку зображено хід рівня на станції Санта-Круз. На ньому добре простежуються три послідовних хвилі приблизно однієї висоти. Причому періодичність цих хвиль становить рівно один рік. Пік цих хвиль припадає на серпень 2014, серпень 2015 і серпень 2016 року. Причина появи таких хвиль на одній зі станцій також не з'ясована.

Коефіцієнти парної кореляції для всіх пар станцій представлені в таблицях 4.7, 4.8 і 4.9.

Таблиця 4.7 - Коефіцієнти парної кореляції між станціями регіону
1981-1985 рр

Кореляції

		Малакал	LINT(Кап инга)	LINT(Кри стмас)	LINT(Санта)	LINT(Либ ертад)
Малакал	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N					
LINT(Капинга)	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N	-,115 ,383 60				
LINT(Кристмас)	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N	-,577** ,000 60	,174 ,185 60			
LINT(Санта)	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N	-,454** ,000 60	-,616** ,000 60	,230 ,077 60		
LINT(Либертад)	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N	-,438** ,000 60	-,624** ,000 60	,175 ,180 60	,958** ,000 60	

** . Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).

Таблиця 4.8 - Коефіцієнти парної кореляції між станціями регіону
1996-2000 рр

Корреляції

		Малакал	LINT(Кар инга)	LINT(Кри стмас)	Санта	Либертад
Малакал	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N					
LINT(Каринга)	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N	,188 ,150 60				
LINT(Кристмас)	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N	-,571** ,000 60	,007 ,959 60			
Санта	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N	-,683** ,000 60	-,613** ,000 60	,436** ,000 60		
Либертад	Корреляция Пирсона Знч.(2-сторон) N	-,555** ,000 60	-,662** ,000 60	,324* ,012 60	,940** ,000 60	

** . Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).

* . Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).

Таблиця 4.8 - Коефіцієнти парної кореляції між станціями регіону 2014-2016
рр

		МАЛАКАЛ	САНТА КРУЗ	КАПІНГА - МАРАНГІ
МАЛАКАЛ	Кореляція Пірсона	1	,508(**)	,323
САНТА КРУЗ	Кореляція Пірсона	,508(**)	1	,055
КАПІНГА - МАРАНГІ	Кореляція Пірсона	,323	,055	1

Отримані таблиці в основних рисах схожі один на одного. У всіх таблицях найзахідніша станція (Малакал) не корелює з найближчою станцією (Капінгамарангі), а з усіма іншими станціями коефіцієнт кореляції від'ємний. Наступна станція також не корелює з сусідньої, а з більш східними станціями коефіцієнт кореляції від'ємний. Крістмас, станція, розташована приблизно посередині між західним і східним берегами, перебуває ніби в вузловій точці коливань і тому слабо корелює майже з усіма станціями. Дві найбільш східні станції мають найвищими коефіцієнтами кореляції як між собою (позитивної), так і з іншими станціями (негативною). Дуже висока позитивна зв'язок між станціями Санта-Круз і Лібертад (0,958 в першому випадку і 0.94 - у другому) пояснюється, очевидно тим, що оби дві вони знаходяться у зоні апвелінгу, тому і коливання рівня у них синхронні.

Значний негативний зв'язок між станціями західного і східного берегів тропічної зони Тихого океану говорить про те, що коливання рівня на цих станціях знаходяться в різних фазах. Для того, щоб визначити різницю фаз коливань (тобто затримку в часі) на різних станціях були побудовані взаємнокореляційні функції між станціями. графіки цих функцій показані на рис.4.10.

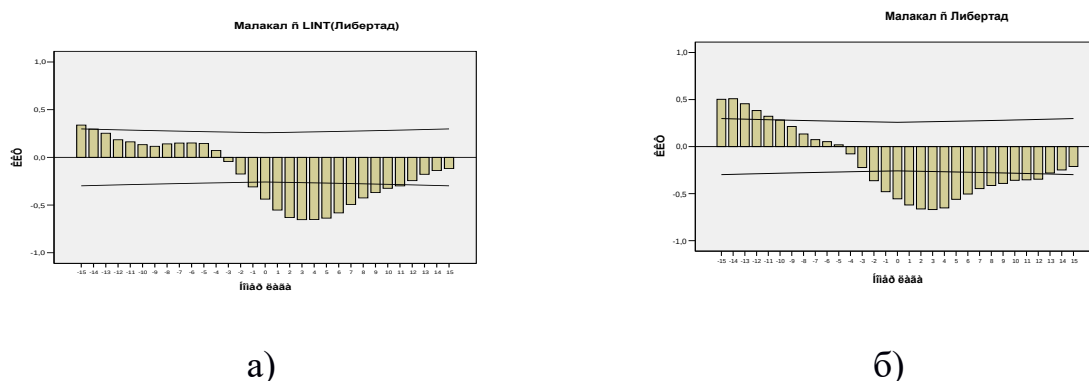
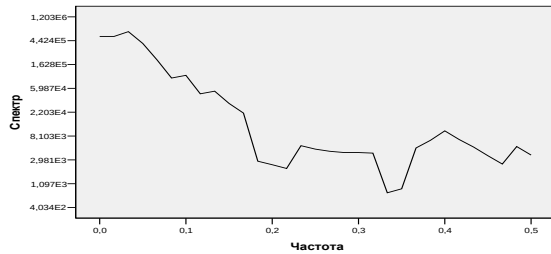


Рис. 4.10 Графіки взаємнокореляційних функцій між коливаннями рівня на станціях Малакал і Лібертад в 1981-1985 рр. (А) і 1996-2000 рр. (Б).

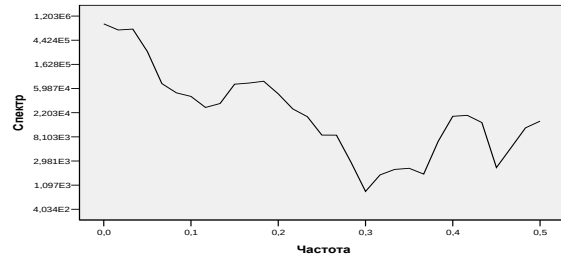
Перше, що викликає увагу, це те, що форми кривих за 1981-1985 роках і 1996-2000 рр майже повністю ідентичні, вони розрізняються лише в дрібних деталях. Це свідчить про те, що обидва явища Ель-Ніньо, можливо, відрізняючись за інтенсивністю, відбувалися за одним сценарієм. Час, необхідний для проходження обурення від найзахіднішої станції тропічної зони Тихого океану (Малакал) до самої східної (Лібертад), становить 19-20 місяців. Таким же чином були розраховані затримки в часі між окремими станціями. Окремо по відрізках між станціями затримка в часі становить: від Макалала до Капінгамарамі 6 місяців, від Капінгамарамі до Крістмас 9 місяців, від Крістмас до Санта-Круз і до Лібертад обурення доходить за 4 місяці. Рівень на станціях Санта-Круз і Лібертад практично одночасно (тобто з затримкою менше 1 місяця) реагує на обурення, про що свідчить як однаковий час затримки до інших станцій, так і нульовий зсув по часу між цими станціями. Це підтверджує наш висновок про те, що обидві ці станції знаходяться в зоні апвеллінга в межах радіусу деформації. Для порівняння інтенсивності явища Ель-Ніньо в 1983 і 1998 роках можна привести графіки спектральної потужності рівня моря в цей час. На рис.4.11 наведено приклади спектрів для тимчасового ходу рівня на станціях Крістмас і Лібертад. З малюнка видно, що інтенсивність процесу на станції Лібертад в 1983 році трохи нижче, ніж в 1998, а на станції Крістмас вище. що обидві ці станції знаходяться в зоні апвеллінга в межах радіусу деформації. Для порівняння інтенсивності явища Ель_Ніньо в 1983 і 1998 роках можна привести графіки спектральної потужності рівня моря в цей час. На рис.4.11 наведено приклади спектри для тимчасового ходу рівня на станціях Крістмас і Лібертад. З малюнка видно, що інтенсивність процесу на станції Лібертад в 83 році трохи нижче, ніж в 1998, а на станції Крістмас вище. що обидві ці станції знаходяться в зоні апвелінга в межах радіусу деформації. Для порівняння інтенсивності явища Ель-Ніньо в 1983 і 1998 роках можна привести графіки спектральної потужності рівня моря в цей час. На рис.4.11 наведено приклади спектри для тимчасового ходу рівня на станціях Крістмас і Лібертад. З малюнка видно, що інтенсивність процесу на станції Лібертад в 83 році трохи нижче, ніж в 98, а на станції Крістмас вище.

Всі вищенаведені розрахунки і графіки були зроблені за даними берегових та острівних рівенних станцій. Однак, згідно з науковими дослідженнями, відомо, що всі ці станції в більшій чи меншій мірі зазнають впливу тектонічних процесів, тобто вимірювальні прилади, що знаходяться на цих станціях, схильні до вертикальним зсувів, внаслідок чого їх дані

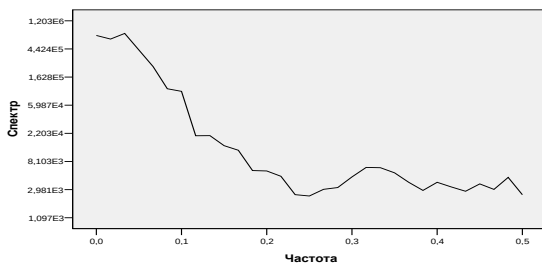
кілька спотворюються. Цей недолік відсутній у спостережень, проведених альтиметричними приладами зі супутників.



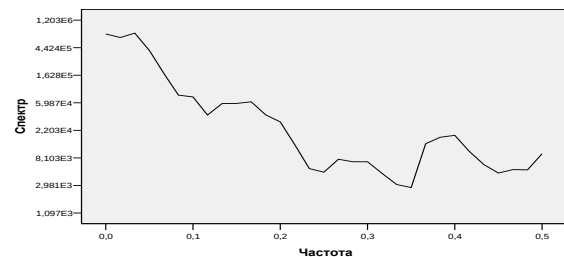
(a)



(a)



(б)

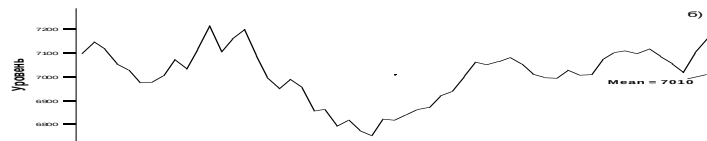
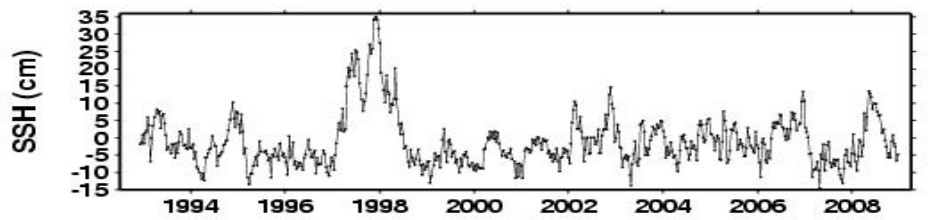


(б)

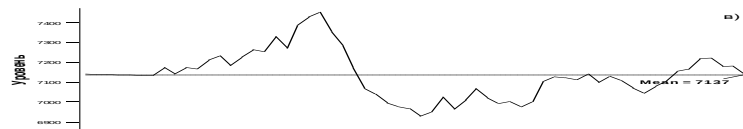
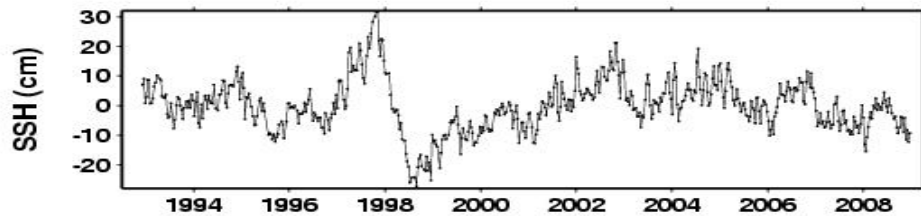
Рис. 4.11 Спектральна густина тимчасового ходу рівня в 1981-1985 рр (зверху) і 1996-2000 рр (знизу) на станціях Крістмас (а) і Лібертад (б)

Для оцінки даних, отриманих з берегових станцій, були взяті дані супутникових спостережень в трьох точках Тихого океану на екваторі, неподалік від досліджуваних станцій Капінгамарангі, Крістмас і Санта-Круз. Координати цих точок: західна - 155° в.д. (Ст.Капінгамарангі 154° в.д., $1^{\circ}05'$ с.ш.), Центральна - 150° з.д. (Крістмас $154^{\circ}47'$ з.д., $01^{\circ}59'$ с.ш.) І східна - 90° з.д (Санта-Круз $90^{\circ}19'$ з.д., $00^{\circ}45'$ ю.ш.). На рис.4.11 показані графіки тимчасового ходу рівня в обраних точках і на відповідних станціях. Порівняльний аналіз цих графіків показує, що вони повністю ідентичні. Додаткові дрібні деталі на графіках, побудованих за даними супутникових

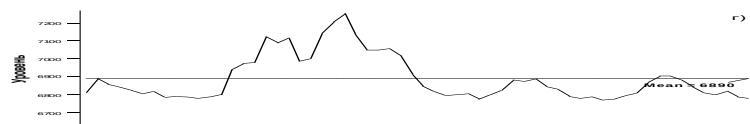
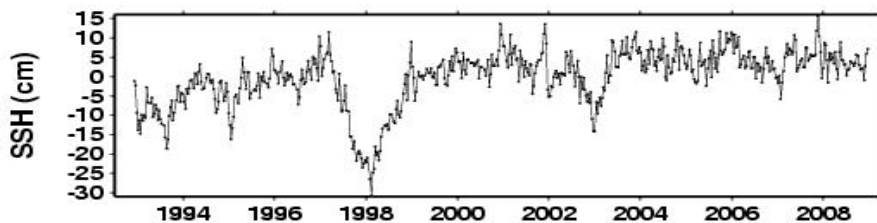
спостережень пов'язані з тим, що ці спостереження є миттєвими з інтервалом в 10 днів, а дані берегових станцій усереднені за часовий проміжок в один місяць.



а) ст. Капінга маранга



б) ст. Крістмас



в) ст. Санта Крус

Рис. 4.11 Тимчасовий хід рівня за супутниковими даними (верхні рисунки) і за даними станційних спостережень (нижні рисунки)

ВИСНОВКИ

- Коливання рівня в тропічній зоні Тихого океану відбуваються під впливом одних і тих же факторів, про що свідчать високі коефіцієнти кореляції між усіма дослідженими станціями
- Аналіз рівнянь регресії часового ходу рівня на берегових станціях показує, що на всій акваторії відбувається зростання рівня, причому в західній частині темпи зростання більше, ніж в східній
- Середнє значення рівня зростає у напрямку із заходу на схід
- На тимчасових спектрах коливань рівня всіх станцій простежуються піки на частотах, відповідних періодів 1 рік і 6 місяців, що, очевидно, пов'язано з річним ходом тиску і інших метеоелементов
- На взаємних спектрах індексу ЮК і коливань рівня відзначаються енергетичні піки на періодах 2-5 років, що відповідає тривалості явища Ель Ніньо
- Зв'язки між коливаннями рівня і сонячною активністю, вираженою в числах Вольфа, не виявлено
- Коливання рівня на станціях, розташованих на західних і східних берегах океану відбуваються в протифазі
- Час, необхідний для того, щоб обурення, яке виникло у західних берегів океану, досягло його східних берегів, становить приблизно 20 місяців, що і відповідає фазовій швидкості переміщення захопленої хвилі Кельві на

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Догановский А.М., Малинин В.Н. Гидросфера Земли. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. – 631 с.
2. Клиге Р.К. Изменения глобального водообмена. – М.: Наука, 1985. – 247с.
3. Фукс В.Р. Уровень Мирового океана как индикатор глобального потепления. – География и современность. СПб.: Изд.СПбГУ, 2005.- вып.10, с.73-93.
4. Лыкова В.В., Лыков А.А. Климатические изменения уровня моря, температуры воды и ледовитости. – Обнинск:Инф.центр, 1977. – 50 с.
5. <http://ggweather.com/euco/> .
6. Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 231 с.
7. Бьюль А., Цефель П. SPSS: Искусство обработки информации. – М.: DiaSoft, 2005. – 602 с.
8. Ушаков С.А., Ясаманов Н.А. Дрейф материков и климаты Земли. – М.: Мысль, 1984. – 203 с.
9. Ясаманов Н.А. Древние климаты Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 294 с.
10. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 319 с.
11. Адрианова О.Р., Многолетние колебания уровня Мирового океана: тенденции и причины. Одесса : «Астропринт» , 2014. – 159 с.
- 12.Wyrtky Klaus, 1974: Sea level and the seasonal fluctuations of the equatorial currents in the western Pacific ocean, J.Phys.Ocean, Vol. 4, N1, 91-103
- 13.Smith T.M., 1999: Tropical Pacific sea level variayions (1948-1998), Journal of Climate, Vol.13, N3, 2757-2769
- 14.МГЭИК,2012: Изменение климата. 2012, Обобщающий доклад. Женева, Швейцария. (електр.форма)
- 15.Goosse H., Barriat P.Y., Lefebvre W., Loutre M.F., Zunz V. Introduction to climate dynamics and climate modeling. 2009. (електр.форма)
16. Глобальные и региональные изменения климата. Шестопалов В.М., Логинов В.Ф., Осадчий В.И. и др. –К.: Ника-центр, 2011. 448 с.
- 17.Степаненко С.М. 2012. Динаміка та моделювання клімату, Одеса, 327с.
- 18.Полонский А.Б. Роль океана в современных изменениях климата. – Київ, Наукова Думка. - 2008. 182 С.