

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

---

**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет магістерської та  
аспірантської підготовки  
кафедра океанології та  
морського природокористування

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: **ЛЬОДОВІ УМОВИ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО  
МОРЯ**

Виконав студент 2 курсу групи МО-61  
спеціальність 103 «Науки про Землю»  
Катернюк Денис Ігорович

Керівник к. геогр., н., доцент  
Гаврилюк Раїса Володимирівна

Консультант \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Рецензент к.ф. – м.н., с.,н.,с.,  
Провідний метеоролог ГМЦ ЧАМ  
Матигін Олександр Сергійович

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 2017 року

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

Катернюку Денису Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Льодові умови в північно-західній частині Чорного моря

керівник роботи Гаврилюк Раїса Володимирівна, к.геогр.н., доцент,  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого освіти від “ 02 ” 11 2017 року № 321С

2. Строк подання студентом роботи 1.06. 2018

3. Вихідні дані до роботи Літературні джерела з мінливості льодових умов в північно-західній частині Чорного моря. Дані стандартних гідрометеорологічних спостережень на станціях північно-західній частини Чорного моря

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз за літературними джерелами та даними спостережень на станціях північно-західної частини Чорного моря змін льодових умов за останні 20 років Перевірка розроблених в минулому методів прогнозу льодових явищ, їх перерахування та оцінка можливості використання в практиці.

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

Графіки тимчасової мінливості характеристик льодового режиму в північно-західній частині Чорного моря.

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.	Огляд літератури з мінливості льодового режиму в північно-західній частині Чорного моря.	26.03.18 - 5.04.18	92	відмінно
2.	Аналіз змін характеристик льодового режиму на деяких станціях північно-західної частини Чорного моря за матеріалами спостережень за останні роки.	6.04-16.04.18р.	94	відмінно
3.	Аналіз методів прогнозу льодових явищ на станціях Миколаїв і Одеса. Перевірка результатів розрахунків прогнозів за матеріалами спостережень за останні роки.	17.04-25.04.18р.	94	відмінно
4.	Підготовка тексту магістерської роботи	26.04-30.04.18	90	відмінно
5.	Рубіжна атестація	30.04-6.05.18р.	90	відмінно
7.	Попередній захист роботи	29.05.18р.		
8.	Здача на кафедру	1.06.18р.		
9.	Перевірка на плагіат	8.06.18р.		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		92	

Студент \_\_\_\_\_ Катернюк Д.І.

( підпис )

( прізвище та ініціали )

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Гаврилюк Р.В.

( підпис )

( прізвище та ініціали )

## АНОТАЦІЯ

### **На магістерську роботу на тему «Льодові умови в північно-західній частині Чорного моря» Магістра групи МО-61, Катернюк Денис Ігорович**

#### **Актуальність обраної теми**

Льодовий покрив є одним з найбільш важливих факторів, який визначає стан поверхні моря. Дослідження та прогнозування його параметрів представляє не тільки науковий, але й великий практичний інтерес для морських галузей господарства. В північно-західній частині Чорного моря льодова обстановка буває доволі складною, що обмежує навігацію, а в деяких випадках потребує використання криголамів. Сучасні глобальні зміни відобразились на змінах характерних показників льодового режиму в Чорному морі. Тому урахування фактичних та прогностичних льодових умов впливає на ефективність гідрометеорологічного обслуговування морських галузей господарства, що обумовлює актуальність обраної теми.

#### **Мета і задачі дослідження**

Оцінити зміни льодових умов в північно - західній частині Чорного моря за останні 20 років за літературними джерелами, а також перевірити статистичні залежності для прогнозу характеристик льодового режиму в акваторіях портів.

#### **Об'єкт і предмет дослідження**

Об'єктом дослідження є льодовий режим північно-західної частини Чорного моря.

Предметом дослідження є характеристики льодового режиму та методи їх прогнозування.

#### **Методи дослідження**

При виконанні роботи використовуються традиційні методи географічних досліджень - порівняльний та респективний методи, методи статистичної обробки інформації – кореляційний, регресійний аналіз.

#### **Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення**

Отримано оцінки мінливості характеристик льодового режиму за даними спостережень на станціях північно-західної частини Чорного моря за останні 20 років. Представлено результати перевірки статистичних залежностей для прогнозу дат появи та дат очищення від льоду для станцій Миколаїв і Одеса. Розглянуто результати розрахунків прогнозів дат появи і дат очищення за перерахованими статистичними рівняннями.

Новизна магістерської роботи полягає в тому, що за матеріалами спостережень за останні 20 років представлено оцінки змін характеристик льодового режиму в північно-західній частині Чорного моря, а також

запропоновано нові статистичні рівняння для прогнозу дати появи і дати очищення для станцій Миколаїв та Одеси, що визначає їх теоретичне і практичне значення.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи з зазначенням галузі застосування.**

Магістерська робота докладалась на сумісному семінарі відділу морських і річкових гідрологічних прогнозів і відділу гідрометеорологічного забезпечення Гідрометцентра Чорного та Азовського морів. (Витяг з протоколу від 1.06.18 р. додається). Рекомендовано апробацію метода прогнозу дат появи льоду і дат очищення від льоду для станції Миколаїв в оперативній практиці ГМЦ ЧАМ.

**Структура, обсяг роботи**

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, 13 рисунків, 30 таблиць, висновків та 31 літературних джерел.

**Ключові слова**

Північно–західна частина Чорного моря, лід, характеристики льодового режиму, тенденції багаторічних змін льодового режиму, прогнози дат появи і дат очищення від льоду.

## SUMMARY

**At the master's thesis on the topic «Ice Conditions In the Northwestern Part of the Black Sea»** Master of group MO-61, Katerniuk Denys

### **Relevance of the selected topic**

The ice cover is one of the most important factors, which is the apparent state of the sea surface. Research and forecasting of its parameters is not only scientific, but also of great practical interest for the marine industries. In the north-western part of the Black Sea, the ice situation is quite complicated, which limits navigation, and in some cases requires the use of icebreakers. Modern global changes have been made on the changes in the characteristic indicators of the ice regime in the Black Sea. Therefore, taking into account actual and predictive ice conditions on the affinity of hydrometeorological services for marine industries, making the topic relevant.

### **Purpose and objectives of the study**

Assess the changes in ice conditions in the north-western part of the Black Sea over the past 20 years by literature sources, and also check statistical dependencies for predicting the ice regime characteristics in the port waters.

### **Object and subject of research**

The object of the study is the ice regime of the northwestern part of the Black Sea.

The subject of the study are the characteristics of the ice regime and methods for predicting them.

### **Methods of exploration**

When performing the work, traditional methods of geographical research are used - comparative and promising methods, methods of statistical information processing - correlation analysis, regression analysis.

### **The results, their novelty, theoretical and practical significance**

Estimates of the variability of the characteristics of the ice regime are obtained from observation data at the stations of the northwestern part of the Black Sea over the past 20 years. Presented are the results of checking the statistical dependencies for forecasting the dates of occurrence and dates of clearing from ice for the stations Nikolaev and Odessa. The results of calculations of the predictions of the dates of appearance and the dates of cleansing according to the above-mentioned statistical equations are considered.

The novelty of the master's work is that, based on observations made over the last 20 years, estimates of changes in the characteristics of the ice regime in the north-western part of the Black Sea are presented, and new statistical equations are proposed for predicting the date of appearance and the date of clearing for the stations of Nikolaev and Odessa, their theoretical and practical significance.

**Recommendations for using the results of work with an indication of the scope of application.**

Master's work was presented at a joint seminar of the department of sea and river hydrological forecasts and department of hydrometeorological support of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas. (Extract from the minutes of 1.06.18 is added). Recommended approbation of the method of forecasting the dates of the appearance of ice and ice clearance dates for Nikolaev station in the operational practice of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas.

**Structure, amount of work**

The work consists of an introduction, four chapters, 13 figures, 30 tables, conclusions and 31 literary sources.

**Keywords**

Northwestern part of the Black Sea, ice, characteristics of the ice regime, trends in long-term changes in the ice regime, forecasts of dates of occurrence and dates of clearing from ice.



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	10
<b>1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМИ ВИВЧЕНОСТІ ЛЬОДОВИХ УМОВ ЧОРНОГО МОРЯ</b> .....	12
1.1. Льодовий режим прибережної зони.....	12
1.2. Льодовий режим відкритих районів моря.....	16
1.3. Тенденції багаторічних змін льодовитих умов в Чорному морі.....	19
1.4. Кліматичні зміни льодових умов.....	21
<b>2. МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І МЕТОДИ ЇХ ОБРАБОТКИ</b> .....	24
<b>3. АНАЛІЗ ЛЬОДОВИХ УМОВ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ОСТАННІ РОКИ</b> .....	25
3.1. Середні багаторічні характеристики льодового режиму.....	25
3.2. Мінливість льодового режиму.....	28
3.3. Просторова мінливість льодового режиму.....	28
3.4. Зв'язок характеристик льодового режиму з характеристиками макропроцесів.....	35
<b>4. ФІЗИКО-СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ЛЬОДОВИХ ПРОГНОЗІВ</b> .....	45
4.1. Короткострокові і середньострокові прогнози льодових явищ.....	47
4.2. Середньострокові прогнози дати появи і дати очищення моря від льоду для станції північно-західній частини Чорного моря.....	48
4.3. Аналіз перевірки метода середньострокового прогнозу характеристик льодового режиму для північно-західної частини Чорного моря.....	51
4.4. Середньостроковий прогноз дат появи льоду на станціях Миколаїв та Одеса.....	52
4.5. Середньостроковий прогноз дат очищення моря від льоду на станції Миколаїв.....	57
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	61
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	63

## ВСТУП

В даний час актуальність вивчення льодового режиму Чорного моря значно зросла. Льодова обстановка в зимовий період є визначальною для безпеки судноплавства, так як між портами Чорного моря здійснюється регулярне морське сполучення.

Особливістю льодового режиму Чорного моря є щорічне утворення льоду на його акваторії, навіть у відносно м'які зими. Основними факторами, що визначають льодові умови, є: географічне положення (внутріконтинентальне, в південній частині помірною пояса), ізолюваність від Світового океану, характер і інтенсивність атмосферних процесів, а також мілководність моря, низька солоність його вод, орографія берегів.

Останнім часом додався ряд нових прикладних задач, а саме: необхідність урахування екстремальних характеристик льодового сезону, а також впливу припаю і дрейфуючих крижаних полів значної товщини на гідротехнічні при розробці нових нафтогазоносних родовищ і при інтенсивному освоєнні узбережжя Чорного моря.

Морські гідрометеорологічні прогнози базуються на науково обґрунтованих методах. Вони розвиваються на основі фізико-статистичних і гідродинамічних підходів. Реалізація сучасних методів морських прогнозів здійснюється за допомогою комп'ютерних технологій, оформлених у вигляді автоматизованих робочих місць океанологів.

Розробка методів морських гідрологічних прогнозів пред'являє собою складне наукове дослідження, яке потребує глибокого аналізу причинно-наслідкових залежностей між гідрологічними елементами режиму моря і факторами, їх визначальними. Це пов'язано з тим, що процеси, які відбуваються на поверхні і в товщі морів і океанів, характеризуються великою мінливістю в часі і в просторі. Така мінливість є наслідком реакції океану на вплив великого числа гідрометеорологічних чинників, що знаходяться в складній взаємодії один з одним. Тому успішний розвиток методів морських прогнозів значною мірою залежить від рівня наших знань фізики океану і атмосфери і тих механізмів, які керують процесами теплового і динамічного взаємодії цих двох середовищ. У зв'язку з цим дослідження в області розробки методів морських прогнозів слід розглядати як роботу по практичному додатку теорії взаємодії океана і атмосфери до завдань гідрометеорологічного забезпечення річкою діяльності.

Великомасштабне і дрібномасштабне термодинамічне взаємодія океану та атмосфери лежить в основі всіх методів морських гідрологічних прогнозів. Обмін теплом, вологою і енергією цих двох середовищ визначає більшість процесів, що відбуваються в океані.

В даний час створена велика кількість математичних моделей взаємодії океану і атмосфери різного рівня складності, які дозволяють в ряді випадків досить достовірно відтворювати основні закономірності еволюції океанологічних полів. На сьогоднішній день вже накопичено значний досвід

по використанню таких моделей при розробці методів морських гідрологічних прогнозів.

В останні десятиліття кліматичні умови на планеті зазнають серйозних змін: відбувається зсув енергії кліматичних атмосферних коливань на все більш дрібні масштаби, епізодично аномально посилюються і стають менш передбачуваними синоптичні явища. Все це відбувається в умовах вираженого потепління кліматичних умов.

З урахуванням сучасних змін клімату, а також інтенсивного морського сполучення між портами, рекреаційного та гідротехнічного будівництва, завдання дослідження змін льодових умов а також прогнозування характеристик льодового режиму північно-західної частини Чорного моря в сучасний період залишається, безсумнівно, актуальною.

## 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМИ ВИВЧЕНОСТІ ЛЬДОВИХ УМОВ ЧОРНОГО МОРЯ

Виконані раніше дослідження показали, що льодоутворення на Чорному морі відбувається лише в північних областях, що становлять лише малу частину його акваторії. Зокрема, районами, де спостерігається щорічне утворення льодового покриву, є північно-західний шельф, Керченської протоки і прикерченського шельфу Чорного моря. У 1962 році був виданий (на основі даних спостережень прибережних станцій, починаючи з зими 1900/1901 рр., а також суднових і авіа-спостережень за період 1923-1958 рр.) «Атлас льодів Чорного і Азовського морів» [1], який містить основні відомості про просторовий розподіл льоду в Чорному морі. Узагальнення льодових умов Чорного моря на матеріалах спостережень до 1985 р. містяться в довідкових посібниках [2, 3, 4], і в статтях [5, 6, 7, 8]. Докладний огляд літератури і стан питання вивченості льодового режиму Чорного моря представлений в [3].

З урахуванням сучасних змін клімату, а також інтенсивного морського сполучення між портами, рекреаційного та гідротехнічного будівництва, завдання дослідження змін льодових умов чорного моря в сучасний період залишається, безсумнівно, актуальною.

### 1.1. Льодовий режим прибережної зони

Крижаний покрив спостерігається, як правило, в північно-західній і північній частинах Чорного моря. У суворі та дуже суворі зими він зустрічається також уздовж західного берега (рис. 1.1-1.2), на крайньому північному сході, включаючи Керченську протоку, і біля Кримського півострова в районах мису Тарханкут, порту Євпаторія, у Севастопольській та Феодосійській бухтах.



Рис. 1.1. Льодові умови на прибережній частині Чорного моря

Крига на Чорному морі, за винятком деяких ділянок, утворюється зазвичай у середині грудня - на початку січня, перш за все вона з'являється в гирлах великих річок. Найважчим у льодовому відношенні є період з кінця січня до початку березня.

На Чорному морі переважає крига місцевого походження, а в районах гирл річок – крига, що виноситься річками. Біля відкритих берегів і мористіше них найчастіше спостерігається дрейфуюча крига, а в лиманах, затоках і бухтах – нерухомий лід.

Крижаний покрив нестійкий; протягом зими неодноразово в прибережній зоні моря відбувається його скресання і замерзання.

Скресання й очищення моря від криги настає, як правило, наприкінці лютого – початку березня, причому спочатку лід зникає у відкритому морі, а потім у лиманах, затоках і бухтах. Наприкінці березня море повністю звільняється від криги.



Рис. 1.2. Льодові умови на прибережній частині Чорного моря

Як показав аналіз даних спостережень на льодових пунктах, в середньому за багаторічний період перша поява льоду в ПЗЧ спостерігається в опріснених Дністровському і Дніпро-Бузькому лиманах в першій-другій декадах грудня. В кінці грудня відзначається поява льоду в районі Очакова і в глибині Каркінітської затоки (Хорли, Стерегущє). На західному узбережжі (Приморське), в Одеській затоці та на півдні Каркінітської затоки (Чорноморське) лід місцевого походження або той, що приноситься, з'являється приблизно в середині січня.

Діапазон дат першої появи льоду в ПЗЧ за багаторічний період досить великий: найраніше - 17 жовтня 1976 року (Станіслав), найпізніша поява льоду з Дністровського лимана спостерігалось 25 березня 1953 року на МГП

Царградське гирло. В цілому, середні багаторічні строки появи льоду є близькими до часу льодоутворення в помірну зиму (табл. 1.1).

У суворі зими лід на більшості пунктів з'являється в середньому на 2 тижні раніше: в лиманах-в кінці листопада, перших числах грудня (Білгород-Дністровський, Станіслав і Парутино); у відкритих районах моря в кінці грудня, першій-другій декадах січня (Одеса, Приморське, Чорноморське, Євпаторія). У м'які зими процес льодоутворення може відсунути на тиждень. Нерідко в районах, що примикають до відкритого моря, лід під час льодового сезону може не з'явитися зовсім.

Ймовірність утворення припаю найбільш велика в лиманах і затоках (від 91% в Дністровському лимані до 98-99% в Дніпро Бузькому). Початок утворення пріпайного льоду в лиманах доводиться на кінець грудня. У суворі зими припай в лиманах з'являється в першій-другій декадах листопада. Крім лиманів, досить часто припаєм охоплюється смуга узбережжя Каркінітської затоки. Імовірність появи припаю в затоці становить від 42% на МГП Sterегущє до 66% в Хорлах. Південніше Тарханкутського півострова припай спостерігається рідко (ймовірність появи припаю в Євпаторійській бухті не перевищує 25%). У суворі і помірні зими смуга припаю поширюється від Каркінітської затоки далеко на захід і південний захід моря, аж до МГП Приморське.

Таблиця 1.1. Характерні показники льодового режиму північно-західній частині Чорного моря (перше льодоутворення, остаточне очищення) за ступенем суворості зим за весь період спостережень (1), в суворі (2), помірні (3) і м'які (4) зими

Пункт	Перше льодоутворення				Остаточне очищення			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Приморське	16.01	26.12	18.01	18.01	17.02	23.03	21.02	04.02
Одеса (затока)	13.01	29.12	14.01	21.01	25.02	19.03	23.02	15.02
Очаків (море)	25.12	14.12	19.12	01.01	08.03	23.03	13.03	26.02
Хорли	19.12	03.12	11.12	26.12	03.03	25.03	08.03	22.02
Стерегущє	22.12	09.12	17.12	29.12	28.02	23.03	03.03	21.02
Чорноморське (бухта)	14.01	02.01	13.01	29.01	20.02	07.03	18.02	10.02
Євпаторія	16.01	14.01	18.01	23.01	14.02	25.02	11.02	02.02
Білгород-Дністровський	07.12	30.11	04.12	11.12	11.03	30.03	17.03	04.03
Станіслав	14.12	01.12	10.12	18.12	09.03	02.04	14.03	01.03
Парутіне	17.12	07.12	15.12	20.12	07.03	01.04	17.03	24.02

Звичайно припай (за винятком лиманів) нестійкий і час його існування становить в середньому від одного місяця (Приморське, Одеса, Чорноморське, Sterегущє) до двох місяців (Хорли, Очаків, Станіслав, Парутіне, Білгород-Дністровський). В помірні зими товщина припаю в прибережній зоні ПЗЧ становить 25-60 см, в суворі може досягати 45-70 см.

В м'які якщо і відбулося утворення припаю, то його товщина не перевищує 21 см (у лиманах - 36 см).

З середини лютого починається руйнування припаю і процес остаточного очищення від льоду. 14-28 лютого очищається узбережжя моря у південних кордонів району (Євпаторія, Приморське, Чорноморське, Царградське гирло, Sterегущє) і поблизу Одеси. Пізніше, в першій декаді березня, очищаються східна частина Каркінітської затоки і лимани. У суворі зими остаточне очищення моря від льоду може затягнутися на 2-5 тижнів, а в м'які зими відбувається на 1-2 тижні раніше (табл. 1.1).

В цілому, льодовий сезон в ПЗЧ характеризується значною нестійкістю, можливо кількаразове явище і зникнення льоду. Кількість очищення за сезон становить в середньому 2-4 рази, іноді доходить до 10- випадків [9]. Через це число днів з льодом на всіх пунктах узбережжя завжди менше, ніж тривалість льодового сезону.

Тривалість льодового сезону залежить як від району моря, так і від суворості зими і тому змінюється в досить великих межах. В Очакові, Хорлах, Sterегущє, Білгород-Дністровському, Станіславі вона становить в суворі зими 99-121 день, з яких лід спостерігається протягом 76- 3 діб. У м'які зими в цих пунктах тривалість льодового сезону не перевищує 54-83 дня (число днів з льодом змінюється від 20 до 60 діб). На узбережжя поблизу відкритого моря (Євпаторія, Чорноморське, Приморське і Одеса) тривалість льодового сезону в м'які зими складає 10-25 днів, з яких лід спостерігається тільки протягом 5-12 діб. У суворі зими цей показник зростає до 42-88 днів (число днів, коли спостерігається лід, змінюється в межах 24-71 діб).

З аналізу табл. 1.2 випливає, що в м'яку зиму в лютому на трасі чиста вода, в помірну зиму - лід товщиною 5-10 см, в сувору зиму - 30-45 см (рівний лід). В сувору зиму з зламаною припая утворюються великі важкопрохідні крижані поля, товщина яких за рахунок підсосів і торосистої льоду може досягати 1 м [10].

Таблиця 1.2. Переважаючі характеристики льодової обстановки на трасі Миколаїв - Очаків - Одеса в лютому

Ділянку траси	Миколаїв - Парутине (Бузький лиман)	Парутине - Очаків	Очаків - Одеса
<b>М'яка зима</b>			
Товщина припая, см	0	0	0
Згуртованність дрейфуючого льоду, бали	0	0	0
Вікова характеристика дрейфуючого льоду	чисто	чисто	чисто
<b>Помірна зима</b>			
Товщина припая, см	20-30 (в вершині лиману)	0	0
Згуртованність дрейфуючого льоду, бали	7-10	7-10	0
Вікова характеристика дрейфуючого льоду	сірий, нілас	сірий, нілас	сірий, нілас
<b>Суорова зима</b>			
Товщина припая, см	35-45 (вся ділянка траси)	35-45 (вся ділянка траси)	25-35 (район Одеси)
Згуртованність дрейфуючого льоду, бали	0	0	10
Вікова характеристика дрейфуючого льоду	0	0	сірий, нілас

## 1.2. Льодовий режим відкритих районів моря

Вихідною інформацією з [1], використовуваної в цьому розділі з'явився масив льодових авіаційних спостережень, виконаних Керченською авіазагоном з 1947 по 1991 рр. Як правило, авіарозвідки проводилися подекадно щомісяця над акваторією північно-західній частині Чорного моря, Азовського моря і Керченської протоки. В кінці льодового сезону (березень-квітень) спостереження проводилися частіше, на початку і середині сезону кілька. Відображені і оцифровані (на сітці 3' по меридіану і 5' по паралелі) 70 карт найбільш інформативних льодових авіа-спостережень, на підставі яких побудовані середні багаторічні і середньомісячні карти ймовірності наявності припая і льоду різної згуртованості в залежності від типу зим. Інформація льодових розвідок доповнена комплексом льодових спостережень на МГ і



МГП, а також картами-схемами льодової обстановки, складеними за даними, отриманими з штучних супутників Землі.

Внаслідок більш повільного охолодження і більш інтенсивної динамікою вод, в глибоководних районах ПЗЧ процес льодоутворення дещо затримується в порівнянні з прибережною зоною. Форми плавучих льодів різноманітні, а розподіл і згуртованість їх залежать від типу зими, напрямку і сили вітру. Лимани і східна частина Каркінітської затоки замерзають регулярно практично щозими. Від типу зими, в основному, залежить тривалість льодового сезону, товщина льоду, а також межа поширення льоду в південному і західному напрямку.

У м'які зими, як правило, спостерігаються первинні форми не перешкоджає судноплавству. Льодовитість північно-західній частині моря в такі зими лежить в діапазоні 0-4000 км<sup>2</sup>. На узбережжі між Одесою і Очаковом на кілька днів може з'явитися припай, товщина якого не перевищує 10 см [3]. У закритих районах (бухтах і затоках) припай утримується понад тривалий час і товщина його більше. Число днів з льодом в м'які зими біля берегів відкритого моря незначно. У аномально м'які зими (1965-1966, 1974-1975, 1980-1981, 1989-1990, 2000-2001 2006-2007 рр.). Лід біля відкритого узбережжя повністю був відсутній.

В помірні зими в грудні з'являються первинні форми льоду, а в січні-лютому переважає плавучий крупно і дрібно-битий білий, сіро-білий лід густотою 3-8 балів. Плавучий лід може поширюватися досить далеко (40-50 миль від берега) [1, 9, 10]. Припай в лиманах тримається 1-4 місяці, і його товщина може досягати 45 см. На підходах до Одеси і Очакова припай спостерігається не тривалий час (менше двох декад), а товщина льоду не перевищує 20-30 см.

У суворі зими в грудні, як правило, спостерігаються первинні форми льоду, темний і світлий нілас, сірий дрібно-битий лід густотою 6-7 балів. Найбільш складні умови відзначаються в січні і лютому. За смугою припаю (5-10 миль) уздовж узбережжя спостерігається дуже згуртований битий сірий і сіро-білий лід, а також великі льодові поля цих форм льоду (рис. 1.4). Основний напрямок дрейфу полів - західне і південно-західне під дією переважаючих в зимовий сезон північно-східних вітрів. Найбільша швидкість дрейфу 3-7 км · год<sup>-1</sup>

Максимальна товщина льодових полів у відкритих районах моря становить 20-30 см і може досягати 50 см і більше за рахунок підсовування і змерзання льоду [3]. У лиманах і Джарилгацькій затоці товщина припайного льоду досягає 50-71 см. Льодовитість північно-західній частині моря в суворі зими в січні-лютому зазвичай становить 7000-16000 км<sup>2</sup> але в екстремально суворі зими може досягати 19000 км<sup>2</sup> (лютий 1954 р). Максимальне поширення припайного льоду може перевищувати межі ПЗЧ і спостерігатися на південь від Констанци (Румунія). Наприклад, в коротку, але сувору зиму 1928-1929 рр. в лютому припай шириною 0,5-0,6 милі спостерігався у болгарських берегів. Плавучим льодом був забитий Варненський затока.

Кромка льоду доходила до Босфору. Частина льоду виносилася в Мармурове море [3, 6].

Зазвичай в суворі зими в третій декаді лютого площа покриття льодом на більшій частині акваторії північно-західній частині Чорного моря зменшується. Переважає битий сірий і сіро-білий лід, можливо плавання суден без використання криголамного флоту. Разом з тим, в деякі роки збільшення льодовитості моря зазначалося ще і в першій декаді березня. У таких випадках терміни початку плавання без криголамів можуть зрушити на другу-третю декаду березня. Середній період льодового плавання судів в районі відкритого моря поблизу Очакова становить 70 діб, з них близько місяця необхідна провідка суден.

Переважний винос льоду з Дніпро-Бузького лиману, наявність банок і мілководь біля входу в лиман також створює сприятливі умови для початку утворення підсовування, нашарувань, торосів і гряд торосів. Неодноразові розтину і замерзання підвищують торосистими у берегової лінії. У зв'язку з незначною повторюваністю екстремально суворих зим. Такі льодові процеси відзначаються не часто. Достовірно відомо утворення невисоких торосів (менше 1 метра) з зламаною припаю в лютому 1972 [6].

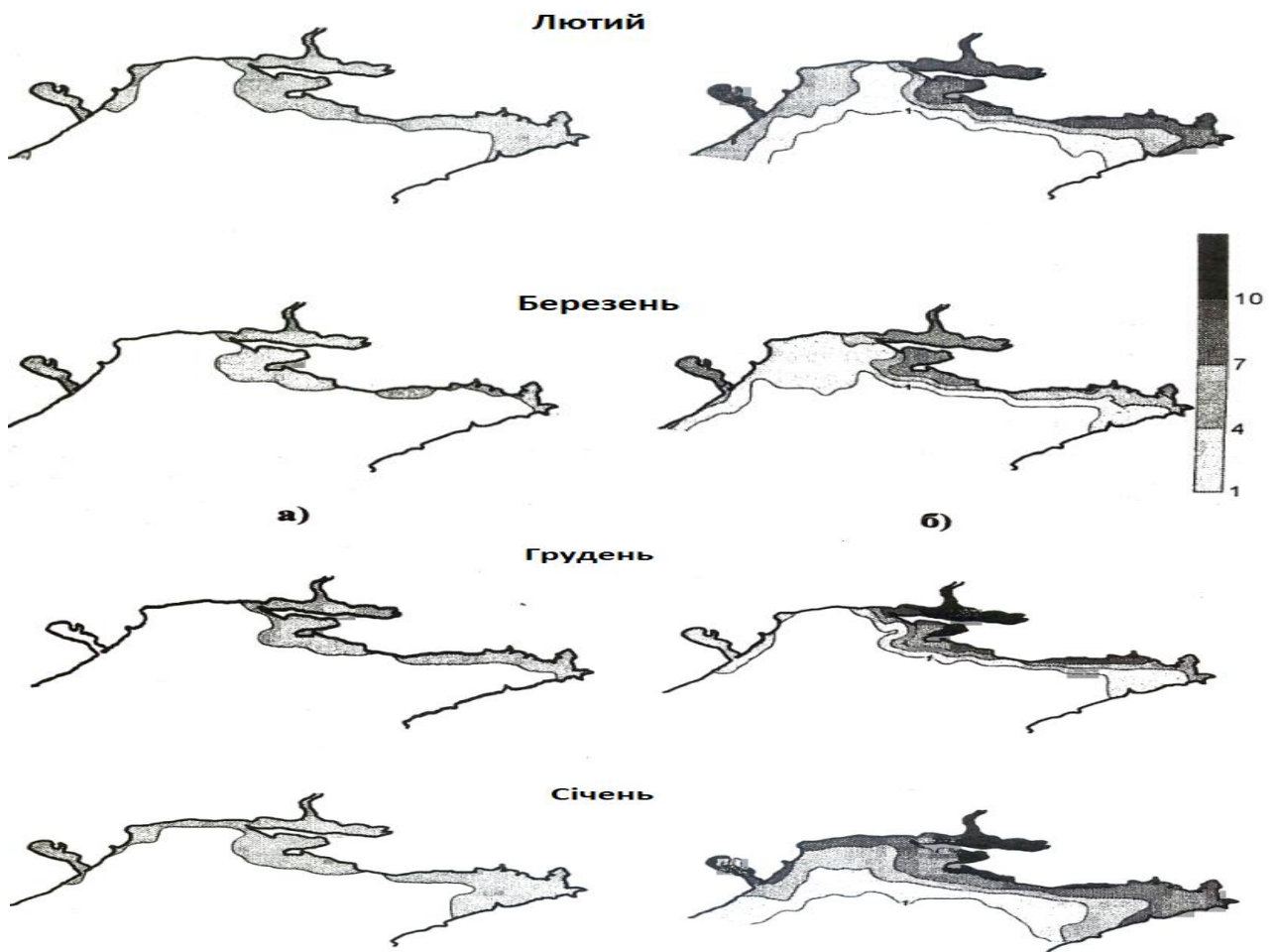


Рис. 1.4 Максимальне поширення кромки припаю (а) і згуртованість плаваючого льоду в балах (б) в ПЗЧ в суворі зими.

### 1.3. Тенденції багаторічних змін льодовитих умов в Чорному морі

Чорне море розташоване в порівняно низьких широтах тому льодом покривається лише незначна частина акваторії моря і льодовий режим відрізняється великою мінливістю умов і протягом зими, і від року до року. Лід спостерігається в основному в північно-західній частині суворі і тільки в помірні зими невелика його кількість з'являється в північно-східному районі моря [7].

Лід в північно-західній частині Чорного моря спостерігається щорічно. Поява льоду відбувається при зниженні температури води до температури замерзання, значення якої різні для всіх станцій.

Ні при якому морозі Чорне море не покривається льодом повністю. У сильні морози зазвичай замерзають Керченська протока і Азовське море, біля Одеси крижаний покрив може протриматися майже місяць, а в дуже суворі зими протягом відносить крижини до самого Босфору.

За багаторічний період досліджень льодових умов північно-західній частині Чорного моря (ПЗЧ) накопичено, узагальнено і проаналізовано великий фактичний матеріал. До останніх робіт можна віднести опис льодових умов поблизу гирла Дунаю і острова Зміїний [11] і дослідження льодового режиму ПЗЧ, виконане в [3, 12].

Основними факторами, що сприяють утворенню та розвитку льоду в ПЗЧ, є невеликі значення солоності і тепловміст цього району моря, обумовлені винесенням річкових вод і наявністю мілководних заток і лиманів, а також атмосферні процеси, пов'язані з переважанням меридіональної циркуляції і перенесенням холодного повітря з північних областей [3]. Регулярні адвекції щодо теплої води відкритого моря в північно-західній частині, хвилювання, посилення зональної циркуляції атмосфери над Західною Європою перешкоджають розвитку льоду і призводять до значної мінливості льодових умов в Чорному морі. Внаслідок спільної дії цих факторів, в ПЗЧ спостерігаються значні коливання льодовитості (площі моря зайнятої льодом, з урахуванням густоти плавучого льоду).

Особливістю льодового режиму ПЗЧ є тісний зв'язок циклів льодовитості з сумою негативних середньодобових температур повітря над морем за льодовий сезон, коефіцієнт кореляції становить величину  $0,92 \pm 0,02$  [3]. Така залежність пояснюється малою площею льодоутворення і однорідними термічними умовами району. У зв'язку з цим зими на Чорному морі прийнято поділяти, відповідно до класифікації [13, 14], на три типи: м'які - сума негативних середньодобових температур до  $-200^{\circ}\text{C}$  помірні - в межах від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $-400^{\circ}\text{C}$  і суворі (від  $-400^{\circ}\text{C}$ ). Сума градусів-днів морозу для північно-західної частини Чорного моря розраховувалася за період з жовтня по квітень як середнє з спостережень трьох станцій - Одеса, Очаків і пункт розташований в Каркинитском затоці (Хорли, Скадовськ або Чорноморське). Для Керченської протоки і Прикерченського шельфу Чорного моря критерії розподілу зим за типами аналогічні ПЗЧ, але

розрахунок градусів-днів морозу проводився за методикою, яка використовується для Азовського моря і Керченської протоки, за даними наступних морських гідрометеостанцій (МГ)-Керч Генічеськ, Таганрог і Приморсько-Ахтарськ [15]. за період після 1991 р. розрахунок виконувався за даними МГ Небезпечне, Генічеськ і Маріуполь [16].

Адвекція тепла, викликана надходженням теплих водних мас відкритого моря в північно-західну частину, затримує початок льодоутворення.

Льодотанення в основному визначається накопиченням холоду в зимовий період, показником якого може служити товщина льоду в кінці зими, і датою переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону позитивних значень.

Вітер впливає на льодовий особливо в режим періоди льодоутворення та льодотанення. Панівні в північно-західній частині моря вітри в м'які і помірні зими сприяють відриву припая і утворення плавучого льоду, який під дією течій дрейфує в південному напрямку вітру. Навесні злом і руйнування припая прискорюється під дією вітру. Для західного узбережжя моря в холодну пору року характерне переважання північно-західних вітрів. На півночі.

Хвилювання руйнує утворився лід, затримує льодоутворення, сприяє нагромадженню торосів.

Для Чорного моря характерно кількаразове поява і зникнення льоду протягом зими. Також може зникати і знову з'являтися припай. Щорічне освіту припая спостерігається лише в лиманах і затоках. У відкритому морі в м'які, а нерідко і в суворі зими припай не виникає.

Повне замерзання відкритих районів північно-західної частини моря відбувається лише в дуже суворі зими.

Початок злому або першої зрушення припая спостерігається - початку березня. Перш за все весняне розтин зазвичай в лютому відбувається біля входу в Дніпровський лиман і в районі Одеси. Потім скресання криги в сталевих пунктах Дніпровського лиману і Джарилгацької бухти. Пізніше всіх відбувається розтин в закритих бухтах і лиманах.

Руйнування припая в північно-західній частині моря зазвичай відбувається швидко (протягом декількох днів) і дати остаточного руйнування припая припадають на кінець лютого - початок березня.

Найчастіше остаточне очищення моря спостерігається в березні. Відкриті райони моря очищаються в кінці лютого, потім лимани. Пізніше всіх очищається Дніпровський лиман, так як тут весь час виноситься лід з Південного Бугу. До кінця березня північно-західна частина моря зазвичай повністю очищається від льоду.

Лід в різних районах північно-західної частини моря може протягом зими кілька разів зникнути і знову з'явитися.

Досягнувши в лютому максимального розвитку процес льодоутворення в сувору зиму припиняється і починається танення, в результаті чого до кінця березня-початку квітня північно-західна частина моря повністю очищається від льоду.

Помірна зима відрізняється більш м'якими льодовими умовами. У другій половині грудня утворюється лід в Дніпровському лимані, Егорлицької затоці. У січні покривається льодом значна частина Каркінітської затоки, Джарилгачська і Тендерівському затоки, а також північно-західне узбережжя акваторії. У лютому відбувається незначне збільшення площі льоду в основному за рахунок північних районів, після чого починається процес танення. До середині березня лід зникає.

Для м'яких зим характерно мала кількість льоду, який протягом зими кілька разів зникає м'які зими лід утворюється лише в Дніпровському лимані, Егорлицьком, Тендрівській і Джарилгачском затоках. Зазвичай в грудні лід з'являється тільки в Дніпровському лимані, потім (в січні) покриваються плавучим льодом все зазначені вище затоки, а в лютому вже починається танення і завершується воно до початку березня. В особливо м'які зими припай в Чорному морі не утворюється.

Для предкерченського району характерний нестійкий слабкий льодовий режим. Дуже часто перший лід, що з'явився цьому районі, є приносний. Незважаючи на те, що тривалість льодового сезону в деякі роки досягає 3 місяці і більше, число днів в льодовий період з льодом невелика.

Льодові умови в північно-східному районі моря настільки легкі, що навіть в найсуворіші зими лід не є перешкодою для судноплавства і навігація не припиняється цілий рік.

Крига на Чорному морі, за винятком деяких ділянок, утворюється зазвичай у середині грудня - на початку січня, перш за все вона з'являється в гирлах великих річок. Найважчим у льодовому відношенні є період з кінця січня до початку березня.

На Чорному морі переважає крига місцевого походження, а в районах гирл річок – крига, що виноситься річками. Біля відкритих берегів і мористіше них найчастіше спостерігається дрейфуюча крига, а в лиманах, затоках і бухтах – нерухомий лід.

Крижаний покрив нестійкий; протягом зими неодноразово в прибережній зоні моря відбувається його скресання і замерзання.

Скресання й очищення моря від криги настає, як правило, наприкінці лютого – початку березня, причому спочатку лід зникає у відкритому морі, а потім у лиманах, затоках і бухтах. Наприкінці березня море повністю звільняється від криги.

У відкритих берегів і мористіше їх найчастіше спостерігається дрейфуючий лід, а в лиманах, затоках і бухтах - нерухомий лід.

#### **1.4. Кліматичні зміни льодових умов**

В літературі [3], льодові умови ПЗЧ тісно пов'язані з сумою негативних середньодобових температур повітря над морем за льодовий сезон. Оцінки вікових змін температури повітря в Чорноморському регіоні, виявили на більшості прибережних пунктів значущі позитивні багаторічні лінійні

тренди, причому основний внесок вносить потепління в зимовий і весняний сезони [17].

Підтверджує потепління в холодний період року в ПЗЧ і той факт, що сума градусо-днів морозу для північно-західної частини Чорного моря, а також для акваторії Азовського моря і Керченської протоки за період 1924-2012 рр. має тенденцію до зменшення. Значні на 99%-му рівні негативні тренди суми градусо-днів морозу характерні для північно-західного шельфу Чорного моря ( $-0,34^{\circ}\text{C}\cdot\text{рік}^{-1}$ ), для Азовського моря і Керченської протоки ( $-0,38^{\circ}\text{C}\cdot\text{рік}^{-1}$ ).

Потепління в зимовий сезон, пов'язане з глобальними кліматичними змінами, призвело до суттєвої зміни льодового режиму ПЗЧ. Повторюваність суворих льодовитих зим в ПНЧ за період з льодового сезону 1925/26 рр. по сезон 1976/77 рр. склала 15%, помірних - 46% і м'яких - 39%. За останні десятиліття (з льодового сезону 1977/78 по 2011/12 рр.). Після кліматичного зсуву 1977/78 рр. [18], повторюваність м'яких зим помітно збільшилася (до 54%), при зменшенні повторюваності суворих (до 6%) і помірних (до 40%) зим.

Порівняння характерних показників льодового режиму в ПЗЧ за сучасний період (1977-2012 рр.) з попереднім багаторічним періодом (до 1976 р.) свідчить про те, що терміни першої появи льоду практично не змінилися лише в районах постійного його утворення - в мілководних лиманах і бухтах. У південних же районах, що примикають до відкритого моря, вони відсунулися на 2-3 тижні.

Очищення моря від льоду на узбережжі в останні 35 років відбувається в середньому на 1-2 тижні раніше, ніж за попередній багаторічний період. Скорочення тривалості льодового періоду склало для станцій узбережжя відкритого моря від 7-9 (Приморське, Євпаторія, Одеса) до 20 діб (Очаків). У Каркінітській затоці льодовий період скоротився від 8-13 днів (Стерегуше, Чорноморське) до 27 діб (Хорли). У лиманах скорочення льодового періоду склало від 10-13 (Станіслав, Білгород-Дністровський) до 21 дня (Парутине).

В цілому, на більшості пунктів узбережжя Чорного моря за весь період льодових спостережень виявлені значущі негативні лінійні тренди в кількості днів з льодом і тривалості льодового періоду. Тенденція зменшення числа днів з льодом за період 1925-2012 рр. склала від  $-3,7 \dots - 4,7$  доби  $\cdot 10^{-1}$  років в Станіславі, Одесі, Очакові до  $-7,1$  доби  $\cdot 10^{-1}$  років в Хорлах. Тривалість льодового сезону на МГ МГТ ПЗЧ за останні 80 років скорочувалася з коефіцієнтами трендів від  $-5,2$  (Одеса, Очаків) до  $-8,6$  доб  $\cdot 10^{-1}$  років (Хорли).

Для оцінки льодових умов відкритих частин моря слід застосовувати розраховану за даними дистанційного зондування (авіаспостережень, космічного моніторингу) максимальну за сезон льодовитість досліджуваної акваторії.

Погодні умови в Європі багато в чому визначаються кількістю, траєкторіями і інтенсивністю атлантичних циклонів, що підтверджується виявленою значущою зворотною залежністю між змінами суми негативних

температур повітря і льодових умов ПЗЧ і індексом Північно-Атлантичного коливання (ПАК, англійська аббревіатура NAO).

При позитивній фазі ПАК траєкторії перенесення повітряних мас і циклонів з Північної Атлантики проходять над Північною Європою, а над південними районами Європи, Середземного і Чорного морів переважає антициклонічна погода [19]. В такому випадку в ПЗЧ відзначаються позитивні аномалії температури повітря і відповідно зменшення льодовитості моря. В цілому, як вказується в роботі [20] у зв'язку з трендом позитивної фази ПАК, що спостерігався в останні десятиліття ХХ століття, структура зимового потепління в Європейській частині Росії подібна до структури кореляції індексу ПАК з приземної температури повітря. За оцінками [21, 22] тренд в сторону позитивної фази ПАК пояснює близько тренд половини потепління в Північній Євразії за 1968-1997 роки.

## 2. МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ

У магістерській роботі використовувалися дані про тривалість льодового періоду, кількість днів з льодом, датах появи льоду і очищення моря від льоду на таких станціях: Очаків (лиман), Очаків (море), Аджигіол, Парутино, Станіслав, Касперовка, Херсон, Прогнойськ, Sterегущє, Чорноморська бухта, Чорноморська (затока), Іллічівськ, Одеса (порт), Миколаїв (рис 2.1).

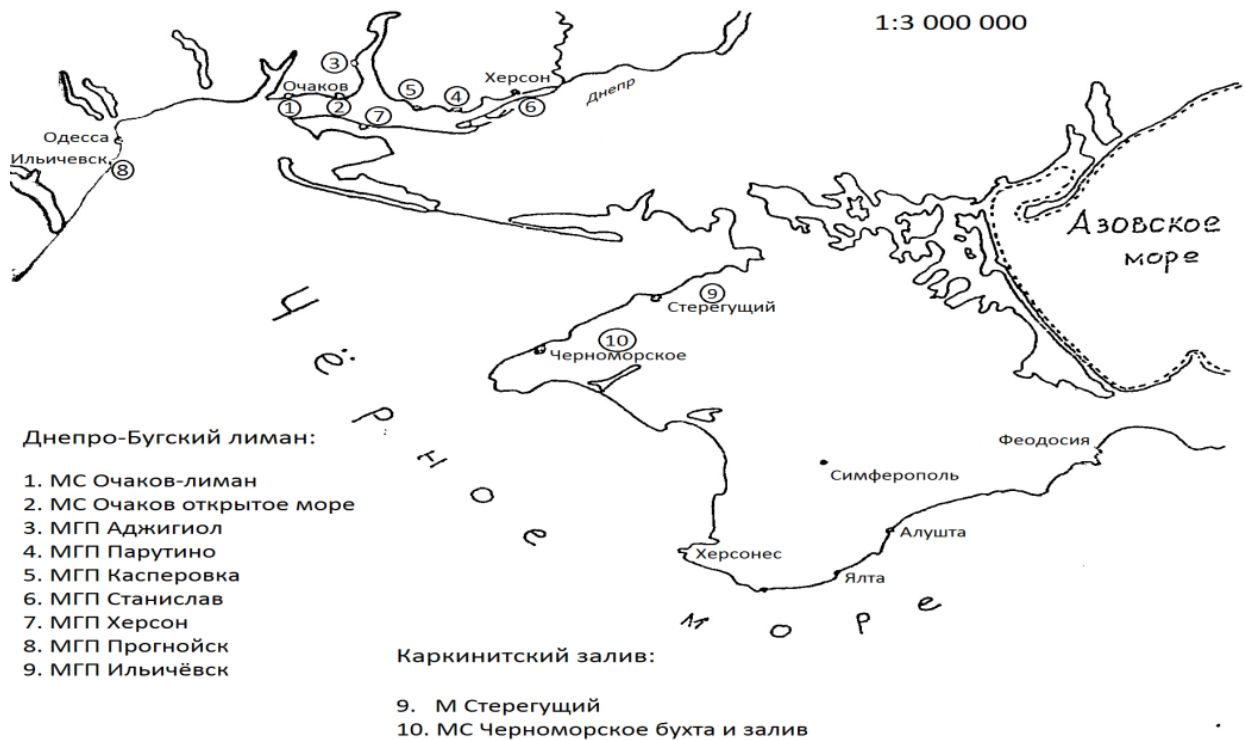


Рис. 2.1 Прибережні пункти льодових спостережень в північно-західній частині Чорного моря

Крім цього використовувались також данні про льодовитість, суми градусів-днів морозу і суворість зим. Для перевірки прогностичних рівнянь використовувались данні в стандартних гідрометеорологічних спостережень що поближуються в таблицях в ТГМ-1 і ТГМ-2, а саме данні по температурі повітря, дати появи льоду і очищення від льодуї максимальна за зиму товщина льоду. Як прийнято в [23] дати появи і очищення від льоду обчислюються в днях у відхиленнях від 1 вересня.

Для оцінки суровості зими в Чорному морі прийнято розділяти їх на три типи: м'які - сума негативних середньодобових температур до  $-200^{\circ}\text{C}$ , помірні - в межах від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $-400^{\circ}\text{C}$  і суворі (від  $-400^{\circ}\text{C}$ ).

Використовувався ретроспективний і порівняльний аналіз особистих досліджень з тими що приведено в літературних джерелах.

Використовувались також методи статистичної обробки вихідної інформації. Для перевірки прогностичних рівнянь використовувся регресійний аналіз і програма SPSS [24].



### 3. АНАЛІЗ ЛЬODOВИХ УМОВ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ОСТАННІ РОКИ

#### 3.1. Середні багаторічні характеристики льодового режиму.

За даними спостережень на станціях в північно-західній частині Чорного моря виконано розрахунки статистичних характеристик для тривалості льодового періоду і числа днів з льодом: середні значення, максимаьна, мінімальна, середнє квадратичне відхилення (СКВ). Отримані результати заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1. Статистические характеристики на всех станциях.

Станція	n	Трив. льодового періоду				Число днів з льодом			
		Ср.	max	min	СКВ	Ср.	max	min	СКВ
Очаків лиман	38	77	121	11	27,4	62	114	10	27,6
Очаків море	38	70	109	4	25,8	48	102	4	22,8
Аджігіюл	27	96	140	57	20,7	68	118	10	26,5
Парутине	37	84	133	33	24,9	66	118	12	29,6
Станіслав	37	93	139	46	24	66	119	15	24,2
Касперовка	37	65	109	1	28,9	45	103	1	25,4
Херсон	36	47	100	0	25,6	35	92	0	21,4
Прогнойськ	24	92	140	25	25,6	72	117	19	23,5
Стерегуще	28	78	140	25	31,5	32	92	5	29,8
Чорноморська бухта	32	27	95	0	26,9	19	58	0	19,1
Чорноморська затока	9	7	19	1	6,74	6	17	1	5,3
Іллічівськ	22	32	86	0	24,3	20	59	0	18,2

Аналізуючи отримані результати можна відзначити, що з усіх розглянутих станцій найбільш тривалий льодовий період спостерігався на станції Аджігіюл і склав в середньому багаторічному 96 днів, однак з року в рік тривалість льодового періоду змінюється і максимальне значення становило 140 днів, а мінімальна-50 днів. Найменш тривалий льодовий період спостерігався на станції Чорноморське (затока) і склав 7 днів. Однак мінливість рік від року і на цій станції також значна: максимальне значення становило 19 днів, мінімальна -1 день.

Максимальне число днів з льодом спостерігалось на станції Прогнойська і склало в середньому багаторічному 72 дня, однак от року до року число

днів з льодом змінюється і максимальне значення становило 117 днів, а мінімальне - 19 днів. Мінімальна кількість днів з льодом спостерігалось на станції Чорноморське (затока) і склало в середньому багаторічному 6 днів. Однак мінливість рік від року і на цій станції також значна: максимальне значення становило 17 днів, мінімальна - 1 день.

Розрахуємо статистичні характеристики для льодовитості і суми градусів-днів морозу: середні значення, максимальне, мінімальне, середнє квадратичне відхилення. Отримані результати заносимо відповідно в таблиці 3.2 і 3.3.

Таблиця 3.2. Статистичні характеристики для суми градусів-днів морозу.

Сума градуса днів мороза	n	max	min	Середнє	СКВ
	69	840	47	261	116

Таблиця 3.3. Статистичні характеристики для льодовитості.

Льодовитість	n	min	max	середнє	СКВ
Грудень	33	0	4	0,58	0,84
Січень	37	0	9	2,6	20,21
Лютий	39	0	15	4	4,07
Березень	35	0	13	1,5	1,78
Середня	37	0	7	2	1,5
Найбільший	38	0	26	7	5,46

Як впливає з таблиці 3.2 для суми градусів-днів морозу ми отримали середнє значення, рівне 261. Максимальне значення суми градусів-днів морозу спостерігалось взимку 1953/1954 рр. і склало 840 днів, а мінімальне- взимку 1974/1975 рр і склало 47 днів. Мінливість склала 115 днів.

Аналіз льодовитості в північно-західній частині Чорного моря показав, що в середньому протягом зими вона змінюється від 0,58 тисяч км<sup>2</sup> до тисяч км<sup>2</sup>. Межгодова мінливість льодовитості становить 4 тисяч км<sup>2</sup>. Найбільші ледовитість відзначається в суворі зими і становить 26 тисяч км<sup>2</sup> (1949/1950 рр.), А середня ледовитість - 2 тисяч км<sup>2</sup>.

Середні багаторічні характеристики льодового режиму дати появи льоду і очищення моря від льоду представлено в таблиці 3.4.

Поява на море льоду доводиться в північно-західній частині Чорного моря на різні дати. За середніми багаторічними даними найбільш раніше поява льоду спостерігається на станціях Станіслав і Аджігіол і доводиться на 6 грудня. Мінливість дат появи льоду дуже велика, в окремі роки змінюється дуже сильно, наприклад, з усіх розглянутих станцій саме рання поява на море

льоду було відзначено на станції Станіслав 17 грудня в 1976 р., А найпізніше поява льоду-на станції Чорноморське (затока) 7 березня в 1987 р. Амплітуда коливання дат появи льоду змінюється від 50 до 110 днів.

Очищення моря від льоду доводиться в північно-західній частині Чорного моря на різні дати. За середніми багаторічними даними найбільш пізніше очищення моря від льоду спостерігається на станції Миколаїв і припадає на 13 березня. Мінливість дат очищення моря від льоду змінюється дуже сильно, наприклад, з усіх розглянутих станцій найраніше очищення моря від льоду було відзначено на станції Чорноморське (затока) 31 грудень 1997 року, а найпізніше очищення моря від льоду - на станції Очаків (лиман) 8 квітня 1987 р. Амплітуда коливання дат очищення моря від льоду змінюється від 45 до 86 днів.

Таблиця 3.4. Середні багаторічні характеристики дати появи льоду (а) і очищення моря від льоду (б) на різних станціях.

а)

	Очаків лиман	Очаків море	Аджі- гіол	Пару- тине	Стані- слав	Каспе- ровка	Херсон	Прогно- йськ	Стере- гуще	Чорном- ка бухта	Чорном- ка затока	Іллі- чівськ	Одеса порт	Мико- лаїв
Середнє	22.12	27.12	6.12	15.12	6.12	28.12	9.01	13.12	19.12	16.01	5.02	22.01	13.01	9.12
Раніше	18.11 (1993)	19.11 (1993)	8.11 (1982)	10.11 (1968)	17.10 (1976)	14.11 (1988)	8.12 (1959)	16.11 (1959)	3.11 (1979)	28.11 (1993)	16.01 (1972)	3.12 (1993)	30.11 (1993)	15.11 (1983)
Пізніше	8.02 (1975)	9.02 (1975)	3.01 (1975)	29.01 (1991)	18.01 (1961)	4.03 (1983)	20.02 (1985)	5.02 (1975)	4.02 (1975)	23.02 (1979)	7.03 (1987)	27.02 (1979)	9.02 (1986)	19.01 (1961)
СКВ	14,26	16,3	11,6	12,3	15,8	18,3	12,7	12,9	18,1	12,7	15,3	12,1	12,2	10,8
Амплітуда коливання в днях	82	82	56	80	93	110	74	81	93	87	50	86	71	65

б)

	Очаків лиман	Очаків море	Аджі- гіол	Пару- тине	Стані- слав	Каспе- ровка	Херсон	Прогно- йськ	Стере- гуще	Чорном- ка бухта	Чорном- ка затока	Іллі- чівськ	Одеса порт	Мико- лаїв
Середнє	8.03	6.03	12.03	9.03	8.03	2.03	28.02	12.03	7.03	22.02	11.02	16.02	28.02	13.03
Раніше	11.01 (1993)	11.01 (1990)	17.02 (1966)	12.01 (1990)	12.01 (1990)	17.01 (1990)	11.01 (1989)	12.02 (1966)	4.02 (1970)	31.12 (1997)	17.01 (1974)	22.01 (1997)	11.01 (1993)	24.01 (1990)
Пізніше	8.04 (1987)	2.04 (1987)	3.04 (1987)	6.04 (1987)	2.04 (1987)	24.03 (1996)	30.03 (1987)	4.04 (1965)	4.04 (1985)	27.03 (1987)	16.03 (1987)	31.03 (1985)	1.04 (1985)	5.04 (1987)
СКВ	12,9	13,5	8,78	13,7	10,7	10,1	11,8	9,0	14,7	14,8	18,4	13,3	16,2	13,2
Амплітуда коливання в днях	56	50	45	84	65	67	78	51	59	86	58	68	80	71

### 3.2. Мінливість льодового режиму

Мінливість льодового режиму визначається середнім квадратичним відхиленням (СКВ) і амплітудою коливання в днях. Ці характеристики представлені в таблиці 3.4

Найменше значення СКВ для дати появи льоду спостерігалось на станції Миколаїв і склало 10.8, найбільше на станції Касперовка -18.3.

Для дат очищення моря від льоду найменше значення СКВ спостерігалось на станції Аджігіол і склало 8.78, найбільше - на станції Чорноморське (затока) - 18.4.

Великі СКВ вказують на значну міжрічних мінливість льодових характеристик, що є звичайним для морів з нестійким льодовим режимом.

Амплітуда коливання в днях-це різниця між самим раннім і самим пізнім значеннями появи льоду і очищення моря ото льоду. Найменша амплітуда коливання для дат появи льоду була отримана на станції Чорноморське (затока) склала 50 днів, а найбільша амплітуда коливання - для станції Касперовка - 110 днів.

Для дат очищення моря від льоду найменша амплітуда коливання була отримана на станції Аджігіол і склала 45 днів, а найменша амплітуда коливання на станції Чорноморське (бухта) - 86 днів.

Просторова мінливість льодового режиму

У таблиці 3.5 наведені коефіцієнти кореляції між тривалістю льодового періоду і датою появи льоду.

Як впливає їх таблиці 3.5 існує зв'язок між тривалістю льодового періоду і датою появи льоду. Між сусідніми станціями зв'язку немає, також як і немає зв'язку між станціями, далеко віддаленими одна від одної. Зв'язок існує тільки між такими станціями:

Очаків (лиман) - Очаків (море);

Парутине-Станіслав

Парутине-Прогнойська

Парутине -Стерегущій

Станіслав -Стерегущій

Чорноморське (бухта) -Ільчевск

Найімовірніше, що зв'язок між станціями Чорноморське (бухта) і Іллічівськ випадкова, тому що станції дуже далеко розташовані один від одного.

### 3.3. Просторова мінливість льодового режиму

У таблиці 3.6 наведені коефіцієнти кореляції між тривалістю льодового періоду і датою очищення моря від льоду.

Як впливає з таблиці 3.6 існує зв'язок між тривалістю льодового періоду і датою очищення моря від льоду практично на всіх станціях, як на сусідніх, так і на станціях, віддалених одна від одної. Наприклад, станція Аджігіол пов'язана з усіма станціями, крім Прогнойська, а станція

Прогнойська пов'язана тільки зі станцією Очаків (море). А станція Іллічівськ пов'язана тільки зі станціями Аджігіол, Парутине, Sterегущє.

Таблиця 3.5. Коефіцієнти парної кореляції між тривалістю льодового періоду і датою появи льоду.

		Тривалість льодового періоду										
		Очаків лиман	Очаків море	Аджігіол	Парутине	Станіслав	Касперовка	Херсон	Прогнойськ	Стерегущє	Чорноморська бухта	Іллічівськ
Дата появи льоду	Очаків лиман	<b>-0,75</b> n=38	<b>-0,71</b> n=38	-0,28 n=27	-0,47 n=37	-0,22 n=37	-0,37 n=37	-0,33 n=33	-0,42 n=24	-0,41 n=27	-0,18 n=23	-0,50 n=21
	Очаків море		<b>-0,69</b> n=38	-0,24 n=27	-0,42 n=37	-0,17 n=37	-0,45 n=37	0,39 n=33	-0,38 n=24	-0,46 n=27	-0,18 n=23	-0,39 n=21
	Аджігіол			<b>-0,84</b> n=27	<b>-0,55</b> n=27	-0,28 n=27	-0,11 n=27	0,04 n=33	-0,48 n=23	-0,43 n=26	-0,15 n=17	-0,08 n=17
	Парутине				<b>-0,65</b> n=37	<b>-0,59</b> n=37	-0,13 n=37	-0,07 n=24	<b>-0,72</b> n=24	<b>-0,62</b> n=27	-0,05 n=23	-0,28 n=21
	Станіслав					<b>-0,80</b> n=37	-0,23 n=37	-0,14 n=33	-0,5 n=24	<b>-0,67</b> n=27	-0,20 n=23	-0,25 n=21
	Касперовка						<b>-0,89</b> n=37	-0,51 n=33	-0,29 n=24	-0,19 n=27	-0,31 n=23	-0,21 n=21
	Херсон							<b>-0,66</b> n=33	-0,24 n=24	-0,03 n=25	-0,50 n=23	-0,18 n=20
	Прогнойськ								<b>-0,87</b> n=24	-0,59 n=23	-0,10 n=23	-0,25 n=13
	Стерегущє									<b>-0,84</b> n=27	-0,05 n=18	-0,03 n=13
	Чорноморська бухта										<b>-0,63</b> n=23	<b>-0,82</b> n=18
	Іллічівськ											<b>-0,69</b> n=19

Таблиця 3.6. Коефіцієнти парної кореляції між тривалістю льодового періоду і датою очищення моря від льоду.

		Тривалість льодового періоду										
		Очаків лиман	Очаків море	Аджігіол	Парутине	Станіслав	Касперовка	Херсон	Прогнойськ	Стерегущє	Чорноморська бухта	Іллічівськ
Дата появи льоду	Очаків лиман	<b>-0,74</b> n=38	<b>-0,72</b> n=38	<b>-0,76</b> n=27	<b>-0,62</b> n=37	<b>-0,78</b> n=37	<b>-0,71</b> n=37	<b>-0,66</b> n=33	-0,59 n=24	<b>-0,61</b> n=27	-0,55 n=23	-0,53 n=21
	Очаків море		<b>-0,73</b> n=38	<b>-0,74</b> n=27	<b>-0,62</b> n=37	<b>-0,79</b> n=37	<b>-0,71</b> n=37	<b>-0,62</b> n=33	<b>-0,60</b> n=24	-0,59 n=27	-0,44 n=23	-0,41 n=21
	Аджігіол			<b>-0,75</b> n=27	<b>-0,71</b> n=27	<b>-0,7</b> n=27	<b>-0,65</b> n=27	<b>-0,78</b> n=24	-0,53 n=23	<b>-0,68</b> n=26	<b>-0,67</b> n=17	<b>-0,83</b> n=17
	Парутине				<b>-0,81</b> n=37	<b>-0,78</b> n=37	<b>-0,65</b> n=37	<b>-0,76</b> n=33	-0,47 n=24	-0,59 n=27	<b>-0,64</b> n=23	<b>-0,7</b> n=21
	Станіслав					<b>-0,53</b> n=37	-0,42 n=37	-0,43 n=33	-0,08 n=24	-0,43 n=27	-0,50 n=23	-0,53 n=21
	Касперовка						<b>-0,51</b> n=37	-0,25 n=33	-0,49 n=24	-0,43 n=27	-0,31 n=23	-0,18 n=21
	Херсон							<b>-0,60</b> n=33	-0,46 n=24	-0,37 n=25	-0,32 n=23	-0,29 n=20
	Прогнойськ								-0,67 n=24	-0,49 n=23	-0,60 n=23	-0,47 n=13
	Стерегущє									<b>-0,73</b> n=27	-0,59 n=18	<b>-0,59</b> n=13
	Чорноморська бухта										<b>-0,66</b> n=23	-0,55 n=18
	Іллічівськ											<b>-0,65</b> n=19

в) У таблиці 3.7 наведені коефіцієнти кореляції між числом днів з льодом і датою появи льоду.

Як впливає їх таблиці 3.7 зв'язок між числом днів з льодом і датою появи льоду між усіма станціями відсутня. Тільки між деякими сусідніми станціями існує зв'язок, а саме: станція Очаків (лиман) пов'язана зі станцією Очаків (море); станція Очаків (море) пов'язана зі станціями Аджігіюл, Парутине, Станіслав, Касперовка, Прогнойська станція Касперовка пов'язана зі станцією Прогнойська станція Херсон пов'язана зі станцією Прогнойська.

Загалом, з таблиці впливає, що число днів з льодом не залежить від дати появи на море льоду.

У таблиці 3.8 наведені коефіцієнти кореляції між числом днів з льодом і датою очищення моря від льоду.

Як впливає з таблиці 3.8 існує зв'язок між числом днів з льодом і датою очищення моря від льоду практично на всіх станціях, як на сусідніх, так і на станціях, віддалених одна від одної. Наприклад, станції Очаків (лиман) і Очаків (море) пов'язані з усіма станціями, крім Касперівка і Чорноморське (бухта); станція Іллічівськ не пов'язана зі станціями Херсон, Прогнойська, Чорноморське (бухта). Зі станцією Чорноморське (бухта) не пов'язана жодна зі станцій.

Загалом, можна зробити висновок про те, що між числом днів з льодом і датою очищення моря від льоду існує досить тісний зв'язок і дата про моря від льоду залежить від числа днів з льодом.

д) В таблиці 3.9 наведені коефіцієнти кореляції для дат появи на море льоду на всіх станціях.

Аналізуючи матриці просторових коефіцієнтів кореляції можна зробити висновок про те, що дати появи льоду тісно пов'язані на станціях, розташованих в Дніпро-Бузькому лимані і слабо пов'язані або не пов'язані зі станціями, розташованими у Кримського півострова (Стерегущє, Чорноморське) і розташовані в західній акваторії Чорного моря (Одеса, Іллічівськ).



Таблиця 3.8. Коефіцієнти парної кореляції між числом днів з льодом і датою очищення від льоду.

		Тривалість льодового періоду										
		Очаків лиман	Очаків море	Аджігіол	Парутине	Станіслав	Касперовка	Херсон	Прогнойськ	Стерегущє	Чорноморська бухта	Іллічівськ
Дата появи льоду	Очаків лиман	<b>-0.73</b> n=38	<b>-0.72</b> n=38	<b>-0.72</b> n=27	<b>-0.74</b> n=37	<b>-0.64</b> n=37	-0.47 n=37	<b>-0.62</b> n=33	<b>-0.77</b> n=24	<b>-0.76</b> n=27	-0.59 n=23	<b>-0.70</b> n=21
	Очаків море		<b>-0.74</b> n=38	<b>-0.75</b> n=27	<b>-0.63</b> n=37	<b>-0.63</b> n=37	-0.46 n=37	<b>-0.60</b> n=33	<b>-0.76</b> n=24	<b>-0.78</b> n=27	-0.56 n=23	<b>-0.71</b> n=21
	Аджігіол			<b>-0.66</b> n=27	<b>-0.73</b> n=27	<b>-0.78</b> n=27	<b>-0.71</b> n=27	<b>-0.60</b> n=24	<b>-0.69</b> n=23	<b>-0.72</b> n=26	-0.56 n=17	<b>-0.72</b> n=17
	Парутине				<b>-0.71</b> n=37	<b>-0.57</b> n=37	-0.38 n=37	<b>-0.51</b> n=33	<b>-0.69</b> n=24	<b>-0.72</b> n=27	-0.27 n=23	<b>-0.61</b> n=21
	Станіслав					<b>-0.73</b> n=37	<b>-0.53</b> n=37	<b>-0.60</b> n=33	<b>-0.70</b> n=24	<b>-0.70</b> n=27	-0.50 n=23	<b>-0.70</b> n=21
	Касперовка						<b>-0.61</b> n=37	<b>-0.58</b> n=33	-0.49 n=24	<b>-0.60</b> n=27	-0.44 n=23	<b>-0.65</b> n=21
	Херсон							<b>-0.63</b> n=33	-0.36 n=24	-0.50 n=25	-0.40 n=23	0.55 n=20
	Прогнойськ								<b>-0.66</b> n=24	-0.59 n=23	-0.45 n=23	-0.31 n=13
	Стерегущє									<b>-0.70</b> n=27	-0.52 n=18	<b>-0.69</b> n=13
	Чорноморська бухта										<b>-0.66</b> n=23	-0.58 n=18
	Іллічівськ											<b>-0.68</b> n=19

е) У таблиці 3.10 наведені коефіцієнти кореляції для ста днів з льодом на всіх станціях.

Як впливає з таблиці 3.10 для числа днів з льодом між усіма станціями, як сусідніми, так і віддаленими одна від одної, існує велика кореляційний зв'язок.

Аналіз просторових залежностей між числом днів з льодом на різних станціях показує що коефіцієнти кореляції дуже високі, за винятком станцій Стерегущє, Чорноморське (бухта), Іллічівськ.

ж) У таблиці 3.11 наведені коефіцієнти кореляції для тривалості льодового періоду на різних станціях.







Таблиця 3.12. Коефіцієнти кореляції для дат очищення моря від льоду на різних станціях

	Очаків лиман	Очаків море	Аджі- гіол	Пару- тине	Стані- слав	Каспе- ровка	Херсон	Прогно- йськ	Стере- гуще	Чорном- ка бухта	Іллі- чівськ	Одеса (порт)	Мико- лаїв
Очаків лиман	1	0.99	0.96	0.93	0.94	0.83	0.89	0.88	0.80	0.73	0.60	0.73	0.94
Очаків море		1	0.97	0.92	0.95	0.84	0.88	0.86	0.80	0.67	0.54	0.70	0.95
Аджігіол			1	0.81	0.97	0.86	0.71	0.86	0.79	0.71	0.73	0.80	0.92
Парутине				1	0.86	0.71	0.88	0.66	0.70	0.66	0.57	0.62	0.96
Станіслав					1	0.90	0.82	0.78	0.76	0.67	0.66	0.63	0.83
Касперовка						1	0.77	0.71	0.74	0.52	0.50	0.48	0.79
Херсон							1	0.51	0.82	0.65	0.63	0.61	0.83
Прогнойськ								1	0.62	0.60	0.43	0.81	0.77
Стерегуще									1	0.74	0.82	0.89	0.68
Чорном-ка										1	0.90	0.72	0.66
Іллічівськ											1	0.93	0.72
Одеса (порт)												1	
Миколаїв													1

### 3.4. Зв'язок характеристик льодового режиму з характеристиками макропроцесів

Зв'язок характеристик льодового режиму з характеристиками макропроцесів представлена в таблиці 3.13.

У таблиці 3.13 наведені коефіцієнти кореляції між сумою градусів-днів морозу і датами появи льоду і очищення моря від льоду. Як випливає з таблиці 3.13, зв'язок між датою появи льоду і сумою градусів-днів морозу відсутня на всіх без винятку станціях, а між датою очищення моря від льоду і сумою градусів-днів морозу існує досить великий зв'язок окрім станції Чорноморська (бухта) для всіх станцій дата очищення від льоду пов'язана з сумою градусів-днів морозу.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що дата очищення моря від льоду залежить від суми градусів-днів морозу, а дата появи льоду ні.

У таблиці 3.13 також наведені коефіцієнти кореляції між льодовитістю і датами появи льоду і очищення моря від льоду. Як випливає з таблиці 3.13, зв'язок між датою появи льоду і льодовитістю за чотири місяці (грудень, січень, лютий, березень) відсутня на всіх станції без винятку, а зв'язок між датою очищення моря від льоду і льодовитістю за ці ж чотири місяці існує тільки на станціях: Очаків (лиман) в лютому, Аджігіол в лютому і березні, Херсон в березні, Іллічівськ в лютому, Одеса (порт) в лютому.

Для середньої і найбільшою льодовитості і дати появи льоду зв'язок також відсутній, а зв'язок між датою очищення моря від льоду і середньої і

найбільшою льодовитістю існує досить великий. Для середньої льодовитості зв'язок існує на всіх станціях, крім станцій Прогнойська і Чорноморське (бухта), а для найбільшої льодовитості немає зв'язку на станціях Станіслав, Касперовка, Херсон, Прогнойск, сторожам, Чорноморське (бухта).

Таким чином, можна зробити висновок про те, що дата очищення моря від льоду залежить від льодовитості, а дата появи льоду-ні.

Таблиця 3.13. Коефіцієнти кореляції між датою появи льоду, датою очищення льоду і сумою градусів-днів морозу і льодовитістю.

	Сума градусо-днів морозу		льодовитість												
			ХІІ		І		ІІ		ІІІ		Середня		Найбільша		N
	Дп	Доч	Дп	Доч	Дп	Доч	Дп	Доч	Дп	Доч	Дп	Доч	Дп	Доч	
Очаків лиман	-0,30 n=38	<b>-0,72</b> n=38	-0,24	-0,14	-0,15	-0,23	-0,09	<b>-0,69</b>	-0,35	-0,59	-0,24	<b>-0,75</b>	-0,16	<b>-0,68</b>	26
Очаків море	-0,29 n=39	<b>-0,71</b> n=38	-0,32	-0,2	-0,25	-0,28	-0,1	-0,57	-0,26	-0,58	-0,28	<b>-0,69</b>	-0,19	<b>-0,64</b>	26
Аджігіол	-0,32 n=40	<b>-0,77</b> n=27	-0,08	-0,19	0,17	-0,25	-0,39	<b>-0,61</b>	-0,36	<b>-0,62</b>	-0,33	<b>-0,71</b>	-0,3	<b>-0,66</b>	24
Парутине	-0,28 n=41	<b>-0,68</b> n=37	-0,05	-0,19	-0,11	-0,2	-0,11	-0,56	-0,29	-0,58	-0,18	<b>-0,67</b>	-0,12	<b>-0,61</b>	25
Станіслав	-0,18 n=42	<b>-0,70</b> n=37	-0,04	-0,17	-0,13	-0,24	-0,21	-0,53	-0,27	-0,59	-0,27	<b>-0,64</b>	-0,19	-0,58	25
Касперовка	-0,30 n=43	<b>-0,63</b> n=37	-0,28	-0,11	-0,4	-0,28	-0,29	-0,46	-0,24	-0,57	-0,43	-0,57	-0,43	-0,57	25
Херсон	0,02 n=44	<b>-0,65</b> n=33	-0,37	-0,09	-0,23	0,003	0,002	-0,51	0,23	<b>-0,73</b>	-0,002	<b>-0,62</b>	0,005	-0,46	22
Прогнойськ	-0,28 n=45	<b>-0,61</b> n=24	-0,02	-0,14	0,005	-0,16	-0,31	-0,57	-0,2	-0,47	-0,25	-0,57	-0,22	-0,53	24
Стерегуще	-0,24 n=46	<b>-0,65</b> n=27	-0,06	-0,03	-0,09	-0,1	-0,12	-0,57	-0,37	-0,56	-0,26	<b>-0,65</b>	-0,14	-0,56	24
Чорноморська бухта	0,18 n=47	-0,50 n=23	-0,02	0,36	-0,37	0,61	0,03	-0,58	0,17	-0,53	0,05	-0,37	0,04	-0,47	16
Іллічівськ	-0,28 n=47	<b>-0,65</b> n=21	-0,04	0,14	-0,34	0,41	-0,25	<b>-0,78</b>	-0,17	-0,63	-0,41	<b>-0,79</b>	-0,41	<b>-0,7</b>	14
Одеса (порт)	-0,26 n=48	<b>-0,62</b> n=23	-0,22	0,05	-0,31	-0,05	-0,15	<b>-0,76</b>	-0,41	-0,62	-0,29	<b>-0,77</b>	-0,2	<b>-0,72</b>	16
Миколаїв	-0,11 n=49	<b>-0,70</b> n=37	-0,14	-0,25	-0,01	-0,29	-0,05	-0,54	-0,32	-0,5	-0,16	<b>-0,67</b>	-0,18	<b>-0,62</b>	25

У таблиці 3.14 наведені коефіцієнти кореляції між сумою градусів-днів морозу і льодовитістю.

Як впливає з таблиці 3.14 існує зв'язок між льодовитістю і сумою градусів-днів морозу, тільки між льодовитістю в грудні і сумою градусів-днів морозу немає зв'язку.

Таблиця - 3.14. Коефіцієнти кореляції між льодовитістю та сумою градусів-днів морозу

Сума градусо-днів	льодовитість					
	XII	I	II	III	Середня	Найбільша
	0.41 n=33	0.51 n=37	0.69 n=39	0.79 n=35	0.83 n=37	0.72 n=38

За даними отриманих результатів зі станції було проведено графічний аналіз - тимчасового ходу.

Як показав аналіз, за багаторічний період по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря з 1959-2016 рр. (рис. 3.1-3.2) максимальне значення з тимчасового ходу тривалості льодового періоду (в днях) склало - 126 днів, мінімальне - 29 днів, і можна відмітити наявність негативного тренду в багаторічних коливаннях, особливо помітного в останні роки.

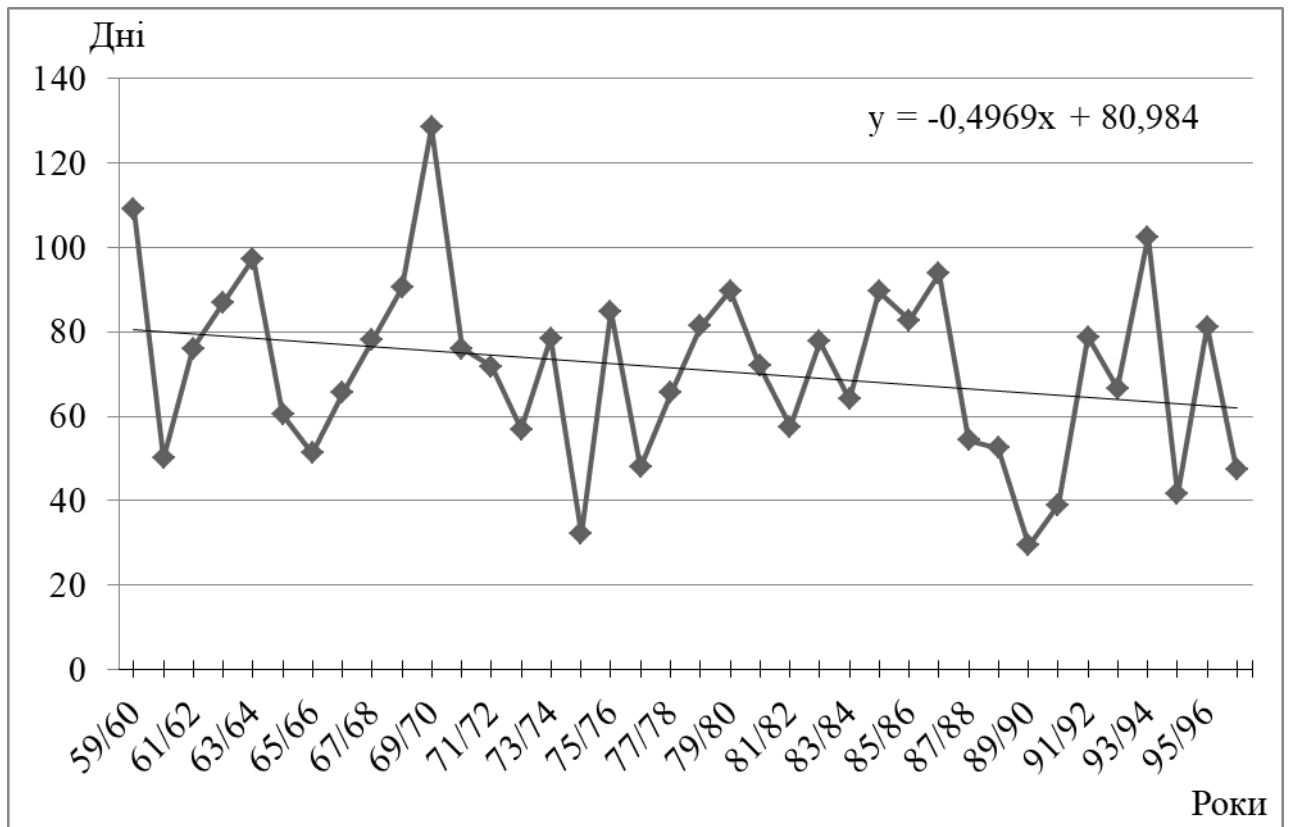


Рис. 3.1. Тимчасовий хід тривалості льодового періоду (в днях) по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря за 1959-1997 роки

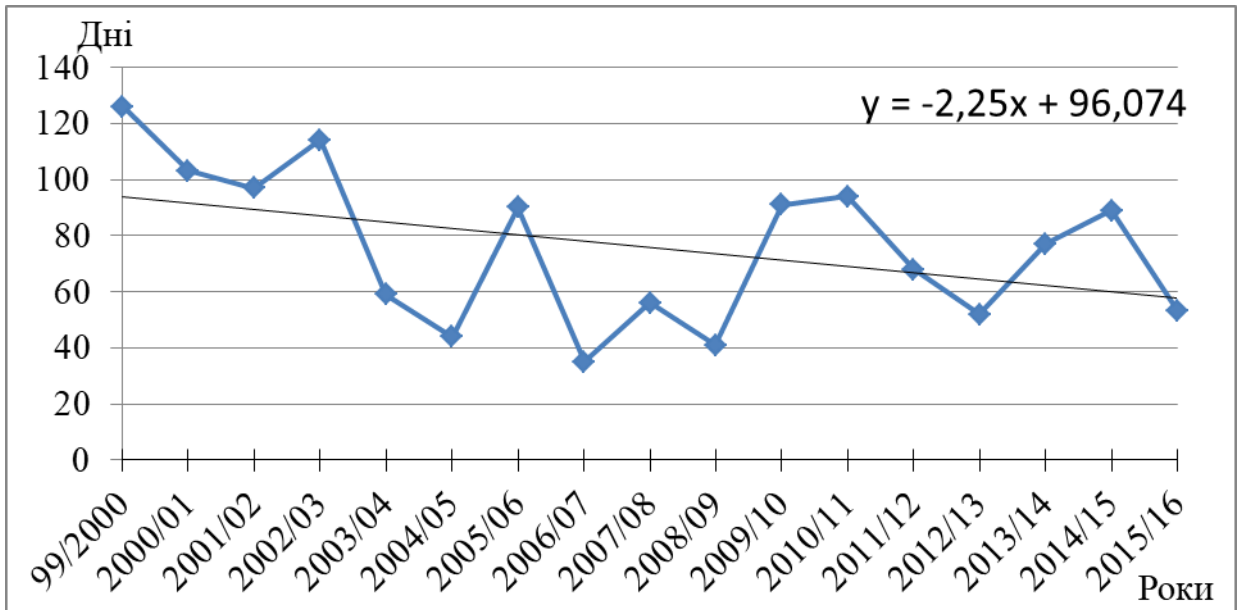


Рис. 3.2. Тимчасовий хід тривалості льодового періоду (в днях) по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря за 1999-2016 роки.

З рис. 3.1 і 3.2 можна бачити, що в ХХ-ому столітті тривалість льодового періоду в північно-західній частині зменшувалась з середньою швидкістю приблизно 0.5 днів за рік в той час як в ХХІ столітті швидкість зменшення зросла до двох днів за рік.

Був проведений аналіз тимчасового ходу числа днів з льодом за 1959-1997 роки. За цей період максимальне число днів з льодом склало - 89 днів, та мінімальне склало - 12 днів, і також спостерігався негативний тренд за цей період (рис 3.3).

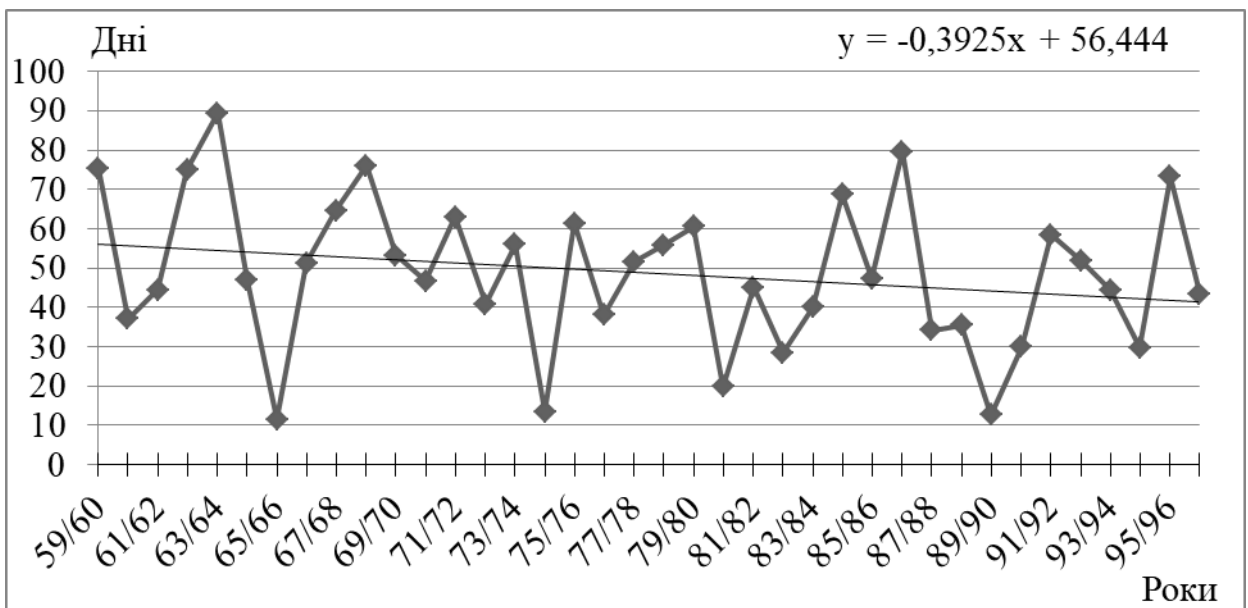


Рис. 3.3. Тимчасовий хід числа днів з льодом по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря за 1959-1997 роки.

Було проведено також сумісний аналіз даних тимчасового ходу тривалості льодового періоду і суми градусів-днів морозу за 1959-2016 роки (рис. 3.4-3.5) по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря. За цими двома рядами розраховувався коефіцієнт кореляції за цей період, який дорівнює 0,49.

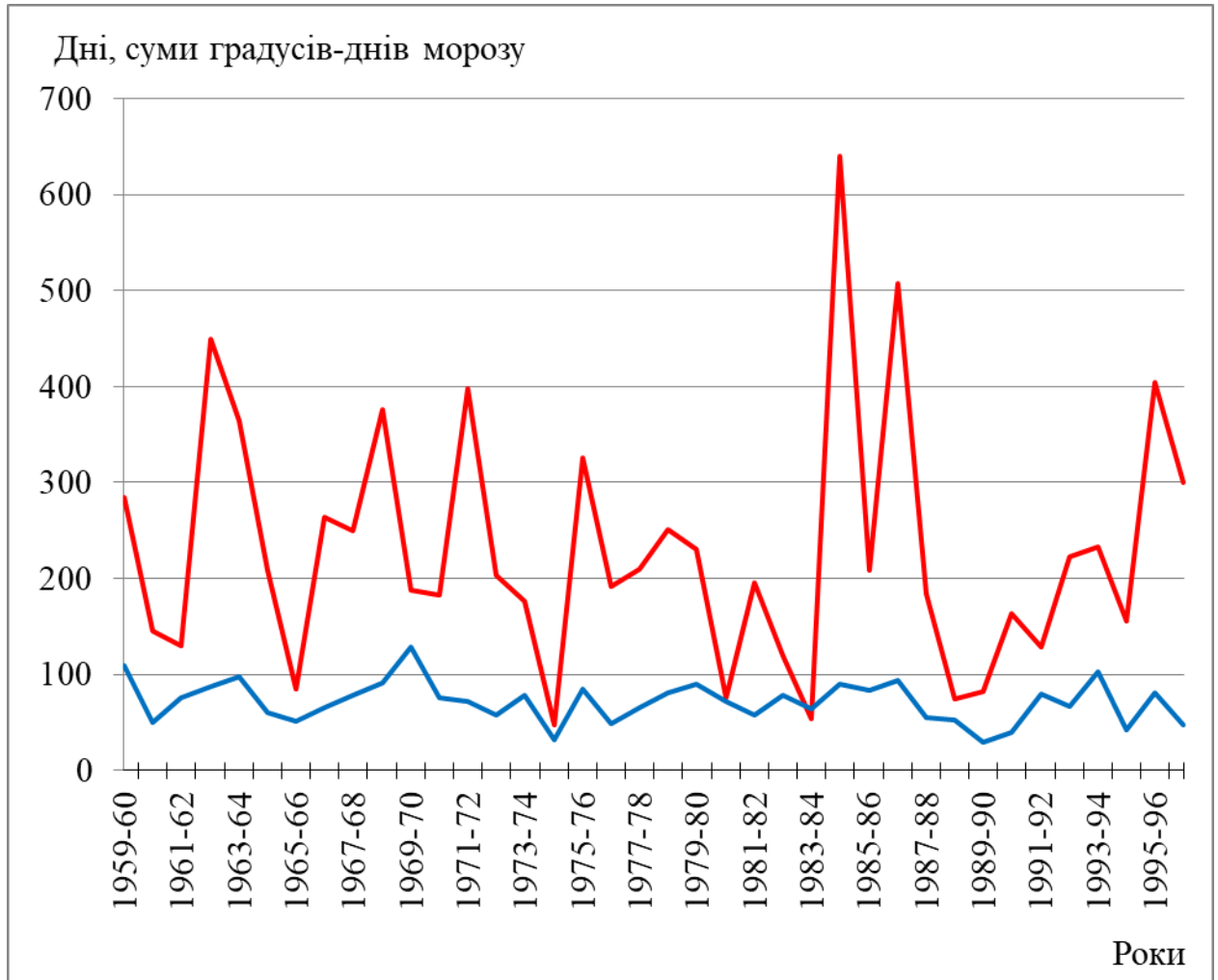


Рис. 3.4. Тимчасовий хід тривалості льодового періоду (синім) і суми градусів-днів морозу (червоним) по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря за 1959-1997 роки.



Рис. 3.5. Тимчасовий хід тривалості льодового періоду (червоним) і суми градусів-днів морозу (синім) по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря за 1999-2016 роки.

Так само був проаналізований в порівняльному аспекті тимчасової хід числа днів з льодом і суми градусів-днів морозу по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря (рис. 3.6). За цими двома рядами коефіцієнт кореляції дорівнює 0,8 а це означає більш тісну статистичну залежність кількості днів з льодом від суми градусів-днів морозу, що необхідно використовувати для прогнозування.



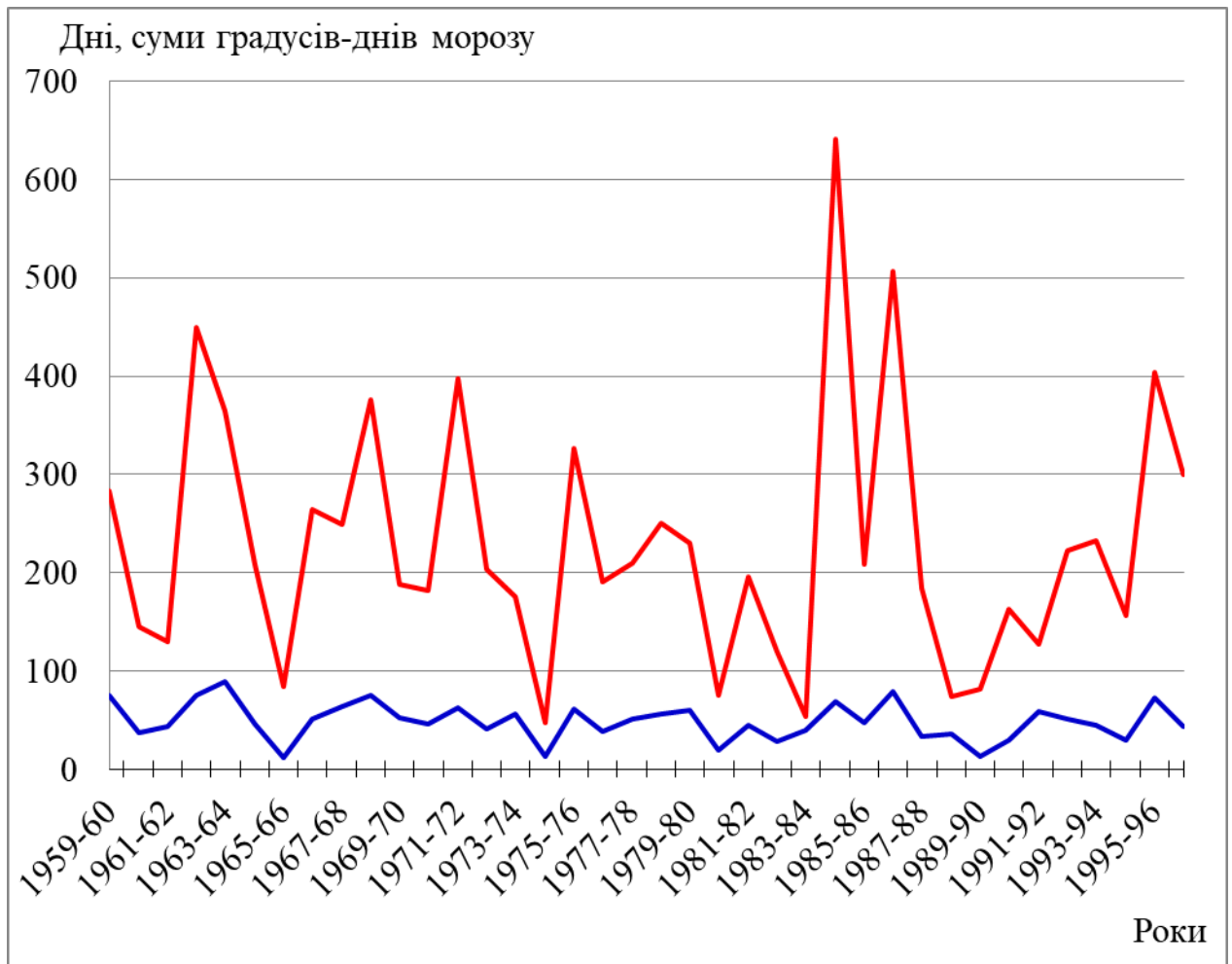


Рис. 3.6. Тимчасовий хід числа днів з льодом (синім) і суми градусів-днів морозу (червоним) по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря за 1959-1997 роки

Далі аналізувалися дати появи льоду, дати очищення від льоду і тривалість льодового періоду і ці характеристики порівнювалися з середніми багаторічними даними для станції Одеса, які опубліковані в [25].

З таблиці 3.15 видно, що за датою появи льоду в Одесі і їх відхилення від середньої багаторічної дати було видно, що перша поява льоду спостерігається на 1-2 декади пізніше ніж за нормою (13 січня). Сама раніша поява льоду спостерігалася 4 грудня 1998 року, відхилення склало - 40 днів, а сама пізніша - 30 січня 2012 року, відхилення склало 17 днів.

Таблиця 3.15. Дати появи льоду в Одесі і їх відхилення від середньої багаторічної дати.

Роки	Дати	Відхилення	Характеристика
97/98	28.01.1998	15	пізніше
98/99	04.12.1998	-40	раніше
99/2000	-		
2000/2001	-		
2001/2002	10.01.2002	-3	раніше
2002/2003	21.12.2003	-13	раніше
2003/2004	-		
2004/2005	-		
2005/2006	02.02.2006	20	пізніше
2006/2007	-		
2007/2008	05.01.2008	-8	раніше
2008/2009	-		
2009/2010	24.01.2010	11	пізніше
2010/2011	30.01.2011	17	пізніше
2011/2012	30.01.2012	17	пізніше
2012/2013	-		
2013/2014	01.02.2014	18	пізніше
2014/2015	-		
2015/2016	-		

З таблиці 3.16 за тривалістю льодового періоду в Одесі і її відхиленням від середньої багаторічної тривалості (43 днів) було видно, що вона знизилася на 1,5 - 3 декади, за винятком 2002-2003 року де в відхиленні становить - 46 днів. За останні 10 років тривалість льодового періоду менше норми.

Таблиця 3.16. Тривалість льодового періоду в Одесі і її відхилення від середньої багаторічної тривалості.

Роки	Дні	Відхилення	Характеристика	Сума градуса днів морозу	Суворість
97/98	13	-30	менше	117	м
<b>98/99</b>	<b>52</b>	<b>9</b>	<b>більше</b>	<b>130</b>	<b>м</b>
99/2000				107	м
2000/2001				70	м
2001/2002	22	-21	менше	210	п
<b>2002/2003</b>	<b>83</b>	<b>46</b>	<b>більше</b>	<b>299</b>	<b>п</b>
2003/2004				107	м
2004/2005				107	м
2005/2006	29	-14	менше	306	м
2006/2007				67	м
2007/2008	19	-24	менше	138	м
2008/2009				84	м
2009/2010	26	-17	менше	226	м
2010/2011	40	-3	менше	201	м
2011/2012	30	-13	менше	280	м
2012/2013				106	м
2013/2014	18	-25	менше	135	м
2014/2015				106	м
2015/2016				123	м

Примітка: п- помірна зима, м- м'ягка зима.

З таблиці 3.17 за датою очищення моря від льоду в Одесі і їх відхиленням від середньої багаторічної дати було видно, що за останні 10 років очищення спостерігається як раніше норми (від 6 до 32 днів), так і пізніше (від 4 до 14 днів).

Таблиця 3.17. Дати очищення моря від льоду в Одесі і їх відхилення від середньої багаторічної дати.

Роки	Дати	Відхилення (дні)	Характеристика
97/98	10.02.1998	-15	раніше
98/99	25.01.1999	-31	раніше
99/2000	-		
2000/2001	-		
2001/2002	03.01.1999	-33	раніше
2002/2003	14.03.2003	17	пізніше
2003/2004	-		
2004/2005	-		
2005/2006	03.03.2006	6	пізніше
2006/2007	-		
2007/2008	24.01.2008	-32	раніше
2008/2009	-		
2009/2010	19.02.2010	-6	раніше
2010/2011	11.03.2011	14	пізніше
2011/2012	29.02.2012	4	пізніше
2012/2013	-		
2013/2014	19.02.2014	-6	раніше
2014/2015	-		
2015/2016	-		

З аналізу тимчасового ходу тривалості льодового періоду по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря за 1959-2016 роки був виявлений слабкий, негативний тренд.

Кореляційний аналіз показав, між тривалістю льодового періоду, кількістю днів з льодом і сумами градусо-днів морозу по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря спостерігаються статистичні зв'язки. Найбільш високий коефіцієнт кореляції (0,8) спостерігається між кількості днів та сумами градусо-днів морозу, що можна використовувати для прогнозу.

Для станції Одеса за останні роки перша поява льоду спостерігається на 1-2 декади пізніше норми, а дати очищення моря від льоду можуть бути як пізніше так і раніше норми. За останні роки на станції Одеса тривалість льодового періоду знизилася на 1,5 - 3 декади, за винятком 2002-2003 року.

#### 4. ФІЗИКО-СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ЛЬДОВИХ ПРОГНОЗІВ

Всі існуючі фізико-статистичні методи прогнозів можна розділити на три групи:

1. Методи, що враховують кліматичну мінливість льодових параметрів, засновані на статистичному аналізі рядів спостережень (імовірнісний прогноз).

2. Методи, що враховують попередні льодові і метеорологічні умови (кількість льоду або сума градусодней морозу, накопичені в попередню зиму або в попередній період поточного льодового сезону; температура повітря або води, повторюваність тієї чи іншої форми атмосферної циркуляції в попередній прогнозом період та інші).

3. Методи, в яких використовуються фактичні параметри крижаного покриття в якості початкових даних і прогноз метеорологічних елементів.

4. Методи, засновані на можливості використання для льодових прогнозів існуючих в природі циклічних коливань з різними періодами (цикли сонячної активності, макроциркуляційних епох атмосферних процесів і т.д.).

Залежно від завчасності прогнозу підхід до розробки методу прогнозу може бути різний. Традиційно льодові прогнози ділять по завчасності на:

- короткострокові прогнози (до 3 діб);
- середньострокові (від 3 до 15 діб);
- довгострокові (від 15 діб до 2 міс. і більше).

При розробці фізико-статистичних методів прогнозів з різноманіття факторів, що визначають інтенсивність або терміни настання того чи іншого льодового явища, необхідно вибрати ті фактори, які є головними для розвитку льодового явища в даний час і в даному районі моря. Отже, важливо проаналізувати відносну роль факторів, що передують льодовому явищу, з урахуванням приналежності до тієї чи іншої макроциркуляційних епохі, сезону року і місцевих умов.

Прогнози льодових явищ ґрунтуються на обліку складових теплового балансу, кліматичних особливостях регіону і впливу атмосферних процесів.

Прогноз осінніх льодових явищ, процесів льодоутворення починається з того моменту, коли вода в результаті осінньо-зимового вихолодження досягає температури кристалізації льоду. Це настає тим швидше, чим більше тепловіддача води (визначається перш за все температурою повітряної маси, що знаходиться над екватором моря) і чим менше теплонакопичення за попередній весняно-літній період (визначається температурою води). Перш за все льодоутворення починається в мілководних, распресненних бухтах і затоках. При достатньому вихолаженні майже одночасно з появою початкових видів льоду уздовж берега утворюються забереги. Через деякий час льоди з'являються в відкритих частинах моря, і кількість їх швидко збільшується. На деяких ділянках узбережжя встановлюється нерухомий крижаний покрив - припай.

Прогноз зимових льодових процесів, що складаються в збільшенні потужності крижаного покриву (товщини і кількості льоду), враховує перш за все два основні чинники: температуру повітря і режим вітру. На сумарний результат льодонакопичення до певного моменту часу впливає сума негативних температур повітря, накопичена від дня переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  до від'ємних показників до дня, на який прогнозується дана льодова характеристика (дата появи льоду, або дата досягнення товщиною льоду певних значень, та інші). Цю величину прийнято називати сумою градусоднів морозу  $\Sigma (-T_n)$ . Крім збільшення потужності крижаного покриву протягом усього льодового періоду відбувається перерозподіл таких площадитих характеристик дрейфуючого льоду, як згуртованість і товщина льоду. Емпірико-статистичні залежності між метеорологічними та льодовими параметрами визначаються на основі спостережень за наростанням і перерозподілом льоду.

Прогноз весняних льодових процесів пророкує час настання різних фаз руйнування льодового покриву, яке починається з того моменту, коли тепловий баланс поверхні моря стає позитивним. З плином часу інсоляція збільшується і танення льоду активізується. Швидкість танення знаходиться в прямій залежності від температури повітря над акваторією моря. Чим інтенсивніше йде танення льоду, тим раніше відбувається руйнування припая і очищення моря від льоду. На цей процес накладаються і механічні фактори (припливно-відливних явища, течії, вітер), які прискорюють процес руйнування крижаного покриву. Крім теплових і динамічних факторів, велике значення мають фізико-географічні умови моря - ізрізанні узбережжя, глибина моря, наближеність до берегової межі.

У весняних прогнозах руйнування припая і очищення моря від льоду головними факторами є тепловість моря і потужність крижаного покриву, для характеристики якої зазвичай використовуються льодовитість і товщина льоду. Льодовитість моря - це відношення площі, зайнятої льодом будь згуртованості, до загальної площі моря. Дана характеристика для осені, початку зими і весни, коли в море спостерігається лід різної згуртованості і товщини, не є показовою з точки зору оцінки льодових умов, що впливають як на льодопробитість судів, так і на хід весняних процесів. Однак цей параметр виявляється високоінформативним для періоду максимального розвитку крижаного покриву в море, коли лід практично по всій його площі досягає згуртованості 9-10 балів. В цей час льодовитість визначає потужність крижаного покриву, льодозалишок моря. Ступінь льодоутворення також може бути охарактеризована сумою градусоднів морозу. Дати льодоутворення, дати руйнування припая і очищення моря, товщина льоду визначаються насамперед тепловими чинниками. Динамічні чинники визначають в основному дрейф і торосистого льоду, а також його перерозподіл в море. Останні, однак, можуть сприяти збільшенню обсягу льоду в море, наприклад при багаторазовому утворенні льоду в зонах відкритої води і заприпайних ополонках або при винесенні льоду з сусідніх акваторій. Динамічні чинники можуть викликати також більш раннє або

пізніше замерзання, розтин або очищення моря (злом припая сильним вітром, вплив тепла глибинних вод при сгінно-нагінних явищах, дроблення дрейфуючого льоду, що збільшує площу бічної поверхні танення криги, і ін.). При розробці методів довгострокового прогнозу льодових умов враховують великомасштабні процеси взаємодії океану і атмосфери, а також існуючі в природі довгоперіодні циклічні коливання.

Зміст перших льодових прогнозів зводилося до передбачення термінів появи і руйнування льоду. В останні роки в зв'язку з організацією в деяких замерзаючих портах цілорічної навігації з'явилася потреба в прогнозах і ряду інших льодових характеристик. В даний час складаються прогнози льодовитості, положення кромки льоду, що дрейфував, згуртованості, товщини, зон стиснення і розрідження, встановлення і злому припая і остаточного очищення моря від льоду. Складаються також навігаційні рекомендації, які вказують можливість плавання на окремих ділянках льодових трас без криголамів і з криголамами різної потужності. У методичній літературі [26, 27] досить повно і конкретно описані існуючі методи прогнозу льодових явищ, розроблені в другій половині ХХ століття. У цьому посібнику будуть проаналізовані загальні підходи до вирішення прогностичних завдань, а також тенденції, що існують в льодовому прогнозуванні в даний час.

#### **4.1. Короткострокові і середньострокові прогнози льодових явищ**

Короткострокові і середньострокові прогнози (до 15 діб) мають велике значення для районів зі значною мінливістю льодових явищ. Наприклад, прогнози осінніх льодових явищ - появи льоду і замерзання моря - важливі в першу чергу для мілководних районів морів, де різке зниження температури повітря протягом кількох діб і навіть годин може призвести до появи льоду і замерзання моря. В результаті припиняється плавання суден, закриваються бухти для риболовних суден, припиняються багато інших видів господарської діяльності на морях. За короткі проміжки часу може значно змінюватися згуртованість льоду за рахунок дрейфу і перерозподілу плавучих льодів під дією вітру і течій. Прогноз стиснень льоду і розрідження необхідний для забезпечення безпеки руху суден в льодах. Важливий показник для плавання в льодах - межа між чистою водою і льодом. Тому прогноз переміщення кромки льоду - один з найбільш важливих в льодових прогнозах. Злом припая під дією динамічних факторів може відбутися в короткий термін, і короткостроковий прогноз цього явища також необхідний для обслуговування судноплавства і галузей, пов'язаних з перевезенням вантажів по припала. Слід зазначити, що короткострокові і середньострокові льодові прогнози уточнюють довгострокові прогнози, тому до їх точності пред'являються підвищені вимоги. Важливим питанням, рішення якого пов'язано з прогнозами характеристик крижаного покриву, є розробка узагальнених показників впливу льодів на судноплавство. Велика мінливість прогнозованих явищ зумовила відповідний підхід до вирішення завдання їх

прогнозу. Більшість методів прогнозу прямо або побічно пов'язане з використанням метеорологічного прогнозу. Час настання осінніх льодових явищ - появи льоду і замерзання моря - залежить від цілого ряду причин: тепловміст діяльного шару води, його товщини, стратифікації вод, інтенсивності охолодження за рахунок випаровування, турбулентного теплообміну з атмосферою і ефективного випромінювання, адвекції тепла течіями, принесення льоду з сусідніх ділянок моря, хвилювання, коливання рівня моря та ін. Терміни руйнування крижаного покриву і очищення моря від льоду залежать від його стану до початку танення (товщини льоду, що утворився за зиму, макро- і мікро структури льоду, його забрудненості), від висоти снігу на льоду, метеорологічних умов і динамічних факторів. Найбільш важливими з них є: товщина льоду, снігу і тепловий баланс на поверхні льоду, що складається з поглиненої сонячної радіації, ефективного випромінювання, турбулентного теплообміну з атмосферою, втрат тепла на випаровування. З численних спостережень відомо, що товщина льоду значно змінюється по площі, і при обмеженому числі вимірювань важко отримати правильну середню товщину льоду. При відсутності достатньої кількості вимірювань про середній товщині льоду судять за сумою негативних температур повітря з початку льодоутворення. Великий вплив на процеси руйнування припая надають вітрові умови. При прогнозі динаміки льодів, дрейфу і перерозподілу льодів необхідно враховувати в першу чергу поле вітру або поле атмосферного тиску, швидкість підлідних течій. Крім обліку динамічних факторів, необхідно брати до уваги і термічні фактори - теплообмін з атмосферою і водним середовищем. Облік цих факторів - складне завдання, так як необхідно розглядати теплообмін між трьома середовищами - водою, льодом і повітрям. Відомо, що складові теплового балансу змінюються досить сильно в залежності від того, на кордоні яких середовищ вони розглядаються. На ділянках чистої води великі випаровування і турбулентний теплообмін з атмосферою. Випаровування з поверхні льоду і снігу значно менше. Потоки променистого тепла також залежать від властивостей середовища. Наприклад, навесні велику роль в тепловому балансі на кордоні лід - повітря грає процес відображення сонячної радіації, в той час як на кордоні вода - повітря вплив його набагато менше. Важке завдання представляє облік тепла, що поглинається розводдями і витрачається на танення криги з нижньої і бокової поверхні. В динаміці льодів важливий облік взаємодії крижин, яке істотно впливає на їх перерозподіл.

#### **4.2. Середньострокові прогнози дати появи і дати очищення моря від льоду для станції північно-західній частини Чорного моря**

Основна концепція методу середньострокового прогнозу появи льоду полягає в наступному. За прогнозом на 7 діб можна визначити дату переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  для відповідного порту. Далі передбачається, що температура води в день переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  в



значній мірі визначається температурою повітря за певний інтервал, який передував цій даті. Оптимальний інтервал, за який слід брати середню температуру повітря, визначається на основі кореляції між температурою води і середньою температурою повітря за різні інтервали попереднього періоду часу. Такі залежності були побудовані для 14 основних російських портів для 10, 15, 20, 25-добового осереднення температури повітря. Найкращі зв'язку вийшли для 20 і 25-добового осереднення температури повітря. При цьому для південних морів (Чорне, Азовське, Каспійське) найбільш тісні зв'язки ( $R = 0,60-0,65$ ) вийшли при 20-добовому осередненні. За вихідними даними про середню температуру повітря за оптимальний інтервал, що передує даті переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$ , і по самій цій даті були побудовані залежності для прогнозу дати першої появи льоду в порту (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Кореляційні залежності для прогнозу першої появи льоду.

Порт	Розрахункова залежність	R	Забезпеченність методу при $\delta=0,8\sigma$ , %
Одеса	$D_{п.п.} = 0,92 T_a^{20} + 0,90DT_{a0} + 33$	0,84	89
Миколаїв	$D_{п.п.} = 0,62 T_a^{20} + 0,74DT_{a0} + 35$	0,78	84

Примітка: R - коефіцієнт кореляції;  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення;  $D_{п.п.}$  - дата першого появи льоду;  $DT_{0a}$  - дата переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  в розрахунку від 1 вересня;  $T^{20}$  - середня температура повітря за попередні 20 днів до переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$ .

Руйнування крижаного покриву і подальше очищення моря від льоду визначається:

- станом крижаного покриву до початку руйнування (товщина, структура, солоність, забрудненість, наявність снігового покриву на льоду і ін.);

- тепловим балансом моря;

- динамікою вод моря (течії, наганянь зганяння явища, вітер).

В основу методу середньострокового прогнозу дати очищення моря від льоду було покладено такі фізичні положення.

У весняний період у зв'язку зі збільшенням притоку сонячного тепла до поверхні моря температуру поверхні льоду або снігового покриву вже не можна ототожнювати з температурою повітря, як взимку. На основі аналізу даних натурних спостережень за таненням льоду було встановлено, що воно починається зверху ще при температурі повітря трохи нижче нуля. З іншого боку, солоність поверхневого шару льоду в весняний період буває незначною, і температура танення льоду близька до нульової. Однак через радіаційне припливу тепла температура поверхні снігового покриву або

льоду трохи вище температури повітря. Танення льоду починається з моменту встановлення позитивного теплового балансу на поверхні крижаного покриву. В процесі танення в льоду відбуваються структурні зміни, що додають йому пористість і зменшують його міцність. На поверхні льоду тала вода заповнює всі поглиблення, шорсткості згладжуються, товщина льоду зменшується. Оскільки основний процес танення відбувається в денні години, як предиктор була обрана дата стійкого переходу температури повітря через 0°C до позитивних значень в термін 12 год за Гринвічем, яка визначається за 7-добовому прогнозом. Отримані прогностичні залежності наведені в табл. 4.2.

Велика стійкість температурних аномалій в океані впливає на температуру і вологовміст повітряних мас, що рухаються на материк. Розвиток синоптичних процесів в масштабах сезону і на великих просторах дозволяє виявити великомасштабні процеси. Залежно від виду довгострокового прогнозу льодових явищ, що визначається сезоном, використовуються різні предиктори, що входять в прогностичні рівняння. Основними факторами, що визначають терміни появи льоду в районах, де немає постійної адвекції тепла течіями, є тепловміст діяльного шару в море до початку осіннього охолодження і інтенсивність охолодження моря в осінні місяці.

Таблиця 4.2 - Кореляційні залежності для прогнозу очищення акваторії порту.

Порт	Розрахункова залежність	R	Забезпеченність методу при $\delta=0,8\sigma$ , %
Одеса	$D_{п.п.} = 0,93 T_a^{20} + 0,18DT_{a0} + 122$	0,84	89
Миколаїв	$D_{п.п.} = 0,47 T_a^{20} + 0,35DT_{a0} + 119$	0,78	84

Примітка: R - коефіцієнт кореляції;  $\delta$  - допустима похибка, що дорівнює  $0,8\sigma$ , де  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення;  $D_0$  - дата очищення моря від льоду;  $DT_{a0}$  - дата переходу температури повітря через 0°C в 12 ч за Гринвічем в отсчетах від 1 вересня;  $H_m$  – максимальна товщина льоду, см.

Для весняних льодових явищ (танення льодів, розтин і очищення моря від льоду) найбільш важливими аргументами служать кількість льоду, накопичене морем протягом зими, і інтенсивність весняних процесів в атмосфері, пов'язаних зі збільшенням надходження сонячного тепла.

### 4.3. Аналіз перевірки метода середньострокового прогнозу характеристик льодового режиму для північно-західної частини Чорного моря.

В [25] говориться про пом'якшення льодових умов в Чорному морі за останній кліматичний період, що є результатом загального потепління вод Чорного моря в зимовий період, що обумовлено значущими позитивними багаторічними трендами температури повітря в зимовий сезон, які, в свою чергу, пов'язані з глобальним потеплінням. В зв'язку з цим методи прогнозування льодових явищ на Чорному морі потребують перевірки на матеріалах спостережень за останні роки.

У таблицях 4.3 і 4.4 представлені середні багаторічні, максимальні і мінімальні значення характеристик льодового на станції Миколаїв режиму за останні роки.

Таблиця 4.3. Середні, мінімальні та максимальні значення дат з'явився льоду, переходу через 0°C, різниця между ними за період з 1990-2010 р.р. для станції Миколаїв.

Характеристики	Середнє значення	Мінімальне значення (для дати найраніша)	Максимальне значення (для дати найпізніша)	Стандартне відхилення	Розмах
Дата появи льоду	22.12 (16.12)	24.11.98 (09.11)	31.01.2005 (03.02)	16,02	68
Дата переходу через 0°C	15.12.97	14.11.1998	23.01.2005	16,56	70
Середнє значення температури повітря за 20 днів до дати переходу через 0°C (T <sub>20</sub> )	3.16	-0,7	6,4	1,79	5,7

З таблиці 4.3 видно що середня дата появи льоду на станції Миколаїв за нормою настає 8 грудня, а за досліджуваний період – 22 грудня, тобто на 2 тижні пізніше. Очищення від льоду за нормою відбувається 18 березня, а за досліджуваний період - 1 березня, що на 2 с половиною тижні раніше. Тривалість льодового періоду за досліджуваний період склала 68 днів, а за нормою - 100 днів, тобто зменшення складає 32 дні.

Таблиця 4.4. Середні, мінімальні і максимальні значення дат очищення моря від льоду, переходу через 0°C, різниця між ними за період 1995-2016 р.р. для станції Миколаїв.

Характеристики	Середнє значення	Мінімальне значення (для дат-найраніша)	Максимальне значення (для дат-найпізніша)	Стандартне відхилення	Розмах
Дата очищення моря від льоду	01.03 (12.03)	31.01.2009 (23.01)	03.04.1996 17.04	17,1	63
Дата переходу через 0°C	22.02.97	14.01.2009	25.03.2003	20,14	70
$H_{\max}$	20,31	3	37	9,65	34
Різниця у днях між датою очищення від льоду та датою переходу через 0°C	11	2	17	6,16	21

З таблиці 4.4 видно, що середні дати очищення змістилися на 12 днів раніше норми. Сама рання дата очищення спостерігалася на 8 днів раніше. Пізня дата очищення спостерігалася на 14 днів раніше.

#### 4.4. Середньостроковий прогноз дат появи льоду на станціях Миколаїв та Одеса.

Дані про дати появи льоду та дати очищення а також данні з температури повітря і товщини льоду на ст. Миколаїв були використані з таблиць ТГМ-1 за періоди з 1990-2010 рр., і за 1995-2016 рр. Розглянуті рівняння для середньострокового прогнозу появи льоду з [28]. Де за вихідними даними про середню температуру повітря за оптимальний інтервал (20 днів), що передуює даті переходу температури повітря через 0°C, і по самій цій даті були побудовані залежності для прогнозу дати першої появи льоду для станцій Миколаїв (2).

$$D_{п.п.}(\text{Миколаїв}) = 0,62 T_a^{20} + 0,74DT_{a0} + 35 \quad (1)$$

де  $D_{п.п.}$  - дата першої появи льоду;  $DT_{a0}$  - дата переходу температури повітря через 0°C в отсчетах від 1 вересня;  $T_a^{20}$  - середня температура повітря за попередні 20 днів до переходу температури повітря через 0°C.

При перевірці рівняння (1) помилка в розрахунках становила від 1 до 16 днів при допустимій помилку 5 днів [25], а забезпеченість дорівнює 13%, що є незадовільною. Було розраховано нове рівняння, яке має вигляд:

$$D_{п.п. (Миколаїв)} = 0,654 T_a^{20} + 0,963 D T_{a0} + 8,79 \quad (2)$$

Забезпеченість розрахунків з цього рівняння дорівнює 94%, а множинний коефіцієнт кореляції  $R = 0,97$  і значущих на рівні 0,01.

Таблиця 4.5. Дати появи льоду (розрахункові та фактичні) для станції Миколаїв.

Сезон	Дата появи льоду фактична (відлік від 1 вересня)	Дата появи льоду розрахункова (нове рівняння)	Похибка по новому рівнянню	Дата появи льоду розрахункова (старе рівняння)	Похибка по старому рівнянню
1990/1991	139	142	-3	140	1
1994/1995	110	111	-1	116	6
1996/1997	114	118	-4	121	7
1997/1998	108	111	-3	115	7
1998/1999	85	84	1	101	16
1999/2000	114	119	-5	122	8
2000/2001	116	117	-1	122	6
2001/2002	97	100	-3	108	11
2002/2003	99	101	-2	112	13
2003/2004	102	101	1	113	11
2004/2005	153	150	3	149	-4
2005/2006	112	108	4	120	8
2006/2007	118	118	0	125	7
2007/2008	124	113	11	128	4
2008/2009	114	111	3	123	9
2009/2010	108	109	-1	118	10

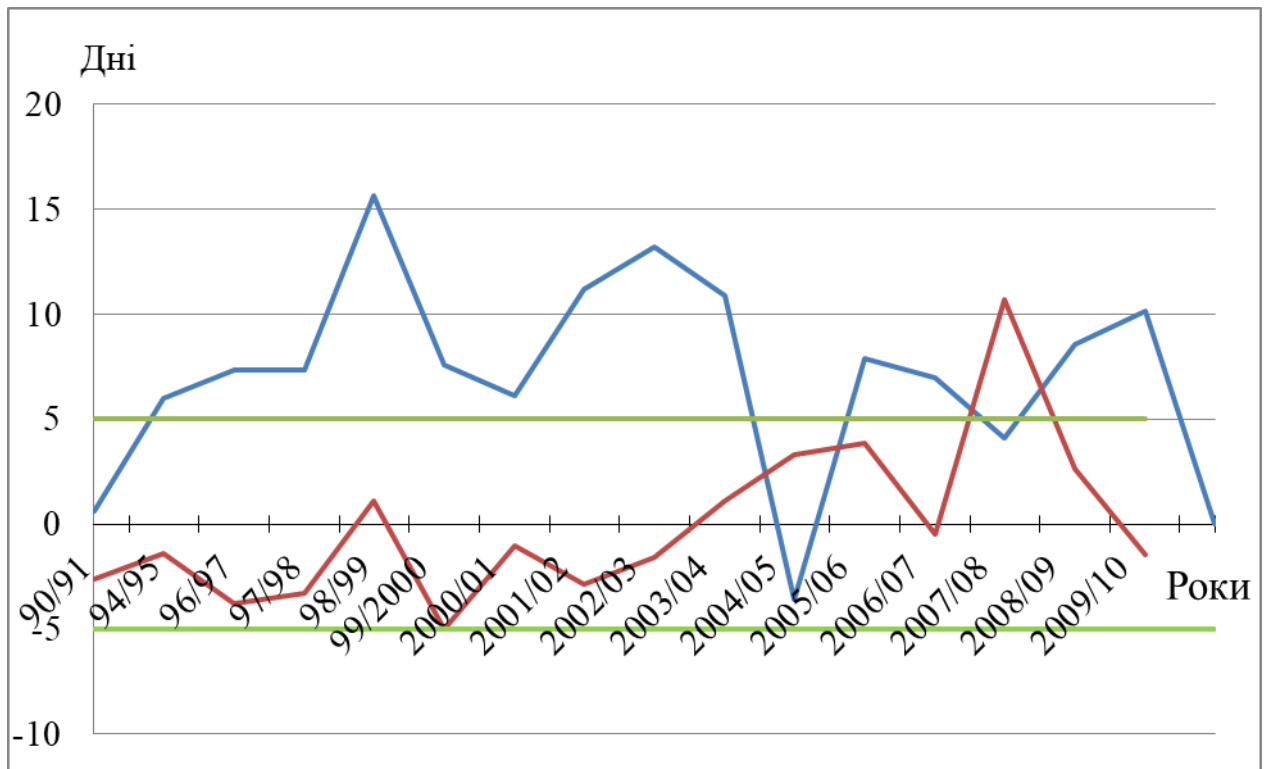


Рис. 4.1. Розподіл по роках помилок прогнозу дати появи льоду за старим (синя лінія) та новим рінаннями (червона лінія) відносно допустимої помилки (зелена лінія) на станції Миколаїв.

Таблиця 4.6. Вихідні дані для прогнозу дати появи льоду в Одесі.

№	Сезон, роки	Факт. Дата появи льоду		Дата переходу Темп. Повітря Через 0°C		Середня темпер. Повітря За 20 днів від дати пер. через 0°C	Прогностична Дата появи Льоду		Помилка
		Календ.	Відх. Від 1 вересня	Кален.	Відх. Від 1 вересня		Кален.	Відх. Від 1 вересня	
1	84-85	9.02.85	161	29.01	151	-4.0	13.02	165	4
2	85-86	9.02.86	161	1.02	153	1.8	20.02	172	-11
3	86-87	9.01.87	130	3.01	124	-1.2	22.01	143	-13
4	97-98	28.01.98	150	23.01	145	3.5	14.02	167	-17
5	98-99	4.12.98	95	14.11	75	9.9	19.12	110	-15
6	01-02	15.01.02	137	3.12	94	4.1	31.12	121	16
7	02-03	21.12.02	112	1.12	92	9.2	2.01	124	-12
8	05-06	21.01.06	143	6.01	128	2.3	28.01	150	-7
9	07-08	5.01.08	127	15.12	106	5.0	11.01	133	-6
10	09-10	24.01.10	146	13.12	104	6.8	11.01	133	13
11	10-11	30.01.11	152	23.01	145	2.0	12.02	165	-13
12	11-12	30.01.12	152	16.01	138	4.0	8.02	161	-8
13	13-14	1.02.14	153	21.01	143	4.3	13.02	165	-12

Примітка: знак мінус перед помилкою означає, що за прогнозом дата поява льоду настає пізніше фактичної дати

Забезпеченість кліматичного і інерційного прогнозів за цим рядом при допустимій помилки 5 днів складає 23%.

Розрахунки виконано за рівнянням з [28]:

$$D_{пл} = 0,92 \times T_{20} + 0,90 \times DT_0 + 33 \quad (3)$$

Як видно з таблиці 4.6 помилки прогнозу за наведеним рівнянням є дуже великими, а забезпеченість розрахунків при допустимій помилки 5 днів складає всього 8%. Тому за фактичними даними рівняння було перераховано і виконано прогнози за новим рівнянням, яке має вигляд:

$$D_{пл} = -0,26 \times T_{20} + 0,638 \times DT_0 + 62,438 \quad (4)$$

Множинний коефіцієнт цього рівняння дорівнює  $R=0,885$  і значущим. Результати розрахунків представлено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7. Результати розрахунків дати появи льоду на ст. Одеса за новим рівнянням і порівняння з фактичними даними.

№	Фактична дата появи льоду		Прогностична дата появи льоду		Помилка дні
	календарна	Відхилення від 1 вересня	календарна	Відхилення Від 1 вересня	
1	9.02.85	161	8.02.85	160	1
2	9.02.86	161	8.02.86	160	1
3	9.01.87	130	21.01.87	142	-12
4	28.01.98	150	1.02.98	154	-4
5	4.12.98	95	17.12.98	108	-13
6	15.01.02	137	31.12.01	121	16
7	21.12.02	112	28.12.02	119	-7
8	21.01.06	143	21.01.06	143	0
9	5.01.08	127	7.01.08	129	-2
10	24.01.10	146	5.01.10	127	19
11	30.01.11	152	1.02.11	154	-2
12	30.01.12	152	27.01.12	149	3
13	1.02.14	153	31.01.14	152	1

Примітка: знак мінус перед помилкою означає, що за прогнозом дата поява льоду настає пізніше фактичної дати.

Забезпеченість розрахунків за новим рівнянням склала 70%, що не є дуже великою, але ж значно вище ніж інерційний і кліматичний прогнози. Можна також відмітити, що в трьох випадках ( 23% ) помилки прогнозу є достатньо великими. Це може бути обумовлено недостатньою довжиною ряду, на якому виконано розрахунки.

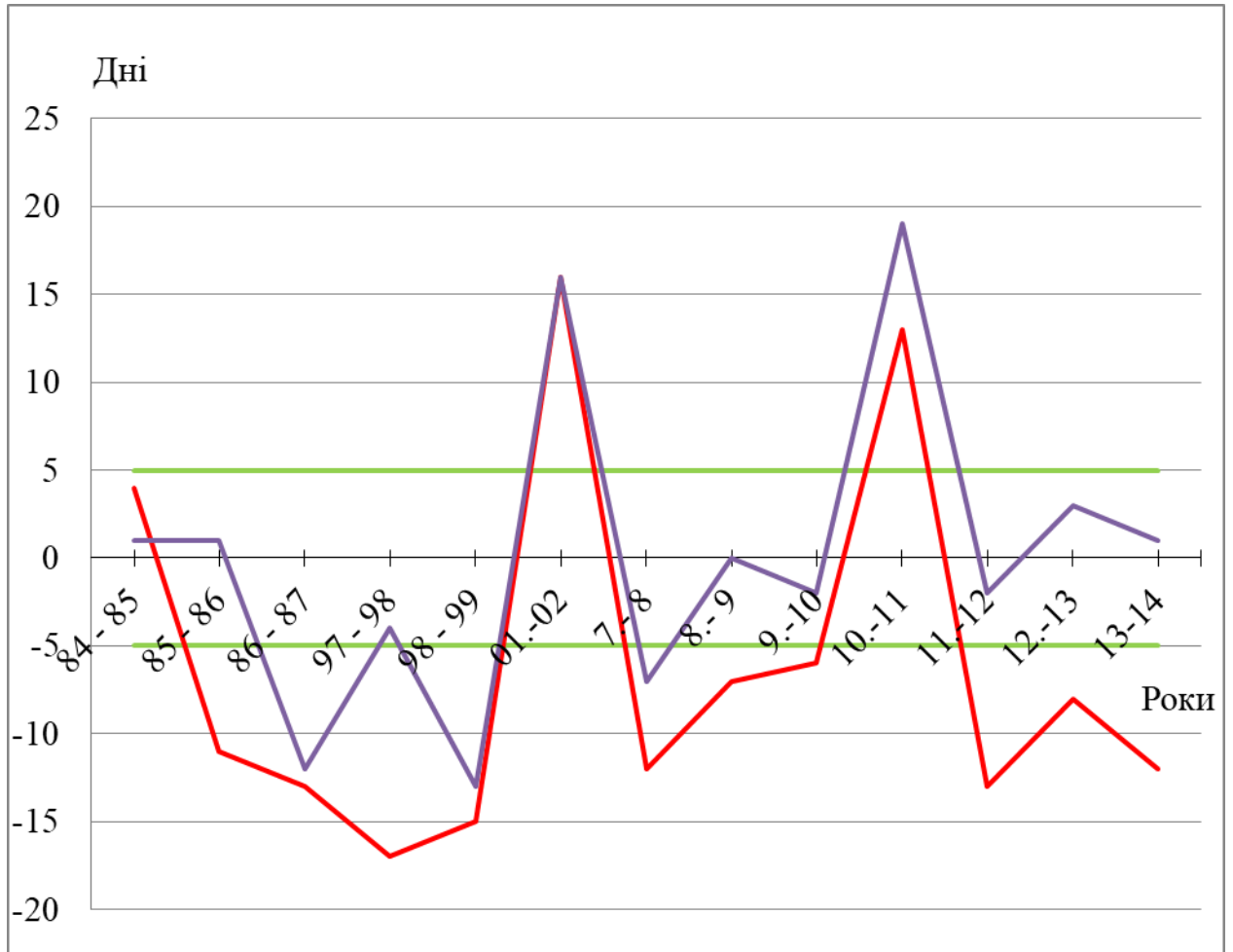


Рис. 4.2. Росподіл по роках помилок прогнозу дати очищення від льоду за старим (червона лінія) та новим рівняннями (синя лінія) відносно допустимої помилки (зелена лінія) на станції Одеса.

Перевірка критерію  $S$  для прогностичного рівняння дати появи льоду (4) показує, що  $\sum (Z_{\phi} - Z_p)^2 = 996$ ,  $(n - m) = 10$ , а  $S = 9,98$ . Середнє квадратичне відхилення дати появи льоду дорівнює 19,5 днів, тому  $S \cdot \sigma^{-1} = 0,51$ , що менше 0,57 для  $n \leq 15$ .

Таким чином використання цього рівняння в практиці є доцільним.

Статистичні характеристики ряду дат появи льоду в Одесі представлено в таблиці 4.8.



Таблиця 4.8. Статистичні характеристики мінливості дат появи льоду на ст. Одеса за досліджуваний період і за нормою.

Лед. Харак. фази	Середня Календарна дата	Середнє квадратич. відхилення ( дні)	Пізня дата	Рання дата	Розмах (дні)
Дата появи льоду за дослідж. період	18 січня	19,5	9 лютого 1985,1986рр	4 грудня 1998 р.	66
Дата появи льоду за нормою	13 січня		9 березня 1952	1 грудня 1993р.	99

Як видно з таблиці за досліджуваний період лід з'являвся в Одесі в середньому 18 січня, що на 5 днів пізніше норми. Найбільш пізня дата спостерігалась на місяць раніше, ніж за нормою, а рання – на 4 дні пізніше норми. Тривалість льодового періоду за досліджуваний період зменшилась в порівнянні з нормою на 33 дні.

#### 4.5. Середньостроковий прогноз дат очищення моря від льоду на станції Миколаїв

В [27] представлено також рівняння для прогнозу дати очищення від льоду на ст. Одеса:

$$D_{оч} = 0,93 \times H_{max} + 0,18 \times D_{г}^0 + 122 \quad (5)$$

В цьому рівнянні  $H_{max}$  - максимальна товщина льоду за зимовий період, а  $D_{г}^0$  - дата переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  в 13 годин.

Спостереження за льодом, що представлені в таблицях ТГМ-2 для станції Одеса, показують, що продовження зимового періоду відбувається неодноразова поява і танення льоду без створення припаю, тому спостереження за товщиною льоду не проводяться і такі данні не представлено в таблицях. Крім цього для станції Одеса найбільш частіше лід

з'являється в результаті його приносу з Дніпровського лиману, а очищення затоки від льоду відбувається в результаті його виносу у відкрите море під дією вітру. Тому виконати розрахунки дати очищення за рівнянням (5) неможливо.

Рівняння для прогнозу дат очищення від льоду на станціях Миколаїв згідно з [28] такий :

$$D_0 = 0,47N_m + 0,35DT_{a0} + 119 \quad (6)$$

де  $D_0$  - дата очищення моря від льоду;  $DT_{a0}$  - дата переходу температури повітря через  $0^\circ\text{C}$  о 12:00 за Гринвічем у відліках від 1 вересня;  $N_m$  - максимальна товщина льоду, см.

Рішення показали, що помилка становила від 13 до 17 днів, забезпеченість з цього рівняння складає 38%, що також є незадовільною. Тому рівняння було перераховано і має вигляд :

$$D_{\text{оч}} = 0,007N_{\text{макс}} + 0,810 DT_{a0} + 43,806 \quad (7)$$

в цьому рівнянні результат став ближче до дійсності, однак майже у всіх випадках похибка перевищує допустиму і забезпеченість дорівнює 81% при допустимій помилку 5 днів.

Так як коефіцієнт  $N_{\text{макс}}$  дуже незначний, то максимальну товщину льоду можна не використовувати, щоб спростити рівняння, тому було знайдено рівняння:

$$D_{\text{оч}} = 0,811 DT_{a0} + 43,702 \quad (8)$$

Забезпеченість нового розрахункового рівняння при допустимій помилку 5 днів дорівнює 81% відповідно. Множинний коефіцієнт кореляції  $R = 0,98$ . Бачимо, що забезпеченість рівняння не зменшилася, тому можна користуватися більш простим рівнянням.

Таблиця 4.6. Дати очищення від льоду (розрахункові і такі) для станції Миколаїв.

Сезон	Фактична дата (відлік від 1 вересня)	Розрахунок за старим рівнянням	Похибка $D_{оч}$ за старим рівнянням	Розрахунок за рівнянням без $H_{макс}$ .	Похибка за новим рівнянням
1995/1996	216	208	-8	207	-8
1996/1997	178	196	18	186	18
1997/1998	173	184	11	176	11
1998/1999	166	185	19	171	19
1999/2000	183	189	5	182	6
2000/2001	184	185	1	174	1
2001/2002	164	189	24	160	25
2002/2003	212	209	-3	211	-3
2003/2004	183	189	6	187	6
2004/2005	196	192	-4	200	-4
2005/2006	203	198	-4	199	-5
2006/2007	185	186	1	183	1
2007/2008	180	190	9	184	10
2008/2009	153	180	27	154	27
2009/2010	198	203	5	201	5
2010/2011	198	201	3	200	3
2011/2012	206	208	2	201	2
2012/2013	159	182	22	156	23
2013/2014	178	193	14	174	15
2014/2015	178	189	11	186	11
2015/2016	174	208	15	207	15

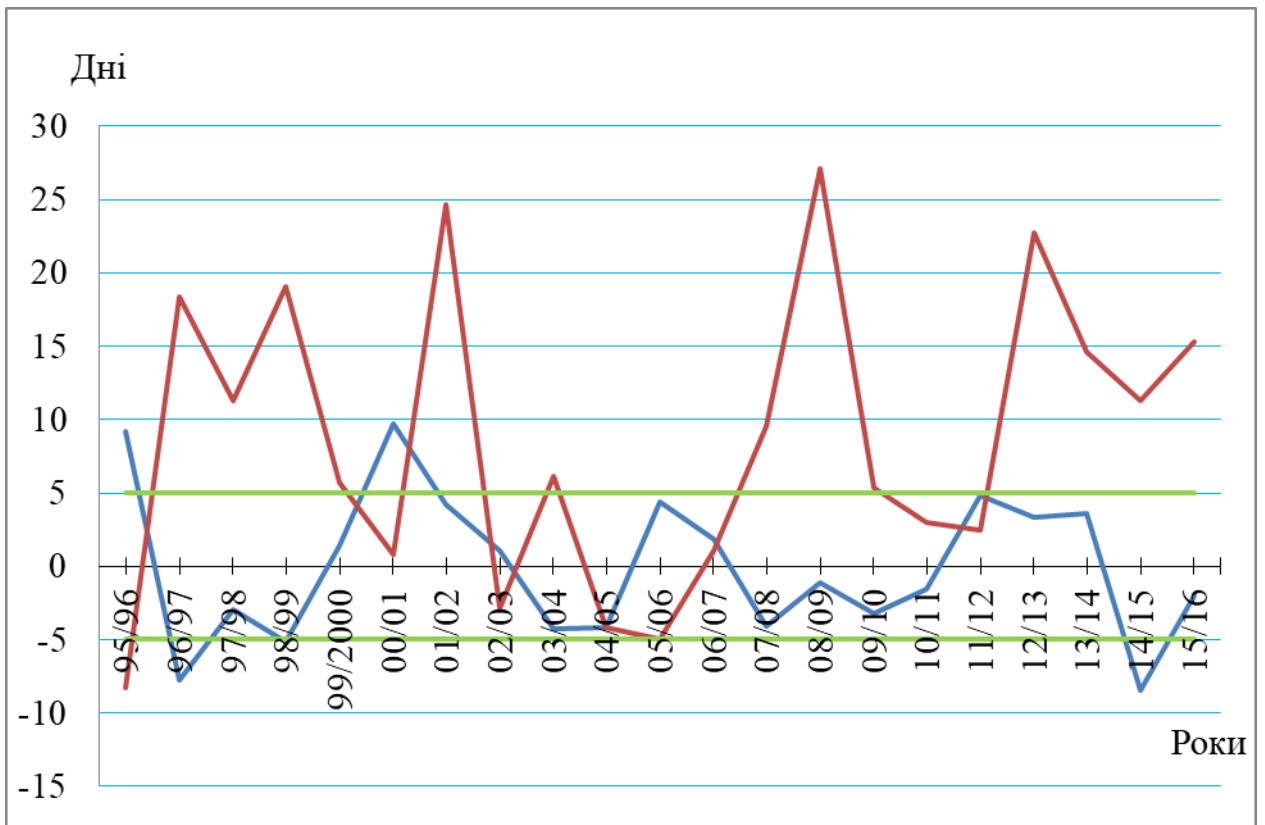


Рис. 4.3. Росподіл по роках помилок прогнозу дати очищення від льоду за старим (червона лінія) та новим ріннянням (синя лінія) відносно допустимої помилки (зелена лінія) на станції Миколаїв.

Крім забезпеченості методу, визначається і друга важлива для оцінки методу величина звана ефективністю методу. Ця величина показує вигрощ, який дає розглянутий метод прогнозу в порівнянні з природним (27%) або кліматологічної (30%) забезпеченістю.

В [19] наводиться ставлення  $S \cdot \sigma^{-1}$  (сигма) яке дозволяє визначити одночасно надійність і ефективність методу, де  $S$  - середнькватратическая помилка, а  $\sigma$ - стандартне відхилення.

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum (u - \bar{u})^2}{n-1}} \quad (9)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (u - u_B)^2}{n-1}} \quad (10)$$

де  $u$  – дане значення явища в багаторічному ряду спостережень,  $\bar{u}$  - середня величина явища за багаторічний ряд спостережень (норма),  $u_B$ - обчислювальна (прогнозована) величина,  $n$  - число членів багаторічного ряду,  $m$  – величина дорівнює кількості постійних коефіцієнтів в прогностичному вирівнянні.

$$S \cdot \sigma^{-1} = 4/16,02=0,26$$

В разі функціональної залежності  $S \cdot \sigma^{-1} = 0$ , а при  $S \cdot \sigma^{-1} = 1$  зв'язок відсутній. Також можна вказати допустимі в прогнозах значення відносини  $S \cdot \sigma^{-1}$  при ряді від 15 до 25 значень  $S \cdot \sigma^{-1} \leq 0,62$

У порівнянні з природним (27%) або кліматологічної (30%) забезпеченістю.  
 $\sigma = 5/17,1=0,31$

Умови використання методів прогнозу в практиці:

$$\begin{aligned} S \cdot \sigma^{-1} &\leq 0,57, \text{ при } n \leq 15; \\ S \cdot \sigma^{-1} &\leq 0,62, \text{ при } 15 < n \leq 25; \\ S \cdot \sigma^{-1} &\leq 0,67, \text{ при } n > 25. \end{aligned}$$

В таблиці 4.9 представлено перераховані рівняння для прогнозу дат появи і очищення від льоду на станції Миколаїв і дати появи льоду на станції Одеса і результати розрахунків за рівняннями в порівнянні з кліматичним і інерційними прогнозами.

Таблиця 4.9. Прогностичні рівняння і результати розрахунків льодових фаз на станції Миколаїв і Одеса.

Станція, льодова фаза	Рівняння регресії	Множин. Коеф. Корел., R	Забез. Прог. н. (%)	S/σ	Забезпеченість кліматичного і інерційного прогнозів (%)	
					Кліма- тични	Інерці- йний
Миколаїв, Дата появи льоду <b>n = 16</b>	$D_{пл} = 0,654 \times T_{20} + 0,963 \times DT_0 + 8,79$	0,971**	94	0,2	50	27
Миколаїв, Дата очищення від льоду <b>n = 21</b>	$D_{оч} = 0,007 \times H_{max} + 0,81 \times D_{г}^0 + 43,806$	0,956**	81	0,31	42	31
Одеса, Дата появи льоду <b>n = 13</b>	$D_{пл} = -0,26 \times T_{20} + 0,638 \times DT_0 + 62,438$	0,885*	70	0,51	23	23

Примітка: \*\* і \* - значимість коефіцієнта кореляції на рівні 0,01 і 0,05 відповідно

Отже запропоновані нами прогностичні рівняння мають набагато більшу забезпеченість ніж рівняння, які наведено в [27], або інерційний і кліматичний прогнози. Результати, які отримано в магістерській роботі опубліковано в [29,30,31]

## ВИСНОВКИ

1. За матеріалами спостережень на 10 станціях північно-західної частини Чорного моря за період 1959-2016 роки виконано аналіз часової мінливості таких характеристик льодового режиму як, тривалість льодового періоду, кількість днів з льодом, датами появи і очищення від льоду.
2. Аналіз показав що найбільша тривалість льодового періоду та кількість днів з льодом спостерігається на станціях розташованих в Дніпро-Бузьський затоці (Станіслав, Аджигіол), а найменша на станції Іллічівськ.
3. За досліджувальний період між річної мінливості тривалості льодового періоду за усіма стаціями сумарно спостерігається значний негативний тренд. При цьому ХХІ столітті тривалість льодового періоду зменшувалась з більшою швидкістю ніж в другій половині ХХ століття.
4. Аналіз просторових коефіцієнтів кореляції показав що між тривалістю льодового періоду та кількості днів з льодом на різних станціях спостерігаються тісні статистичні зв'язки.
5. За матеріалами спостережень на станції Миколаїв за період 1990-2010 роки дата появи льоду настає на два тижні пізніше, а дата очищення від льоду на два з половиною тижні раніше ніж за багаторічною нормою. Тривалість льодового періоду за досліджувальний період зменшилась в порівнянні з нормою на 32 дні.
6. За досліджувальний період виконано розрахунки прогнозів дат появи льоду і дат очищення від льоду на станції Миколаїв, які показали, що забезпеченість прогнозів складає 13% і 38% відповідно, що є незадовільним. В результаті перерахування отримано нові прогностичні рівняння. Розрахунки за новими рівняннями показали що забезпеченість прогнозу дати появи льоду склала 94%, а дати очищення – 81%, що значно перевищує забезпеченість інерційного і кліматичного прогнозів.
7. За матеріалами спостережень на станції Одеса виконано розрахунки прогнозу дати появи льоду. Забезпеченість прогнозу склала лише 8%, що є незадовільним. В результаті отримано нове рівняння по якому забезпеченість прогнозу склала 70%, що також перевищує кліматичний та інерційні прогнози.
8. За отриманими прогностичними рівняннями розраховувались також показники ефективності методу. Розрахунки показали, що його значення відповідають умовам використання прогностичних рівнянь в практиці.
9. Результати магістерської роботи докладались на конференціях молодих вчених ОДЕКУ 2017-2018 р.р., в тому числі і на між народній науковій конференції ОДЕКУ в 2018 р. Результати по прогнозу осінніх та весняних льодових явищ на станцій Миколаїв та Одеса докладались на науковому семінарі в Гідрометцентрі Чорного та Азовського морів і рекомендовано для апробації в практиці.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атлас льдов Черного и Азовского морей. - Л: Гидрометеоздат, 1962.-120 с.
2. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР Том 4. Черное море. - Л: Гидрометеоздат, 1986.-98 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 4. Черное море. -Л: Гидрометеоздат, 1991-428 с.
4. Справочник по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР. Часть 1. Том 4. Черное море. - Киев, 1970.-386 с
5. Бельченко К.А. Льды в юго-западной части Черного моря зимой 1928-29 гг. // Записки по гидрографии. 1930.-Т.62. С. 73-75.
6. Жидкова Н.И. Ледовые условия на Черном море в зимы различной суровости //Сб. работ ЛЮМ ГОИН. - 1972. -Вып.111. - С. 103-111.
7. Справочник «Моря СССР», том 4, С.П., Гидрометеоздат 1991;
8. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Тр. ГОИН. -1964. -Вып. 76. - С. 7-79.
9. Тютнев Я.А. О Тяжелых ледовых условиях на Черном, Азовском и Каспийском морях зимой 1971/72 гг. Тр. ГМЦ.-1971. - Вып. 119.-С.47-53.
10. Букатов А.Е., Бабий М.В., Моисеева Е.А. Климатическая изменчивость температуры воздуха, количества осадков и режима облачности в районе Азовского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009- Вып. 18 - С. 168-179.
11. Белокопытов В.М. Фоновые гидрометеорологические условия устья р. Дунай. Режим ледовых условий // В сб. «Природные условия взморья реки Дунай и острова Змеиный».
12. Горбач С.Б., Дьяков Н.Н., Тимошенко Т.Ю., Левицкая О.В. Ледовый режим северо-западной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.-Вып. 18. С. 296-304.
13. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Тр. ГОИН. -1964. -Вып. 76. - С. 7-79.
14. Сироткина А.И. К вопросу об оценке суровости зим на южных морях // Тр. НИИАК.- 1959. -Вып.8
15. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР, Том 3. Азовское море. - Л: Гидрометеоздат, 1986.-220 с.
16. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 1. Азовское море. -Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.-402 с.
17. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н. Векові зміни температури повітря в чорноморському регіоні їх сезонні особливості // Экологическая безопасность прибрежноц и шельфовой зон и комплексное использование

- ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – Вып. 14. – С.322-333.
18. Полонский А.Б., Башарин Д.В. Влияние климатического сдвига 1976-1977 гг. на крупномасштабную структуру приземных метеорологических полей Евразии // Метеорология и гидрология. – 2008. - №5. С. 16-30.
  19. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н. Вековые изменения температуры воздуха в черноморском регионе и их сезонные особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. -Вып. 14. - С. 322-333.
  20. Оценочный доклад по изменению климата и их последствий на территории Российской Федерации. Том 1. Изменения климата. - М: Гидрометеиздат, 1991. -428 с.
  21. Hurrell J. W. et al. An overview of the North Atlantic Oscillation, in: The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact, Hurrell J. W. et al. (eds.), Geophys. Monogr., 2003, vol. 134, Amer. Geophys. Union, Washington, DC, pp. 1-35
  22. Trenberth K. E. et al. Observations: Surface and atmospheric climate change, in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., and Miller H. L. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2007.
  23. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3 .Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. Ленинград: Гидрометеиздат. 1982. 143 с.
  24. Ахим Бююль, Петер Цёфель SPSS: искусство обработки информации. Platinum Edition. Москва, Санкт-Петербург, Киев 2005. 602 с.
  25. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2. Черное море.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012.– 402 с.
  26. Морские прогнозы / З. К. Абузяров, К. И. Кудрявая, Е. И. Серяков, Л. И. Скриптунова. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 320 с.
  27. Руководство по морским гидрологическим прогнозам / под ред. З. К. Абузярова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994. – 526 с.
  28. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 1994. 521 с.
  29. Катернюк Д.І. Кліматичні зміни льодових умов в Чорному морі. Матеріали конференцій молодих вчених ОДЕКУ від 5 травня 2017 р.
  30. Катернюк Д.І. Мінливість льодового режиму в північно-західній частині Чорного моря. Матеріали конференцій молодих вчених ОДЕКУ від 7 травня 2018 р.
  31. Катернюк Д. І. Зміни льодових умов в північно-західній частині Чорного моря в останній кліматичний період. III Міжнародна наукова конференція молодих вчених. «Сучасна гідрометеорологія Актуальна проблема та шляхи їх вирішення»