

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 Азовському морі

Виконав студент 2 курсу групи МО-61
спеціальність 103 «Науки про Землю»
Чепурна Валентина Юріївна

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

Консультант _____

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

Одеса 2018

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

Чепурній Валентині Юрївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Льодові умови в Азовському морі

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 02 » 11 2017 року
№ 321С

2. Строк подання студентом роботи 01.06.2018

3. Вихідні дані до роботи Літературні джерела з мінливості льодових умов в Азовському морі. Дані стандартних гідрометеорологічних спостережень на станції Маріуполь

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графіки тимчасової мінливості характеристик льодового режиму за матеріалами спостережень на станції Маріуполь.

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 Азовському морі	26.03-05.04.18.	92	відмінно
2	Аналіз за матеріалами спостережень за останні роки змін характеристик льодового режиму на станції Маріуполь	06-16.04.18.	94	відмінно
3	Аналіз методів прогнозу льодових явищ на станції Маріуполь. Перевірка результатів розрахунків прогнозів за матеріалами спостережень за останні роки	17-25.04.18.	94	відмінно
4	Підготовка тексту магістерської роботи	26-30.04.18.	90	відмінно
5	Рубіжна атестація	30.04-06.05.18.	90	відмінно
6	Попередній захист роботи	29.05.18.		
7	Здача роботи на кафедру	1.06.18.		
8	Перевірка на плагиат	08.06.18.		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		92	відмінно

Студент _____

(підпис)

Чепурна В.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Гаврилюк Р.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

На магістерську роботу по темі “Льодові умови в Азовському морі” магістра групи МО-61 Чепурної Валентини Юріївни.

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 Азовському морі льодова обстановка буває доволі складною, що обмежує навігацію та потребує використання криголамів. Сучасні глобальні кліматичні зміни відобразились на змінах характерних показників льодового режиму в Азовському морі. Урахування фактичних та прогностичних льодових характеристик суттєво впливає на ефективність гідрометеорологічного обслуговування в морських галузях господарства, що обумовлює актуальність обраної теми.

Мета роботи

Оцінити зміни льодових умов в Азовському морі за останні 20 років за літературними джерелами, а також перевірити статистичні залежності для прогнозу характеристик льодового режиму на прикладі станції Маріуполь.

Об’єкт дослідження

Льодовий режим Азовського моря.

Предмет дослідження

Характеристики льодового режиму Азовського моря та методи їх прогнозування.

Методи дослідження

При виконанні роботи використовуються традиційні методи досліджень – порівняльний та ретроспективний методи та методи статистичної обробки інформації – кореляційний, регресійний аналізи.

Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення

Отримано оцінки мінливості характеристик льодового режиму за даними спостережень на станції Маріуполь. Представлено результати перевірки статистичних залежностей для прогнозу дат першої появи льоду та дат повного очищення моря від льоду для станції Маріуполь. 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 представлені оцінки змін характеристик льодового режиму в Азовському морі, а також запропоновані нові статистичні рівняння для прогнозу дати появи та дати очищення на станції Маріуполь, що визначає їх теоретичне та практичне значення.

Рекомендації щодо використання результатів роботи за значенням галузі застосування

Магістерська робота докладалась на сумісному семінарі відділу морських і річкових гідрологічних прогнозів та відділу гідрометеорологічного забезпечення Гідрометцентру Чорного та Азовського морів. (Витяг з протоколу від 01.06.18 р. додається). Рекомендовано апробацію метода прогнозу дат появи льоду і дат очищення від льоду для станції Маріуполь в оперативній практиці ГМЦ ЧАМ.

Структура, обсяг роботи

Робота складається з 54 сторінок, вступу, чотирьох розділів, висновку, 19 рисунків, 13 таблиць, 30 літературних джерел.

Ключові слова

Азовське море, Маріуполь, характеристики льодового режиму, крига, тенденції багаторічних змін льодового режиму, середньостроковий прогноз дати появи і дати очищення моря від льоду.

SUMMARY

Of the Master's Research Paper "Ice Conditions in the Sea of Azov"
Undergraduate of group MO-61 Chepurna Valentyna

Relevance of the chosen topic

Ice cover is one of the most important factors that determines the state of the sea surface. Study and forecasting of its parameters is not only of scientific, but also of great practical interest for marine industries. In the Sea of Azov, the ice situation can be quite complex, limiting navigation, and requires the use of icebreakers. Modern global climate changes have affected the changes in the characteristic parameters of the ice regime in the Sea of Azov. Account for actual and prognostic ice characteristics significantly affects the efficiency of hydrometeorological services in marine industries, which determines the relevance of the chosen topic.

Purpose of the work

Evaluation of changes in ice conditions in the Sea of Azov area over the past 20 years using literature sources, as well as examination of the statistical dependence for the forecast of the ice regime characteristics on the example of Mariupol station.

Object of the study

The Sea of Azov ice regime.

Subject of the study

Characteristics of the Sea of Azov ice regime and methods for their forecasting.

Methods of studies applied

Conventional research methods are applied in this work - comparative and retrospective methods, as well as methods of statistical information processing - correlation, regression analysis.

Results, their novelty, theoretical and practical value

Estimates of the variability of the ice regime characteristics were obtained according to observations data at the Mariupol station. There has been presented results of testing the statistical dependencies for the forecasting of dates of the first ice appearance and dates of complete deicing of the sea for the Mariupol station. The results of calculations for the forecasting the dates of ice occurrence and dates of deicing are listed under the calculated statistical equations.

The novelty of the Master's thesis is in the fact that materials of over the past 20 years observations present the assessment of changes in the characteristics of the Sea of Azov ice regime. Herein it is also proposed the new statistical equations to forecast the date of ice occurrence and date of deicing at the Mariupol station, which determines their theoretical and practical value.

Recommendations on the application of the work's results by value of the application industry

The Master's thesis was reported at a joint seminar of the Department of marine and river hydrological forecasts and the Department of hydrometeorological support of the Black and Azov Seas Hydrometeorological Center (HMC). (Extract from the Minutes as of 01.06.18 is attached). It is recommended to test the method of forecasting the dates of ice occurrence and the dates of deicing for the Mariupol station in the operational practice of BAS HMC.

Structure and scope of the work

Master scientific work contains 54 pages, an introduction, 4 sections, conclusion, 19 figures, 13 tables, 30 literature sources.

Keywords

The Sea of Azov, Mariupol, characteristics of ice regime, ice, trends of long-term changes in the ice regime, medium-term forecast of the date of occurrence and date of deicing.

ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u>	9
<u>1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМИ ВИВЧЕНОСТІ ЛЬОДОВИХ УМОВ АЗОВСЬКОГО МОРЯ</u>	10
<u>1.1. Прибережні райони</u>	10
<u>1.2. Відкрите море</u>	17
<u>1.3. Тенденції багаторічних змін льодових умов Азовського моря</u>	23
<u>2. МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ</u>	25
<u>3. АНАЛІЗ ЛЬОДОВИХ УМОВ В АЗОВСЬКОМУ МОРІ ЗА ОСТАННІ РОКИ</u>	26
<u>3.1. Порівняння сучасних даних з нормами на станції Маріуполь</u>	28
<u>4 МЕТОДИ ПРОГНОЗУ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬОДОВОГО РЕЖИМУ В АЗОВСЬКОМУ МОРІ</u>	33
<u>4.1.Короткострокові прогнози льодових явищ</u>	34
<u>4.2. Середньострокові прогнози появи льоду і очищення моря від льоду для станції Маріуполь</u>	39
<u>4.3.Перевірка метода середньострокового прогнозу дат появи і дат очищення моря від льоду для станції Маріуполь. Аналіз результатів</u>	40
<u>ВИСНОВКИ</u>	52
<u>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</u>	53

ВСТУП

Азовське море розташоване в південній і східній частинах України. З Чорним морем воно сполучене Керченською протокою і знаходиться у межах України і Росії. Це наймілкіше море Світового океану, його глибина не перевищує 15 метрів.

Азовське море знаходиться в помірних широтах і в цілому відноситься до типу замерзаючих морів з сезонним льодовим покривом. Щорічно значна його частина покривається кригою в зимовий період. Іноді море замерзає повністю.

Основними факторами, що визначають льодові умови, є: географічне положення, ізолюваність від Світового океану, характер і інтенсивність атмосферних процесів, а також мілководність моря, низька солоність його вод, орографія берегів.

Найбільшим портом України на Азовському морі є порт у місті Маріуполь, який є найбільшим портом у східній Україні.

Льоди Азовського моря можуть служити серйозною перепорою для судноплавства. Навіть в помірні (нормальні) зими в періоди різких похолодань виникає необхідність криголамного забезпечення судноплавства в найбільш льодовиті місяці - січень, лютий, березень. У сучасності простежуються тенденція більш м'яких льодових умов.

На сьогоднішній час існують різні методи прогнозу льодових явищ. Вони ґрунтуються на обліку складових теплового балансу, кліматичних особливостях регіону і впливу атмосферних процесів.

Так як спостерігається нестаціонарність процесів та зміни кліматичних умов є необхідність перевірки і перерахування статистичних рівнянь за даними за попередній період часу.

Через це дуже важливим питанням є вивчення і прогнозування льодової обстановки в Азовському морі.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМИ ВИВЧЕНОСТІ ЛЬДОВИХ УМОВ АЗОВСЬКОГО МОРЯ

Льодовий режим Азовського моря досить добре вивчений. За 90-річний період дослідження накопичено, узагальнено і проаналізовано великий фактичний матеріал про льодові умови Азовського моря.

Перші дослідження, були зроблені на основі вкрай обмежених спостережень берегових гідрометеорологічних станцій, відносяться до початку 30-х років і були узагальнені в [1]. З огляду на специфіку використаних даних, в яких описані льодові умови в прибережній зоні і в відкритих частинах моря. Відсутність регулярних спостережень у відкритому морі не дозволяла отримати достовірні карти розподілу льоду і в подальшому узагальнити [2].

Систематичні планові зйомки льодового покриву за допомогою авіації були організовані на Азовському морі з зими 1949-1950 рр.; після цього була створена якісно нова основа спостережень за льодовими умовами у відкритому морі. У 1962 р. дані авіарозвідок, узагальнених за десятирічний період, і льодових спостережень на берегових гідрометеостанціях були представлені у вигляді атласу [3].

Льодовий режим, як Азовського моря в цілому, так і окремих його районів, був детально описаний в [4] за матеріалами, які були накопичені до 1958 р.. У роботі А.Н. Криндіна [5] розглянута мінливість льодовитості і положення кромки льоду в Азовському морі, а також показана їх залежність від сезонних і міжрічних змін атмосферних процесів. На основі виявленого зв'язку отримані емпіричні рівняння для прогнозу льодовитості і положення кромки льоду Азовського моря.

У льодовому розділі довідкового посібника [6] представлені режимні характеристики льодового покриву моря, великий картографічний матеріал, що охоплює період спостережень до 1977 року, а також інформація про фізико-механічні параметри Азовського моря і льодові умови мореплавання по трасі Маріуполь - Керч. Останнє режимне узагальнення льодових умов представлено в довіднику [7], де розглянуті також тенденції зміни льодового режиму Азовського моря за період спостережень до 1986 року.

У дослідженнях льодового режиму, виконаних в останні роки, розглядався зв'язок коливань льодовитості Азовського моря з кліматичними змінами [8, 9, 10]. У роботах [11, 12] була зроблена спроба оцінити закономірності льодових умов на Азовському морі та в Керченській протоці на основі супутникового моніторингу за 15 років (1992-2007 рр.).

1.1. Прибережні райони

Часові ряди спостережень за льодовим комплексом в прибережній зоні Азовського моря мають неоднакову тривалість. Найбільш тривалі ряди

отримані за даними станції Генічеськ за 1893-2008 рр. і станції Таганрог за 1893-1994 рр.. За даними льодових спостережень на берегових пунктах розраховані середні багаторічні дати основних льодових характеристик в періоди утворення і танення льоду в прибережній зоні: у межах України по 2008 рік включно; у межах Росії - до 1994 року.

Льодовитість Азовського моря тісно пов'язана з сумою середніх добових від'ємних температур повітря над морем за льодовий сезон [6]. За цим критерієм зими зазвичай поділяються на три типи: суворі, помірні і м'які [12, 13, 14].

За останні 30 років на Азовському морі було тільки дві суворі зими у 2005-2006 та 2011-2012 сезонах. У ці зими Азовське море покривалося льодом повністю (рис 1.1.).

Процес льодоутворення поширюється зі східної частини Таганрозької затоки на західну і південну і триває близько двох тижнів.

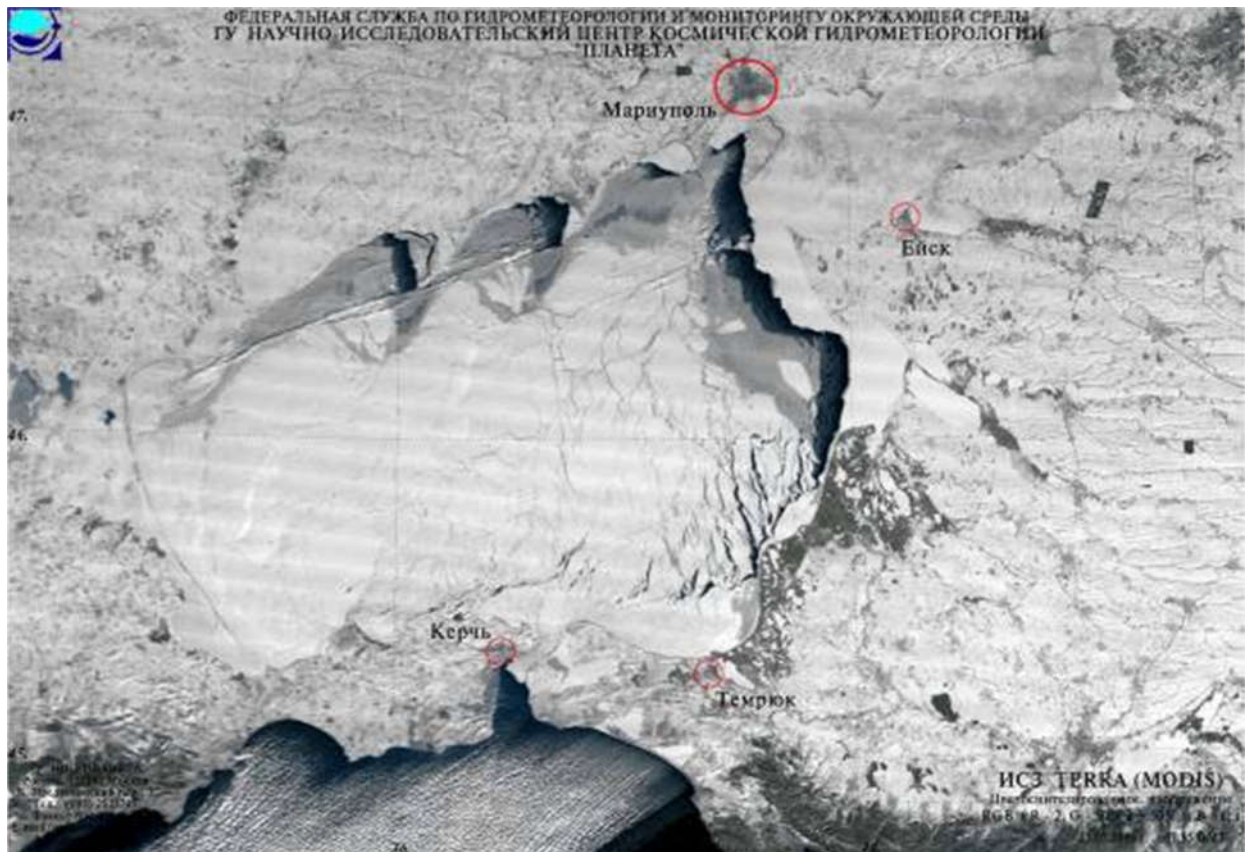


Рис 1.1. Льодова ситуація на Азовському морі 25.01.2006 (За даними штучних супутників Землі TERRA)

Перше льодоутворення в прибережній частині Азовського моря відбувається в північно-східній частині Таганрозької затоки в кінці листопада. Опрісненість і мала глибина затоки, при різкому зниженні температури повітря і води, сприяє утворенню місцевого льоду спочатку у вигляді крижаних голок, які швидко утворюють плями крижаного сала на поверхні води, а при невеликому хвилюванні - шугу. Під час випадання снігу

на поверхні води утворюється сніжура (сніжниця). При подальшому зниженні температури утворюються у вигляді заберегів нерухомі форми льоду – нілас, крижана кірка, які при хвилюванні утворюють млинчастий лід-невеликі крижини у вигляді дисків (рис.1.2., 1.3., 1.4., 1.5.,1.6.).

Процес льодоутворення поширюється зі східної частини Таганрозької затоки на західну і південну і триває близько двох тижнів.

Про таку послідовність льодоутворення свідчать середні багаторічні дати появи льоду: в Таганрозі 26 листопада, в Єйську 11 грудня, в Маріуполі 14 грудня. Одночасно з покриттям льодом західній частині Таганрозької затоки йде утворення льоду і в інших мілководних районах моря - в Ясенський затоці і Утлюкському лимані. У районах Генічеська і Приморсько-Ахтарська середні багаторічні дати появи льоду, 6 та 11 грудня, відповідно.

У другій та третій декаді грудня перший лід з'являється уздовж північного (в Бердянську 20 грудня) і західного (в Стрілковому 28 грудня) узбережжя моря. У південних районах лід з'являється значно пізніше - в січні (1 січня - в Темрюку, 8 січня - в Керчі, 12-13 січня - в Опасному і Мисовому). Найпізніше лід з'являється в південній частині Керченської протоки - в районі Завітного - 18 січня, але ймовірність цього явища не перевищує 60%. Багаторічний діапазон дат фактичного початку льодоутворення в прибережній частині моря ще більший і становить приблизно від 2 до 3,5 місяців.



Рис. 1.2. Уламки льодових полів в Керченській протоці (нілас)



Рис.1.3. Уламки льодових полів в Керченській протоці (млинчастий лід)



Рис. 1.4. Однорічний лід в Азовському морі (січень-лютий) - млинчастий лід



Рис. 1.5. Однорічний лід в Азовському морі (січень-лютий)- тонкий білий лід



Рис. 1.6. Однорічний лід в Азовському морі (січень-лютий)-тороси

У Таганрозькій затоці в аномально теплі зими лід може утворитися на місяць пізніше середньої багаторічної дати (26 грудня), при цьому льодоутворення на півдні моря вперше може відбуватися на початку березня або відсутнє зовсім.

В період замерзання в Азовському басейні можлива кількаразова поява і зникнення льоду. Кількість очищень моря від льоду на початку льодового сезону на деяких прибережних станціях може досягати 12 разів. Тому дата початку стійкого льодоутворення в багаторічному плані досить умовна. Але, незважаючи на це, дата стійкого льодоутворення в середньому багаторічному режимі відображає послідовність зміни фаз в наростанні льодового покриву Азовського моря. Перехід від початкових форм льоду до початку стійкого льодоутворення становить, в середньому, від 4 до 18 днів для північних районів моря, а на півдні моря цей період приблизно в 2 рази коротше, так як лід в цій частині моря з'являється пізніше.

Початку утворення сталого припаю (з 22 грудня в Таганрозі до 15 січня в районі Мисового) передують поява крижаного заберегу з ніланих форм льоду, який потім змерзається з плавучим льодом, перетворюючись в молодий лід. На деяких пунктах цей процес відбувається одночасно з початком стійкого льодоутворення, як, наприклад, в районі Опасного. У суворі зими до кінця другої декади листопада припаєм покривається вся прибережна смуга Таганрозької затоки і Утлюкського лиману. У м'які зими в південній частині моря стійкий припай не утворюється. Між появою припаю і першим повним замерзанням моря в прибережній смузі, як правило, проходить від декількох днів до двох і більше тижнів [6].

Середні багаторічні дати остаточного замерзання моря в прибережній зоні припадають на період з 28 грудня по 16 січня. До кінця грудня припаєм покрита східна частина Таганрозької затоки; повністю затока покрита нерухомим льодом до кінця першої декади січня. До цього часу встановлюється припай в Утлюкському лимані і в Ясенській затоці. З середини другої декади січня до початку третьої все північне, західне і східне узбережжя покриваються припаєм (рис 1.7.).

За розрахованими середніми багаторічними датами припай на узбережжі моря встановлюється на період від одного (на півдні) до трьох (Таганрозька затока) місяців. Після досягнення свого максимального розвитку до кінця лютого, при підвищенні температури повітря, припай відчуває зрушення і зламується. Зрушення припаю призводять до того, що на ньому утворюються тріщини. З появою ділянок чистої води, внаслідок великої поглинальної здатності останньої, починається процес швидкого танення льоду.

Остаточна руйнація припаю в прибережній зоні моря, в середньому багаторічному аспекті, відбувається в першій - другій декадах березня. У Керченській протоці цей процес спостерігається дещо раніше, в кінці лютого.



Рис. 1.7. Льодовий припай в Маріуполі (січень)

На рис. 1.8 показана зміна товщини припаю по декадах протягом льодового сезону. Слід зазначити, що товщина припаю досить мінлива, особливо на початку сезону.

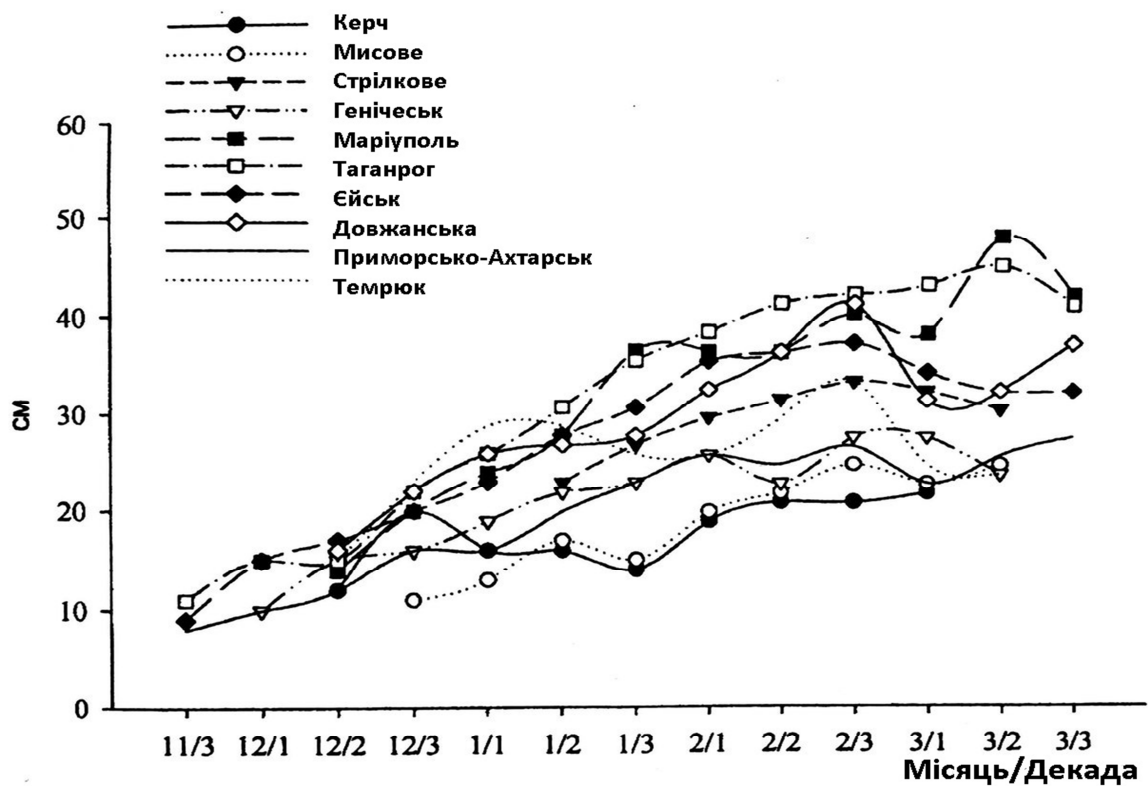


Рис. 1.8. Середні багаторічні наростання товщини припаю (см) в прибережній зоні Азовського моря

Період очищення від льоду має різну тривалість залежно від типу зими і району моря. Остаточне очищення узбережжя моря від льоду відбувається протягом від 6 до 25 днів після руйнування припаю. Першими очищається від льоду Керченська протока і Темрюкська затока (початок березня). Пізніше за все (20-28 березня) очищаються Таганрозька затока і райони скупчення льодів, що дрейфують під дією вітру (Утлюкський лиман і Арабатська стрілка).

Тривалість льодового періоду (від дати появи початкових видів льоду до його повного зникнення) на прилеглих акваторіях берегових станцій залежить від ступеня суворості зими. У середньому тривалість льодового сезону на узбережжі моря становить від 100-125 діб в Таганрозькій затоці і західних районах моря до 60-70 днів - у південній частині акваторії. Однак, протягом льодового сезону лід, як правило, не відзначається щодня, тому число днів з льодом будь-яких форм виявляється значно менше тривалості льодового сезону, особливо в м'які зими. У південній частині узбережжя число днів з льодом за сезон в середньому становить 40-50 діб, в інших районах моря 75-110 діб [15].

1.2. Відкрите море

В [15] для оцінки льодових умов у відкритих частинах Азовського моря були використані 300 карт льодових авіарозвідок, виконаних за 1949-1991 рр. Проведене оцифрування карт (на сітці 3' по меридіану і 5' по паралелі). В результаті були побудовані місячні карти ймовірності наявності припаю, розподілу льоду різної згуртованості в залежності від типу зим, а також карти торосистості.

Льодовий режим відкритих районів моря аналогічний в загальних рисах льодовому режиму прибережної частини моря. За тимчасовим масштабами процес льодоутворення у відкритих частинах Азовського басейну затримується внаслідок того, що охолодження води відбувається повільніше в більш глибоких районах моря в порівнянні з мілководними прибережними районами.

На початку льодового сезону (кінець листопада) лід можна зустріти в відкритих частинах Таганрозької і Ясенської заток, а також в Утлюкському лимані. У першій декаді грудня можлива поява плавучого льоду на всій акваторії моря, але в центральній і південно-східній частинах ймовірність зустрічі з ними невелика. Також мала вірогідність наявності припаю в кінці грудня.

Несталий лід на початку сезону в Таганрозькій затоці схильний до вітрового віджимання і дрейфу в відкриту частину моря. Форми плавучих льодів різноманітні, а розподіл і згуртованість їх залежать від напрямку і сили вітру. У січні льодовий покрив продовжує розвиватися в північному і північно-західному районах відкритого моря, поширюючись також на захід і на південь.

Льодовий режим відкритих районів моря аналогічний в загальних рисах льодовому режиму прибережної частини моря. За тимчасовим масштабами процес льодоутворення у відкритих частинах Азовського басейну затримується внаслідок того, що охолодження води відбувається повільніше в більш глибоких районах моря в порівнянні з мілководними прибережними районами.

На початку льодового сезону (кінець листопада) лід можна зустріти в відкритих частинах Таганрозької і Ясенської заток, а також в Утлюкському лимані. У першій декаді грудня можлива поява плавучого льоду на всій акваторії моря, але в центральній і південно-східній частинах ймовірність зустрічі з ними невелика. Також мала ймовірність наявності припаю в кінці грудня.

Несталий лід на початку сезону в Таганрозькій затоці схильний до вітрового віджимання і дрейфу в відкриту частину моря. Форми плавучих льодів різноманітні, а розподіл і згуртованість їх залежать від напрямку і сили вітру. У січні льодовий покрив продовжує розвиватися в північному і північно-західному районах відкритого моря, поширюючись також на захід і на південь.

До кінця січня крижаний покрив досягає свого максимального розвитку, при цьому найменш льодовитою виявляється центральна глибоководна частина моря. Ймовірність наявності припаю в цьому районі не перевищує 10%. З середини лютого намічається тенденція до зменшення льодового покриття. До кінця місяця найменш льодовитими виявляються центральний і південно-східний райони моря.

На початку березня ймовірність наявності припаю на всій акваторії моря не перевищує 20%. В кінці березня ймовірність зустрічі припаю такої забезпеченості відзначається в західних районах моря і в Таганрозькій затоці. На початку квітня зустріти лід можна на всій акваторії моря з ймовірністю від 5 до 30%, а на початку травня - тільки в південно-західному районі, де скупчується приносний лід. Вітри північних румбів сприяють в кінці льодового сезону виносу льоду в Керченську протоку.

Площа моря, зайнята нерухомим льодом, змінюється в значних межах, в залежності від суворості зими. Найбільш часто спостерігається розподіл припаю за типами зим представлено на рис. 1.9, 1.11, 1.13. Згуртованість різних форм льоду за площею моря в різні місяці льодового сезону також добре узгоджується з суворістю зим. Це наочно підтверджується картами розподілу льоду різної згуртованості (рис. 1.10, 1.12, 1.14.).

У м'які зими (найбільш часто повторювані в сучасний період) нерухомий лід переважно спостерігається в північній частині моря і в Таганрозькій затоці (рис. 1.9.). У ці зими спостерігається велика різноманітність форм плавучого льоду, а також неодноразова поява і зникнення льоду під час льодового сезону. У такі зими центральна частина моря зазвичай залишається вільною від льоду; плавучий лід може з'явитися в кінці січня - початку лютого, в невеликій кількості і ненадовго (рис. 1.10.).

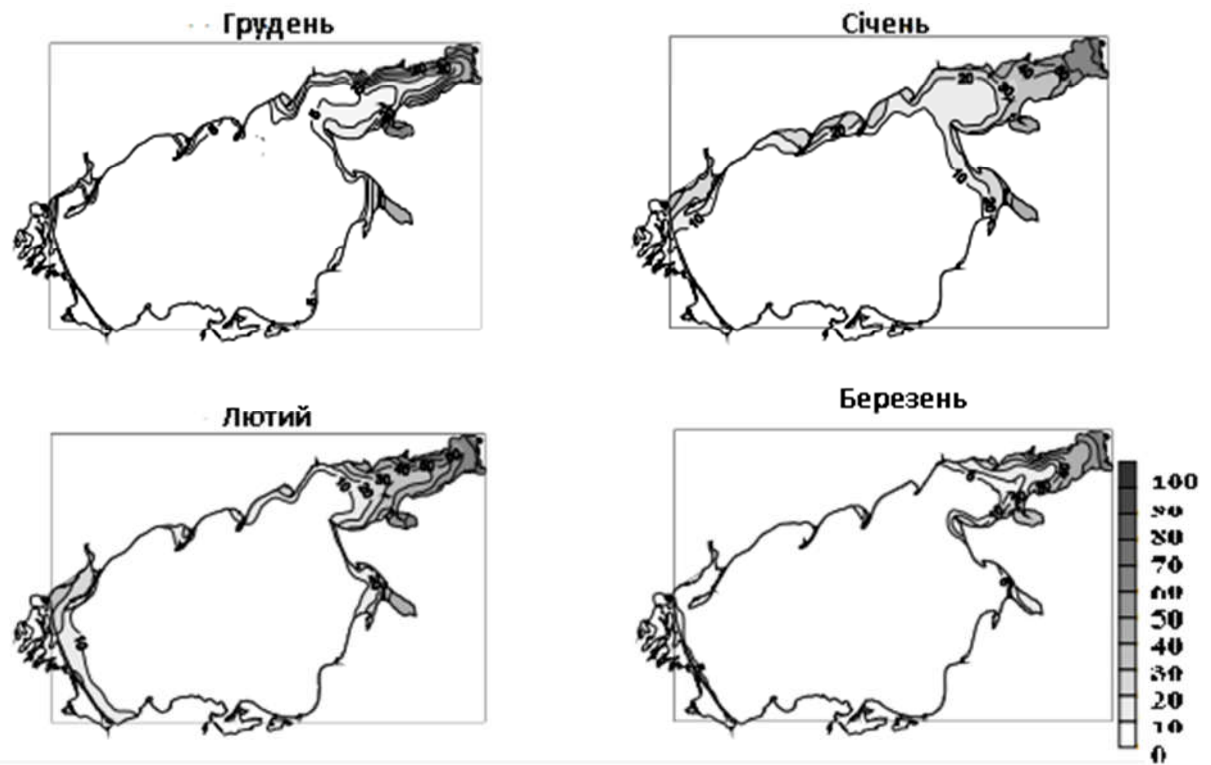


Рис.1.9. Імовірність зустрічі припаю (%) в м'яку зиму, [15]

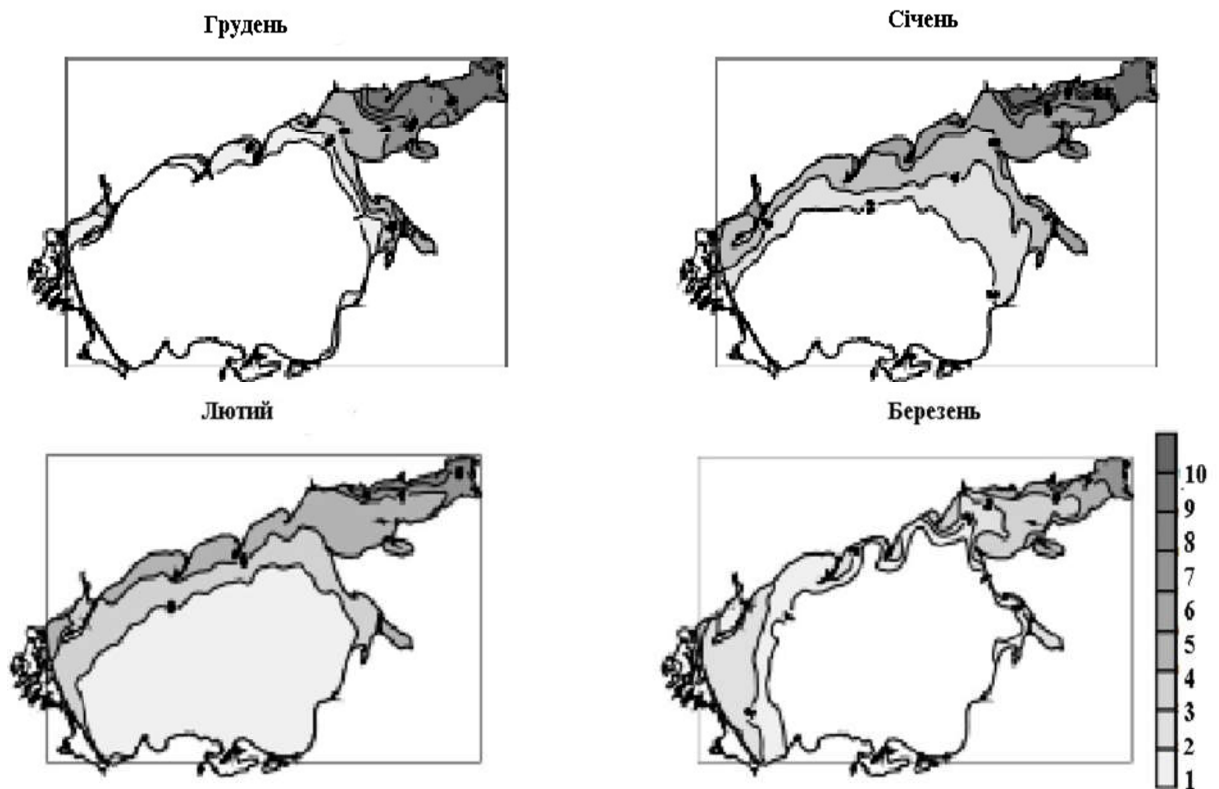


Рис. 1.10. Згуртованість льоду (в балах) в м'яку зиму, [15]

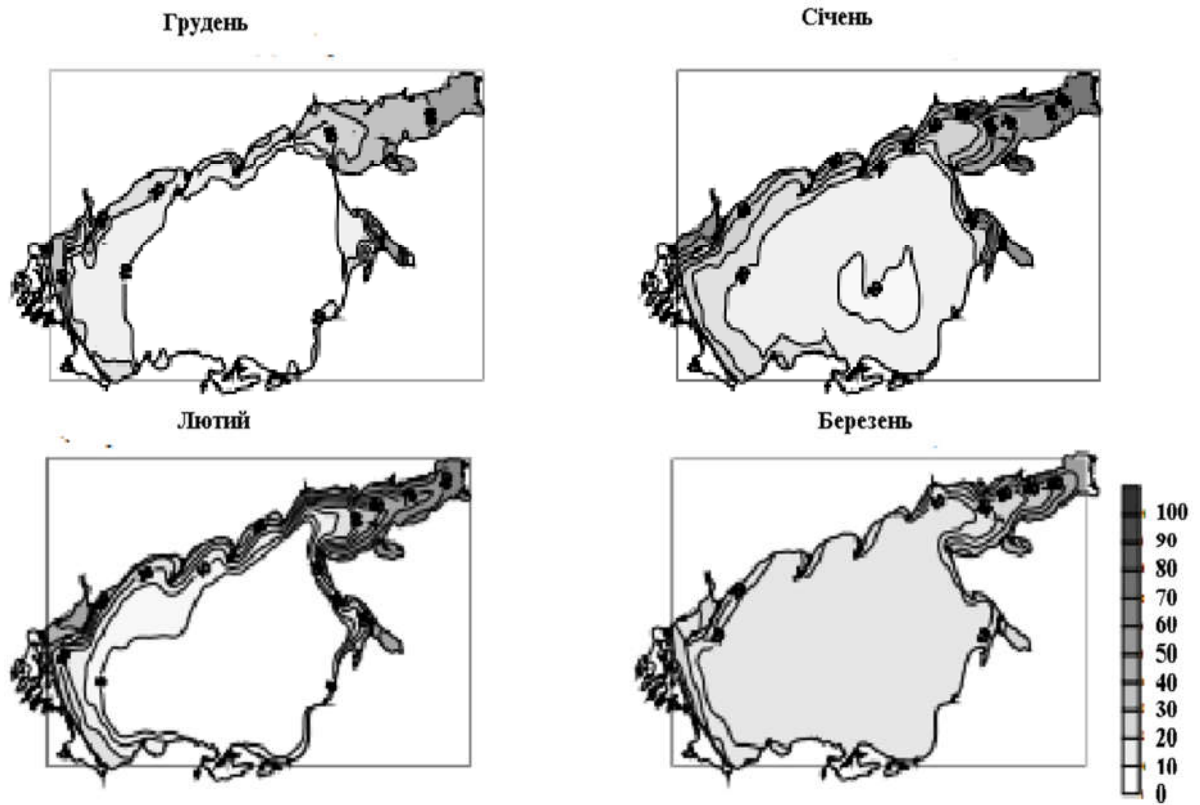


Рис. 1.11. Імовірність зустрічі припаю (%) в помірну зиму [15]

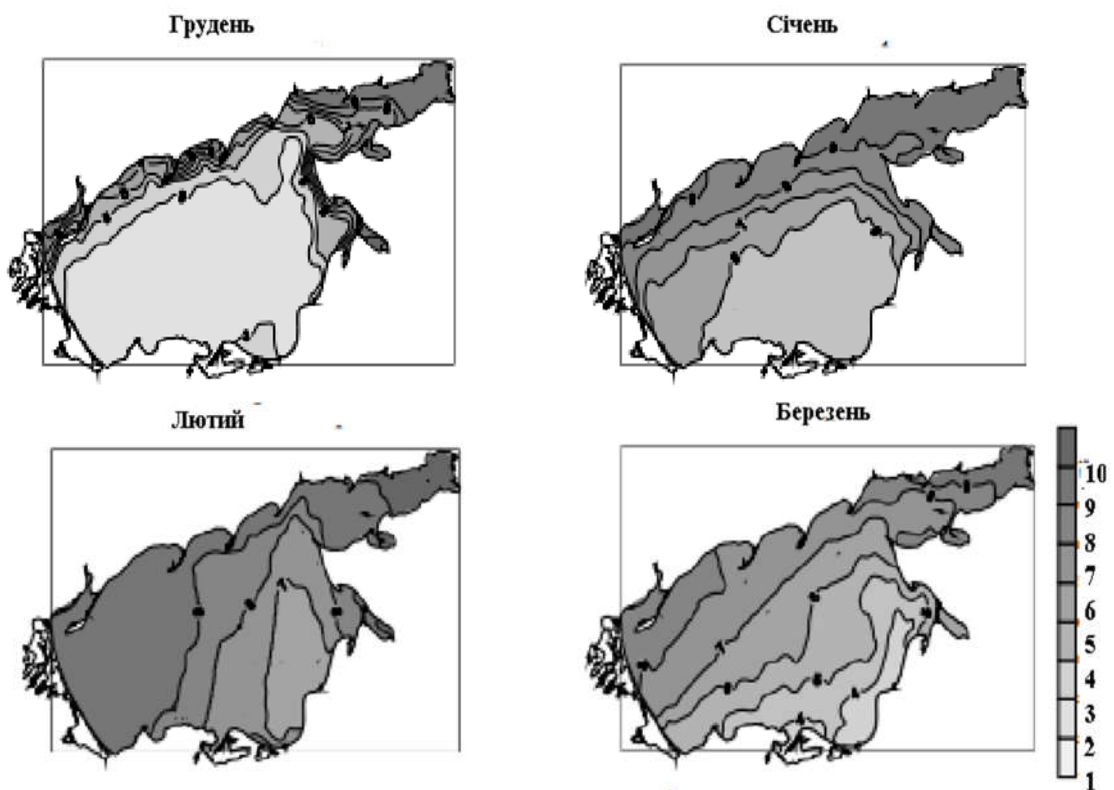


Рис. 1.12. Згуртованість льоду (в балах) в помірну зиму [15]

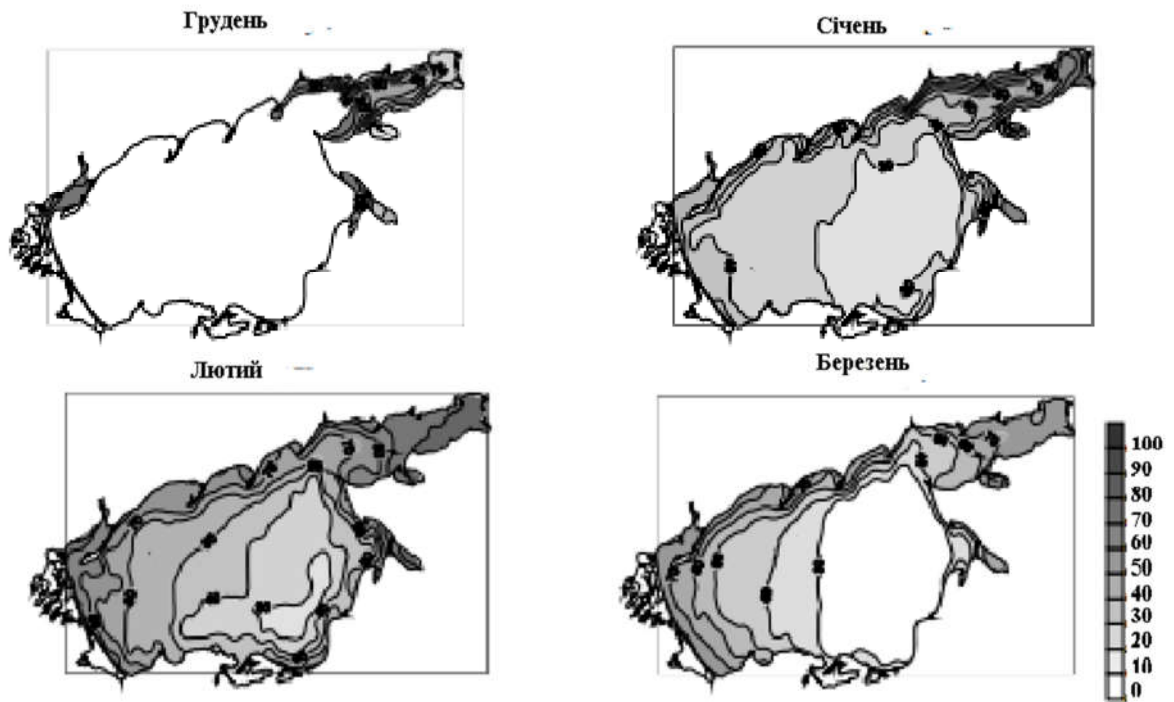


Рис. 1.13. Імовірність зустрічі припаю (%) в сувору зиму [15]

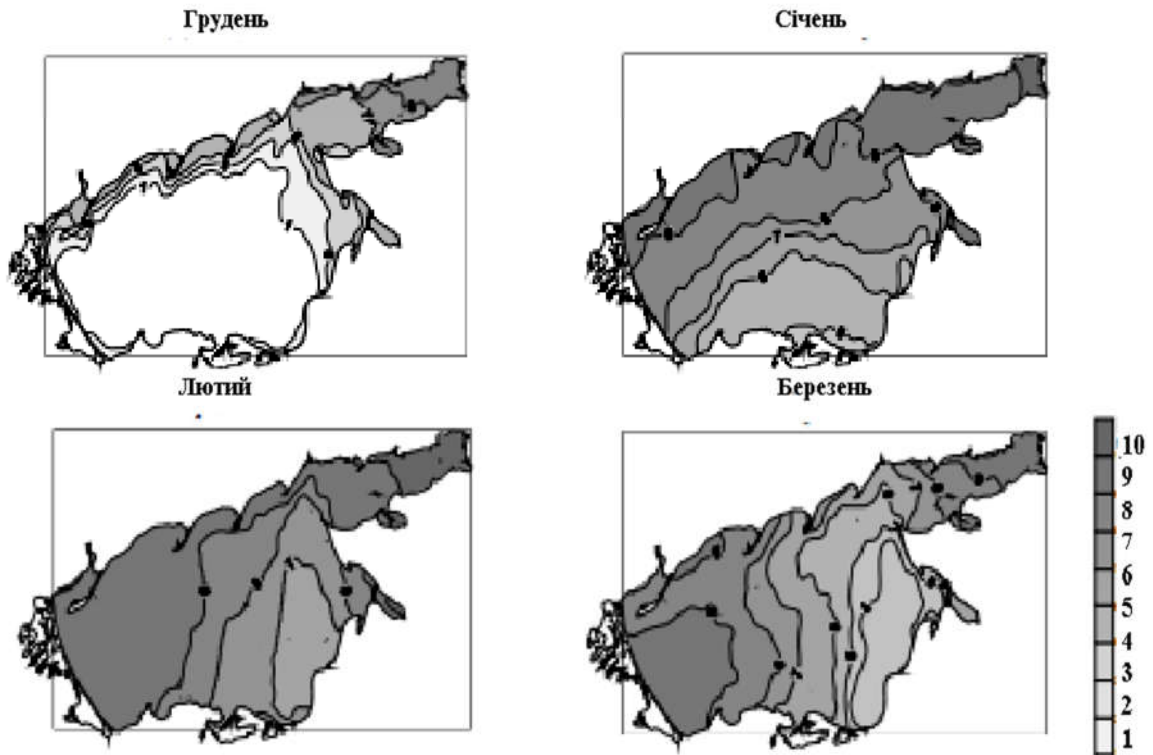


Рис. 1.14. Згуртованість льоду (в балах) в сувору зиму [15]

Терміни очищення моря від льоду в м'які зими, в середньому, припадає на першу і другу декади лютого на півдні і південному сході і на першу-другу декади березня - на півночі і заході моря.

На рис. 1.11., 1.12., 1.13. та 1.14 показані карти ймовірної наявності припаю і льоду різної згуртованості за грудень, січень, лютий і березень, що дозволяють аналізувати динаміку основних характеристик льодового покриву Азовського моря в помірні і суворі зими. У січні-лютому цих зим в море переважають дуже згуртовані і суцільні льоди (9-10 балів). Ймовірність їх наявності зменшується в напрямку від берегів до центру моря - від 80-60% в помірні зими до 70-100% - в суворі зими.

Остаточне очищення моря від льоду відбувається до кінця квітня, рідше - до початку травня, приблизно на місяць пізніше, ніж в м'які зими.

Особливістю льодового покриву Азовського моря є його значна торосистість. Висота торосів у відкритому морі, як правило, не перевищує 1 м; на прибережних мілинах торосисті нагромадження іноді досягають 5-12 м. На підставі льодових розвідок були побудовані карти торосисті Азовського моря (рис. 1.15.). Найбільша торосистість і максимальне число бар'єрів утворюється в західній частині відкритого моря і у коси Федотова. Це пов'язано з переважаючим вітровим дрейфом льоду в цей район, наявністю великого числа банок і мілководь, що і створює сприятливі умови для початку утворення нашарувань, торосів і гряд торосів [15].

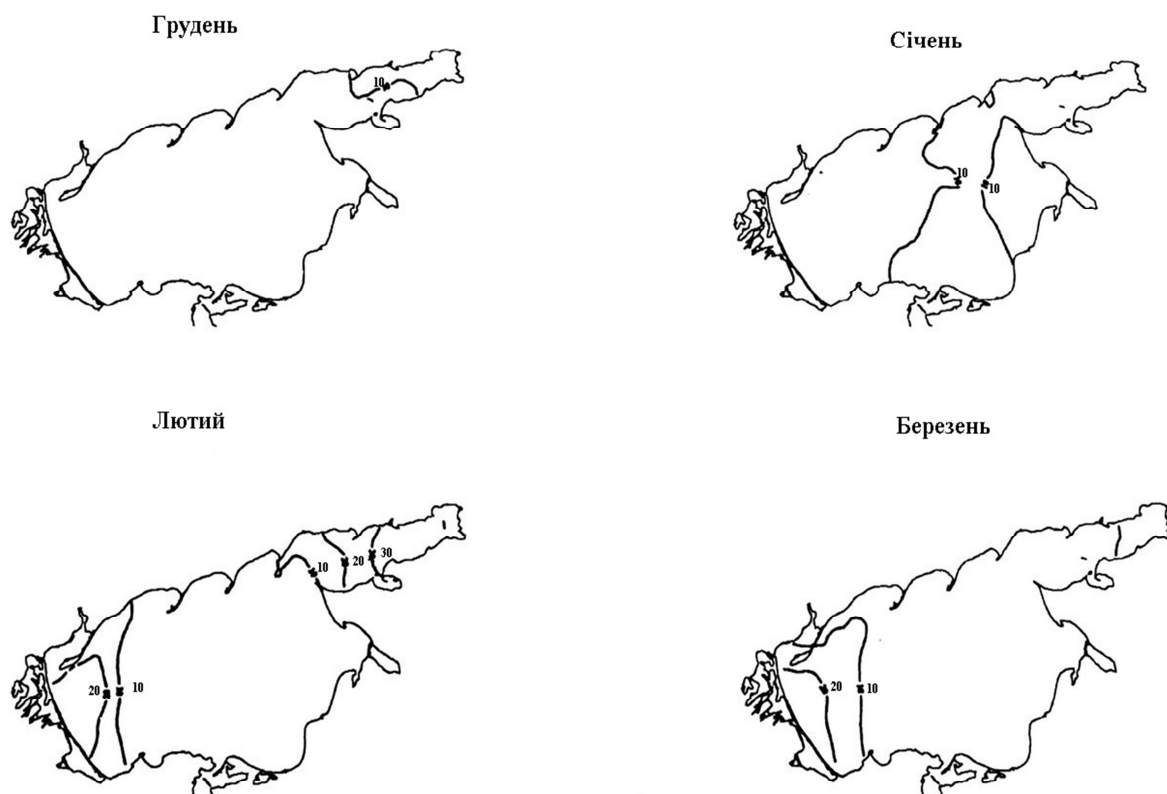


Рис. 1.15. Ймовірність (%) зустрічі торосів на Азовському морі, [15]

1.3. Тенденції багаторічних змін льодових умов Азовського моря

Для дослідження багаторічних змін льодових умов Азовського моря в [15] використовувалися дані спостережень за льодовим комплексом на морській береговій мережі за 1924-2008 рр. (Для російських пунктів за 1924-1994 рр.). Льодові умови проаналізовані за даними за 30-річний період (1978-2008 рр.). Було проведено порівняння льодових характеристик цього періоду з попереднім періодом (1924-1977 рр.). Для того, щоб виявити загальні тенденції багаторічних змін показників льодових умов на берегових пунктах, методом найменших квадратів обчислювався лінійний тренд по всьому тимчасовому ряду і за вказаними вище періодів для кожної льодової характеристики по всіх станціях узбережжя моря. Як показано вище, льодові умови Азовського моря тісно пов'язані з сумою негативних середньодобових температур повітря над морем за льодовий сезон (рис. 1.16.(а)). Переважання того чи іншого типу атмосферної циркуляції протягом сезону визначає ступінь суворості зими щодо льодових умов.

Аналіз зим за типами (рис. 1.16(б)) за період 1978-2008 рр. в порівнянні з попереднім періодом показує, що спостерігається значне скорочення повторюваності суворих зим (більш ніж в 4 рази) при збільшенні повторюваності м'яких зим (в 1,5 рази). Повторюваність помірних зим істотно не змінилася.

Отримані дані узгоджуються з уявленнями про сучасних кліматичних змінах. Зокрема, згідно з [16], з середини 70-х років ХХ століття спостерігається найбільший за всі століття глобальне зростання температури повітря. Зміна великомасштабної атмосферної циркуляції в холодний період року проявляється в зміщенні Північно-Атлантичного і Сибірського максимумів і Європейської улоговини на схід, що призводить до порівняно теплій погоді та м'яким зим [17]. Через недостатню інформації про льодових умовах відкритих частин Азовського моря в останні роки, такий показник як льодовитість моря не застосовується. Тому для аналізу тенденцій зміни льодових умов в останньому довіднику [7] використовують льодові показники за даними прибережних гідрометеостанцій (середні дати першої появи і повного очищення від льоду і тривалість льодового періоду).

Для більш точної характеристики сучасних льодових умов на Азовському морі необхідно додатково розглянути такі показники льодового сезону, як число днів з льодом, число днів з припаєм і максимальна товщина припаю. Порівняння середніх дат першої появи початкових форм льоду сучасного періоду (1978-2008 рр.). Лід став з'являється пізніше: в районах Керчі, Завітного і Стрілецького на 8 днів; Бердянська на 6 днів; Маріуполя, Мисового і Опасного - на 3-4 дні; Таганрога - на 2 дні.

Середні дати повного очищення моря від льоду стали спостерігатися раніше: від 4-8 днів на півдні моря до 11-17 днів на іншому узбережжі моря. Істотно скоротилася кількість днів в льодовий період з льодом: від двох днів в районі Таганрога і Єйська до 14-20 днів на іншому узбережжі.

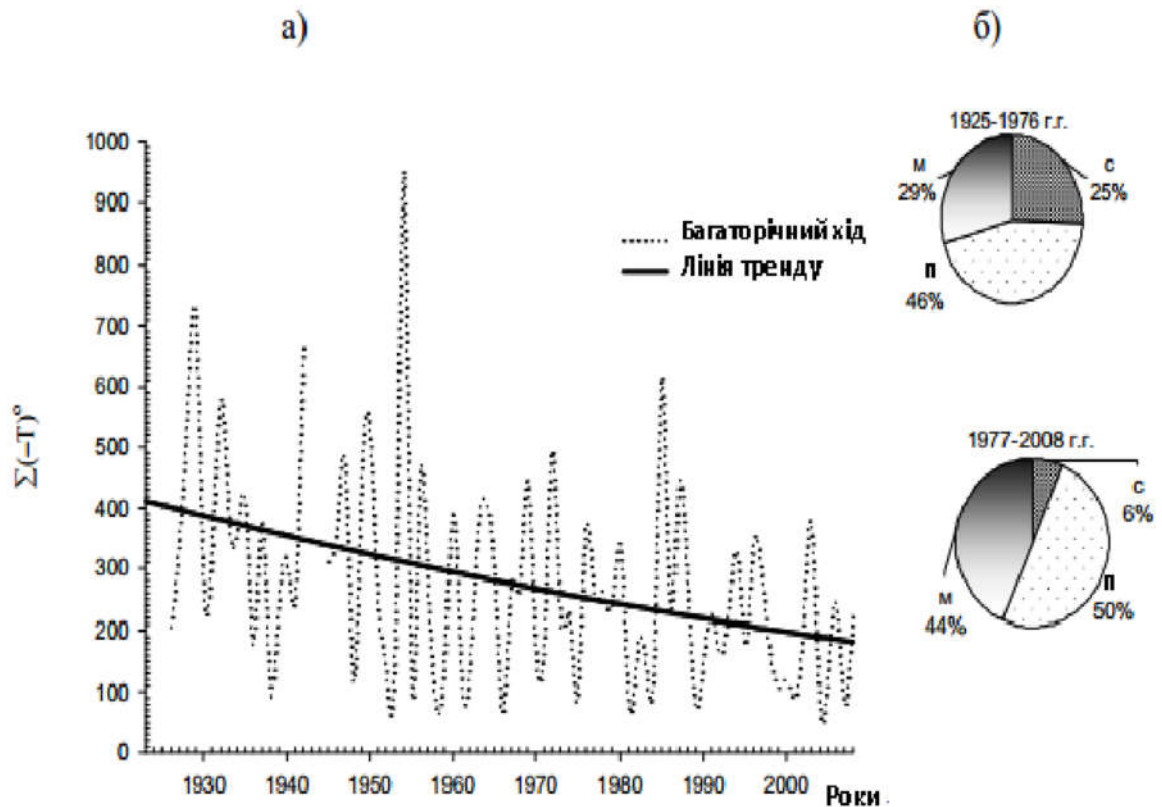


Рис. 1.16. Мінливість суми від'ємних температур повітря $\Sigma(-T)^\circ$ (а) і повторюваність різних типів зим (з - сувора, у - помірна м - м'яка зими) за періодами (б) в Азовському басейні [15]

Максимальне наростання льодового покриття скоротилося за 30-річчя до 2008 р. на 5-20 см. Аналіз багаторічних тенденцій тривалості льодового періоду і числа днів з льодом за період спостережень 1924-2008 рр. на узбережжі Азовського моря в межах України показав, що вони негативні майже за всіма пунктами, з розкидом величин від 2,4 до 6,5 доби за 10 років. Пом'якшення льодових умов свідчить про загальне потепління Азовського моря в зимовий сезон, що підтверджується значущими позитивними багаторічними трендами зимової температури води за даними спостережень на береговій мережі [15].

2. МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ

У магістерській роботі використовувались данні про тривалість льодового періоду, кількість днів з льодом, льодовитість моря, суми градусів днів морозу на станції Маріуполь.

Для перевірки прогностичних рівнянь використовувались дані стандартних гідрометеорологічних спостережень, що публікуються в таблицях ТГМ-1 та ТГМ-2 для станції Маріуполь за періоди з 1985-1988 рр. і 1996-2016 рр. для дат появи льоду і період 1995-2016 рр. для дат очищення моря від льоду, а саме данні по температурі повітря, дати появи льоду і дати очищення моря від льоду та максимальна товщина льоду.

Методи обробки

Дати появи льоду і дати очищення моря від льоду обчислюються у відхиленнях в днях від першого вересня..

Для оцінки льодових умов в Азовському морі використовувався ретроспективний і порівняльний аналіз особистих досліджень з приведеними в літературних джерелах [18].

Також використовувались методи статистичної обробки вихідної інформації. Для перевірки прогностичних рівнянь були задіяні - регресійний аналіз і програма SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) [19].

3. АНАЛІЗ ЛЬОДОВИХ УМОВ В АЗОВСЬКОМУ МОРІ ЗА ОСТАННІ РОКИ

Льодова обстановка в зимовий період є визначальною для безпеки судноплавства є траса Маріуполь - Керч, де особливі труднощі виникають при проведенні судів криголамами біля входу в Керченську протоку через велику кількість торосистого льоду.

Особливістю льодового режиму Азовського моря є щорічне утворення льоду на його акваторії, навіть у відносно м'які зими. Берегові частини моря і Таганрозька затока покриваються суцільним крижаним покривом. У центральній частині акваторії моря льоди плавучі. В окремі роки льодові умови можуть суттєво ускладнювати або робити тимчасово неможливим в деяких районах судноплавство, а також вносити складності в безпечну експлуатацію газодобувних платформ в тих частинах моря, де можливий інтенсивний дрейф льодових полів. Основними факторами, що визначають льодові умови Азовського моря, є: географічне положення (внутрішньоконтинентальне, в південній частині помірної пояси), ізолюваність від Світового океану, характер і інтенсивність атмосферних процесів, а також мілководність моря, низька солоність в порівнянні з океаном і складна орографія берегів .

У холодний період року Азовське море знаходиться під впливом області підвищеного тиску, розташованої на півночі і північному сході, і циклонічних вторгнень із заходу і південного заходу . Часті східні і північно-східні вітри приносять континентальні полярні і арктичні маси повітря і викликають сильні морози. Порівняно низькі і порізані бухтами і лиманами мілин берега моря не перешкоджають вторгненню холодних арктичних повітряних мас і сприяють швидкому замерзанню води. Циклонічна діяльність, навпаки, призводить до змінної і порівняно теплої погоди, відсуваючи льодоутворення на морі. Велика мінливість атмосферних процесів визначає крайню нестійкість льодових умов Азовського басейну.

Між сумою середньодобових від'ємних температур повітря над морем за льодовий сезон спостерігається тісний зв'язок з льодовитістю Азовського моря. За сумою градусів - днів морозу зима на Азовському морі вважається суворою, якщо сума негативних температур повітря за льодовий сезон (жовтень-квітень) перевищує -330°C , помірної в межах від -90 до -330°C і м'якою - менш -90°C . Для розрахунку суворості зим беруться суми від'ємних температур повітря, осереднені за даними станцій Керч, Генічеськ, Таганрог і Приморсько-Ахтарськ. За період після 1991 року розрахунок проводився за даними морських станцій Опасне, Генічеськ і Маріуполь. На підставі цих розрахованих характеристик льодових умов можна уявити середню багаторічну картину розподілу і розвитку льоду і тривалість льодового періоду на Азовському морі.

У суворі зими припаєм покривається вся прибережна зона Азовського моря на ширину видимого горизонту з боку льодових пунктів, тривалістю від

місяця (на півдні моря) до 3-4 місяців (на північному сході). В помірні зими припай повністю покриває Таганрозьку затоку на 1-3 місяці, а вздовж північних і північно-західних берегів простягається смугою шириною 3-4 милі; на заході, сході і південному сході ширина припаю в межах 2 милі, а в південних районах вона рідко досягає 0,5 милі [20]. У м'які зими припай спостерігається тільки в прибережній зоні Таганрозької і Ясенської заток і Утлюкського лиману.

Товщина молодого припайного льоду до кінця третьої декади листопада в Таганрозькій затоці і біля берегів Ахтарської затоки складає в середньому 8-11 см. Протягом грудня припай встановлюється вздовж усього узбережжя моря, крім району Стрілецького. До кінця місяця його товщина в Ахтарській і Бердянській затоках і в Утлюкському лимані досягає 16 см, в Таганрозькій і Темрюкській затоках - до 22-23 см. У Керченській бухті товщина припаю може досягати 20 см, в районі мису Казантип - 10 см. Протягом січня товщина припаю збільшується на 10-14 см в Таганрозькій затоці і на 5-8 см - в південній частині моря. У цьому ж місяці утворившись припай уздовж Арабатської стрілки може досягати товщини до 30 см. У лютому і на початку березня процес наростання льоду протікає повільніше, але досягає максимальних значень за сезон: 40-50 см в Таганрозькій затоці, 20-35 см - в інших районах акваторії моря. Максимальні значення товщини припаю припадають на суворі зими і можуть досягати 95 см в районі Арабатської стрілки, 75 см - в Таганрозькій затоці і 70 см - на східному і північно-західному узбережжі. У південних районах моря товщина припаю в суворі зими не перевищує 40-50 см.

В помірні зими на півночі Азовського моря середня товщина припайного льоду в січні становить 20-30 см, в лютому складає 30-40 см, в березні дорівнює 30-45 см. У м'які зими, якщо припай утворюється, то товщина його невелика: в північній половині моря становить 10-20 см, в південній - не перевищує 10 см.

В помірні і суворі зими лід найчастіше з'являється в кінці першої - на початку другої декади січня. Між першою появою льоду і першим замерзанням моря в такі зими проходить близько 10 діб. Крижини змерзаються, утворюючи суцільний нерухомий покрив. Утворення суцільного припаю, коли вся видима поверхня моря покривається нерухомим льодом, може відбуватися неодноразово. За льодовими картами чітко простежується напрямок процесу льодоутворення від берега до центру моря. Найменше льоду в січні в південній частині моря, а в лютому і березні - в східній.

Азовське море повністю замерзає (покривається припаєм) на значний термін (місяць і більше) тільки в екстремально суворі зими. Найбільш складна льодова обстановка в суворі і помірні зими відзначається з кінця січня до середини березня в західних і південно-західних районах моря, а також біля входу в Керченську протоку, де звичні поля сильно торосистого льоду. Руйнування припаю в такі зими затягується, і, як правило,

відбувається в третій декаді березня. Останньою очищається західна частина моря: в кінці квітня початку травня.

Переважання того чи іншого типу атмосферної циркуляції протягом сезону визначає ступінь суворості зими щодо льодових умов [15].

3.1. Порівняння сучасних даних з нормами на станції Маріуполь

Для порівняння сучасних даних з нормами використовувалися дані про тривалість льодового періоду, про дати появи льоду і очищення моря від льоду, суми градусів - днів морозу, товщини припаю на Азовському морі в цілому і станції Маріуполь зокрема. Ці характеристики для станції Маріуполь для різних типів зим. представлені різні характеристики льодового режиму на станції Маріуполь (таблиці 3.1.).

Таблиця 3.1. Характеристики льодового режиму Азовського моря за типами зим за даними прибережних спостережень (станція Маріуполь), [15]

Тип зими	Період	Дата першої появи льоду	Дата повного очищення від льоду	Число днів з льодом	Тривалість льодового сезону (днів)	Максимальна товщина льоду (см)
сувора	1924-2008	06.12	02.04	111	117	80
помірна	1924-2008	12.12	21.03	91	100	70
м'яка	1924-2008	21.12	10.03	55	80	39

У роботі були порівняні дати появи льоду, дати очищення моря від льоду, тривалість льодового режиму трьох часових періодів (1924-2008 рр., 1924-1977 рр., 1978-2008 рр.) (табл. 3.2) [15] з сучасними даними десяти останніх сезонів (табл. 3.3) [21].

Таблиця 3.2. Середні дати першого льодоутворення, повне очищення від льоду, тривалість льодового режиму, число днів з льодом, (Маріуполь)

Періоди	Середні дати появи льоду	Середні дати повного очищення від льоду	Тривалість льодового періоду	Кількість днів з льодом
1924-2008	14.12.	20.03.	96	82
1924-1977	13.12.	23.03.	100	89
1978-2008	16.12.	14.03.	89	69

Таблиця 3.3. Дати початку льодоутворення, повного очищення, тривалість льодового періоду за 2008-2017 рр., [21]

Сезони	Дата першого льодоутворення	Дата повного очищення від льоду	Тривалість (днів)	Товщина припаю (см)
2007-2008	15.12.2007	11.03.2008	89	35
2008-2009	23.12.2008	24.02.2009	63	25
2009-2010	22.12.2009	23.03.2010	91	25
2010-2011	18.01.2011	28.03.2011	69	20
2011-2012	29.11.2011	10.04.2012	133	45
2012-2013	18.12.2012	05.03.2013	77	27
2013-2014	17.12.2013	24.03.2014	97	21
2014-2015	25.11.2014	10.02.2015	77	11
2015-2016	12.01.2016	16.02.2016	35	21
2016-2017	22.11.2016	13.03.2017	111	32

Примітка: зеленим кольором позначена м'яка зима, жовтим – помірна, червоним - сувора.

З таблиці 3.3 ми бачимо, що дати першої появи льоду приходяться як на кінець листопада, так і на другу половину січня. Якщо дата першого льодоутворення припадає на листопад, то певно що зима буде помірною або суворою, а якщо на січень - м'якою. Якщо льодоутворення настає у грудні то точно сказати якою буде зима важко.

Максимальна товщина припаю не завжди пов'язана з тривалістю льодового режиму. Так як при тривалості льодового режиму 35 днів товщина припаю дорівнює 21 см., а при тривалості 77 днів товщина припаю дорівнює 11 см. Проте при товщині припаю більш ніж 30 см тривалість льодового режиму буде дорівнювати 85 і більше днів.

За останні 35 років на Азовському морі було тільки три суворі зими в 2005-2006, 2011-2012 і 2016-2017 сезонах (Рис.3.1). У ці зими Азовське море покривалося льодом повністю.

За останні десятиліття на Азовському морі спостерігалось 20% суворих зим, 30% - м'яких і відповідно 50% -помірних.

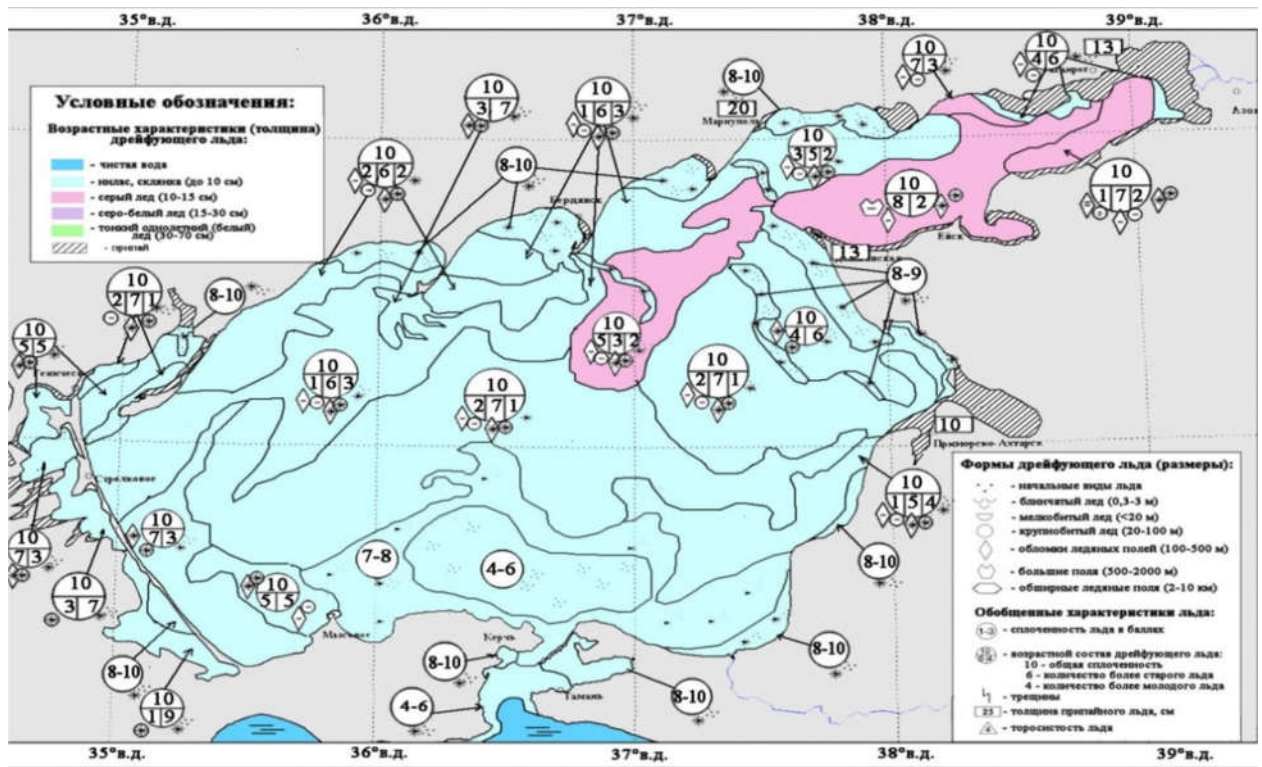


Рис.3.1. Льодові умови в Азовському морі 31.01.2017 [21]

Далі ми порівняємо дані таблиці 3.2 і таблиці 3.3 і представимо в таблицях 3.4, 3.5, 3.6.

Таблиця 3.4. Відхилення дат появи льоду від середніх багаторічних дат за різні періоди на станції Маріуполь

Періоди	1924-2008		1924-1977		1978-2008	
	Відхилення у днях	Оцінка	Відхилення у днях	Оцінка	Відхилення у днях	Оцінка
2007-2008	-1	пізніше	-2	пізніше	1	раніше
2008-2009	-9	пізніше	-10	пізніше	-7	пізніше
2009-2010	-8	пізніше	-9	пізніше	-6	пізніше
2010-2011	-4	пізніше	-5	пізніше	-2	пізніше
2011-2012	18	раніше	17	раніше	20	раніше
2012-2013	-4	пізніше	-5	пізніше	-2	пізніше
2013-2014	-3	пізніше	-4	пізніше	-1	пізніше
2014-2015	19	раніше	18	раніше	21	раніше
2015-2016	-29	пізніше	-30	пізніше	-27	пізніше
2016-2017	24	раніше	23	раніше	26	раніше

Середні дати появи льоду за останні 10 років порівняно з середніми датами першого періоду настає на 4 дні пізніше, другого – на 5 пізніше, а третього - на 2 дні пізніше. Проте треба пам'ятати, що за останні 10 сезонів було 2 суворі зими, чого не було вже багато років, але цей ряд замалий, щоб казати про тенденцію похолодання.

Таблиця 3.5. Відхилення дати очищення моря від середніх багаторічних дат за різні періоди на станції Маріуполь

Періоди	1924-2008		1924-1977		1978-2008	
	Відхилення у днях	Оцінка	Відхилення у днях	Оцінка	Відхилення у днях	Оцінка
2007-2008	9	раніше	12	раніше	3	раніше
2008-2009	25	раніше	28	раніше	19	раніше
2009-2010	-3	пізніше	0	-	-9	пізніше
2010-2011	-8	пізніше	-5	пізніше	-14	пізніше
2011-2012	-21	пізніше	-18	пізніше	-27	пізніше
2012-2013	15	раніше	18	раніше	9	раніше
2013-2014	-4	пізніше	-1	пізніше	-10	пізніше
2014-2015	38	раніше	41	раніше	32	раніше
2015-2016	32	раніше	35	раніше	26	раніше
2016-2017	7	раніше	10	раніше	1	раніше

Таблиця 3.6. Відхилення тривалості льодового періоду від середньої тривалості льодового періоду на станції Маріуполь, за різні періоди

Періоди	1924-2008		1924-1977		1978-2008	
	Відхилення у днях	Оцінка	Відхилення у днях	Оцінка	Відхилення у днях	Оцінка
2007-2008	7	менше	11	менше	0	-
2008-2009	33	менше	37	менше	26	менше
2009-2010	5	менше	9	менше	-2	більше
2010-2011	27	менше	31	менше	20	менше
2011-2012	-37	більше	-33	більше	-44	більше
2012-2013	19	менше	23	менше	12	менше
2013-2014	-1	більше	3	менше	-8	більше
2014-2015	19	менше	23	менше	12	менше
2015-2016	61	менше	65	менше	54	менше
2016-2017	-15	більше	-11	більше	-22	більше

Середні дати очищення моря від льоду для розрахованого періоду: на 8 днів раніше; на 11 днів раніше; на 2 дні раніше (для кожного з періодів відповідно).

Середня тривалість льодового режиму : на 12 , 16 та 5 днів менше (для кожного з періодів відповідно).

Отже, дати появи льоду майже не змінилися, очищення від льоду стало відбуватись раніше, тривалість льодового режиму зменшилась. Ці параметри доводять тенденцію потепління клімату Азовського моря. Проте потрібно спостерігати за повторюваністю суворих зим.

Також була розрахована кореляція сум негативних температур $\Sigma(-T)^\circ$ Азовського і Чорного морів за 1945-2008 рр.. Коефіцієнт кореляції Пірсона (позначають «r») — показник кореляції (лінійної залежності) між двома змінними X та Y, який набуває значень від -1 до +1 включно. Значення +1 означає, що залежність між X та Y є лінійною, і всі точки функції лежать на прямій, яка відображає зростання Y при зростанні X. Значення -1 означає, що всі точки лежать на прямій, яка відображає зменшення Y при зростанні X. Якщо коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0, то саме лінійної кореляції між змінними немає [22]. Коефіцієнт суми градусів - днів морозу $\Sigma(-T)^\circ$ Азовського і Чорного морів r дорівнює 0,92.

Це означає, що загально. характерною особливістю льодового режиму Азовського і Чорного морів є тісний зв'язок їх сум негативних середньодобових температур $\Sigma(-T)^\circ$ над морями за льодовий сезон. З цього випливає, що тенденції потепління в зимовий сезон, пов'язані з глобальними кліматичними змінами.

4. МЕТОДИ ПРОГНОЗУ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬОДОВОГО РЕЖИМУ В АЗОВСЬКОМУ МОРІ

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

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

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

3. Методи, в яких використовуються фактичні параметри крижаного покриву 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.

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 або іншого льодового явища, необхідно вибрати ті фактори, які є головними для розвитку льодового явища в даний час і в даному районі моря.

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 вихолоджування досягає температури кристалізації льоду. Це настає тим швидше, чим більше тепловіддача води (визначається перш за все температурою повітряної маси, яка знаходиться над акваторією моря) і чим менше накопичення тепла за попередній весняно-літній період (визначається температурою води).

Прогноз зимових льодових процесів, що складаються в збільшенні потужності льодового покриву (товщини і кількості льоду), враховує перш за все два основні чинники: температуру повітря і режим вітру. На сумарний результат накопичення льоду до певного моменту часу впливає сума негативних температур повітря, накопичена від дня переходу температури повітря через 0°C до від'ємних показників до дня, на який прогнозується дана льодова характеристика (дата появи льоду, або дата досягнення товщиною льоду певних значень, і т.д.).

Прогноз весняних льодових процесів передбачає 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 припаю і очищення моря від льоду.

Крім збільшення потужності льодового покриву протягом усього льодового періоду відбувається перерозподіл таких площинних характеристик дрейфуючого льоду, як згуртованість та товщина льоду. Емпірико - статистичні залежності між метеорологічними та льодовими параметрами визначаються на основі спостережень за накопиченням та перерозподілом криги.

У весняних прогнозах руйнування припаю і очищення моря від льоду головними факторами є теплозапас моря і потужність крижаного покриву, для характеристики якої використовують льодовитість і товщину льоду.

Льодовитість моря - це відношення площі, зайнятої льодом будь-якої згуртованості, до загальної площі моря. Дана характеристика для осені, початку зими і весни, коли в море спостерігаються льоди різної згуртованості і товщини, не є показовою з точки зору оцінки льодових умов, що впливають як на льодопродимість судів, так і на хід весняних процесів.

Дати льодоутворення, дати руйнування припаю і очищення моря, товщина льоду визначаються насамперед тепловими чинниками. Динамічні чинники визначають в основному дрейф і торосистого льоду, а також його перерозподіл в море. Динамічні чинники можуть викликати більш раннє або пізніше замерзання, розтин або очищення моря.

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 безкриголамане плавання суден, закриваються бухти для риболовних суден, припиняються багато інших видів господарської діяльності на морях.

4.1.Короткострокові прогнози льодових явищ

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 – кордон між чистою водою і льодом. Тому прогноз переміщення кромки льоду - один з найбільш важливих в льодових прогнозах.

Злом припаю під дією динамічних чинників може статися в короткі терміни, і короткостроковий прогноз цього явища також необхідний для обслуговування судноплавства і галузей, пов'язаних з перевезенням вантажів.

Слід зазначити, що короткострокові льодові прогнози уточнюють довгострокові прогнози, тому до їх точності пред'являють підвищені вимоги.

Важливим питанням, рішення якого пов'язано з прогнозами багатьох характеристик крижаного покриву, є розробка узагальнених показників впливу льодів на судноплавство.

Час настання осінніх льодових явищ - появи льоду і замерзання моря залежить від цілого ряду причин: теплозапасу діяльного шару, 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.

Дати настання весняних льодових явищ - злому припаю, очищення моря від льоду - визначаються товщиною льоду, що утворився за зиму, макро- і мікроструктурою льоду, його забрудненням, висотою і щільністю снігового покриву на льоду, сумою складових теплового балансу на поверхні льоду, коливаннями рівня моря, адвекції тепла течіями, виносом льоду, дією припливних явищ і ін.. 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 раз рушення припаю надають вітрові умови.

При прогнозі динаміки льодів - дрейфу і перерозподілу криги необхідно враховувати в першу чергу поле вітру або поле атмосферного тиску, швидкість підлідних течій. за повз обліку динамічних факторів, необхідно брати до уваги і термічні фактори - теплообмін з атмосферою і з водним середовищем. Облік цих факторів - складне завдання, так як необхідно розглядати теплообмін між трьома середовищами, 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. за струми променистого тепла також залежать від властивостей середовища. наприклад, навесні велику роль в тепловому балансі на кордоні крига - повітря грає процес відображення сонячної радіації, в той час як на кордоні вода-повітря вплив його набагато менше. Тяжку задачу представляє облік тепла, що поглинається розводдями і витрачається на танення криги. В динаміці льодів важливий облік взаємодії крижин, яка робить істотний вплив на їх перерозподіл [23].

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: теплозапасу 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 мікроструктури 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 припаю 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. Потoki 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.

Облік всіх факторів, що обумовлюють появу льоду і замерзання моря, при складанні прогнозів навіть з невеликою завчасністю практично неможливий. Тому найчастіше виділяють головні чинники і обмежують їх урахуванням.

Терміни першої появи льоду пов'язані з датою переходу температури води через точку замерзання. Існує тісний зв'язок між датою першої появи льоду і датою переходу температури води через точку замерзання. Однак прогнози появи льоду, засновані на зв'язку з цим, мають малу завчасність, а отже, і мале прогностичне значення. Значно більшу завчасність має зв'язок

дати першої появи льоду з датою переходу температури повітря через 0°C . Істотний недолік прогнозу, заснованого на використанні цієї залежності, полягає в тому, що цей зв'язок не враховує ходу температури повітря після переходу її через 0°C . Це призводить до значних похибок прогнозу.

Великий вплив на дату появи льоду надає теплозапасів моря. Чим більше теплозапасів моря в період, що передує льодоутворення, тим пізніше з'являється крига.

Найбільш простий випадок - прогноз появи льоду в мілководній районі, де в період, що передує льодоутворення, перемішування досягає дна, перенесення тепла течіями незначний, роль хвилювання і коливань рівня невелика. Такі умови характерні для прибережних районів, особливо закритих бухт. Льодові прогнози для бухт, в яких знаходяться порти, представляють особливий інтерес, тому що часто саме замерзання портів обмежує терміни навігації.

Для прибережних районів прогноз появи льоду будується на обліку теплозапасів моря і інтенсивності охолодження моря. Численними емпіричними дослідженнями показано, що в холодну частину року, в тому числі і в період, що передує льодоутворення, втрати тепла через поверхню води істотно залежать від температури повітря. Тому в прогностичні рівняння в якості аргументу вводиться сума градусів - днів морозу, яка в свою чергу залежить від теплозапасів моря. До методів прогнозу появи льоду море може бути віднесений метод, розроблений Я. А. Тютневим [24].

З огляду на, що для прибережних мілководних районів моря солоність, а отже, і температура замерзання схильні до незначних змін, є підстави записати:

$$\Sigma(-\text{Тал}) = f(h, \text{Тw}0), \quad (1)$$

де $\Sigma(-\text{Тал})$ - сума градусів - днів морозу, необхідна для появи льоду; h - глибина моря; $\text{Тw}0$ - температура води в момент переходу температури повітря через 0°C .

Ця залежність лежить в основі методів короткострокового прогнозу дати появи льоду за умови, що відсутні вертикальні і горизонтальні градієнти температури води.

Прогностичне рівняння для Маріуполя:

$$\Sigma(-\text{Тал}) = 8,8\text{Тw}0 - 4,8. \quad (2)$$

Множинний коефіцієнт кореляції R дорівнює 0,92 (коефіцієнт кореляції); δ дорівнює ± 1 (допустима похибка, що дорівнює $0,674\sigma$, де σ - середнє квадратичне відхилення.) [18]

При розробці методів прогнозу весняних явищ в якості предикторів часто використовуються дати переходу або середньодобової, або денної температури повітря через 0°C , максимальна за зиму товщина льоду, накопичена за зиму сума - градусів днів морозу, сума градусів - днів тепла за період від початку танення льоду до моменту розкриття.

Прогностичні залежності для прогнозу розтину і очищення від льоду з урахуванням цих факторів були побудовані Е. М. Саускан для районів Каспійського, Азовського і Чорного морів [25].

При складанні прогнозів весняних льодових явищ необхідно встановити момент, коли лід досягає максимальної товщини і почнеться його танення. Е. М. Сускан за початок танення льоду приймає момент стійкого переходу температури повітря через 0°C о 13 годині.

Автором було встановлено зв'язок між датами досягнення максимальної товщини льоду і переходу температури повітря через 0°C о 13 годині. Існування зв'язку такого роду пояснюється тим, що зміна знака суми потоків тепла через поверхню крижаного покриву з негативного на позитивний відбувається при позитивних денних температурах повітря, навіть якщо середньодобові значення температури ще залишаються негативними. Денні позитивні температури повітря призводять до того, що поверхня льоду стає пухкої, поглиблення заповнюються талою водою. Негативні нічні температури призводять до утворення тонкої крижаної кірки, яка створює так званий парниковий ефект.

Цей ефект полягає в тому, що крижана кірка пропускає короткохвильову радіацію і не пропускає довгохвильову, іншими словами, температура льоду і температура води під льодом поступово підвищуються. Тому досить обґрунтованим можна вважати, що момент переходу температури повітря через 0°C о 13 годині збігається з моментом досягнення льодом максимальної товщини і початку танення.

Терміни розтину і очищення моря від льоду в залежності від товщини льоду і часу початку танення льоду можна визначити за допомогою прогностичних зв'язків.

Цей спосіб прогнозу дозволяє обійтися фактичними даними і не вдаватися до використання метеорологічного прогнозу. Такий підхід дає задовільний результат лише в разі, коли метеорологічні умови мало змінюються від року до року і залишаються близькими до середніх умов. Співвідношення між окремими складовими теплового балансу поверхні льоду, від якого в значній мірі залежить інтенсивність танення льоду, змінюється у великих межах.

Приплив тепла на поверхню льоду можна характеризувати сумою позитивних середньодобових температур повітря (сумою градусів - днів тепла). Зіставляючи товщину згряя льоду з сумою позитивних температур повітря з моменту досягнення льодом максимальної товщини до моменту його зникнення, Е. М. Саускан отримала рівняння:

$$\Sigma(+\text{Тал}) = 1,4\Delta\text{H} + c, \quad (3)$$

де $\Sigma (+ \text{Тал})$ - сума позитивних середньодобових температур повітря, необхідна для танення льоду товщиною H , де H в см; c - вільний член, величина якого різна для різних пунктів спостереження.

Автором також отримано рівняння, що зв'язує суму градусів - днів морозу за зиму і суму градусів - днів тепла, необхідну для танення льоду довільної товщини:

$$\Sigma(+T_{ал}) = 0,08\Sigma(-T_{а}). \quad (4)$$

Знаючи суму - градусів днів морозу за зиму, можна знайти суму-градусів днів тепла, необхідну для танення льоду. За прогнозом температури повітря можна потім встановити дату очищення моря.

4.2. Середньострокові прогнози появи льоду і очищення моря від льоду для станції Маріуполь.

Андрєєвим М.Д. були розроблені методи середньострокового прогнозу (із завчасністю до 10-15 діб) появи льоду і очищення моря від льоду для деяких портів неарктичних морів [26].

Основна концепція методу середньострокового прогнозу появи льоду полягає в наступному. За прогнозом на 7 діб можна визначити дату переходу температури повітря через 0°C для відповідного порту.

Далі передбачається, що температура води в день переходу температури повітря через 0°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 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°C , і по самій цій даті були побудовані залежності для прогнозу дати першої появи льоду в порту Маріуполь:

$$\text{Дп.п.} = 0,66 T_{а}^{20} + 0,93\text{ДТ}_{а}^0 + 40, \quad (5)$$

де Дп.п. - дата першої появи льоду; $\text{ДТ}_{а}^0$ - дата переходу температури повітря через 0°C в відліках від 1 вересня; $T_{а}^{20}$ - середня температура повітря за попередні 20 діб до переходу температури повітря через 0°C .

Де R складає 0,81 (коефіцієнт кореляції); $\delta = 8\sigma$ (допустима похибка, що дорівнює $0,8\sigma$, де σ середнє відхилення);

Руйнування крижаного покриву і подальше очищення моря від льоду визначається:

- станом крижаного покриву до початку руйнування (товщина, структура, солоність, забрудненість, наявність снігового покриву на кризі);
- тепловим балансом моря;
- динамікою вод моря (течії, згінно-нагінні 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.

Оскільки основний процес танення відбувається в денні години, як предиктором була обрана дата стійкого переходу температури повітря через 0°C до позитивних значенням в термін 12 годин за Гринвічем, яка визначається за 7-добовим прогнозом:

$$D_0 = 1,06N_{\max} + 0,03DT_a^0 + 164, \quad (6)$$

де D_0 - дата очищення моря від льоду; DT_a^0 - дата переходу температури повітря через 0°C в 12 годин за Гринвічем в відліках від першого вересня; N_{\max} - максимальна товщина льоду, см.

Тут: R складає 0,98 (коефіцієнт кореляції); δ дорівнює 0,98 (допустима похибка, що дорівнює $0,8\sigma$, де σ середнє квадратичне відхилення)[18].

4.3.Перевірка методу середньострокового прогнозу дат появи і дат очищення моря від льоду для станції Маріуполь. Аналіз результатів.

Було вирішено перевірити рівняння для середньострокових прогнозів осінніх та весняних льодових явищ на станції Маріуполь за періоди 24 (1985-2016 рр. – деякі роки були пропущені через відсутність даних за температурою повітря) та 21 рік (1995-2016 рр.), відповідно, були задіяні данні з таблиць ТГМ-1 для станції Маріуполь, що представлені в табл. 4.1 та 4.2..Для дат очищення крім даних за температурою повітря додали максимальну товщину льоду з таблиць ТГМ-2.

Таблиця 4.1. Вихідні дані для прогнозу дати очищення від льоду на станції Маріуполь

Сезон	Дата першої появи льоду фактична	Дата першої появи льоду фактична (відлік в днях від 1 вересня)	Дата переходу температури повітря через 0°C (ДТ _{а0})	Дата переходу температури повітря через 0°C ДТ _{а0} (відлік в днях від 1 вересня)	Середня температура повітря за попередні 20 діб до ДТ _{а0} (Т _а ²⁰)	Різниця між ДТ _{а0} та Датою появи льоду у днях
1985-1986	25.11.	86	17.11	78	5,43	8
1986-1987	29.11.	90	23.11	84	1,87	6
1987-1988	08.12.	99	04.12	95	2,78	4
1996-1997	25.12.	116	21.12	112	2,53	4
1997-1998	18.12.	109	07.12	98	2,32	11
1998-1999	29.11.	90	19.11	80	6,62	10
1999-2000	26.11.	87	17.11	78	3,56	9
2000-2001	23.12.	114	20.12	111	1,26	3
2001-2002	06.12.	97	02.12	93	2,70	4
2002-2003	03.12.	94	30.11	91	5,61	3
2003-2004	15.02.	137	13.02	135	0,71	2
2004-2005	16.12.	107	14.12	105	0,82	2
2005-2006	25.12.	116	20.12	111	2,51	5
2006-2007	24.02.	146	22.02	144	0,54	2
2007-2008	18.12.	109	15.12	106	1,30	3
2008-2009	19.12.	110	11.12	102	4,31	8
2009-2010	18.12.	109	13.12	104	4,19	5
2010-2011	13.01.	135	05.01	127	1,96	8
2011-2012	22.01.	144	17.01	139	1,10	5
2012-2013	17.12.	108	12.12	103	4,16	5
2013-2014	12.12.	103	08.12	99	2,59	4
2014-2015	30.11.	91	22.11	83	3,59	8
2015-2016	12.01.	134	29.12	120	2,48	14
2016-2017	22.11.	83	21.11	82	4,56	1

Таблиця 4.2 Вихідні дані для прогнозу дати очищення від льоду на станції Маріуполь

Сезон	Дата очищення фактична календарна	Дата очищення фактична у відліку від 1 вересня	Дата переходу через 0°C календарна	Дата переходу через 0°C у відліку від 1 вересня	Максимальна товщина льоду (см)
1995-1996	28.03.1996	209	13.03.	195	40
1996-1997	06.03.1997	187	27.02.	180	38
1997-1998	27.03.1998	208	20.03.	201	29
1998-1999	04.02.1999	157	25.01.	147	18
1999-2000	03.03.2000	185	08.02.	161	30
2000-2001	07.03.2001	188	27.02.	180	12
2001-2002	01.02.2002	154	22.01.	144	37
2002-2003	25.03.2003	206	04.03.	185	49
2003-2004	04.03.2004	186	25.02.	179	5
2004-2005	14.03.2005	195	12.03.	194	23
2005-2006	25.03.2006	206	11.03.	193	45
2006-2007	08.03.2007	189	28.02.	181	5
2007-2008	26.02.2008	179	20.02.	173	34
2008-2009	15.02.2009	168	05.02.	158	27
2009-2010	01.03.2010	182	19.02.	172	31
2010-2011	18.03.2011	198	12.03.	193	20
2011-2012	11.04.2012	224	12.03.	194	68
2012-2013	19.02.2013	172	31.01.	153	30
2013-2014	08.03.2014	189	01.03.	182	22
2014-2015	27.02.2015	180	19.02.	172	10
2015-2016	03.02.2016	156	28.01.	150	21

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

Таблиця 4.3. Статистичні характеристики мінливості льодового режиму для дат першої появи льоду на станції Маріуполь за досліджуваний період 1985-1988 та 1996-2016 роки і за нормою

Характеристики	Середнє значення	Мінімальне значення (для дат-найраніша)	Максимальне значення (для дат-найпізніша)	Стандартне відхилення
Дата появи льоду	18.12. 16.12.	22.11.2016 08.11.	24.01.2007 05.02.	18,71
Дата переходу через 0°C	12.12.	17.11.1986	22.01.2007	19,13
Середнє значення температури повітря за 20 днів до дати переходу через 0°C (T_{20})	2,9	0,54 (2006-2007)	6,62 (1998-1999)	1,65
Різниця у днях між датою переходу через 0°C та датою появи льоду	6	1 (2016-2017)	14 (2015-2016)	3,27

Примітка: червоним вказані характеристики дати появи льоду за багаторічний період 1978-2008рр., у дужках - сезон в якому спостерігалися ці дані.

З таблиці 4.3. видно, що середня дата появи льоду на станції Маріуполь за розрахунковий період настає на два дні пізніше середньої дати за період 1978-2008 рр.. У той час як рання дата появи льоду спостерігалася пізніше на 13 днів, а сама пізня дата спостерігалася раніше на 12 днів.

Таблиця 4.4. Статистичні характеристики мінливості льодового режиму для дат повного очищення моря від льоду на станції Маріуполь за досліджуваний період 1995-2016 рр. і за нормою 1978-2008 рр.

Характеристики	Середнє значення	Мінімальне значення (для дат-найраніша)	Максимальне значення (для дат-найпізніша)	Стандартне відхилення
Дата очищення моря від льоду	6.03. 14.03.	01.02.2002 01.03.	11.04.2012 24.04.	18,55
Дата переходу через 0°C	23.02.	22.01.2002	20.03.1998	17,39
N_{\max}	28	5 (2004)	68 (2012)	15,46
Різниця у днях між датою очищення від льоду та датою переходу через 0°C	11	1 (2005)	30 (2012)	7,03

Примітка: червоним вказані характеристики дати очищення за багаторічний період - 1978-2008 рр. в дужках - сезон в якому спостерігалися ці дані.

З таблиці 4.4. видно, що середні дати очищення моря від льоду з останні 20 років змістилися на 8 днів раніше за норму. Сама рання дата очищення спостерігалася на місяць раніше. Пізня дата очищення спостерігається на 13 днів раніше норми. Середня різниця у днях між датою очищення та датою переходу через 0°C складає 11 днів.

Для Маріуполя середня тривалість льодового періоду за розрахунковий період складає 78 днів, а за нормою за період 1978-2008 рр. дорівнює 89 днів, тобто різниця становить 11 днів.

Через зміни тривалості льодового періоду закономірно виникає питання, чи можна користуватися методами 80-90 років минулого століття в сучасний період. Що і буде далі розглянуто про в даній роботі.

Розглянемо рівняння (5) для середньострокового прогнозу дати першої появи льоду на станції Маріуполь.

Згідно з [27] для середньострокового прогнозу завчасністю 10-13 днів допустима похибка складає 4-6 днів. При перевірці рівняння помилка в розрахунках складала від 19 до 36 днів, тобто забезпеченість дорівнює 0%. Тому було вирішено розрахувати рівняння множинної регресії для ряду даних довжиною 24 роки (1985-1988 рр., 1996-2017 рр.) за даними таблиць ТГМ-1 деякі роки були пропущені через відсутність даних по температурі повітря.

Забезпеченість розрахунків інерційним методом складає 25%, а кліматичним дорівнює 29%. Тому за вихідними даними рівняння було перераховано, і має вигляд:

$$D_{п.п.} = 0,65 T_a^{20} + 1DT_{a0} + 4,1, \quad (7)$$

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

Так як рівняння (7) від рівняння (5) істотно відрізняються тільки у вільному члені, то можна припустити, що у першому рівнянні була друкарська похибка.

Підставивши у рівняння (5) 4 замість 40 отримали :

$$D_{п.п.} = 0,66 T_a^{20} + 0,93DT_{a0} + 4,0. \quad (8)$$

За цим рівнянням результат більш близький до дійсності, проте в майже у всіх випадках похибка перевищує допустиму.

Забезпеченість старого виправленого рівняння дорівнює 8% або 29% при допустимій похибці 4 або 5 днів.

Забезпеченість нового розрахункового рівняння при допустимій похибці 4 та 5 днів дорівнює 83 та 92% відповідно. Множинний коефіцієнт кореляції дорівнює 0,98 і є значимим на рівні 0,01.

Фактичні, розрахункові дати першої появи льоду у відліку від 1 вересня та похибки між ними представлені в табл. 4.5..

На рис. 4.1 представлені похибки за новим та старим рівняннями, які показують чи входять вони в інтервал максимально допустимої похибки.

Таблиця 4.5. Дати появи льоду (розрахункові і фактичні) для станції Маріуполь

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 виправлене)	Похибка по старому виправленому рівнянню
1985-1986	86	86	0	80	6
1986-1987	90	89	1	83	7
1987-1988	99	101	-2	94	5
1996-1997	116	118	-2	110	6
1997-1998	109	104	5	97	12
1998-1999	90	88	2	83	7
1999-2000	87	84	3	79	8
2000-2001	114	116	-2	108	6
2001-2002	97	99	-2	92	5
2002-2003	94	99	-5	92	2
2003-2004	137	140	-3	130	7
2004-2005	107	110	-3	102	5
2005-2006	116	117	-1	109	7
2006-2007	146	148	-2	138	8
2007-2008	109	111	-2	103	6
2008-2009	110	109	1	102	8
2009-2010	109	111	-2	103	6
2010-2011	135	132	3	123	12
2011-2012	144	144	0	134	10
2012-2013	108	110	-2	103	5
2013-2014	103	105	-2	98	5
2014-2015	91	89	2	84	7
2015-2016	134	126	8	117	17
2016-2017	83	89	-6	83	0

Примітка: знак мінус перед похибкою означає, що за прогнозом дати першої появи льоду настає пізніше фактичної дати.

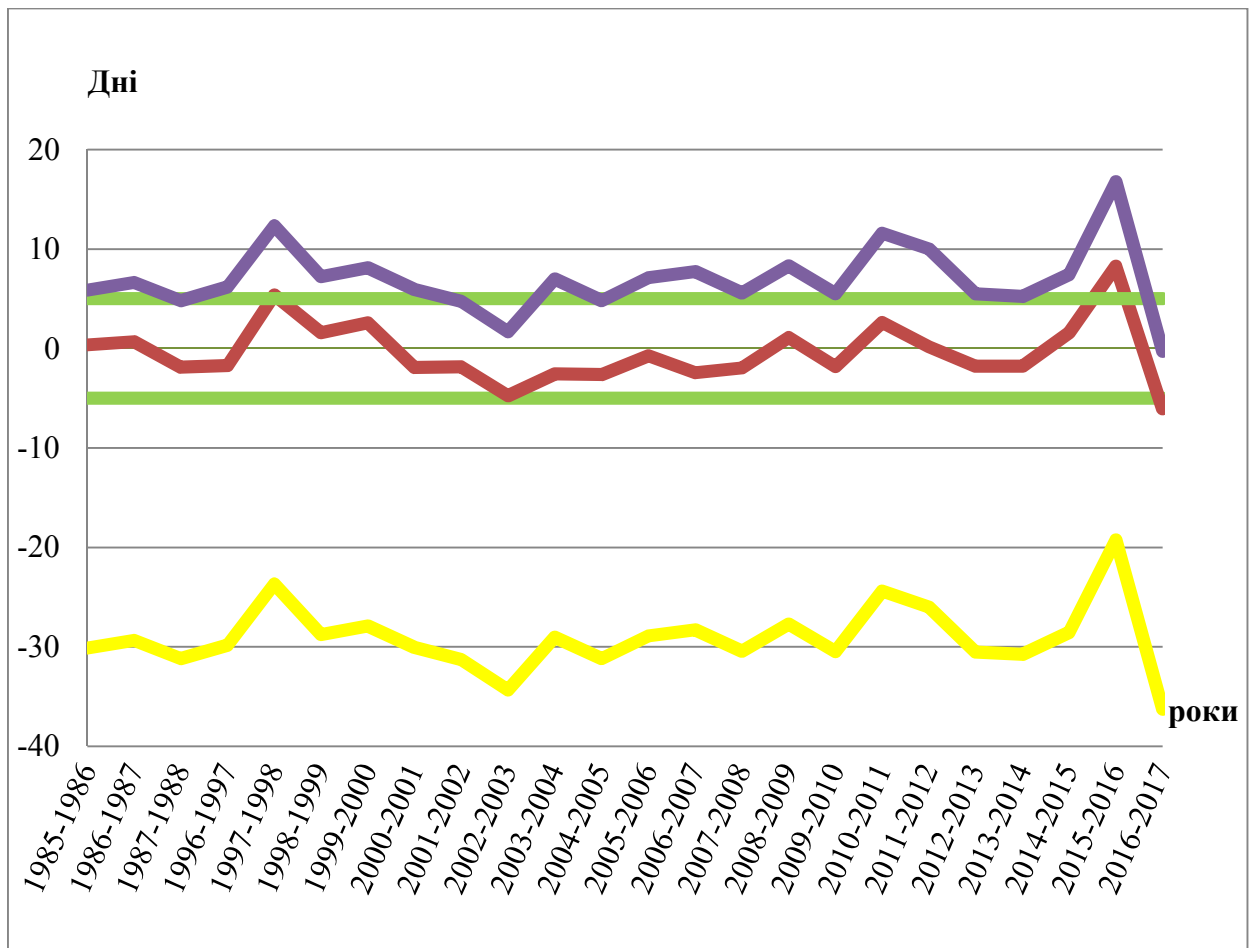


Рис.4.1. Розподіл по роках похибок прогнозу дати першої появи льоду за старим (жовта лінія), виправленим (синя лінія) та новим (червона лінія) рівняннями відносно допустимої похибки 5 днів (зелена лінія) на станції Маріуполь

З рис.4.1 дуже добре видно, що похибки за новим рівнянням входять в інтервал допустимих похибок і набагато менші за похибки по виправленому та старому рівнянням, проте дуже чітко простежуються зв'язок між ними.

Слід зауважити, що крім забезпеченості методу повинна визначатися і друга важлива для оцінки методу величина звана ефективністю методу. Ця величина показує вигравш, який дає розглянутий метод прогнозу в порівнянні з інерційною (25%) або кліматичною (29%). забезпеченістю для дат появи льоду.

У наводиться відношення $S\sigma^{-1}$ яке дозволяє визначити одночасно надійність і ефективність методу де S – середня квадратична похибка, а σ – 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 m – число ступенів свободи, яке дорівнює кількості постійних величин в рівнянні регресії, n – кількість членів ряду. В разі функціональної залежності $S\sigma^{-1} = 0$, а при $S\sigma^{-1} = 1$ зв'язок відсутній. Для короткострокових прогнозів при різних значеннях довжини ряду n допустимі помилки є такими:

$$\begin{aligned} S\sigma^{-1} &\leq 0,57, \text{ при } n \leq 15, \\ S\sigma^{-1} &\leq 0,62, \text{ при } 15 \leq n \leq 25; \\ S\sigma^{-1} &\leq 0,67, \text{ при } n \geq 25. \end{aligned} \quad (11) [27]$$

Перевірка критерію S для прогностичного рівняння дати появи льоду на станції Маріуполь (7) показує, що S дорівнює 3, а стандартне відхилення σ дорівнює 18,71. Тому S/σ складає 0,16, що менше 0,62.

Таким чином використання цього рівняння в практиці є доцільним.

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.

Кореляційні залежності для прогнозу очищення акваторії порту Маріуполь згідно [18] представлені рівнянням (6).

Забезпеченість розрахунків за цим рівнянням при допустимій похибці 6 днів складає 29%, що є незадовільною. Забезпеченість розрахунків інерційним методом складає 10%, а кліматичним – 29%. Тому рівняння було переховано і має вигляд:

$$D_{\text{оч}} = 0,279N_{\text{мах}} + 0,924 DT_{a0} + 16,64. \quad (12)$$

де D_0 - дата очищення моря від льоду; DT_a^0 - дата переходу температури повітря через 0°C в 12 годин за Гринвічем в відліках від першого вересня; $N_{\text{мах}}$ - максимальна товщина льоду, см.

Коефіцієнти в новому рівнянні порівняно з старим значно змінились – у старому рівнянні внесок максимальної товщини льоду у три рази більший ніж внесок цього параметру у новому рівнянні. Також дуже змінились коефіцієнт дати переходу температури через 0°C та вільний член. Отже змінився внесок цих параметрів у прогнатичне рівняння.

Для нового рівняння коефіцієнт множинної кореляції R дорівнює 0,95 значимий на рівні 0,01.

Результати розрахунків та похибки між фактичною датою та за новим рівнянням представлені в таблиці 4.6. та на рис.4.2.

Таблиця 4.6. Дати очищення від льоду (розрахункові і фактичні у відліку від 1 вересня) для станції Маріуполь за період 1995-2016 рр.

Сезон	Фактична дата (відлік від 1 вересня)	Розрахунок за старим рівнянням	Похибка за старим рівнянням	Розрахунок за новим рівнянням	Похибка за новим рівнянням
1995-1996	209	212	-3	208	1
1996-1997	187	210	-23	194	-7
1997-1998	208	201	7	210	-2
1998-1999	157	187	-30	157	0
1999-2000	185	185	0	174	11
2000-2001	188	182	6	186	2
2001-2002	154	208	-54	160	-6
2002-2003	206	221	-15	201	5
2003-2004	186	175	11	183	3
2004-2005	195	194	1	202	-7
2005-2006	206	217	-11	208	-2
2006-2007	189	175	14	185	4
2007-2008	179	205	-26	186	-7
2008-2009	168	197	-29	170	-2
2009-2010	182	202	-20	184	-2
2010-2011	198	191	7	201	-3
2011-2012	224	242	-18	215	9
2012-2013	172	200	-28	166	6
2013-2014	189	193	-4	191	-2
2014-2015	180	180	0	178	2
2015-2016	156	191	-35	161	-5

Примітка: знак мінус перед похибкою означає, що за прогнозом дата очищення моря від льоду настає пізніше фактичної дати.

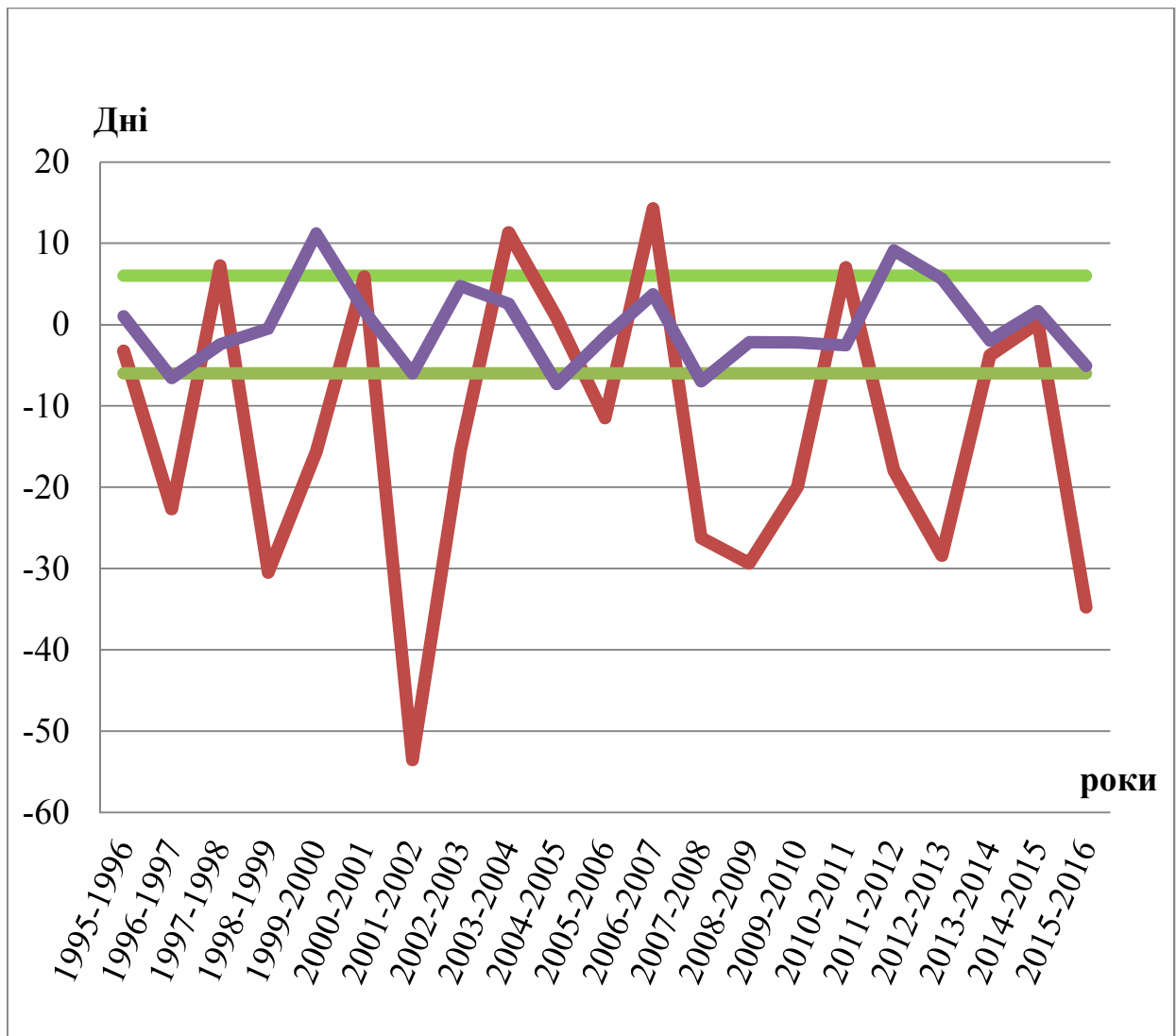


Рис 4.2. Розподіл по роках похибок прогнозу дати очищення моря від льоду за старим (червона лінія) та новими (синя лінія) рівняннями відносно допустимої похибки (зелена лінія) на станції Маріуполь

Похибки по новому рівнянню набагато менші за похибки за старим рівнянням.

При допустимій похибці 6 днів забезпеченість прогнозів за отриманим рівнянням складає 76%.

Перевірка критерію $S\sigma^{-1}$ для прогностичного рівняння (6) дати появи льоду показує, що середнє квадратичне відхилення дорівнює 19, а стандартна похибка дорівнює 6, тому $S\sigma^{-1}$ дорівнює 0,32, що менше 0,62.

Таким чином використання цього рівняння в практиці є доцільним.

В таблиці 4.7. представлено перераховані рівняння для прогнозу дат появи і очищення від льоду на станції Маріуполь і результати розрахунків за рівняннями в порівнянні з кліматичним і інерційними прогнозами.

Таблиця 4.7. Прогностичні рівняння і результати розрахунків льодових фаз на станції Маріуполь

Льодова фаза	Рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції R	Забезпеченість прогнозу. (%)	$S\sigma^{-1}$	Забезпеченість кліматичного (1) і інерційного(2) прогнозів (%)	
					1	2
Дата появи льоду	$D_{\text{пн}} = 0,65T_a^{20} + 1DT_{a0} + 4,1$	0,98**	92	0,16	29	25
Дата очищення від льоду	$D_{\text{оч}} = 0,28H_{\text{max}} + 0,92DT_{a0} + 16,64$	0,95**	76	0,32	33	10

Примітка: ** значущість коефіцієнту кореляції на рівні 0,01.

Отже запропоновані нами прогностичні рівняння мають набагато більшу забезпеченість ніж рівняння, які наведено в [18], або інерційний чи кліматичний прогнози. Результати, які отримано в магістерській роботі опубліковано в [28, 29, 30].

ВИСНОВКИ

1. За літературними джерелами за період 1925-2008 рр. в багаторічній мінливості льодового режиму Азовського моря спостерігається пом'якшення льодових умов в XXI столітті щодо початку і середини XX століття. Аналіз зим за типами по суворості зим за період 1978-2008 рр. в порівнянні з попереднім періодом 1925-1976 рр. показав, що спостерігається значне скорочення повторюваності суворих зим (більш ніж в 4 рази) при збільшенні повторюваності м'яких зим (в 1,5 рази). Повторюваність помірних зим істотно не змінилася. Лід став з'являється пізніше, а повне очищення моря стало спостерігатися раніше. Істотно скоротилася кількість днів з льодом. Ці зміни обумовлені глобальною зміною температури повітря.

2. Порівняння дат появи льоду, дат очищення моря від льоду і тривалості льодового періоду за 2008-2017рр на станції Маріуполь в порівнянні з трьома часовими періодами (1924-2008 рр., 1924-1977 рр., 1978-2008 рр.) показало такі результати. Середні дати появи льоду в порівнянні з середніми датами перших двох періодів майже не змінились, а з третім періодом настають на 3 дні раніше. Середні дати очищення моря від льоду настають на 6, на 9 і на 1 день раніше (для кожного з періодів відповідно). Середня тривалість льодового періоду зменшилась на 12, 16 і 5 днів відповідно.

3. Кореляція між сумами негативних температур між Азовським і Чорним морями за період 1945-2008 рр. дорівнює 0,92. Це свідчить про спільність процесів, що визначають льодові умови на двох морях.

4. Зміни дат осінніх та весняних льодових явищ на Азовському морі визначають необхідність перевірки прогностичних методик, що рекомендовано використовувати в практиці. Розрахунки прогнозів за цими методиками для дат появи і дат очищення від льоду для станції Маріуполь показали, що забезпеченість склала 29%. Забезпеченість розрахунків інерційним методом складає 25% та 10 %, а кліматичним - 29% та 33% відповідно. Ці результати є незадовільними для використання в практиці і потребують перерахунків за матеріалами стандартних спостережень.

5. Рівняння для прогнозу дати появи і дати очищення було перераховано, а результати розрахунків показали, що забезпеченість прогнозу склала 92% і 76% відповідно.

6. За отриманими прогностичними рівняннями також розраховувались показники ефективності методу, які показали, що їх значення відповідають умовам використанням прогностичних рівнянь в практиці.

7. Результати магістерської роботи докладалися на конференціях молодих вчених ОДЕКУ в 2017-2018 рр. , в тому числі і на міжнародній конференції ОДЕКУ в 2018 р.. Результати по прогнозу осінніх та весняних льодових явищ на станції Маріуполь докладались на науковому семінарі в Гідрометцентрі Чорного і Азовського морів. І рекомендовано для апробації в практиці.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидрометеорологический справочник морей СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1937. –Т.3, вып. 1-3.
2. Теодорович А.А. Льды Азовского моря. Тбилиси: Гидрометеоздат, 1944. 60 с.
3. Атлас льдов Черного и Азовского морей. Л.: Гидрометеоздат, 1962. 70 с.
4. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. Л.: Гидрометеоздат, 1962. 853 с.
5. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда на Черном и Азовском морях. ГОИН, 1964. Вып.76.
6. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том 3. Азовское море. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 220 с.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 5. Азовское море. СПб : Гидрометеоздат, 1991. 236 с.
8. Дьяков Н.Н., Фомин В.В., Горбач С.Б. Ледовый режим Азовского моря в суровые зимы. Труды УкрНИГМИ, 2000 . Вып. 248. С. 254-258.
9. Дьяков Н.Н., Иванов В.А. Сезонная и межгодовая изменчивость гидрологических характеристик прибрежной зоны Азовского моря. В сб: Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь: 2002. С. 39-46.
10. Дьяков Н.Н., Горбач С.Б., Тимошенко Т.Ю. Современные тенденции многолетних изменений ледовых условий Азовского моря. УкрНИГМИ: 1999. Вып. 247. С. 244-249.
11. Боровская Р.В. Особенности ледового режима Керченского пролива за последние 15 лет по данным спутниковых наблюдений. В сб. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь: 2006. Вып. 14. С. 253-258.
12. Боровская Р.В., Ломакин П.Д., Панов Д.Б., Спиридонова Е.О. Современное состояние ледовых условий в Азовском море и Керченском проливе на базе спутниковой информации. Севастополь: НАН Украины. МГИ, 2008. 42с.
13. Фомина Т.В. Об аномальных зимах на Азовском море. Сборник работ ГО ЧАМ. 1964. вып. 2. С. 88-92.
14. Фомичева Л.А. Льды в Азовском море. Труды ГОИН. 1986. Вып.186. С. 3-10.
15. Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н., Горбач С.Б. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 1. Азовское море. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 402 с.
16. Кондратьев К.Я. Изменения глобального климата, реальность, предположения и вымыслы. 2002. Вып.1. С. 3-23

17. Свердлик Т.А. Эволюция крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха Северного полушария во второй период современного глобального потепления. Труды УкрНИГМИ. 1999 . Вып. 247. С.63-75
18. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 1994. 521 с.
19. Ахим Бююль, Петер Цефель SPSS: искусство обработки информации. Platinum Edition. Москва, Санкт-Петербург, Киев. 602 с.
20. Крукиер Л.А. Математическое моделирование гидродинамики Азовского моря при реализации проектов реконструкции его экосистемы Математическое моделирование. 1991. Т. 3. С. 3–20.
21. Оперативный модуль ЕСИМО (карты ледообразования на Азовском море) URL: <http://hmc.meteorf.ru/sea/> (дата звернення 18.02.2017)
22. Лекція на тему: Кореляційний аналіз 2006, 8 с. URL: www.kgafk.ru (дата звернення 22.02.2017)
23. Абузяров З.К., Кудрявая К.И., Серяков Е.И., Скриптунова Л.И. Морские прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 320 с.
24. Абузяров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание. М.: Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2009. 287 с.
25. Саускан Е. М. Метод уточнения весенних ледовых прогнозов для южных морей // Труды ЦИП. 1948. Вып. 3 (30). С. 62–73.
26. Андреев М. Д. Среднесрочный прогноз появления льда, очищения моря ото льда и толщины льда. М.: 1990 20 с.
27. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть 3. Служба морских гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 143 с.
28. Чепурна В.Ю. Кліматичні зміни льодових умов в Азовському морі. Матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ від 5 травня 2017 р.
29. Чепурна В.Ю. Мінливість льодового режиму в Азовському морі. Матеріали студентської конференції ОДЕКУ від 7 травня 2018 р.
30. Чепурна В.Ю. Зміни льодового режиму в Азовському морі в останній кліматичний період. Матеріали III міжнародної конференції молодих вчених ОДЕКУ від 22 березня 2018 р.