

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут  
Кафедра метеорології та кліматології

**Магістерська кваліфікаційна робота**

на тему: Дослідження впливу тропічних штормів на погодні умови Європи

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-19  
спеціальності 103 - «Науки про Землю»  
Антонюк Яна Іванівна

---

Керівник к. геогр. н., доцент  
Нажмудінова Олена Миколаївна

Рецензент к. геогр. н., доцент  
Барсукова Олена Анатоліївна

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 «Науки про Землю»

(шифр і назва)

Освітня програма Метеорологія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри Прокоф'єв О.М.

“26” жовтня 2020 року

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

Антонюк Яні Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи Дослідження впливу тропічних штормів

на погодні умови Європи

керівник роботи Нажмудінова Олена Миколаївна к. геогр. н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти 124-С від 16.10.2020 р.

2. Строк подання студентом роботи 07 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи знімки метеорологічних штучних супутників Землі (МШСЗ); результати наземних метеорологічних спостережень; дані температурно-вітрового зондування; карти, таблиці і зведення про штормові явища погоди та СМЯ; карти місячної температури поверхні води та її аномалії; карти аномалії геопотенціалу Н500; карти середньомісячної аномалії тиску на рівні моря.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Синтез, аналіз та систематизація наукової літератури за напрямком дослідження. 2) Складання вибірки вихідної інформації з випадків середземноморських тропічних циклонів та тропічних циклонів північної Атлантики в останньому п'ятиріччі. 3) Визначення особливостей циркуляційних умов формування циклонів тропічного походження над атлантико-європейським сектором. 4) Аналіз полів хмарності тропічних циклонів за даними МШСЗ. 5) Дослідження аномалій температури води Атлантики та Середземного моря.

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

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

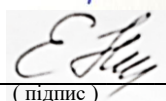
№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Огляд сучасних публікацій за темою дослідження. Робота з Internet ресурсами.</i>	26-30.10 2020 р.	100	відмінно
2.	<i>Вибір вихідної інформації з випадків циклонів тропічного походження над атлантико-європейським сектором.</i>	31.10- 05.11 2020 р.	100	відмінно
3.	<i>Дослідження синоптичних умов виникнення тропічних штормів. Аналіз супутникових знімків хмарності.</i>	06-12.11 2020 р.	100	відмінно
4.	<i>Дослідження температурного режиму Атлантики та Середземного моря у період формування тропічних штормів над атлантико-європейським сектором.</i>	13-16.11 2020 р.	90	відмінно
5.	<i>Рубіжна атестація</i>	17.11.2020		
6.	<i>Складання висновків. Прикінцева правка тексту.</i>	18.11- 02.12 2020 р.	85	добре
7.	<i>Перевірка на плагіат, підписання авторського договору.</i>	03-10.12.2020		
8.	<i>Підготовка доповіді і презентації до захисту. Попередній захист магістерської роботи.</i>	грудень 2020		
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>95</b>	<b>відмінно</b>

Студент


  
(підпис)

Антонюк Я.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


  
(підпис)

Назмудінова О.М.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Тема магістерської кваліфікаційної роботи** «Дослідження впливу тропічних штормів на погодні умови Європи»

**Автор:** Антонюк Яна Іванівна.

**Актуальність теми** визначається тим, внаслідок змін глобального клімату в останні роки зросла кількість циклонів тропічного походження (гібридних бур, східних ураганів), які зміщуються до європейського сектору, або безпосередньо виникають над Середземним морем (медикани) і зумовлюють комплекс стихійних метеорологічних явищ.

**Мета роботи:** дослідження особливостей формування циклонів тропічного походження, які впливають на погодні умови європейського регіону.

Відповідно до поставленої мети, розв'язано наступні **задачі**:

- визначено циркуляційні умови при виході атлантичних тропічних циклонів до європейського сектору;
- встановлено особливості утворення середземноморських тропічних циклонів – медиканів;
- досліджено особливості хмарних систем тропічних циклонів;
- проаналізовано аномалії температури поверхні води Атлантики та Середземного моря при виникненні тропічних штормів.

**Об'єкт дослідження:** тропічні циклони.

**Предмет дослідження:** еволюція тропічних циклонів.

**Методи дослідження:** синоптико-кліматичний аналіз, просторово-часове узагальнення даних.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Визначено умови формування циклонів тропічного походження в останні роки. Досліджено аномалії загальної циркуляції атмосфери в умовах змін клімату.

**Практичне значення отриманих результатів.** Характеристики повторюваності та особливості формування тропічних штормів над атлантико-європейським сектором можуть бути використані при складанні прогнозів сурової погоди та небезпечних і стихійних явищ.

Магістерська кваліфікаційна робота в об'ємі 63 сторінок складається з 5 розділів, висновків, переліку посилань з 47-ми джерел, одного додатку, містить 33 рисунки в основному тексті.

**Ключові слова:** тропічний циклон, тропічний шторм, ураган, медикани, температура поверхні води, хмарність, вітер.

## SUMMARY

**Theme** of master's qualification works «Study of the impact of tropical storms on European weather conditions».

**Author:** Yana Antoniuk.

The relevance of the study of the topic is determined by the fact that due to changes in the global climate in recent years, the number of cyclones of tropical origin (hybrid storm, eastern hurricanes) that are shifting to the European sector, or directly arise over the Mediterranean Sea (medicanes) and cause a set of dangerous meteorological phenomena.

**Objective:** study of the peculiarities of tropical cyclone formation, which affect the weather conditions of the European region.

According to the stated goal, the **following tasks** were accomplished:

- determined circulation conditions when moving Atlantic tropical cyclones to the European sector;
- established features of the formation of Mediterranean tropical cyclones - medicanes;
- study features of cloud systems of tropical cyclones;
- anomalies of the surface temperature of the Atlantic and Mediterranean Sea in the event of tropical storms were analyzed.

**Object of study:** tropical cyclones.

**Subject of research:** evolution of tropical cyclones.

**Research methods:** synoptic-climatic analysis, space-time generalization of data.

**The scientific novelty of the obtained results.** The conditions for the formation of cyclones of tropical origin in recent years have been determined. Anomalies of general atmospheric circulation in climate change have been investigated.

**Practical significance of the obtained results.** The recurrence and characteristics of tropical storms over the Atlantic-European sector can be used in the preparation of forecasts of severe weather and dangerous weather phenomena.

Master's qualification work in volume 63 pages consists of 5 sections, conclusions, list of references from 47 sources, one annexes, contains 33 figures in the main text.

**Keywords:** tropical cyclone, tropical storm, hurricane, medicanes, water surface temperature, cloudiness, wind.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Загальні характеристики тропічного циклогенезу.....	8
2 Атлантичні урагани.....	11
2.1 Основні відомості.....	11
2.2 Ефекти тропічних циклонів у Європі.....	13
3 Середземноморські тропічні циклони.....	16
3.1 Визначення та класифікації .....	16
3.2 Умови формування.....	21
4 Дослідження тропічних циклонів Атлантики 2017-2019 рр.....	25
4.1 Особливості формування урагану Orphelia у жовтні 2017 р.....	25
4.2 Характеристики ураганів 2018-2019 рр.....	28
4.3 Аномалії термічного режиму Атлантики.....	39
5 Аналіз процесів утворення середземноморських тропічних циклонів.	45
Висновки.....	58
Перелік посилань.....	60
Додаток А. Довідка .....	63

## ВСТУП

У роботі досліджуються циклони тропічного походження, які впливають на погодні умови Європи.

Дослідження проведено за двома напрямками – це ситуації при переміщенні тропічних циклонів з низьких широт Атлантичного океану у позатропічні широти, так званих, «східних ураганів», а також, середземноморських циклонів тропічного типу – медикан (Mediterranean tropical-like hurricanes).

Актуальність тематики визначається тим, що тропічні циклони зумовлюють комплекс стихійних явищ погоди, що створюють загрозу для життя і функціонування об'єктів різних галузей. Це ураганні вітри, сильні шторми на акваторіях морів, сильні опади, і, як наслідок, сильні повені, штормові нагони, затоплення прибережних територій, зсуви.

У сучасних дослідженнях виділяється зростання повторюваності виходу тропічних циклонів до Європи. Однією з причин є глобальне потепління, особливо, підвищення температури поверхні Атлантичного океану, яке значно збільшить загрозу ураганних вітрів для західної Європи від залишків тропічних циклонів і гібридних штормів. На той час, коли вони досягають узбережжя континенту, їх, зазвичай, вже не класифікують як урагани, а визначають, здебільшого, як позатропічні шторми, які іноді можуть бути досить сильними і руйнівними.

Більшість штормів, що зумовили складні погодні умови в Європі, зареєстровані з серпня по жовтень, що є кліматологічним піком сезону атлантичних ураганів. Переважно такі циклони формуються над субтропіками Атлантики при поступовому зміщенні до західного узбережжя Європи за складними, часто «петлеподібними» траєкторіями.

З розвитком дистанційних методів вивчення загальної циркуляції атмосфери та океану виявилось, що циклони, подібні тропічним, утворюються, час від часу, і поза тропіками, зокрема над Середземним морем. Цей клас штормів має риси як позатропічних циклонів, так і тропічних. Вони розвиваються тільки над водною поверхнею при температурі поверхневого шару води (ТШВ) близько +15...+26 °С. Іноді такі циклони визначають, як гібридні урагани, або квазітропічні циклони, або вихори, що мають характеристики подібні до субтропічних циклонів Атлантики. Такі сильні шторми з'являються в Середземномор'ї один або два

рази в рік, зазвичай у вересні – жовтні. Західна частина Середземномор'я, між Іспанією і Сардинією, є однією з двох областей найвищої повторюваності утворення медикан. Інша область - в Іонічному морі, на захід від Греції.

Хоча очікується, що медикани залишаться відносно рідким явищем, підвищення температури поверхні моря внаслідок змін регіонального і глобального клімату, може в остаточному підсумку перетворити їх у повномасштабні урагани.

Магістерська робота складається з 5 розділів.

У 1 розділі наведено коротку інформацію щодо умов та причин формування, будови та класифікації тропічних циклонів у загальному по земній кулі. Розділ 2 містить дані про особливості циклонів тропічного походження у Північній Атлантиці та їх можливий вплив на погодні умови європейського регіону.

У третьому розділі розкрито відомості про середземноморські тропічні циклони - «медикани» - *medicane* (*medicanes*). Систематизовано інформацію за сучасними науковими публікаціями щодо цих баричних систем.

Практична частина роботи викладена у 4-5 розділах. Відповідно розділ 4 присвячений дослідженню ураганів Атлантики в останні роки, а розділ 5 – середземноморських гібридних бур – медиканів. Визначені характеристики тропічних циклонів; особливості хмарних систем; проаналізовані циркуляційні умови, що зумовили траєкторію руху вихорів до Європи.

Напрямок дослідження належить до бюджетної кафедральної тематики «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною», № 0120U100487 (додаток А).



## 1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОПІЧНОГО ЦИКЛОГЕНЕЗУ

Тропічний циклон (ТЦ) - це загальне позначення для нефронтальних систем низького тиску синоптичного масштабу над тропічною або субтропічною зоною океану з організованою конвекцією і чіткою циклонічною циркуляцією біля поверхні (Holland, 1993). Тропічний циклон, визначений ВМО як «циклон тропічного походження малого діаметра» (кілька сотень кілометрів) з мінімальним тиском у центрі (іноді  $< 900$  гПа).

Щорічно на Землі розвивається в середньому 70 тропічних циклонів. ТЦ виникають в тропічних частинах усіх океанів за виключенням південно-східної частини Тихого океану і півдня Атлантики, часто на півночі тропіків Тихого океану. Тайфуни західної частини Тихого океану утворюють найбільш потужний осередок ТЦ у порівнянні з іншими регіонами - більш 30% вихорів. У цілому, ТЦ найчастіше формуються в тропічній зоні між 4 і 30° широти, а найбільш часто - між 10 і 15° [20-24, 31-34, 36, 45, 47].

Не зважаючи на те, що усі ТЦ зароджуються у низьких широтах, закінчувати своє існування вони можуть по-різному. В деяких випадках ТЦ перетинають архіпелаги, виходять на сушу або потрапляють у райони з більш низькою температурою поверхні води, що приводить до їх ослаблення і подальшого руйнування. Деякі вихори проходять точку повороту і, рухаючись на північний схід, регенерують на полярному фронті чи взаємодіють із позатропічними циклонами. Іноді розвиток ТЦ в Атлантичному океані і на заході Тихого океану відбувається серіями, що призводить до взаємодії вихорів між собою.

Горизонтальні розміри тропічних циклонів за радіусом останньої замкнутої ізобари залежать від географічного району. Тихоокеанські тайфуни мають найбільший діаметр ~600-800 км, урагани Атлантики - 400 км. Тропічні циклони – це масштабні вихори, які простираються по вертикалі до 15-18 км. У центральних областях ТЦ градієнт тиску може складати 60 гПа на 100 км, а іноді до 20 гПа на 20 км.

У структурі ТЦ виділяють 3 концентричні частини (рис.1.1):

- 1) зовнішня частина з внутрішнім радіусом 30-50 км, де швидкість вітрів рівномірно збільшується при наближенні до центру циклону;
- 2) середня частина – «стіна ока», характеризується найбільшими швидкостями вітру;
- 3) центральна частина діаметром 30-60 км - «око бурі»

«Око бурі» – це найбільш внутрішня, звичайно вільна від хмар зона ТЦ всередині і поблизу зони максимальних вітрів, з обмежувальною «стіною» хмарності. Тиск в цій області мінімальний, вітри слабкі, напрямок мінливий. Око утворюється в ТЦ не завжди, лише коли тиск у центрі на рівні моря падає нижче 985 гПа і максимальна швидкість вітру перевищує  $23\text{--}25\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

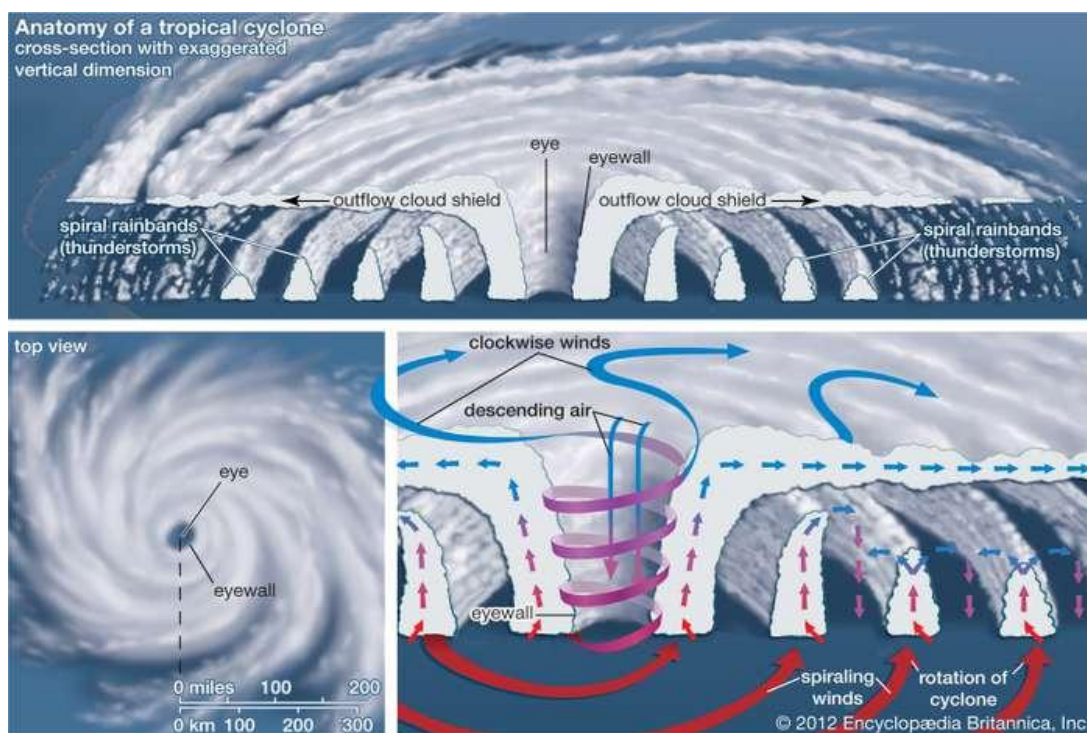


Рис. 1.1. Структура тропічного циклону [41]

Іншою характерною структурною рисою ТЦ є спіральні смуги купчасто-дощових (Cb) хмар і дощу, що рухаються проти годинникової стрілки (у Північній півкулі) навколо центра ТЦ. Хмарність тропічних циклонів на ТВ і ІЧ знімках зображується у вигляді великої яскраво-білої плями з короткими спіралеподібними відгалуженням, що відходять від нього, або у виді коми. У південній півкулі система має дзеркально-зворотну форму, тобто вид переверненої коми. Характерна поява на периферії циклона щільних спіралеподібних смуг хмарності, що конвергують до центру по циклонічних лініях току. Віддаляючись від циклону, смуги звужуються – в результаті в тилевій частині ТЦ формуються одна або дві конвективні хвостові смуги. Тропічні шторми найчастіше мають 2 хвостові хмарні смуги: одна з них розташовується в південно-західній частині тропічного циклона, а друга - у північно-східній.

ТЦ супроводжуються сильними дощами, повеннями, у відкритому морі - утворенням хвиль висотою  $\geq 10$  м, штормовими нагонами, дуже сильними вітрами, зливами; іноді грозами (добові суми опадів до 100-200 мм, іноді більше 300 мм; вітри  $\geq 70$  м·с<sup>-1</sup>). Радіус сильних вітрів  $\geq 300$  км, максимум швидкості вітру спостерігається на висоті близько 1 км.

Середня тривалість урагану - близько 9 днів, максимальна - 4 тижні.

Основне джерело, що підтримує існування ТЦ - виділення прихованої теплоти конденсації вологи, максимальної над тропічними частинами океанів. В зоні виникнення ТЦ температура поверхневих вод океанів коливається між 26° і 27°. Висока температура води у північній півкулі встановлюється влітку і восени, тому тропічні циклони утворюються тут переважно в другій половині літа і восени. Навесні й у першій половині літа вони виникають рідко, а в січні-квітні їх зовсім не буває, а серпень, вересень і жовтень є місяцями найвищої повторюваності ТЦ.

Швидкість руху тропічних циклонів значно менша швидкості переміщення позатропічних циклонів, і рідко перевищує 15-20 км·год<sup>-1</sup>. Має місце тенденція до переміщення ТЦ в області з більш теплою поверхнею води. ТЦ звичайно зміщуються з більш низьких у більш високі широти.

Виділяють стадії розвитку тропічних циклонів: тропічна депресія (TD); тропічний шторм (TS) 34-47 м·с<sup>-1</sup>; сильний (жорстокий) тропічний шторм (STS) 48-63 м·с<sup>-1</sup>; ураган, тайфун Hr (Ty, T)  $\geq 64$  м·с<sup>-1</sup>.

Для опису сили тропічних циклонів застосовують шкали, які відрізняються між собою за силою максимального вітру прийнятого в розрахунках і за океанічними басейнами, де зароджуються циклони. Тропічні циклони, що утворюються на півночі Атлантичного або на сході Тихого океанів, класифікуються за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона.

ТЦ присвоюють власні імена, така система допомагає швидше запам'ятати і розпізнати погодні небезпеку: короткі імена замість координат використовуються ЗМІ і службами оповіщення. При цьому імена отримують шторми зі стабільною швидкістю вітру  $\geq 62$  км·год<sup>-1</sup>. У 1953 році з'явилася міжнародна система назв для ураганів і штормів, підготовлена ВМО за підтримкою Національного ураганного центру США. У кожного регіону - свої імена, всі вони опубліковані на сайті ВМО [20-24, 31-34, 36, 45, 47].

## 2 АТЛАНТИЧНІ УРАГАНИ

### 2.1 Основні відомості

Атлантичний сезон ураганів (Atlantic Hurricane Season) - умовна назва щорічного періоду формування найбільш інтенсивних ураганів у середній частині північної половини Атлантичного океану. Тропічні циклони, що утворюються в цій зоні, називаються, у залежності від інтенсивності, ураганами, тропічними штормами або тропічними депресіями.

В Атлантичному океані ТЦ виникають тільки в північній півкулі. Більшість північноатлантичних тропічних штормів і ураганів формуються в період з 1 червня до 30 листопада. Національний центр ураганів США [45] здійснює моніторинг басейну і надає звіти, години і попередження про тропічні погодні системи для Північноатлантичного басейну в якості одного з регіональних спеціалізованих метеорологічних центрів для тропічних циклонів, як визначено ВМО [44].

В середньому, в басейні Північної Атлантики 11 штормів реєструються кожного сезону, в середньому 6 стають ураганами, а 2 стають ураганами категорії 3 або більше.

У річному розподілі існують значні розбіжності повторюваності ТЦ. Так, в Атлантичному океані сезон 2017 р. був одним з найактивніших за останнє десятиліття. І не тільки за кількістю тропічних циклонів, яких утворилося 17 (норма 10,8). З 17 ТЦ 10 стали ураганами, що майже вдвічі перевищує норму; з 10 ураганів 6 розвинулись до небезпеки 3-5 категорій за шкалою Саффіра-Сімпсона, що також вдвічі більше звичайної кількості. Активному циклогенезу сприяла нейтральна фаза ЕНІС (Ель-Ніно - Південна осциляція) і аномально висока температура поверхні води в тропічній Атлантиці [1, 35].

Пік тропічної активності в регіоні досягає максимуму наприкінці літа, коли різниця між температурами у верхніх шарах атмосфери і морських температур прогрітої поверхні води є максимальною. Кліматологічний пік активності виділяється близько 10 вересня кожного сезону.

У північній частині Атлантичного океану тропічні циклони виникають:

1) до сходу від Малих Антильських островів і в Карибському морі, на схід  $70^{\circ}$  зах.д.;

- 2) до півночі від Вест-Індії;
- 3) у західній частині Карибського моря;
- 4) у Мексиканській затоці.

Частина циклонів проходить уздовж східного узбережжя США або по середній частині Атлантичного океану до півночі, зрідка досягаючи навіть Європи, Ісландії і Гренландії. Спочатку ураган, як правило, переміщується на захід по екваторіальній периферії субтропічних антициклонів, потім зростає складова руху у бік полюсу. На західній периферії субтропічного антициклону ураган досягає точки повороту, де складова руху до заходу змінюється складовою до сходу [35].

У перших трьох стадіях (тропічна депресія, тропічний шторм, ураган) ТЦ північної півкулі переміщуються, як правило, у західному і північно-західному напрямку по південно-західній периферії субтропічного антициклону. У стадії трансформації тропічного циклона в полярно-фронтний циклон (на широті 20-30°) ТЦ змінюють напрямок руху на північний і потім на північно-східний і східний. У зв'язку з переходом на полярний фронт ТЦ потрапляють у зону південно-західних висотних потоків. Оформлення висотної баричної улоговини до північно-заходу від центра приземного циклона звичайно є вказівкою на можливість повороту циклона до північного сходу. Точка повороту в Атлантичному океані лежить у середньому на широті 28°. Чим ближче до екватора виник циклон, тим південніше буде його точка повороту. У період максимальної повторюваності ТЦ райони їхнього виникнення і точки повороту лежать значно північніше середнього багаторічного положення.

Траєкторії циклонів не завжди мають правильну геометричну форму (пряму, параболу, гіперболу). Дуже часто на фоні правильної траєкторії циклона з'являються «перекручування» (опуклості, увігнутості, петлі, зсув до південно-заходу або південно-сходу) для циклонів північної півкулі. Причиною руху ТЦ за «неправильними» шляхами є нестійкість деформаційного поля, утвореного полярною улоговиною, східною хвилею й областями високого тиску. Задовільним показником зсуву ТЦ по неправильній траєкторії є рух гіперболічної точки деформаційного поля. Вона як би повторює траєкторію переміщення тропічного циклона.

Великий вплив на характер траєкторії руху циклона має неоднорідність підстильної поверхні (наявність островів, рифів), а також неоднорідність температури поверхневого шару води (чергування осередків тепла і холоду).

Використовуючи прогностичні карти баричних полів за кілька послідовних термінів, можна визначити траєкторію руху гіперболічної точки деформаційного баричного поля (поверхні 700 або 500 гПа), а тим самим і траєкторію переміщення тропічного циклона [6].

## 2.2 Ефекти тропічних циклонів у Європі

Урагани утворюються в тропічній зоні Атлантичного океану, але їхній вплив не обмежений цією зоною. Багато ураганів відходять далеко від тропіків і невелике число навіть має вплив на погоду Західної Європи, в основному у вигляді сильного вітру й опадів. Слід зазначити, що на етапі наближення до узбережжя Європи вони вже не є дійсними ураганами, оскільки вони не мають високих швидкостей вітру і низького тиску, типового для ТЦ. Їх вплив на погоду Західної Європи ще необхідно цілком вивчити, оскільки вони складають дуже невеликий компонент загальних погодних умов і відзначаються епізодично - в деяких роках по кілька випадків, а в інших - жодного. Дослідження свідчать [18, 26], що хвостовий кінець класичних ураганів і тропічних штормів біля узбережжя Європи в останні роки реєструється набагато частіше, ніж було відоме раніше.

Інтерес представляють також випадки трансформації ТЦ у полярно-фронтний або його взаємодія з позатропічними збуреннями, що може за кілька годин істотно змінити синоптичну ситуацію в Західній Європі. Підвищення температури поверхні тропічних поверхонь Атлантичного океану простирається на схід по сприятливому тропічному середовищу циклонів, що призводить до більш частих і інтенсивних ураганів, спрямованих у бік Європи. По шляху вони перетворюються у позатропічні депресії і регенерують після злиття з барокліним потоком бароклініки середньої широти. Тропічні циклони здатні взаємодіяти з позатропічними збуреннями, підсилюючи них. У цих процесах виділяються три стадії: тропічна фаза, позатропічна трансформація, повторне поглиблення. Зокрема, при взаємодії тропічного циклона з полярним фронтом відбувається викид великої кількості енергії, при цьому теплі і насичені вологою повітряні маси надходять у теплий сектор полярно-фронтального циклона [5-7].

Європа безпосередньо не піддається впливу тропічних циклонів, однак деякі тропічні циклони, маючи складну траєкторію над Північною

Атлантикою, перетворюються в шторми в середніх широтах під час позатропічного переходу, а потім досягають Європи в якості, так званих, посттропічних циклонів. Наукові підрозділи по моделюванню ризиків від ТЦ починає включати ці типи штормів у свої моделі.

Кліматологічна роль посттропічних циклонів для Європи в сучасний період, і її зміни з глобальним потеплінням багато в чому залишається невивченою. Наприклад, у результаті моделювання єдиної кліматичної моделі отримані попередні дані про те, що в наступному сторіччі на Європу вплине більше посттропічних циклонів через більш теплу поверхню моря в північно-східній Атлантиці [9, 17].

На рис. 2.1 (а) проілюстровані сліди всіх атлантичних ураганів, що утворилися між 1851 і 2012 рр. та сліди ТЦ, які вийшли до Європи в період з 1851 по 2014 рр. (рис.2.1 (б)).

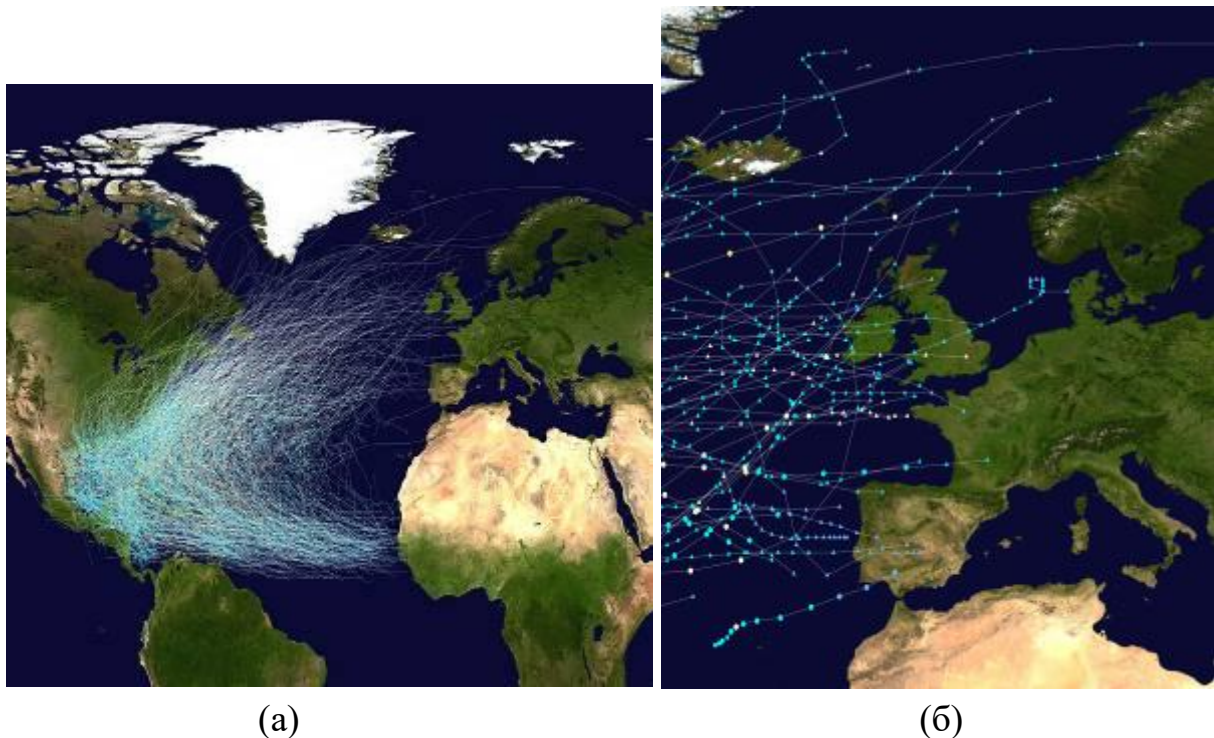


Рис. 2.1. Траєкторії атлантичних тропічних циклонів [44]

Несприятливі наслідки, викликані проходженням ТЦ, ставлять на перший план необхідність своєчасного і деталізованого прогнозу траєкторій ТЦ, що дозволило б проводити точкову, а не повсюдну евакуацію населення підготовку об'єктів інфраструктури, більш вигідну, з економічної точки зору. Важливе значення здобуває повернення (на новому рівні, з використанням сучасних мезомасштабних чисельних моделей атмосфери) до моделювання взаємодії ТЦ з іншими синоптичними об'єктами і підстильною поверхнею,

оскільки така взаємодія може істотно змінити траєкторію й інтенсивність тропічного циклона. Зведення про детальну структуру вихору і її трансформацію в процесі розвитку корисні з погляду прогнозу збитків, що наносять ТЦ при проходженні над населеними пунктами, оскільки інтенсивність ТЦ неоднакова в різних його частинах і в різний час доби [7].

Становлять інтерес спроби сезонного прогнозу частоти випадків позатропічної трансформації тропічних циклонів. Для цих досліджень корисною є супутникова інформація в різних діапазонах частот, зокрема в діапазонах водяної пари [5-7].

Через збільшення зареєстрованої кількості атлантичних тропічних циклонів та їх інтенсивності, починаючи приблизно з 1995 р., висуваються припущення про зв'язок активності тропічних циклонів із глобальним потеплінням. Дослідження [44] також показують, що в міру підвищення температури поверхні океану (ТПО) протягом наступних 50-100 років буде формуватися, у середньому, на два урагани в рік більше, ніж зараз.

У контексті таких змін існує ймовірність того, що частота виходу ТЦ і їх вплив на погодні умови Західної Європи буде збільшуватися, що поряд із сильним вітром, опадами і повенями може привести до збільшення числа загиблих і травмованих та значних збитків, подібно найбільш екстремальним явищам, пов'язаних із масштабними й інтенсивними середньо широтними штормами. У результаті необхідно приділяти більше уваги таким процесам і повторюваності з якою вони зачіпають Західну Європу.



## 3 СЕРЕДЗЕМНОМОРСЬКІ ТРОПІЧНІ ЦИКЛОНИ

Циклонічні шторми, що дуже нагадують тропічні циклони на супутникових знімках, іноді формуються над Середземним морем. Середземноморські тропічні циклони, так звані, середземноморські урагани або «медикани» - *medicane* (*medicanes*), є рідким метеорологічним явищем. Ці циклони належать до категорії проміжної між тропічними і середньо широтними, і є інтенсивними та руйнівними мезомасштабними вихорами.

Через недостатню мережу спостережень над морем і велику просторову розв'язку довгострокового повторного аналізу даних, існує складність у систематичному вивченні багатоспектральної статистики субсиноптичних *medicanes*.

### 3.1 Визначення та класифікації

Тропічні циклони - це інтенсивні вихори синоптичного і субсиноптичного масштабу, що зароджуються в тропічній атмосфері. Вони є одночасно і важливим елементом циркуляції атмосфери в тропіках, і одним з найбільш небезпечних стихійних лих. Крім того, у помірних широтах своєрідним аналогом тропічних циклонів можуть виступати квазітропічні циклони, іноді їх також називають «гібридні бурі». Природа цих циркуляційних систем має як конвективну, так і барокліну складові, що дозволяє розглядати їх, як перехідну ланку між тропічними і позатропічними циклонами. Велика інтенсивність при малому розмірі робить прогноз цих вихорів необхідним, але складним, зокрема через дефіцит даних спостережень над водною поверхнею. У кількох рідких випадках спостерігалися шторми, що досягають сили урагану категорії 1. Основна соціальна небезпека, створювана медиканами, як від руйнівних вітрів, так і від аномальних сум опадів, раптових повеней, штормових нагонів, зсувів.

В цілому, більшість *Medicanes* мають радіус від 70 до 200 км; тривалість від 12 годин до 5 діб; довжина траєкторії руху складає від 700 до 3000 км; здатні розвинути око бурі менше ніж за 72 години; швидкість вітру сягає до 144 км·год<sup>-1</sup>; крім того, більшість циклонів за супутниковими

зображеннями характеризується асиметричною системою з чітким круглим оком бурі, оточеним атмосферною конвекцією [12].

Через переважно сухий клімат Середземноморського регіону субтропічні і тропічні циклони утворюються нечасто, складно виявляються, але можлива ідентифікація таких вихорів, зокрема з повторним аналізом минулих даних. Медикани – це невеликі вихори мезомасштабу, які не завжди, але часто нагадують на супутникових знімках тропічні циклони з характерними хмарними спіралями й оком бурі в центрі, мають аналогічну тропічним циклонам компактну симетричну просторову структуру, розвиваються тільки над морською поверхнею, і основним механізмом їхньої генерації також є підйом вологого повітря з виділенням великої кількості прихованого тепла конденсації [15].

Встановлено загальні риси часового і просторового розподілу середземноморських тропічних циклонів: за оцінками метеорологів, медикани формуються у середньому один або два рази в рік; найчастіше восени, найнижча повторюваність припадає на літні місяці, хоча медикани можуть виникати протягом всього року (рис.3.1).

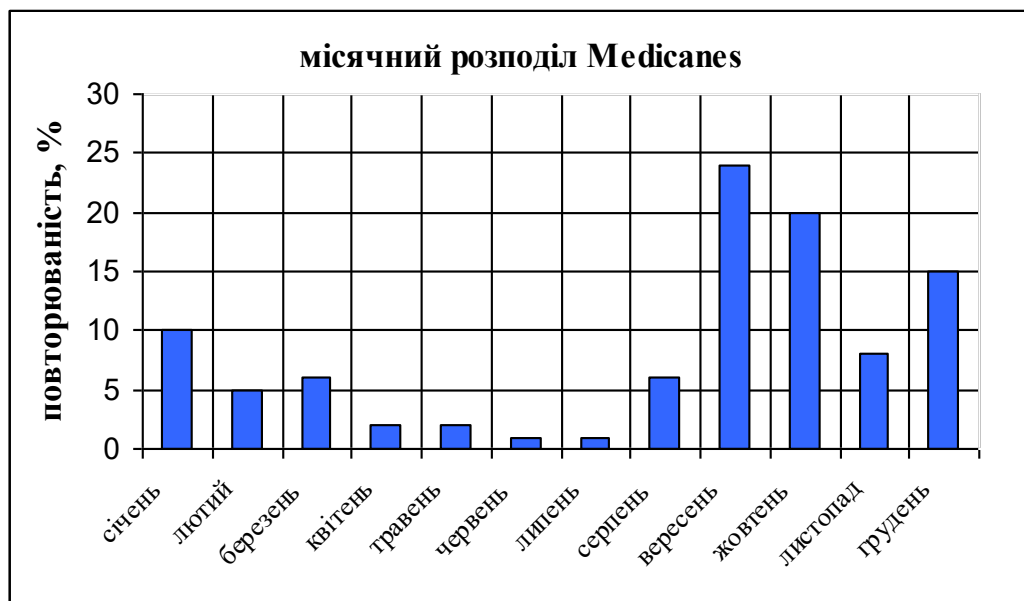


Рис. 3.1. Місячна повторюваність медикан [22]

В Середземномор'ї виділяється 2 області найвищої повторюваності медикан - західна частина Середземномор'я, між Іспанією і Сардинії та Іонічне море на захід від Греції (рис. 2.2). Під дією західних вітрів ці циклони рухаються на схід. Цікавим є факт, що в області на схід від о. Крит медикани

майже не спостерігаються. На рис. 3.2 точки сліду медикан забарвлені відповідно до максимальної швидкості вітру: більш слабкі швидкості вітру - синім кольором і сильний вітер - червоним. При цьому ідентифіковано точки першого виходу на берег конкретного шторму для кожної країни, але можлива похибка, оскільки один і той же медикан може виходити на берег кілька раз.

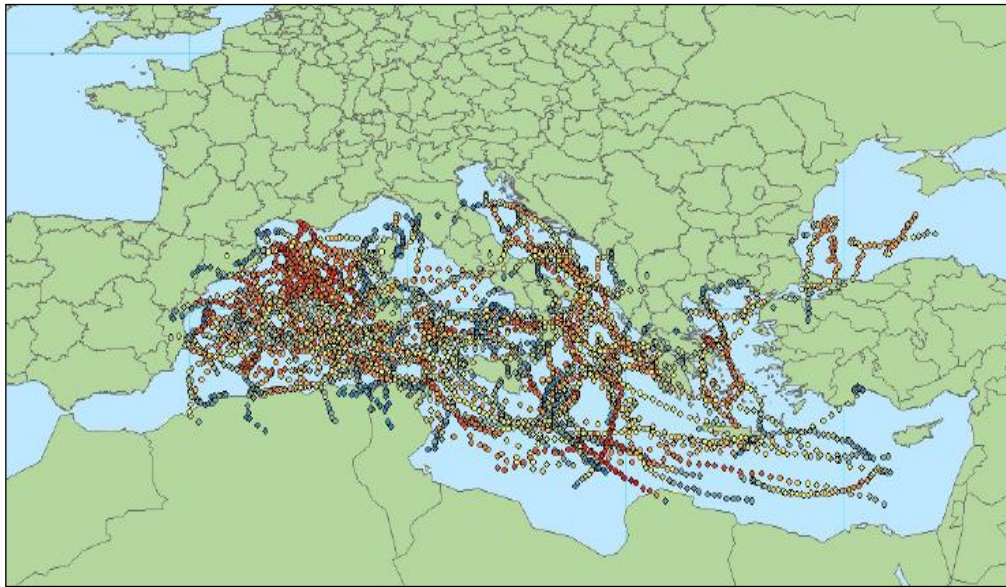


Рис. 3.2. Траєкторії руху медикан за період 1950-2011 рр. [10]

Поява медикан, як тропікоподібних систем, була вперше ідентифікована в Середземноморському басейні в 1980-ті рр., при виявленні за супутниковими даними областей низького тиску тропічного виду, які утворювали циклонічне око в центрі.

Залежно від використовуваних алгоритмів пошуку, в різних довгострокових дослідженнях сучасних супутникових спостережень і даних, отриманих до існування космічної системи спостережень, визначено до 67 середземноморських тропічних циклонів з інтенсивністю тропічних штормів або вище в період між 1947-2014 рр. і близько 100 зареєстрованих тропічних бур в період між 1947 і 2011 рр. в даному регіоні. Завдяки архівації зареєстрованих і визнаних випадків тропічних циклонів в Середземномор'ї (Medicanes), їх число досягло 82-х до 30 вересня 2018 року.

Термін «тропічний циклон» введений, щоб неофіційно відрізнити тропічні циклони, що розвиваються за межами тропіків від тих, які розвиваються всередині тропіків. Термін «тропічний» ніяким чином не означав того, щоб позначати гібридний циклон (наприклад медикан), який

має і такі характеристики, що зазвичай не зустрічаються в «справжніх» тропічних циклонах. Проте на своїх зрілих стадіях середземноморські тропічні циклони не відрізняються від інших тропічних циклонів.

Середземноморські тропічні циклони не вважають офіційно класифікованими тропічними циклонами, і їх регіон утворення офіційно не контролюється будь-якою установою з метеорологічними задачами на регулярній основі. Однак філіал допоміжного супутникового аналізу в Національному управлінні океанічних і атмосферних досліджень США - NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) у листопаді 2011 р. опублікував інформацію, що стосується медикан, на момент активізації процесу в регіоні, але припинив роботу 16 грудня 2011 р. У 2015 р. NOAA відновило послуги в Середземноморському регіоні, а до 2016 р. надало рекомендації по новій тропічній системі «Тропічний шторм 90М» [46].

Крім того, починаючи з жовтня 2017 р. створений European Medicine Monitoring Center (EMMC) - Європейський центр моніторингу медикан видає неофіційні рекомендації по гібридним бурям в регіоні [37]. European Storm Forecast Experiment (ESTOFEX) випускає бюлетені з 2005 р., які можуть включати в себе, наприклад, тропічні циклони. Однак агентство з метеорологічними задачами не несе відповідальності за моніторинг формування та розвитку медикан, а також за їх іменування [28-29].

Незважаючи на це, регіон Середземномор'я перебуває у відповідальності Hellenic National Meteorological Service (HNMS) - Грецької Національної метеорологічної служби в якості керівного органу, в той же час Météo-France (Франція) виступає підготовчою службою (preparation service) для західної частини Середземного моря.

У якості єдиного офіційного агентства, яке охоплює все Середземне море, особливий інтерес для класифікації медикан представляють публікації HNMS - Hellenic National Meteorological Service [30]. HNMS вказує метеорологічний феномен середземноморських тропічних циклонів в своєму щорічному бюлетені, а також використовуючи термін *medicanes*, робить його напівофіційним.

За визначеннями HNMS, медикани можуть мати чітко виражене око бурі при максимальних тривалих вітрах  $47-180 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$ , при цьому крайня вказана межа швидкості ( $47 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$ ) є дуже низькою для існування тропічних циклонів з теплим ядром. Але медикани дійсно можуть сформувати чітке око бурі при таких низьких максимальних тривалих вітрах,

що набагато менші нижнього порогу розвитку ока в тропічних системах в Атлантичному океані ( $80 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ ), і значно нижчі ураганних вітрів.

З огляду на низький профіль HNMS у прогнозуванні і класифікації тропічних систем у Середземномор'я, не існує належної системи класифікації серед тропічних циклонів цього регіону. Критерій HNMS щодо формування ока бурі у медикані, звичайно є дійсним для системи з максимальною силою вітру часто тільки за кілька годин до виходу урагану на берег, що не підходить для прогнозів і попереджень [22].

Неофіційно Deutscher Wetterdienst (DWD) - німецька метеорологічна служба, запропонувала систему для прогнозування і класифікації тропічних циклонів Середземномор'я, засновану на класифікації National Hurricane Center (NHC) для північного Атлантичного океану. Щоб детальніше охарактеризувати поле вітру і більший радіус максимальних вітрів тропічних систем, DWD пропонує дещо нижчий поріг у  $112 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$  для використання терміну «medicanes» в Середземному морі, замість  $119 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ , запропоновану шкалою Саффіра-Сімпсона для атлантичних ураганів. Рекомендації DWD, а також прогнози США (NHC, NOAA, NRL і т.д.) використовують однохвилинні стійкі вітри, в той час як європейські прогнози використовують десятихвилинні стійкі вітри, що зумовлює похибки у вимірах приблизно 14%. Різниця також має пряме практичне застосування, наприклад, для порівняння бюлетенів NOAA з бюлетенями EUMETSAT, ESTOFEX і HNMS [42]. Щоб конкретизувати положення, DWD пропонує шкалу тропічних циклонів як для однохвилинних, так і для десятихвилинних стійких вітрів (табл.3.1):

Таблиця 3.1 – Шкала тропічних циклонів Середземного моря

Максимальні стійкі вітри (інтервал)	Тип тропічного циклону		
	середземноморська тропічна депресія	середземноморський тропічний шторм	медикани
1 хвилина	$\leq 62 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$	$63-111 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$	$\geq 112 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$
10-хвилинний середній	$\leq 54 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$	$56-98 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$	$\geq 99 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$

### 3.2 Умови формування

Більшість середземноморських тропічних циклонів (тропічний циклогенез) найчастіше утворюються в двох окремих регіонах. Перший, більш сприятливий для розвитку, охоплює територію західного Середземномор'я, що межує з Балеарськими островами, південною Францією і береговими лініями островів Корсика і Сардинія. Другий регіон - в Іонічному морі між Сицилією і Грецією, що простирається на південь до Лівії, є менш сприятливий для тропічного циклогенезу. Існує ще дві області, в Егейському та Адріатичному морях, які генерують меншу кількість медикан, а активність в Левантинському регіоні (східне Середземномор'я) мінімальна.

Географія гірських хребтів, що межують з Середземномор'ям, сприяє розвитку небезпечних погодних умов, зокрема посилених конвективних процесів у похилих гірських районах.

Хоча географія Середземноморського регіону, а також переважання сухих повітряних мас, як правило, перешкоджають утворенню тропічних циклонів, за певних метеорологічних умов виникають, так звані, гібридні бурі або медикани. В результаті, тропічні циклони виникають в Середземному морі, як правило, вкрай рідко, без будь-якої певної тенденції.

Протягом літнього сезону утворюється мало медикан, активність зазвичай зростає восени, і поступово зменшується з лютого до травня. У західно-середземноморському регіоні розвитку приблизно 0,75 таких систем формуються щороку в порівнянні з 0,32 в регіоні Іонічного моря. Зазначимо, що у виключних випадках подібні тропічні шторми також можуть розвиватися в Чорному морі [8, 15].

Дослідження сценаріїв змін клімату вказує, що глобальне потепління може призвести до зростання інтенсивності тропічних циклонів, що спостерігаються в середземноморському басейні, в результаті відхилень в потоках поверхневих енергій і складі атмосфери, які також сильно впливають на розвиток медикан. Зокрема, у тропічних і субтропічних районах температура морської поверхні (SSTs) протягом 50 років збільшувалася на 0,2°C, а в басейнах тропічних циклонів в Північній Атлантиці і Північно-західній частині Тихого океану потенційна руйнівність і енергія штормів майже подвоювалися в межах тієї ж тривалості, що свідчить про чітку кореляцію між глобальним потеплінням і інтенсивністю тропічних циклонів.

Протягом аналогічного останнього 20-річного періоду, SST в Середземному морі зросла на  $0,6 \dots 1^\circ\text{C}$ , хоча збільшення активності медикан відзначено з 2013 р. У 2006 році атмосферна чисельна модель оцінила майбутню частоту середземноморських циклонів між 2071 і 2100 рр., прогнозуючи зниження осінньої, зимової та весняної циклонічної активності, що збігається з різким збільшенням частоти медикан поблизу Кіпру, причому обидва сценарії пов'язані з підвищенням температури води в результаті глобального потепління. Інші дослідження прогнозують, як збільшення, так і зменшення тривалості, кількості і інтенсивності медикан [11-13].

Розвиток тропічних або субтропічних циклонів в Середземному морі зазвичай може відбуватися тільки в дещо незвичайних умовах. Часто необхідними є низький зсув вітру і атмосферна нестійкість, викликані вторгненнями холодного повітря. Більшість Medicanes також супроводжуються улоговинами на верхніх рівнях, забезпечуючи енергію, необхідну для посилення атмосферної конвекції і формування гроз і сильних опадів. Бароклінні властивості Середземноморського регіону з високими температурними градієнтами також забезпечують необхідну нестійкість для утворення тропічних циклонів. Дуже тепла температура поверхні моря (SST) в більшості випадків непотрібна, оскільки переважна кількість енергії для утворення медикан надходить завдяки більш високим температурам повітря. Коли такі умови співпадають, виникає сприятлива ситуація для генерації середземноморських тропічних циклонів з холодним ядром.

Фактори, необхідні для формування Medicanes, дещо відрізняються від класичних тропічних циклонів. Відомо, що середземноморські тропічні циклони виникають над регіонами з  $SST \leq 26^\circ\text{C}$ , і, часто, необхідною умовою є вторгнення холоду для виникнення атмосферної нестійкості. Більшість медикан розвиваються над Середземномор'ям з температурами поверхні води від  $15$  до  $26^\circ\text{C}$ , при цьому верхня межа в  $26^\circ\text{C}$  була визначена лише в най південніших течіях моря.

Незважаючи на низьку температуру поверхні моря, нестійкість, викликана холодним атмосферним повітрям в межах бароклінної зони (це райони зі значними градієнтами температури і тиску), сприяє формуванню Medicanes, на відміну від тропічних областей, де відсутність високої бароклінності потребує зростання SST. На противагу тому, що під час формування середземноморських тропічних циклонів були відмічені значні відхилення температури повітря, небагато аномалій температури поверхні моря збігаються з їх розвитком, це вказує на те, що утворення медикан в

основному контролюється більш високими температурами повітря, а не аномальними температурами поверхні моря. Подібно тропічним циклонам, мінімальні зсуви вітру над регіоном, а також значна вологість і вихрові потоки стимулюють генезис тропічних систем в Середземному морі [11-13].

У зв'язку з обмеженим характером Середземномор'я й обмеженою здатністю теплових потоків (у випадку медикан) - повітря-морський теплообмін, в Середземномор'ї не можуть існувати тропічні циклони діаметром більше 300 км.

Незважаючи на відносно бароклінну зону з високими температурними градієнтами, первинне джерело енергії, яке використовують середземноморські тропічні циклони, походить від джерел тепла, генерованих наявністю конвекції (грозової активності) у вологому середовищі, подібно тропічним циклонам в інших регіонах за межами Середземного моря.

У порівнянні з іншими басейнами тропічних циклонів, Середземне море являє собою складне середовище для формування ураганів; хоча потенційна енергія, необхідна для їх розвитку, не є аномально великою, атмосфера характеризується відсутністю вологи і перешкоджає формуванню вихорів. Повний розвиток медикан часто зумовлює формування великомасштабного бароклінного збурення, переходячи в кінці свого життєвого циклу в тропічну циклонічну систему. Як правило, медикани виникають під впливом глибокої баричної улоговини з відсіченим (замкнена циркуляція) і холодним ядром (внутрішні ізотерми холодніші, ніж зовнішні) в межах середньої і верхньої тропосфери, часто в результаті «розриву» хвиль Россбі [25].

Розвиток медикан часто призводить до вертикальних зсувів вітру в тропосфері, що обумовлює зниження температури повітря, співпадаючи зі збільшенням відносної вологості, і, тим самим, утворюючи середовище, більш сприятливе для формування тропічних циклонів. Це, в свою чергу, призводить до збільшення потенційної енергії, що спричинена тепловою нестійкістю морського повітря. В результаті вологе повітря не сприяє виникненню низхідних конвективних потоків, що часто перешкоджають утворенню тропічних циклонів, і при такому сценарії зсув вітру залишається мінімальним. Однак постійний генезис низькорівневих верхніх мінімумів і нерегулярність середземноморських тропічних циклонів вказує на те, що поява медикан потребує додаткових незвичних умов. Підвищена температура



морської поверхні, контраст з холодним атмосферним повітрям, сприяють атмосферній нестійкості, особливо в тропосфері.

Подібно більшості класичних тропічних циклонів, на ранніх стадіях медикан також відзначається слабе обертання, що збільшується зі зростанням інтенсивності циклону, однак, за специфікою розвитку, вони часто мають менше часу для посилення, і залишаються слабкішими, ніж більшість північноатлантичних ураганів, та існують протягом лише кількох днів.

Теоретична максимальна потенційна інтенсивність медикан еквівалентна найнижчій градації класифікації ураганів за шкалою Saffir-Simpson - урагану категорії 1. Хоча існування циклону може тривати кілька днів, більшість з них збереже тропічні характеристики менше 24 годин [21].

Іноді циркуляційні і кліматичні показники допускають утворення більш дрібних медикан, при цьому необхідні умови відрізняються навіть від тих, які уже визначені для медикан. Для формування аномально малих тропічних циклонів в Середземномор'ї зазвичай необхідним є існування атмосферних циклонів верхнього рівня, які викликають циклогенез в нижній тропосфері, що призводить до утворення теплих ядер, чому сприяє висока вологість, тепло та інші кліматичні умови.

Середземноморські тропічні циклони порівнюються з подібними системами - полярними циклонічними штормами, які зазвичай розвиваються у віддалених районах Північної і Південної півкуль, через їх схожі невеликі розміри і теплову нестійкість; проте, в той час, як Medicanes майже завжди мають тепле ядро, полярні мінімуми в основному - холодне ядро моря [15].

Сильні опади і конвекція, що розвиваються середземноморських тропічних циклонах, як правило, підкріплюються наявністю верхньої баричної улоговини, обумовлюючи обвал холодного повітря вниз за течією, яке захоплює існуючу систему низького тиску. Однак після цього відбувається значне зниження кількості опадів, незважаючи на подальший розвиток циклону, що збігається зі зменшенням раніше високої грозової активності. Хоча баричні улоговини часто супроводжують Medicanes протягом їх існування, поділ в кінцевому підсумку відбувається, як правило, в більш пізній стадії розвитку середземноморського тропічного циклону. Це відбувається тоді, коли насичене і охолоджене вологе повітря, піднімаючись в атмосферу, надходить в область вихору, сприяючи подальшому розвитку і трансформації в тропічний циклон [14].

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРОПІЧНИХ ЦИКЛОНІВ АТЛАНТИКИ 2017-2019 РР

### 4.1 Особливості формування урагану Orphelia у жовтні 2017 р.

Над Атлантикою, у період 9-18 жовтня 2017 р. сформувався тропічний циклони, який отримав назву Офелія (Orphelia) та став найбільш східним ураганом, зафіксованим в Атлантиці до 2017 р. [3, 45].

У теплий період року в районі Азорських островів розміщується майже стаціонарний максимум. Район, що лежить до півдня від цього антициклону, виступає осередком зародження тропічних циклонів. У північній частині цієї області переважають помірні вітри системи західного переносу, а на південній периферії азорського максимуму дме східний пасат тропічного поясу. Панівні східні вітри переміщують тропічний циклони, що досягає зрілої стадії; рухаючись над водною поверхнею, тропічні циклони поповнюють запас енергії за рахунок надходження теплого і вологого повітря.

Тропічні урагани, зазвичай, не можуть значно просунутися на схід до Азорських островів, оскільки переміщуються по західній периферії Азорського максимуму у південно-західному ведучому потоці на схід, але у даному випадку, Азорський антициклон змістився у бік південної Європи, тим самим дав змогу ТЦ Офелія зміститися досить далеко – рис.4.1.

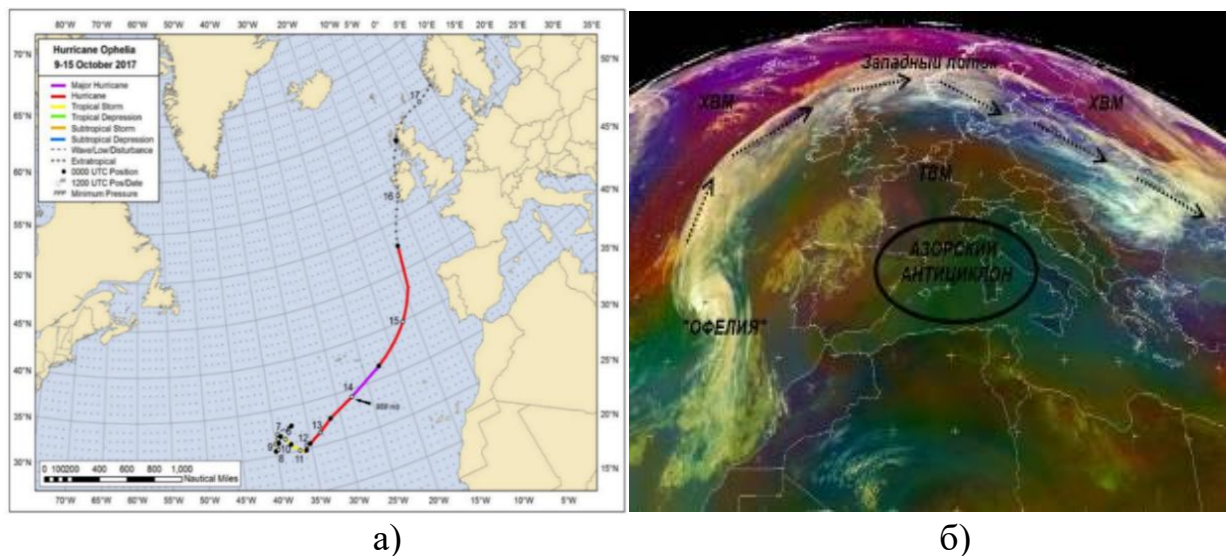


Рис.4.1. Трек урагану Офелія 09-15.10.2017 – (а); супутниковий знімок RGB AIRMASS 15.10.2017 р. – (б).

Офелія виникла як улоговина верхнього рівня в центральній частині субтропіків Атлантичного океану, яка посилилася з 1 по 5 жовтня. Спочатку вона мала характеристики позатропічної системи низького тиску з холодним ядром. Ураган був класифікований Національним центром ураганів (НЦ) у Флориді 9 жовтня, коли став чітко вираженою тропічною депресією, розташованою приблизно в 760 морських милях на північний захід від Азорських островів, з областю глибокої конвекції на схід від його центру.

Температура поверхні океану близько 26,5 °С, була достатньо високою, щоб забезпечити інтенсифікацію, наявність більш холодного, середнього і верхнього потоку повітря і низького вертикального зсуву вітру дозволяло системі продовжувати посилюватися протягом наступних годин, до урагану 2 категорії до вечора 12 жовтня. Надалі ураган прискорив рух і до 14 жовтня перемістився на північний схід в середні широти рис.4.2.

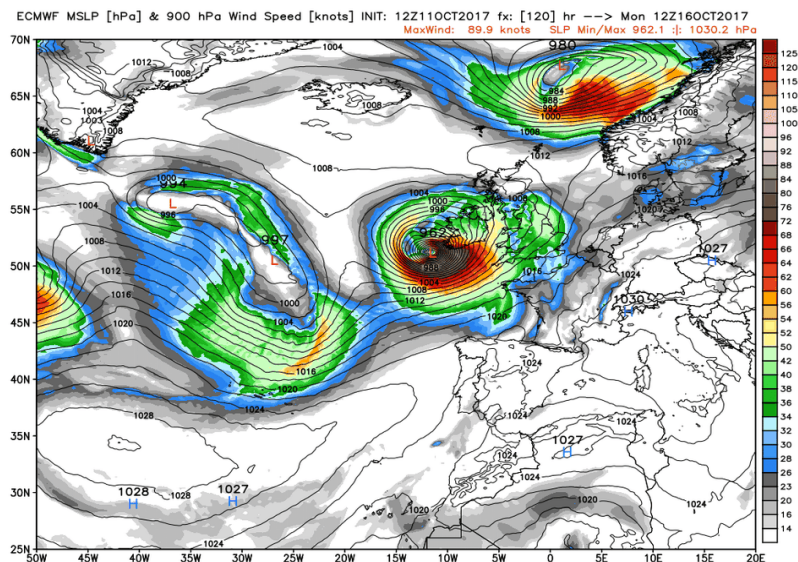


Рис.4.2. Карта розподілу приземного тиску та швидкість вітру на рівні 900 гПа, модель ECMWF від 11.10.2017 р. на 16.10.2017 р.

Ураган досяг максимальної інтенсивності в 100 вузлів, тобто категорії 3 за шкалою Саффіра-Сімпсона, в той час як він рухався зі швидкістю 22 вузла. Погодним буєм М5 була зафіксована висота хвилі 17 метрів. До 15 жовтня ураган Офелія почав слабшати, стаючи сталим в посиленому потоці іншої масштабної улоговини середніх широт, що зміщувалася на схід в Атлантиці. Екстратропічний перехід був завершений до 00 UTC 16 жовтня, і потужний позатропічний циклон продовжував рухатися в напрямку Ірландії зі швидкістю 40 вузлів, в результаті спостерігалася різка зміна напрямку

вітру і тиск впав до 959 гПа. Офелія пройшла над цим районом, як позатропічний/екстратропічний циклон приблизно о 11:00 UTC з мінімальним тиском 959,3 гПа. На 17 число циклон перетнув Північне море і змістився на західну Норвегію, з поривами вітру до  $70 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$ , 18 жовтня залишки Офелії розсіялися. Комбінований знімок NASA виміру опадів в урагані Офелія за допомогою космічного радара продемонстровано на рис.4.3.

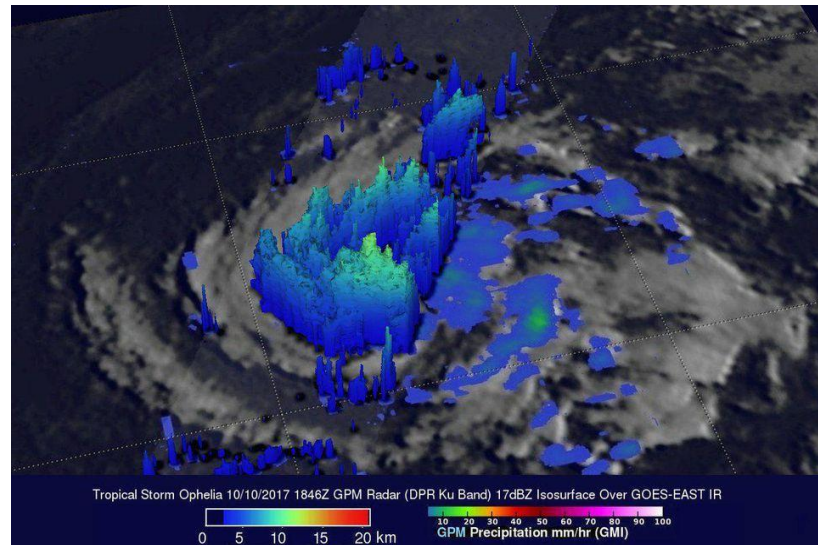


Рис.4.3. Супутниковий знімок глобального виміру опадів (Global Precipitation Measurement - GPM), 10.10.2017 р., NASA

У циклоні сформувалося чітке «око бурі» - рис.4.4.

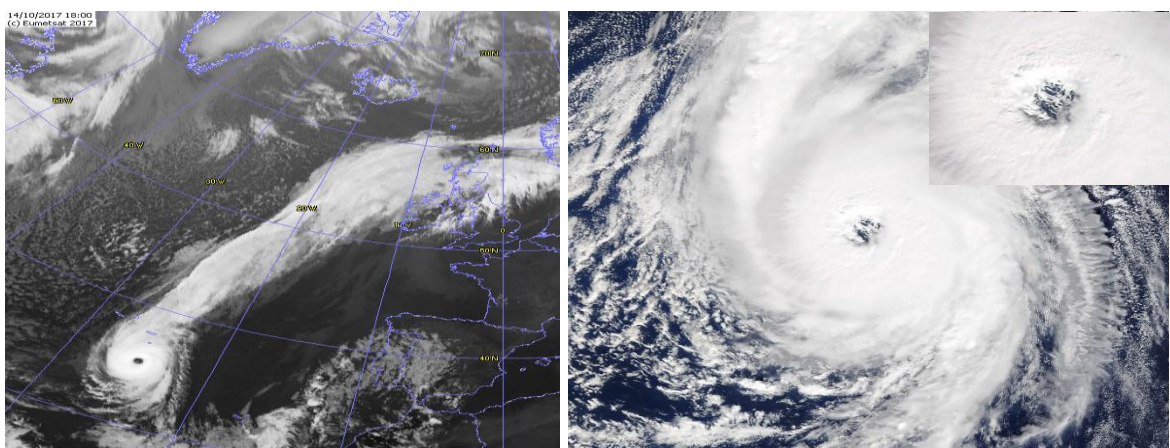


Рис. 4.4. Супутникові знімки хмарності 14.10.2017: (а) – MSG, IR 18:00 UTC; (б) - NASA-NOAA's Suomi NPP, VIS 10:12 UTC

Було також незвично, що у передній частині улоговини, в якій зміщувався ТЦ, стався сильний винос на північ пилу з Сахари, а також диму португальських пожеж, настільки, що небо над Ірландією забарвилось у жовто-коричневі відтінки.

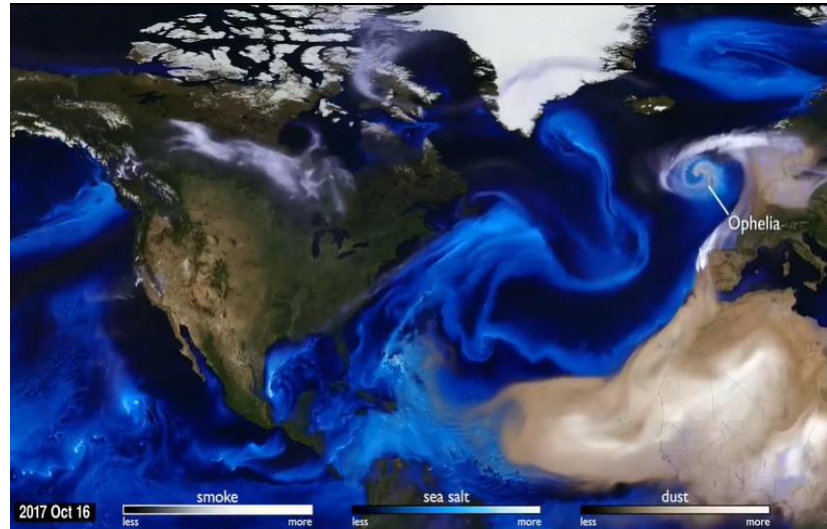


Рис.4.5. Комбінований знімок атмосфери, NASA, Глобальне управління моделювання та асиміляції (GMAO), 16.10.2017 р.

За шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS), ТЦ Ophelia присвоєна категорія 3, показники урагану: максимальні стійкі вітри  $185 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$  (висота хвиль до 17 м біля узбережжя Ірландії); мінімальний тиск 959 гПа.

Ураган Офелія вважається гіршим штормом, щоб вплинув на Ірландію за останні 50 років, він спричинив три смерті в Ірландії. Загальні утрати від шторму з мінімальною оцінкою по всій Ірландії і Великобританії \$87,7 млн.

#### 4.2 Характеристики ураганів 2018-2019 рр.

Для дослідження виділено 3 циклони тропічного походження у Північній Атлантиці, що змістилися до європейського регіону у 2018 р. та один - у 2019 р. [3, 45].

Ураган Helene 07-16.09.2018 р. В період 7-16 вересня 2018 р. над Атлантикою сформувався тропічний циклон, що отримав назву Helene. За шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS), урагану присвоєна категорія

2, показники урагану – максимальна швидкість вітру  $176 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ , мінімальний тиск  $967 \text{ гПа}$ .

На початку вересня тропічна хвиля, що поширювалася по західній Африці, викликала активну конвекцію; до 6 числа в районах Гамбії, у зв'язку з тропічною хвилею утворилася зона низького тиску. Після генезису депресія змістилася на захід, а під впливом субтропічного гребеня на північ, і циклон поступово поглиблювався.

7 вересня о 12:00 UTC система перетворилася в тропічну депресію, а 8 вересня 00:00 UTC депресія посилилася в тропічний шторм приблизно в 225 милях на південний-схід від Прая на островах Кабо-Верде. Зовнішні риси ТЦ Helene стали простежуватися більш чітко, сформувалося внутрішнє ядро, що призвело до подальшої стійкої інтенсифікації. Циклон продовжував поступово зміщуватися на захід та поглиблюватися. На 9 число о 18:00 UTC тропічний шторм поглибився до урагану 1 категорії, тиск в центрі -  $992 \text{ гПа}$ , швидкість вітру  $120 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ . Напрямок із заходу змінився на північний-захід, на початку наступної доби посилювався до урагану категорії 2.

11 вересня пік інтенсивності ТЦ припав на 12:00 UTC, з максимальним стійким вітром  $176 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$  і центральним тиском  $967 \text{ гПа}$ . ТЦ утримував пікову інтенсивність протягом приблизно 18 годин. Пізніше ураган почав слабшати через вплив прохолодної води і сухого повітря, що призвело до зменшення глибокої конвекції.

12 вересня близько 12:00 UTC око урагану заповнилося, система ослабла до тропічного шторму упродовж наступної доби. При послабленні урагану, він повертав на північ в потоці між улоговиною над центральною Атлантикою і субтропічним гребенем над східною Атлантикою. ТЦ Helene протягом ще кількох днів зберігав силу, як тропічний шторм високого рівня, при цьому вихор зміщувався в північно-східному напрямку в середні широти, а найбільш східні зовнішні смуги ТЦ торкнулися частини Азорських островів з кінця 15 вересня до початку 16 вересня. 16 вересня шторм втратив свої тропічні характеристики і розвинув фронтальні смуги на північ від Азорських островів. 18 вересня позатропічний мінімум, пов'язаний з ТЦ Helene, злився з іншою позатропічною системою, ці залишки продовжували впливати на погодні умови Ірландії та Великобританії, викликаючи пориви вітру  $80 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$  рис.4.6.

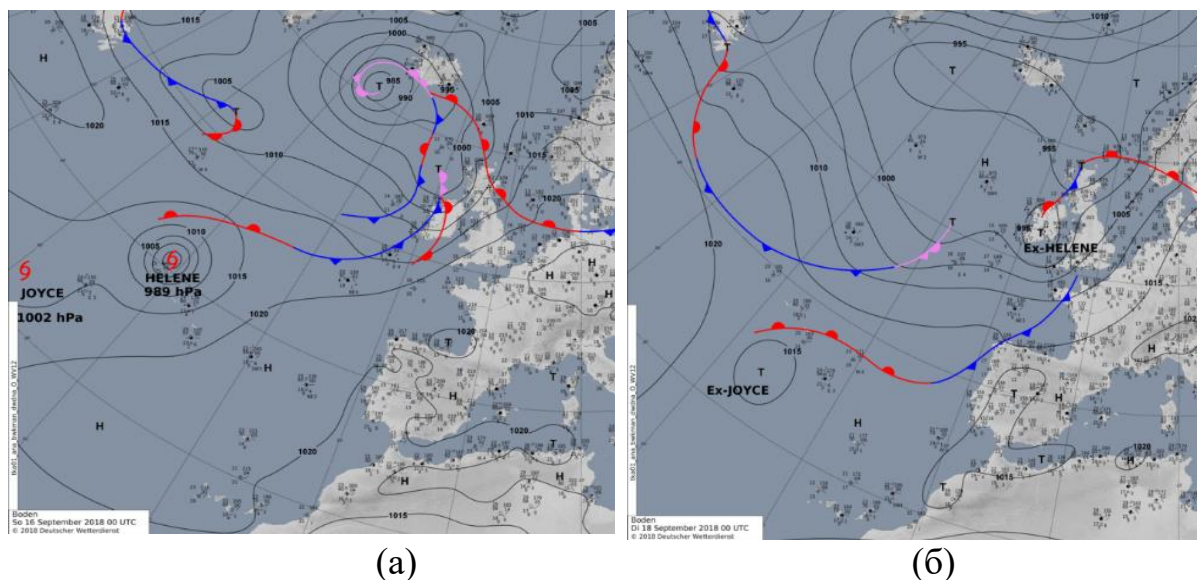


Рис. 4.6. Приземний аналіз: (а) - 16.09.2018 р.; (б) - 18.09.2018 р. [32]

ТЦ чітко простежувався за стадіями розвитку характерної хмарності від стадії тропічного збурення до урагану і далі, до заповнення – рис.4.7.

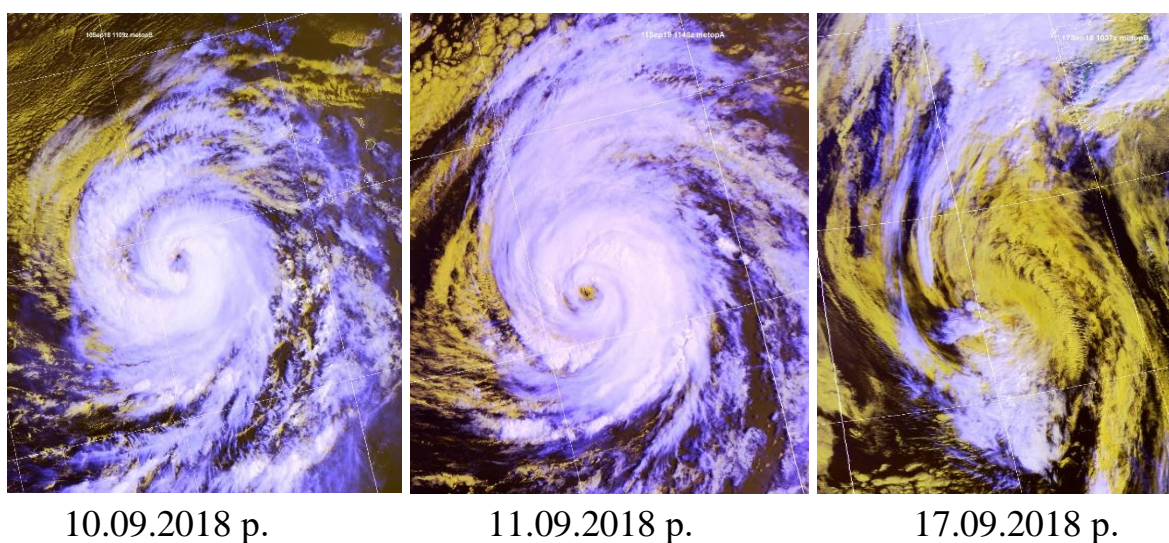


Рис.4.7. Супутникові знімки хмарності ТЦ Helene; метор В, RGB

Надалі дещо змістимося у хронології і проаналізуємо умови формування урагану Lorenzo (Лоренцо) 23.09-04.10.2019 р., оскільки ці два ТЦ мали близькі райони виникнення та подібні траєкторії руху – рис.4.8-4.9.

Ураган Лоренцо, також відомий як шторм Лоренцо, досягнув Ірландії і Великобританії і став найсильнішим у центральній частині Атлантики за весь період спостережень за ними. Ураган досяг 5 категорії за шкалою ураганів

Саффіра-Сімпсона (SSHWS). Показники урагану: максимальна швидкість вітру  $260 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ , мінімальний тиск у центрі - 925 гПа.

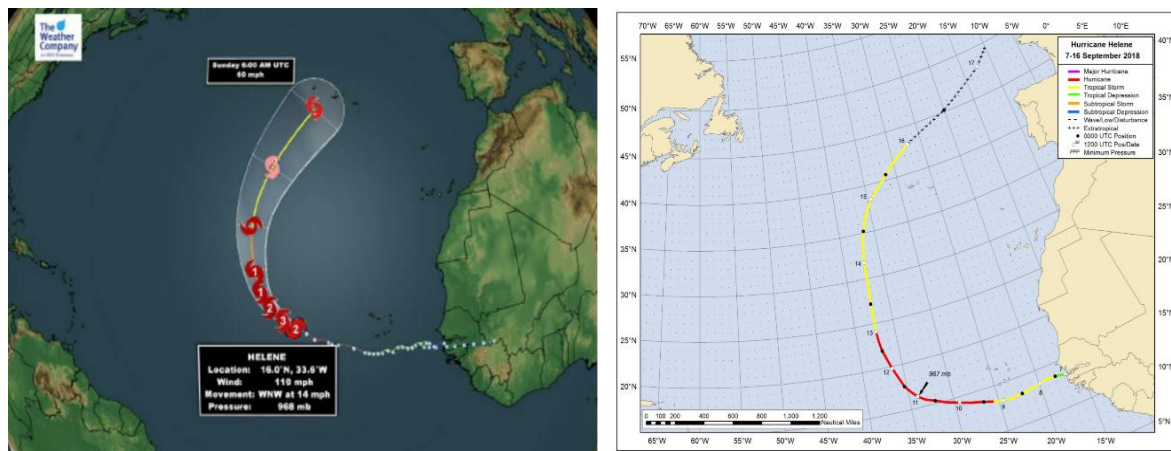


Рис. 4.8 Треки урагану Helene

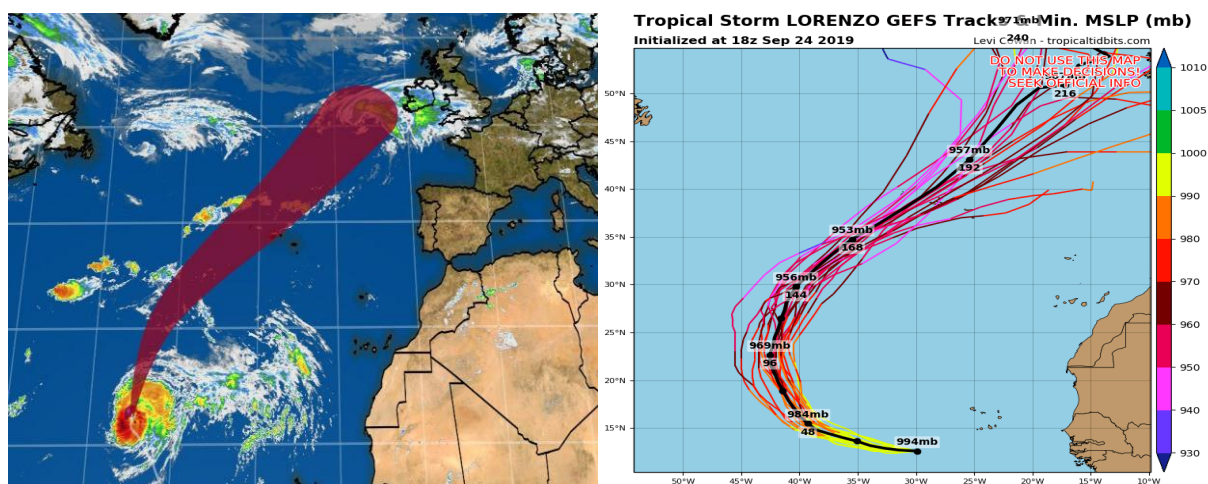


Рис. 4.9. Треки урагану Lorenzo

19 вересня Національний центр ураганів (ННС) [45], почав моніторинг тропічної хвилі, що за прогнозами вийде від західного узбережжя Африки.

22 вересня тропічна хвиля вийшла в Атлантичний океан. За сприятливих умов система швидко оформилась і в 03:00 UTC 23 вересня ННС ініціювала рекомендації по тропічній депресії. На 24 число депресія посилилася до тропічного шторму і була названа Лоренцо на південь від Кабо-Верде.

25 вересня, усе ще при сприятливих умовах, шторм набув характеристик урагану категорії 1. На кінець доби – ТЦ Лоренцо посилюється



до урагану категорії 2. Вранці 26 вересня шторм завершив цикл розвитку і швидко посилювався, досягнувши категорії 4 на 15:00 UTC. ТЦ продовжував активізуватися, досягнувши своєї первісної пікової інтенсивності з максимальним стійким вітром  $230 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$  і центральним тиском  $939 \text{ гПа}$  на початку 27 вересня. Тиск продовжував падати до  $937 \text{ гПа}$  протягом наступних кількох годин. Проте надалі ураган дещо ослаб з початком другого циклу при повороті руху на північ і зниженні температури води, хоча показники зберігалися на рівні  $28^\circ\text{C}$ , сильний зсув вітру почав руйнувати ураган і він зберігся у 3-й категорії 28 числа. Всього через 12 годин вранці 29 вересня ТЦ посилювався до максимальної 5 категорії за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS) ( $257 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ ). Ніколи раніше ураган п'ятої категорії не спостерігався так далеко на сході Атлантики. Така ситуація стала наслідком сполучення атмосферних і океанічних факторів: зсуву вітру і дуже теплої поверхні океану.

Пік урагану Лоренцо був нетривалим через збільшення зсуву вітру, більш прохолодної води, вторгнення сухого повітря і третього циклу зміни стінки ока урагану на 30 вересня. 2 жовтня тропічний ураган ослабнув до шторму категорії 1, обігнув з заходу Азорські острова і вийшов точно на острови Флорес і Корво. Через великі розміри удар тропічної стихії відчували і на інших островах архіпелагу (вітер до  $163 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ ). Після проходження Азорських островів Лоренцо почав трансформацію в позатропічний циклон, на що вказувала усе більш асиметрична хмарна система. Позатропічні залишки Лоренцо надалі вплинули на Ірландію і Великобританію 3 і 4 жовтня, спричинивши стихійні вітри і зливи (висота хвиль до  $12 \text{ м}$ ) - рис.4.10.

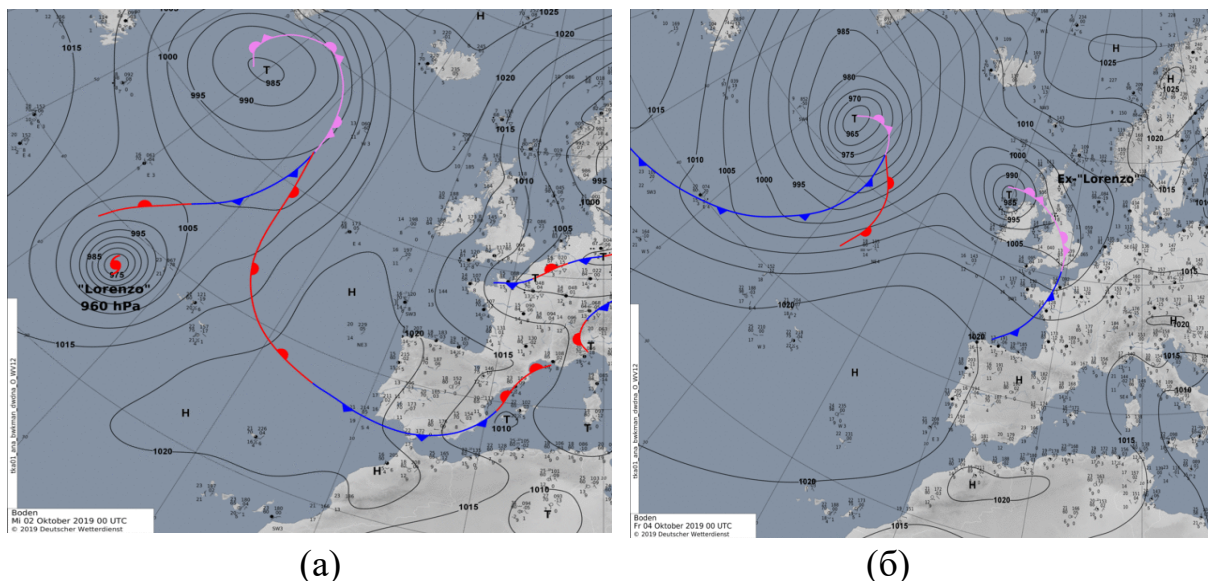


Рис. 4.10. Приземний аналіз: (а) - 02.10.2019 р.; (б) - 04.10.2019 р. [32]

Показову хмарну систему Лоренцо ілюструють знімки МШСЗ - рис.4.11.

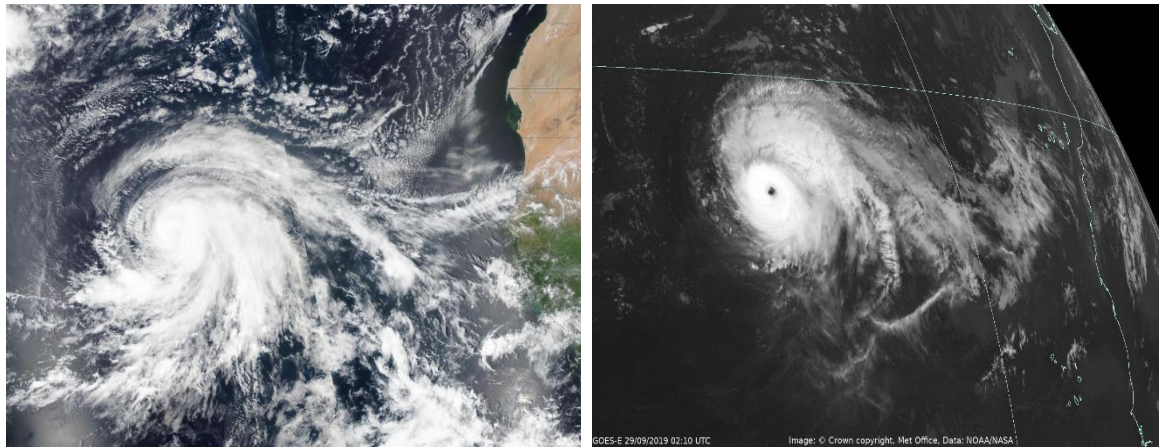


Рис. 4.11. Супутникові знімки хмарності урагану Lorenzo:  
 (а) - NASA-NOAA's Suomi NPP, VIS 25.09.19 – 3 категорія;  
 (б) – GOES-E, IR 29.09.19 – 5 категорія

Крім того, що Лоренцо є найбільш східним атлантичним ураганом категорії 5, цей ТЦ показав найвищий накопичений індекс енергії циклона (ACE) будь-якого атлантичного тропічного циклона, зафіксованого до сходу від  $45^\circ$  зах.д. – 31,87 (з 22.09 по 02.10.2019). Додатково, ураган перебував у секторі на схід від  $45^\circ$  зах.д. довше, ніж будь-який попередній ТЦ Атлантики.

Загинуло 10 осіб, 7 пропали безвісти. Сума збитків склала \$362 млн. Постраждали райони: Західна Африка, Кабо-Верде, Малі Антильські острови, схід Сполучених Штатів Америки, Азорські острови, Британські острови, Франція.

Наступні два випадки атлантичних ураганів також припадають на осінь (2018 р.).

Найпотужнішим циклоном тропічного походження, що вдарив по Піренейському п-ву з 1842 р. став ураган Leslie (Леслі) (23.09-16.10.2018 р.). За шкалою Саффіра-Сімпсона (SSHWS) урагану присвоєна категорія 1, показники урагану: максимум швидкості вітру  $150 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ , максимальні пориви  $42 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  (81 вузол), мінімальний тиск 968 гПа

Слід відмітити траєкторію урагану Leslie, як найбільш незвичайну. Циклон виник наприкінці вересня як субтропічний шторм, довго переміщувався по центральній Атлантиці, петляючи, слабшаючи і знову підсилюючись. У підсумку, після двох з половиною тижнів свого існування, він розвився до стадії урагану і спрямував рух на північний схід - рис.4.12.

14 жовтня ТЦ Леслі обрушився на західне узбережжя Португалії з вітрами  $>30 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , при цьому відзначалися пориви  $>45 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Ураган спричинив потужні зливи не тільки у Португалії, але й Іспанії і півдні Франції; місцями випало до 110-140 мм у добу, що складало дві місячні норми.

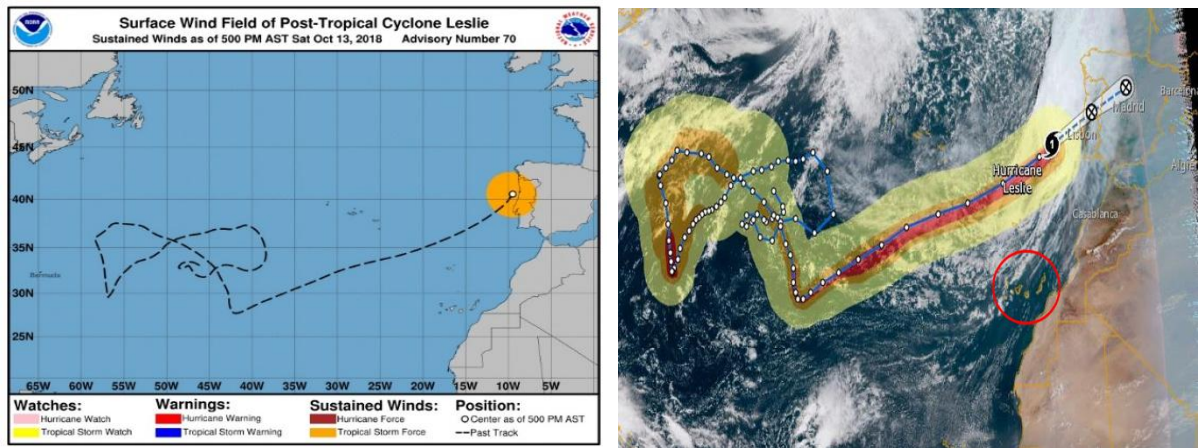


Рис. 4.12. Треки урагану Leslie

19 вересня Національний ураганний центр (НЦ) почав моніторинг потенційної позатропічної системи низького тиску, що сформувалась у кількох сотнях кілометрів на південний-захід від Азорських островів, з можливим поступовим набуттям тропічної та позатропічних характеристик. Рухаючись над північно-східною Атлантикою ТЦ швидко набув субтропічних ознак і 23 вересня о 15:00 UTC був класифікований НЦ як субтропічний шторм Леслі [45].

25 вересня ТЦ ослаб до субтропічної депресії, а починаючи з 28 вересня Леслі знову став поглиблюватися і зміщатися на південний захід – рис.4.13 (а). В результаті чого 29 вересня у 1800 км на захід від Азорських островів він становиться повністю тропічним після утвореного антициклонічного відтоку на північному та південному сході. Упродовж наступних півтори доби ТЦ дрейфував північною Атлантикою без змін інтенсивності.

3 жовтня ТЦ поглибився до урагану 1 категорії. Глибока конвекція, що оточувала ТЦ, значно посилилася і у хмарному масиві сформувалося чітке низькорівневе око (рис.3.5). О 15:00 UTC ТЦ Леслі досяг піку початкової інтенсивності з максимальним тривалими вітрами у  $130 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$  і мінімальним тиском 975 гПа. 4 жовтня о 21:00 UTC ТЦ перетворився на

тропічний шторм і продовжував слабшати. Проте вже 10 жовтня ТЦ знов став ураганом; 12 жовтня о 03:00 UTC ТЦ досяг своєї пікової інтенсивності з максимальними вітрами  $150 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$  та мінімальним тиском 969 гПа. На наступний день продовжував слабшати, зміщуючись на північний схід.

13 жовтня ТЦ перейшов у позатропічний циклон, приблизно в 150 км від Лісабона (рис.4.13 (б)). 15 жовтня ураган досяг Франції, а 16 жовтня повністю розпався над півднем країни.

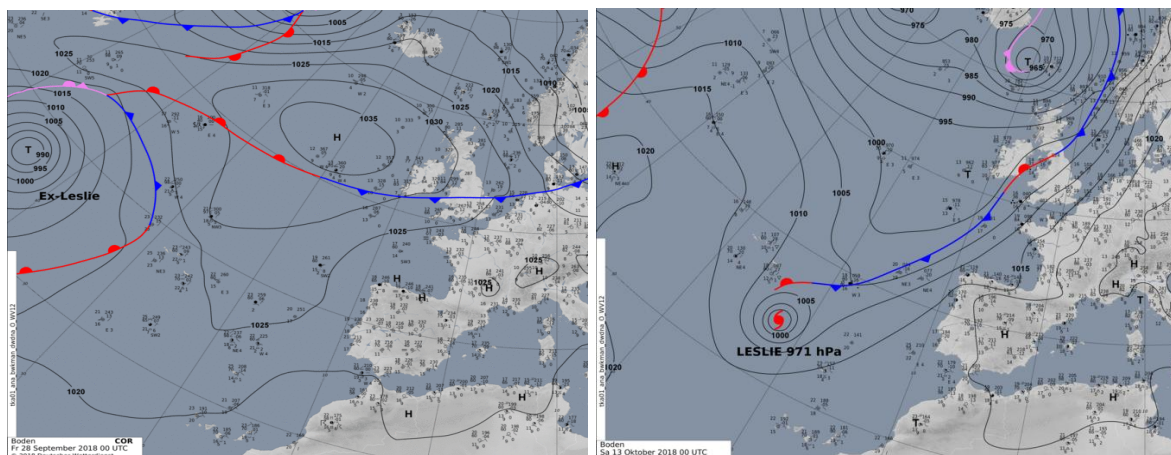


Рис. 4.13 Приземний аналіз: 28.09.2018 – (а); 13.10.2018 р. - (б), [32]

Супутникові знімки хмарності процесу розвитку урагану продемонстровані на рис. 4.14.

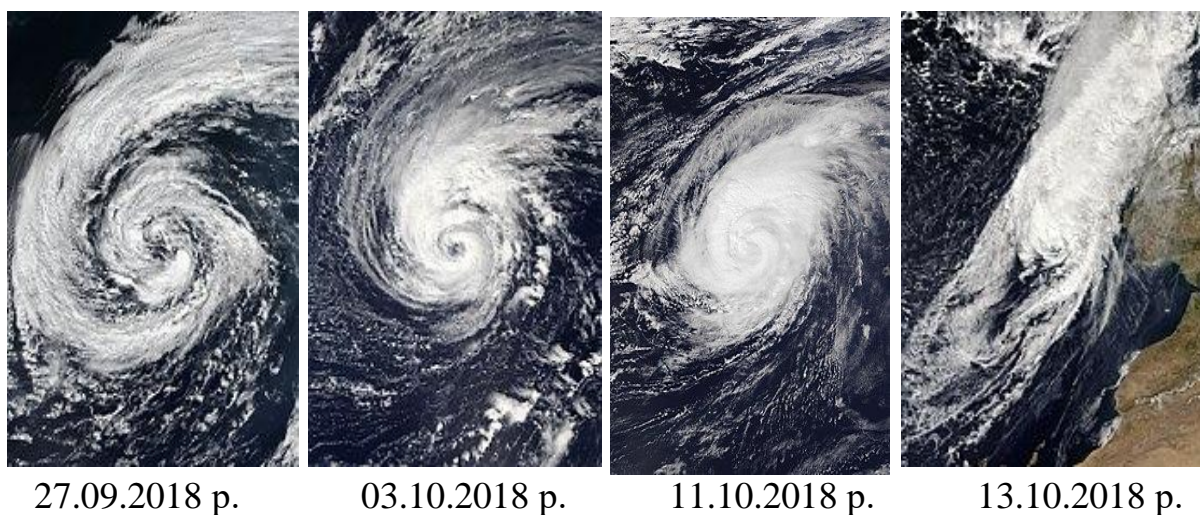


Рис. 4.14. Супутникові знімки хмарності розвитку урагану Leslie, NASA Terra satellite, VIS

В результаті катастрофічних повеней і руйнувань загинуло 16 осіб (4 у Португалії; 14 у Франції); загальні збитки від стихії склали 500\$ млн. Найбільше постраждали райони Азорських островів, Бермуди, східне узбережжя США, Мадейра, Піренейський півострів, Франція.

Ураган Oscar (26-31.10.2018 р.), відомий як потужний тропічний циклон над північною Атлантикою, сформувався 26 жовтня та розпався 31 жовтня 2018 р. – рис.4.15.

ТЦ Oscar присвоєна категорія 2 за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS), показники урагану: максимум швидкості вітру  $175 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ , найсильніші пориви  $49 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  (95 вузлів), мінімальний тиск 966 гПа.

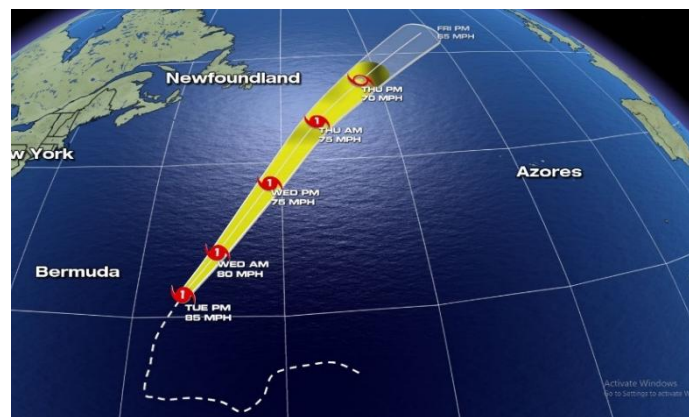


Рис. 4.15. Трек урагану Oscar

Даний ТЦ є результатом улоговини середнього і верхнього рівня над центральною Атлантикою та тропічної хвилею, орієнтованою із західного узбережжя Африки 18 жовтня. Протягом наступних кількох днів хвиля перемістилася на захід через східну тропічну Атлантику, і коли 23 жовтня система перейшла  $40^\circ$  зах.д., це призвело до формування поверхневої улоговини і масштабної області низького тиску.

До кінця 24 жовтня область низького тиску почала дрейфувати на північ. На наступний день ще одна улоговина наблизилася до широтної області низького тиску з північного-заходу, що призвело до посилення конвекції та смугової структури системи над східною частиною циркуляції, на той час в нижніх рівнях вже виникли штормові вітри. В результаті 26 жовтня до 18:00 UTC циркуляція набула характеристик субтропічного шторму, знаходячись приблизно в 1900 км на північний-схід від Навітряних островів.

ТЦ Oscar рухався на північ, з поступовим поворотом на північний-захід; приблизно через 12 годин після формування шторм посилювався до інтенсивності  $93 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$  (50 вузлів) на 12:00 UTC 27 жовтня. Незабаром після цього мінімум на верхніх рівнях почав заповнюватися. Радіус максимальних вітрів ТЦ стабільно зменшувався, і система завершила перехід в тропічний шторм в 50 вузлів до 18:00 UTC.

На початку 28 жовтня конвекція знову розвинулася і стала активно насичувати смуги навколо центру. До кінця доби ТЦ перетворився в ураган категорії 1 з мінімальним тиском 988 гПа та швидкістю вітру  $120 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$ . Ураган розташовувався над досить теплими водами і залишався в зоні слабкого вертикального зсуву вітру. Послідовно тривала інтенсифікація, наявність холодного середнього і верхнього потоку повітря дозволяло системі продовжувати посилюватися протягом наступних годин до урагану 2 категорії до вечора 29 жовтня. В цей час на супутникових знімках у різних діапазонах стало видно невелике око бурі – рис.4.16.

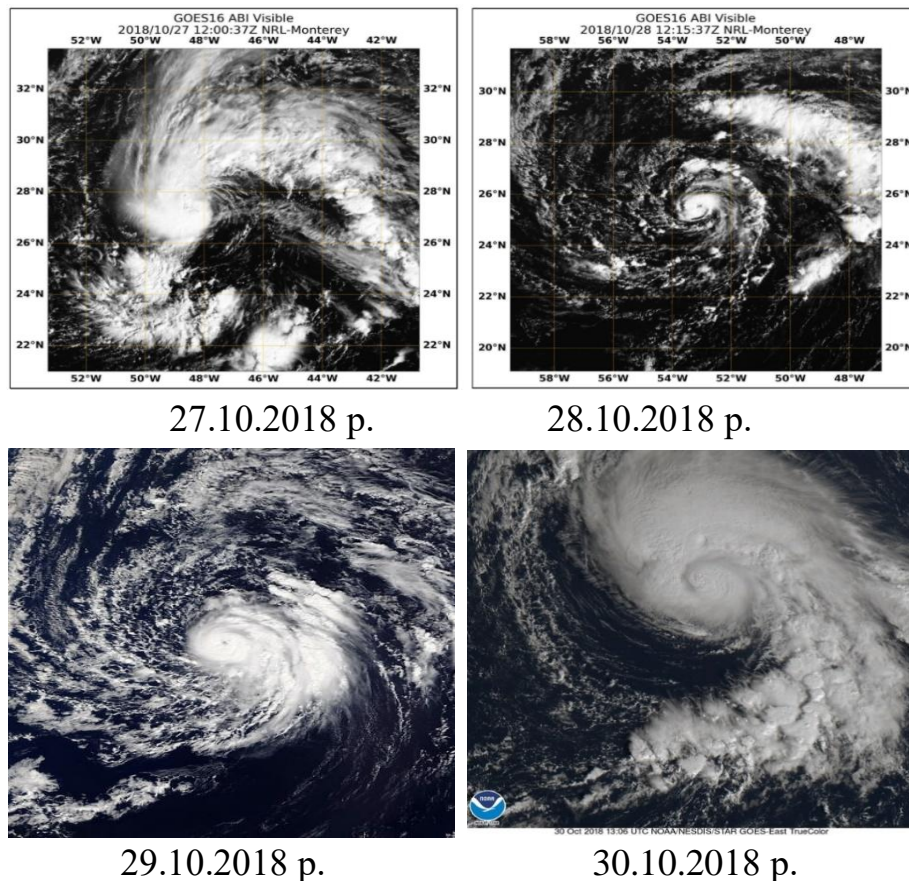


Рис. 4.16. Супутникові знімки хмарності ТЦ Oscar

На строк 00:00 UTC 30 жовтня ТЦ Oscar досяг піку інтенсивності з максимальним тривалими вітрами у  $175 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$  і мінімальним тиском у центрі  $966 \text{ гПа}$ . Упродовж дня збільшення вертикального зсуву вітру з півдня на південний-захід привело до ослаблення шторму. Ураган рухався на північний-схід над все більш холодними водами. На 00:00 UTC 31 жовтня ТЦ ще мав вигляд урагану із швидкостями вітру  $130 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$ . За цю добу ТЦ здійснив позатропічний перехід до 18:00 UTC приблизно в 605 милях на північний-схід від Ньюфаундленда.

До 18:00 UTC 1 листопада ТЦ Oscar послаблювався, але улоговина середнього і верхнього рівня зумовила повторне посилення вже позатропічного циклону. Система досягла інтенсивності 65 вузлів о 18:00 UTC 2 листопада, і підтримувала вітри ураганної сили до 12:00 UTC наступної доби. 4 листопада циклон був остаточно поглинений позатропічною системою до 18:00 UTC (рис.4.17). Інтенсивні зливи і штормові вітри обрушилися на Ірландію, Шотландію та Великобританію.

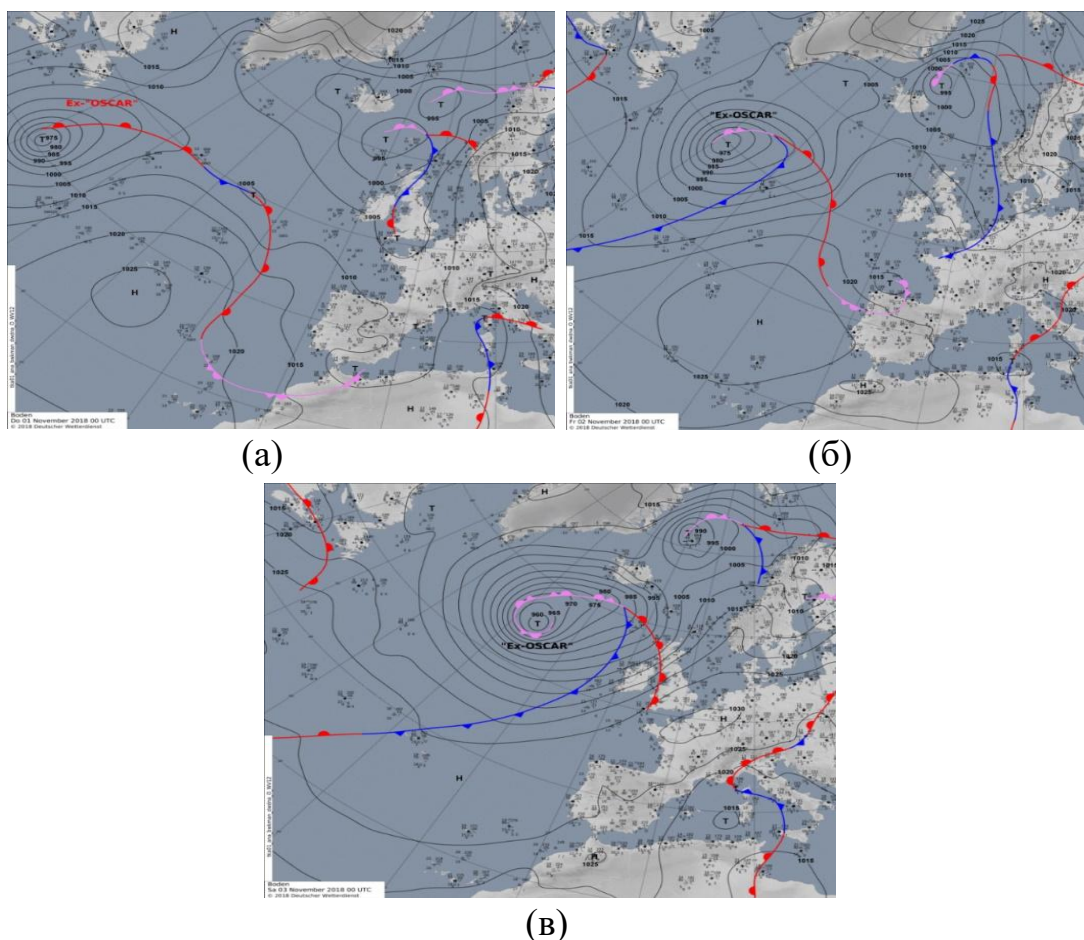


Рис. 4.17. Приземний аналіз: (а) - 01.10.2018 р.; (б) – 02.10.2018 р.; (в) – 03.10.2018 р. [32]

### 4.3 Аномалії термічного режиму Атлантики

Однією з головних причин появи та подальшої активізації тропічного циклону є існування джерела енергії - термічний потенціал океану. Тропічні циклони утворюються над океаном, якщо температура його поверхні (ТПО) перевищує 26°C. З підвищенням температури води збільшується випаровування і потік, так званого, прихованого тепла, утворюючи тепле ядро в середній тропосфері, викликаючи різке падіння тиску в центрі тропічного циклону. Тропічний циклон можна представити, як теплову машину, робота якої пов'язана з океаном як джерелом енергії і як спусковим механізмом - початковий вихор утворюється над перегрітою областю океану. Крім того, тепловий стан океану впливає на траєкторію тропічних циклонів, в той же час, еволюція тропічних циклонів визначається різними атмосферними процесами.

Сучасні дослідження свідчать про залежність глобального потепління і еволюційні зміни тропічних циклонів. Так, у роботі [19] наводиться оцінка зміни середньої швидкості тропічних циклонів по планеті за останні 70 років, виявлено, що в середньому циклони сповільнилися на 10 відсотків за цей час. У деяких регіонах їх темпи знизилися на 30 відсотків, що призвело до помітного збільшення збитків від ураганів. Постійне підвищення середньорічної температури атмосфери і морської води на Землі має досить різноманітні кліматичні наслідки. Наприклад, уповільнюються океанські течії, змінюється карта опадів, збільшується кількість аномально спекотних днів. Глобальне потепління також сприяє руйнівним наслідкам ураганів і тропічних циклонів. При цьому збільшення шкоди є не тільки збільшенням кількості циклонів і їх посиленням, але і ослабленням літньої тропічної атмосферної циркуляції, зниженням швидкості циклонів над певними ділянками суші і збільшенням кількості водяної пари в атмосфері. Найбільш помітним ефект уповільнення циклонів став для Північної півкулі, це значно збільшує шкоду, заподіяну сильними дощами і ураганами, внаслідок того, що ураган залишається довше над конкретним регіоном.

Зміна клімату загострила урагани, які, розвиваючись над океанами, температура яких підвищується, несуть з собою більше вологи і, отже, залишаються сильними над суходолу. Стихійні лиха з глобальним потеплінням стануть більш руйнівними, водночас прибережним районам загрожують масштабні повені через сильні зливи [36].



Глобальне потепління через антропогенний фактор може бути підсилене або ослаблене природними коливаннями клімату, особливо тими, що пов'язані з температурою поверхні води Північної Атлантики, які варіюються в багато десятилітній шкалі - Atlantic Multidecadal Variability (AMV). Це термін, який використовується для опису моделі мінливості температури поверхні Північноатлантичного моря (SSTs), яка характеризується десятиліттями додатних або від'ємних аномалій в басейні у порівнянні з глобальним середнім показником. Провідна гіпотеза полягає в тому, що природні зміни в контролі циркуляції океану варіюються в тепловому вмісті океану і, відповідно, фазах AMV [16, 23].

В рамках даного дослідження раціональним є проведення аналізу термічного стану Атлантики у періоди існування вище досліджених ТЦ.

У якості вихідних даних використано кліматичні показники [27, 33, 38]. Період існування циклонів тропічного походження Ophelia 09-18.10.2017 р., Helene 07-16.09.2018 р., Leslie 23.09-16.10.2018 р., Oscar 26.10-03.11.2018 р., Lorenzo 23.09-04.10.2019 р.

Наведемо загальні характеристики термічного стану північної Атлантики у ці періоди, з метою виявлення додаткових факторів аномальних траєкторій руху, еволюції та часу існування.

На рис.4.18 – 4.20 проілюстровані карти розподілу температури поверхні моря та карти аномалії температури поверхні води на моменти пікової активності ураганів та їх наближення до узбережжя Європи.

Аномалії температури поверхні моря розраховані стосовно кліматологічної норми 1971-2000 рр.. На картах жовті і червоні кольори вказують на райони, де температура поверхні моря вище кліматологічного значення, а зелені та сині відтінки вказують на те, що температура поверхні моря нижче норми. Затінення починається з  $0,5^{\circ}\text{C}$  (аномалії оконтуровані з інтервалом у  $0,5^{\circ}\text{C}$ ).

Для ТЦ Ophelia (рис.4.18), приєкваторіальна зона, упритул до  $35^{\circ}$  півн.ш. виділяє зону високої температури води до  $26-30^{\circ}\text{C}$ . Пікова інтенсивність урагану на 12 жовтня виділяє область з ТПО до  $26-28^{\circ}\text{C}$ . Карта розподілу аномалії ТПО у середніх широтах Атлантики  $45-35^{\circ}$  зх.д. демонструє масштабну зону з показником додатної аномалії у  $1,5-2^{\circ}\text{C}$ , широтно видовжену з центральної Атлантики до узбережжя західної Європи. Ця область повністю співпадає з траєкторією руху ТЦ Офелія.

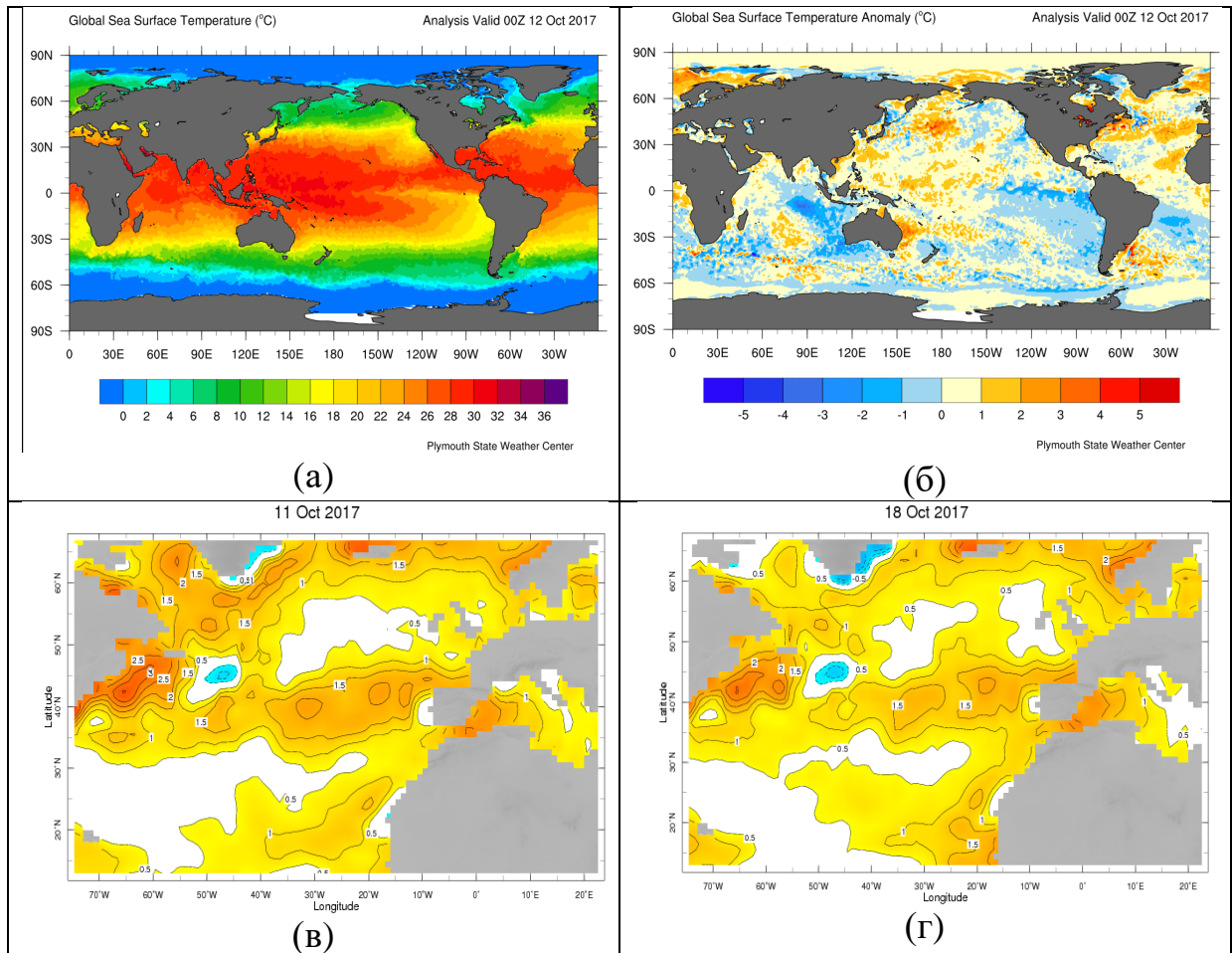


Рис.4.18. Карты ТПО (ураган Orphelia 09-18.10.17):

- (а) - карта температури поверхні води 12.10.17 р.;
- (б) - карта аномалії температури поверхні води 12.10.17 р.;
- карти щотижневої аномалії температури поверхні води:
- (в) - 08-14.10.17 р. з осередненням на 11.10.17 р.;
- (г) - 15-21.10.17 р. з осередненням на 18.10.17 р.

Наступний період – послідовні урагани у вересні-жовтні 2018 р. – рис.4.19. Для урагану Helene всередині вересня 2018 р. петлеподібна траєкторія руху від заходу Африки до середини Атлантики з поворотом на схід до Азорських островів і далі до Британії, також повністю зіставляється зі смугою перегрітої води 26-28°C. Більш показово ця область виділяється на карті аномалії ТПО – «язик» перегрітої води у середніх широтах видовжений від східного узбережжя Північної Америки в напрямку Європи. Аномалія ТПО становила до 1,5°C. Для складної траєкторії руху ТЦ Leslie термічний стан Північної Атлантики у середніх та низьких широтах пояснює тривале зберігання циклону над центральною Атлантикою, петляння, послаблення та посилення інтенсивності, що повністю узгоджується з поширеною плямою

перегрітої води від східного узбережжя Північної Америки на центральну акваторію океану, додатна аномалія ТПО складала 1,0-2,0°C.

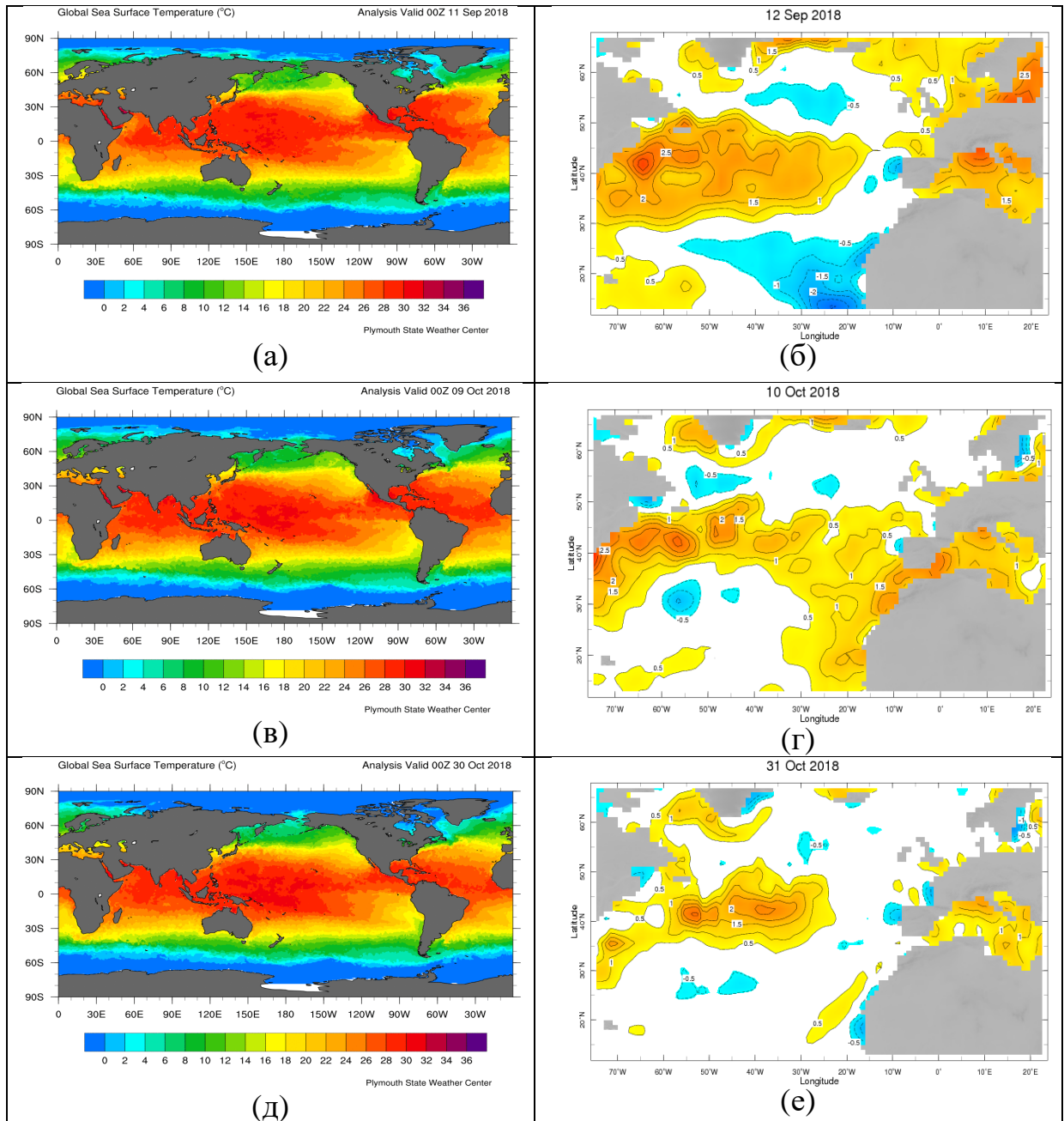


Рис.4.19. Карти ТПО (урагани Helene 07-16.09.2018 р., Leslie 23.09-16.10.2018 р., Oscar 26.10-03.11.2018 р.): карти температури поверхні води: (а) - 12.09.18 р.; (в) - 09.10.18 р.; (д) – 30.10.18 р.; карти щотижневої аномалії температури поверхні води: (б) - 09-15.09.18 р. з осередненням на 15.09.18 р.; (г) - 07-13.10.18 р. з осередненням на 10.10.18 р.; (е) – 28.10-03.11.18 р. з осередненням на 31.10.18 р.

ТЦ Oscar наприкінці жовтня 2018 р. має дещо відмінні показники ТПО, проте район зародження вихору ( $45^{\circ}$  з.д.,  $25^{\circ}$  півн.ш.) чітко співпадає з областю високої ТПО  $26-28^{\circ}\text{C}$ , аномалія ТПО до  $2,0^{\circ}\text{C}$ .

Для урагану Lorenzo восени 2019 р. дугоподібну траєкторію від західного узбережжя Африки на центральну Атлантику і поворот на північний схід до Британії практично ідентично руху ТЦ Helene, певною мірою характеризує розподіл аномалії температури води – рис.4.20.

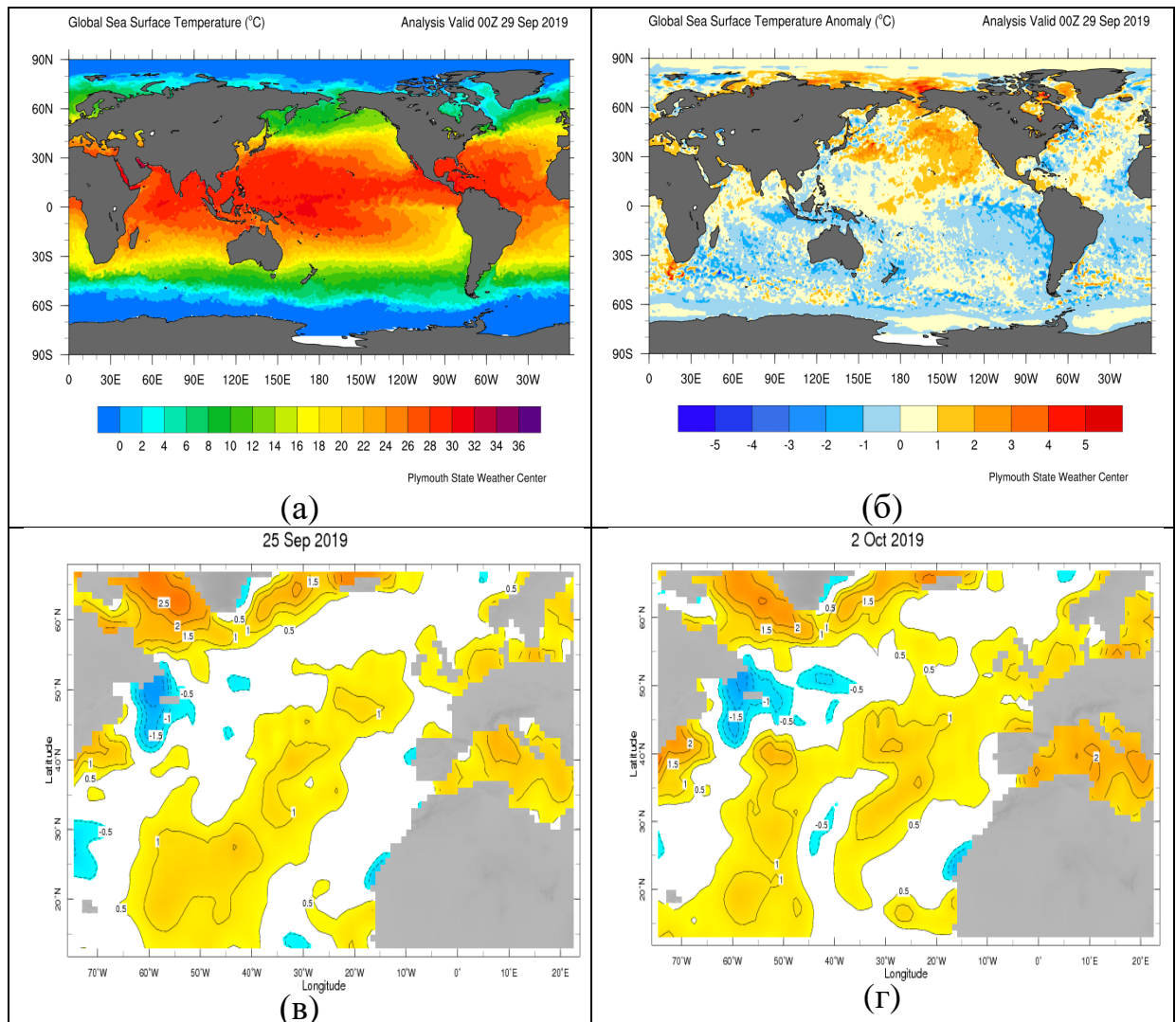


Рис.4.20. Карты ТПО (ураган Lorenzo 23.09-04.10.19 р.):

- (а) - карта температуры поверхности воды 29.09.19 р.;
- (б) - карта аномалии температуры поверхности воды 29.09.19 р.;
- карты щотижневої аномалії температури поверхні води:
- (в) - 22-28.09.19 р. з осередненням на 25.09.19 р.;
- (г) – 29.09-05.10.19 р. з осередненням на 02.10.19 р.

Так, найбільша активність урагану у третій декаді вересня відповідає подовженій масштабній зоні додатної аномалії ТПО, що охоплює практичну всю центральну акваторію океану ( $1-1,5^{\circ}\text{C}$ ), а у жовтні вже виділяється 2 осередки теплої води у низьких і середніх широтах Атлантики, один з них – видовжений з південного заходу  $40-30^{\circ}$  зх.д. на північний схід до Біскайської затоки, узбережжя Іспанії та Франції, повністю співпадає з рухом ТЦ Лоренцо на початку місяця.

Таким чином, за картами розподілу температури води Північної Атлантики, можна констатувати, що всі п'ять ураганів виникли в областях з показниками температури води у  $26\dots 30^{\circ}\text{C}$ , аномалії ТПО складали  $1,0-2,5^{\circ}\text{C}$ .

## 5 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ СЕРЕДЗЕМНОМОРСЬКИХ ТРОПІЧНИХ ЦИКЛОНІВ

Часто середземноморські урагани - медикани (medicanes), починають формування як регулярні зимові бурі, іноді за типом південних циклонів, а надалі шторми втягують тепло і вологу з Середземного моря, перетворюючи її в енергію, так само, як типові тропічні циклони.

Дослідженню підлягають 3 випадки формування медикан над Середземномор'ям у 2017, 2018, 2020 рр., як найбільш показові, і такі, що нанесли значні збитки інфраструктурі, склали загрозу життю населення внаслідок несприятливих погодних умов [2, 39-40].

В середині листопада 2017 р. на схід від Британських островів, з екстратропічних залишків тропічного шторму Rina (5-9 листопада 2017 р., сімнадцятого шторму в атлантичному сезоні ураганів 2017 р.), 11 числа сформувався циклон Numa, також відомий як медикан Numa, середземноморський тропічний циклон з властивостями субтропічного циклону. Рис. 5.1 ілюструє розвиток медикану за стадіями шторму з виходом на узбережжя Греції.

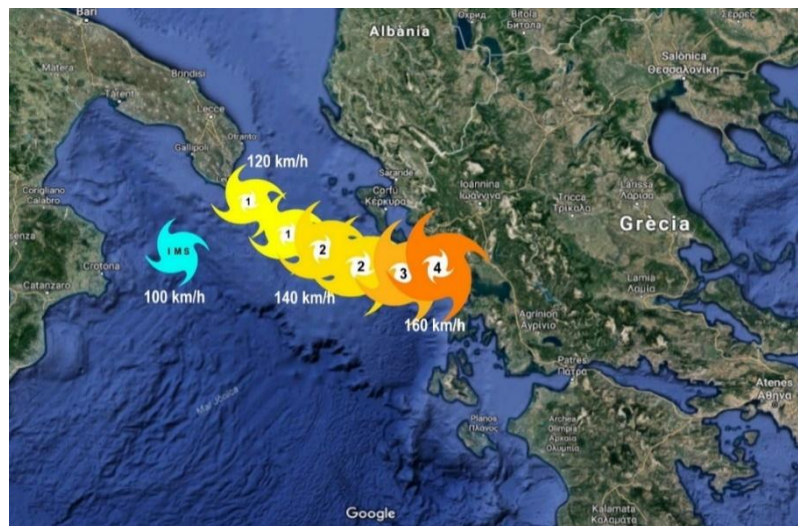


Рис. 5.1. Стадії розвитку медикану Numa

Національна обсерваторія Афін назвала систему Zenon, в Італії медикану дали назву Attila, офіційно частіше використовують ім'я Numa надану університетом Берліна - Free University of Berlin.

Медикан Numa в Іонічному морі став лише дев'ятим за десятиліття середземноморським циклоном тропічного типу, а біля берегів Греції це явище спостерігається лише третій раз за цей період часу.

Протягом існування даного вихору вже з перших днів формування, циркуляція більш чітко просліджувалась у середній і верхній тропосфері, ніж біля поверхні землі, що є відмінною ознакою від звичайних позатропічних циклонів, які виникають у приземному шарі і потім поступово розвиваються на висотах. Додатково, зважаючи, що циклон Numa є мезомасштабним вихором, на приземних картах у полі ізобар в окремі строки замкнена циркуляція проявлялась незадовільно.

11 листопада 2017 р. залишки тропічного шторму Rina над сходом Атлантики сприяли формуванню нового екстратропічного циклону на захід від Британських островів, який поглинув циклон Rina на наступний день. Медикан Numa швидко перетнув південь Британських островів, і після цього перед Францією й Італією поділився на 2 центри низького тиску. Практично весь європейський сектор 12 числа займає поглиблений циклон з центром на півдні Фінляндії -  $p_{\min}=987,5$  гПа. Улоговина циклону поширюється до півночі Африки. Єдина замкнена ізобара медикану виділяється над північним узбережжям Лівії, а на рівні 500 гПа циклону вже відповідає чітка структура правильної математичної форми в цьому ж районі.

Формування циклону Numa за оперативною синоптичною інформацією аналогічне виникненню південного циклону у видовженій улоговині основного мінімуму над Скандинавією.

До 13 листопада циклон спостерігається над Італією -  $p_{\min}=995$  гПа, що склало початкову пікову інтенсивність медикану. З циклоном пов'язані 2 паралельні фронтальні системи, що орієнтовані зонально від Франції до України, на строк 00 UTC у центрі циклону спостерігаються зливи й грози. Основний масштабний вихор над Європою зберігає своє положення, поступово заповнюється, відмічається розшарування структури, фронти зміщуються на периферію. На строк 06 UTC 13 числа в системі медикану над Італією у теплому секторі виділяється фронт оклюзії над акваторією Адріатичного моря, тиск падає до 991,2 гПа. На рівні 850 гПа циркуляція відсутня, нечітко виділяється замкнена ізогіпса на карті АТ-700 і лише на АТ-500 циклон проявляється над центральним Середземномор'ям, просторова вісь сильно нахилена на південний схід – рис.5.2.

14 листопада медикан біля поверхні землі заповнюється, тиск зростає до 1002 гПа, але на висотах вихор відмічається над Сардинією, Італією і

Тірренським морем системою замкнених ізогіпс кругової форми, найбільш чітко - на рівні АТ-500,  $H_{\min}=537$  Дам, вісь дещо нахилена на захід.

З висотою медикан охоплює практично все Середземномор'я, висотна фронтальна зона (ВФЗ), що огинає вихор, визначає максимальні градієнти у тилівій частині над Піренеями, де формується струминна течія (СТ). У передній частині циклону реєструються грози, зливи.

За даними карти ВТ-500/1000 в тилівій частині вихору спостерігається інтенсивна адвекція холоду, що підтримує існування циклону.

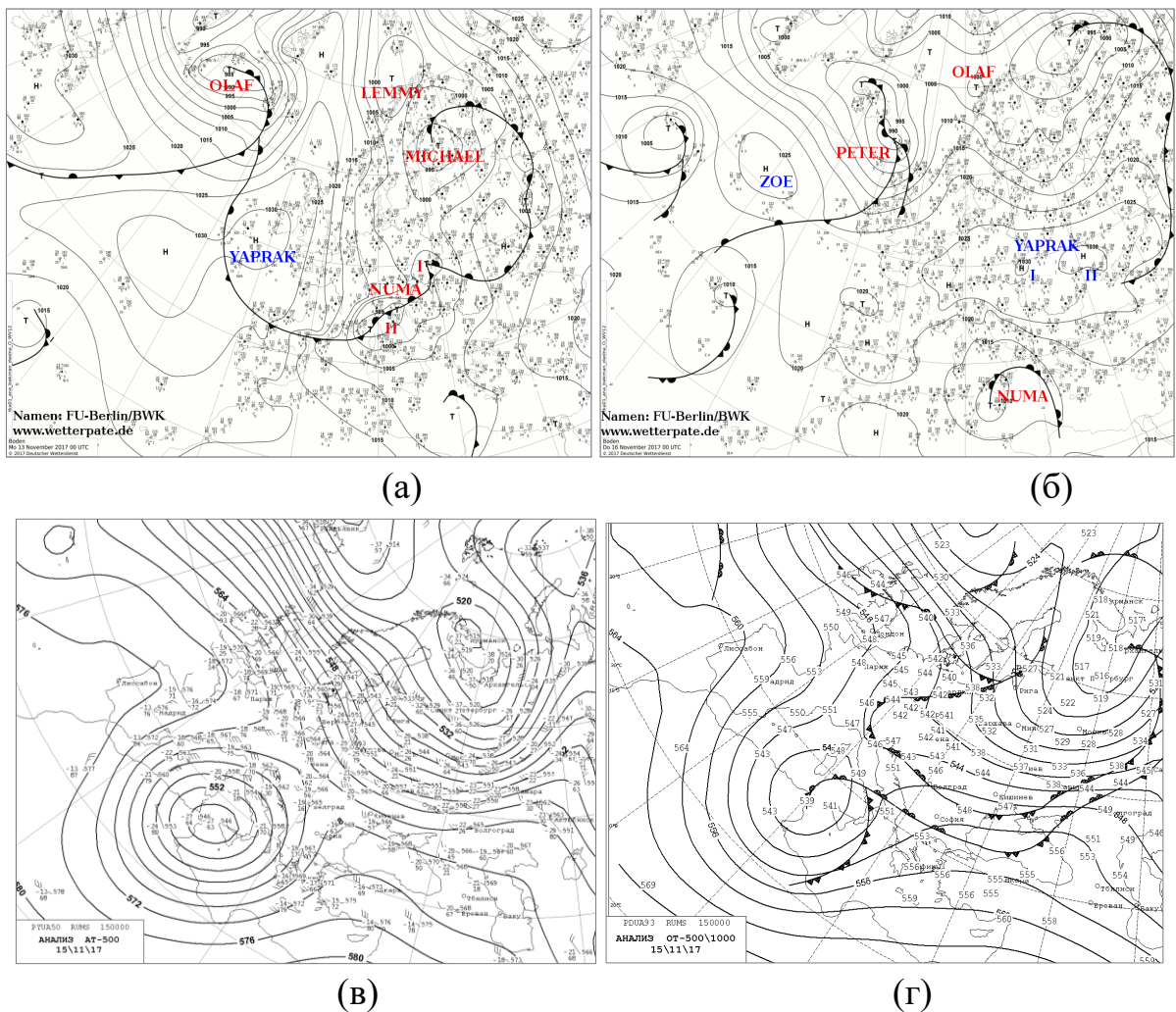


Рис.5.2. Приземний аналіз: (а) - 13.11.17 р.; (б) - 16.11.17 р.;  
(в) – АТ-500 15.11.17 р.; (г) - ВТ-500/1000 15.11.17 р.

До 15 листопада депресія розширилася, не змінюючи положення у приземному полі. На рівні 400 гПа медикану відповідає вихрова система з центром над Тунісом,  $H_{\min}=703$  Дам, 6 симетричних замкнених ізоліній. На цю добу тепле Іонічне море і надходження холодної і вологої повітряної маси



дестабілізується під слабким вертикальним зсувом вітру, що виступило необхідним фактором для формування медикану - середземноморського урагану, або тропічного типу циклона (TLC). Таким чином, циклон набув субтропічні характеристики, у той час як біля поверхні землі вихор поступово став заповнюватися.

На наступну добу медикан чітко просліджується до поверхні АТ-300, не змінюючи положення на висотах. Біля поверхні землі залишається одна замкнена ізобара, передня частина циклону поширюється на Балкани, на цей час циклон визначив складні погодні умови над Грецією – сильні вітри, хвилювання на акваторіях морів і штормові нагони, а також зливи, що спричинили повені. Відмічалось також різке зниження температури на півдні Греції, островах Крит і Кіклади до 10°C.

17 листопада циклон Numa повністю втратив фронтальну структуру і досяг стадії субтропічної середземноморської депресії. Протягом наступних кількох годин медикан продовжував активізуватися, досягнувши своєї максимальної інтенсивності 18 листопада, як сильний субтропічний шторм.

Структура була недовговічна - до вечірніх строків 18 листопада медикан заповнився внаслідок посилення зсуву вітру. Так, 17 числа медикан ще виділяється до рівні 300 гПа, а 18 листопада – замкнений центр вихору присутній лише на поверхні АТ-850, біля землі медикан виражений лише у вигляді улоговини.

За даними супутника ASCAT та системи ESTOFEX (European Storm Forecast Experiment) 17 числа, шторм був стійким з швидкостями вітру 55 вузлів ( $101 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ ) інтервалу 10-хвилинних стійких вітрів, що еквівалентно інтенсивності тропічних бур, хоча фактичні вітри, можливо, були сильніші, що складно визначити через малий діаметр шторму. Пізніше в той же день, медикан змістився на до узбережжя Греції, спричинивши штормовий сплеск у затоці Патрі і руйнівні пориви вітру.

Між 18:00 UTC 17 листопада і 05:00 UTC 18 листопада медикан Numa придбав очевидні тропічні характеристики з ураганоподібною структурою. 18 числа над Грецією (станція в Кефалонії), зафіксовані пікові вітри 60 вузлів ( $110 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ ) при мінімальному тиску 998 гПа. Згодом система проявилася в Егейському морі 19 листопада, а до 20 листопада медикан Numa був поглинутий ще одним екстра тропічним штормом, що наблизився з півночі.

Спостерігалася типова структура хмарності, характерна для класичного тропічного циклону, з єдиною відмінністю розміру, що відповідав мезомасштабу [43]. Типовою особливістю урагану є його тепле ядро. Як

показують комбізовані знімки хмарності МШСЗ, шторм Numa на 18 листопада мав чітко визначену структуру ока бурі, подібно до класичних тропічних циклонів – рис.5.3.

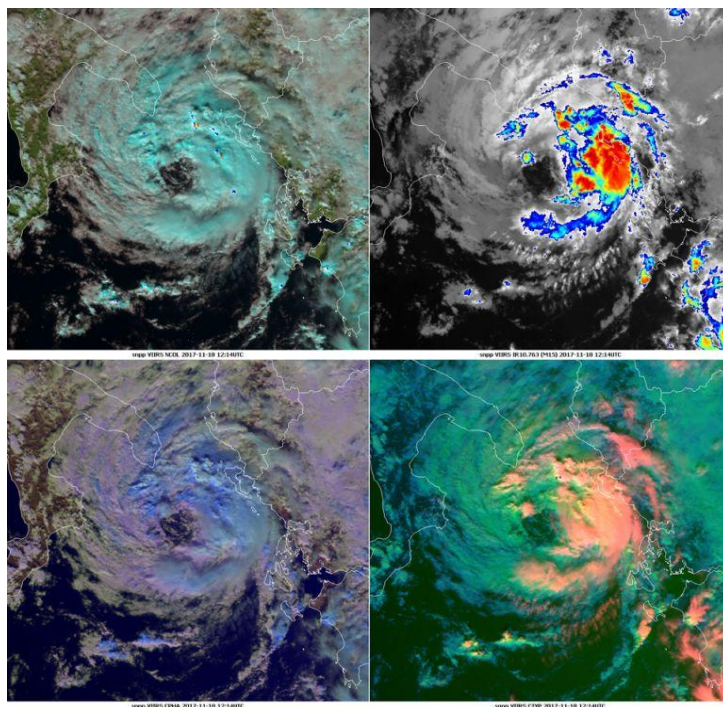


Рис. 5.3. Комбізовані супутникові знімки хмарності 18.11.17, 12:14 UTC

Стадії розвитку за полем хмарності також відповідають тропічному циклону, що найбільш виразно ілюструють знімки хмарності NASA, MODIS Aqua – рис.5.4.

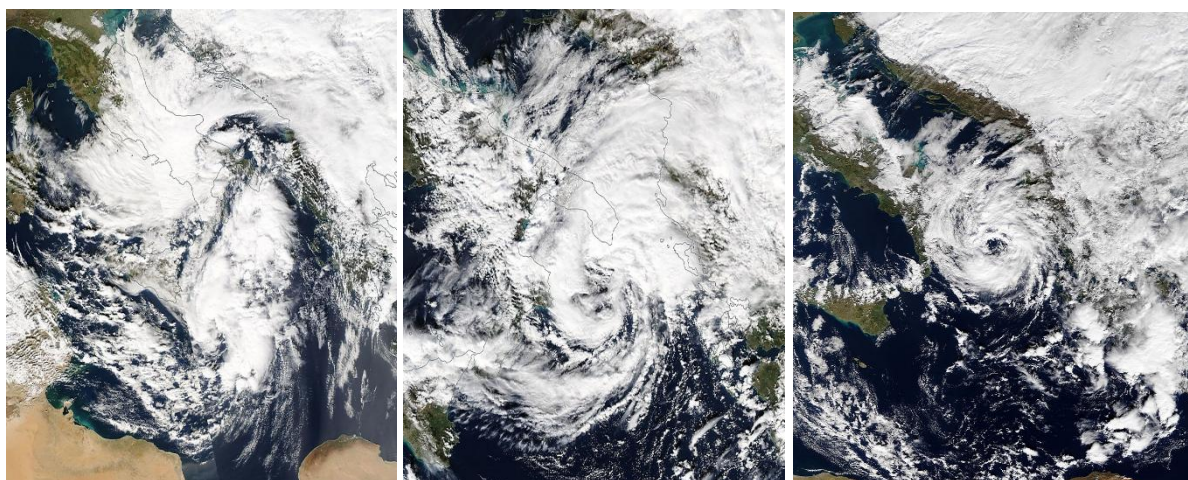


Рис. 5.4. Стадії розвитку медикану Numa 16-18.11.2017

Мезомасштабність вихору демонструє знімок хмарності - рис.5.5(а). Масштаб ока складав до 50 км, правильної круглої форми, що відповідає середнім статистичним показникам діаметру ока для звичайних тропічних циклонів в 30—60 км. А зовнішня частина медикану організована в дощові смуги щільних грозових купчастих хмар, що рухаються до центру циклона і зливаються зі стіною ока. Виразний знімок ока бурі медикану в макромасштабі ілюструється на рис 5.5(б). «Око» характеризується спокійною погодою і ясным небом, хоча хвилі на морі є великими.

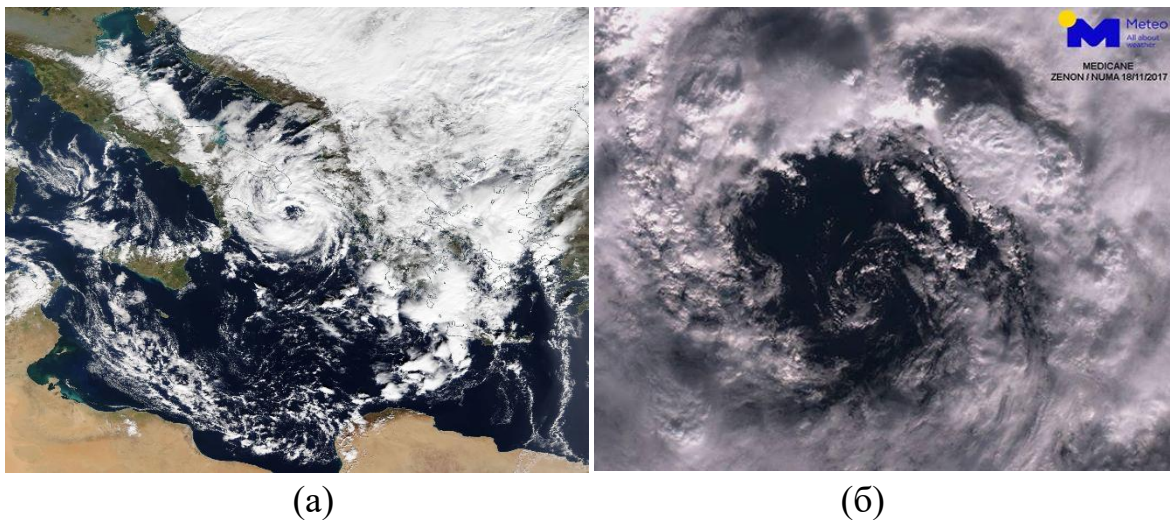


Рис. 5.5. Супутникові знімки хмарності 18.11.2017 р., VIS

Найбільші руйнування ураган наніс Великобританії, Ірландії, Франції, Італії, Тунісу, Греції, Туреччині. Циклон Numa призвів до 21 зареєстрованої смерті. В результаті сильного вітру і інтенсивних злив (Презичче – провінція Лечче, Італія, випало 328 мм опадів) відмічалися сходи грязьових потоків, ушкоджена інфраструктура міст, щонайменше 1500 будинків були затоплені, проводилася евакуація жителів. Шторм викликав збитки в Європі в розмірі \$100 000 000 і вважався найстрашнішим природним лихом, яке Греція зазнала з 1977 р.

Наступний випадок для дослідження - медикан, що сформувався в Середземномор'ї наприкінці вересня 2018 р. названий EMWMC Cindy, відомий частіше під назвою Zorbas або Zorba, надану Free University of Berlin.

Зазначимо, що у приземному полі циркуляційна система медикану відмічалася слабо і лише 28-29 вересня, в інші дні переважна частина атлантико-європейського сектору, за виключенням півночі Європи, була охоплена потужним антициклоном. Деякі європейські прогностичні центри вказують на зв'язок антициклонічної області і системи циклону у середній і

верхній тропосфері, при виникненні між ними, так званої, зони деформації - конвекції, пов'язаної з циклоном і великомасштабного просідання повітряної маси, зумовлене антициклоном.

На рис.5.6 зображено траєкторію руху медикану з позначеннями мінімального тиску у центрі і максимальних поривів вітру.

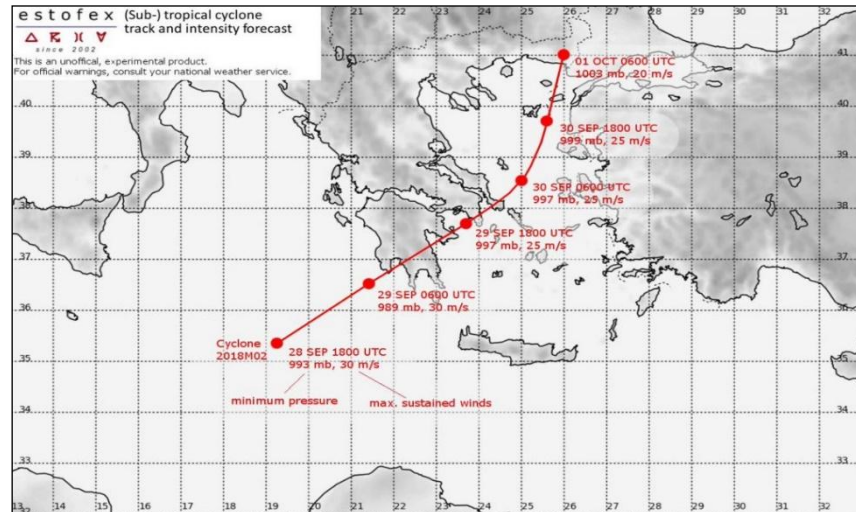


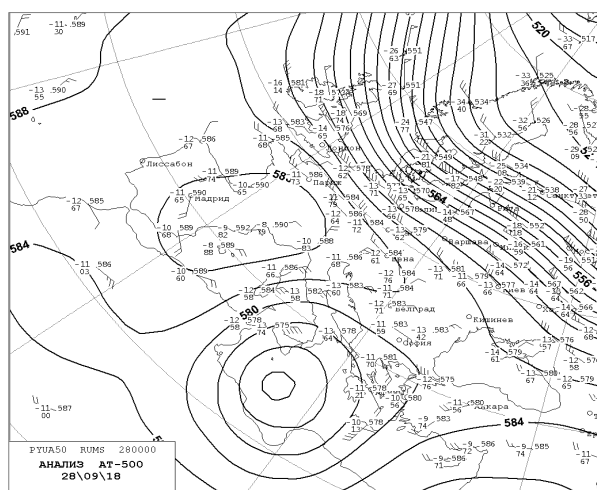
Рис. 5.6. Схема переміщення медикану Zorbas 28.09 – 01.10.2018 р.

Проаналізуємо особливості циркуляційних умов формування медикану Zorbas в Середземномор'ї – рис.5.7.

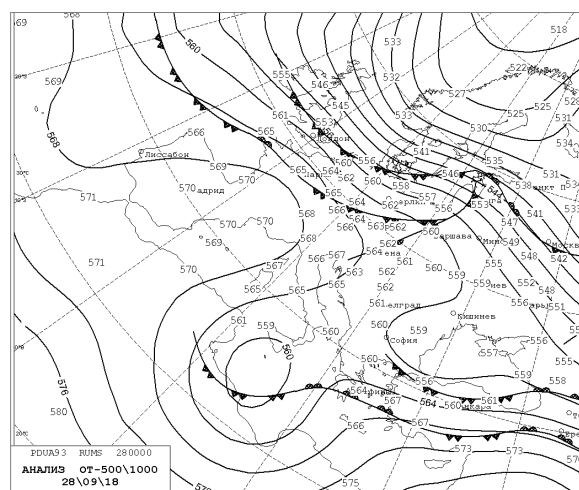
27 вересня на сході Середземного моря над Балканами розвивається циклонічна циркуляція у середній тропосфері. Температура води близько 27°C підтримувала перехід шторму в гібридний циклон з теплим ядром у центрі. Карта АТ-500 виділяє специфічну конфігурацію баричного поля, яка визначається, як «диполь» - антициклон по півночі – над західною і центральною Європою, і циклон на півдні. Приземні карти демонструють масштабну область високого тиску над всім європейським регіоном (за виключенням Скандинавії і півночі ЄТР), що поширюється з центральної Атлантики. Максимум тиску у центрі над Софією 1035,4 гПа, ізольоване ядро високого тиску також виділяється над Західним Сибіром у смузі високого тиску. Таким чином, антициклонічна система відтісняє арктичну і полярну фронтальні системи на південь, що проходять широтно над Балканами, Чорним морем і Кавказом у зоні найбільших градієнтів. На цю добу місцеположенню медикану на висотах біля землі відповідає лише хвиля на фронті над Егейським морем.

28 вересня в строк 00 UTC біля поверхні землі замкнута циркуляція відсутня, а починає простежуватися з АТ-850 до АТ-300 – циклон є висотним. У верхній і середній тропосфері замкнена область циклону з багатьма сферичними ізогіпсами виділяється над центральною акваторією Середземного моря і Лівією. На строк 06 UTC в цьому регіоні розвивається замкнута циклонічна система на полярному фронті з мінімальним тиском в центрі 1001,7 гПа. Шторм зміщується на північний схід до Греції, поступово інтенсифікуючись і розвиваючи характеристики тропічного циклону.

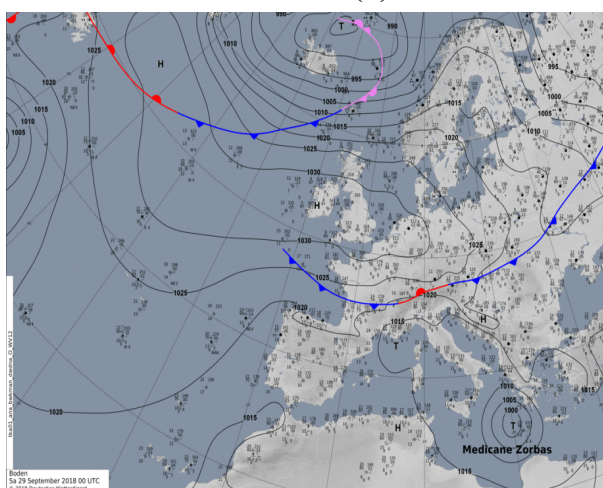
За даними карти ВТ-500/1000 циклон термічно неоднорідний – в тилівій частині над північним узбережжям Тунісу виділяється осередок холоду, а над Балканами формується слабовиражений гребінь тепла.



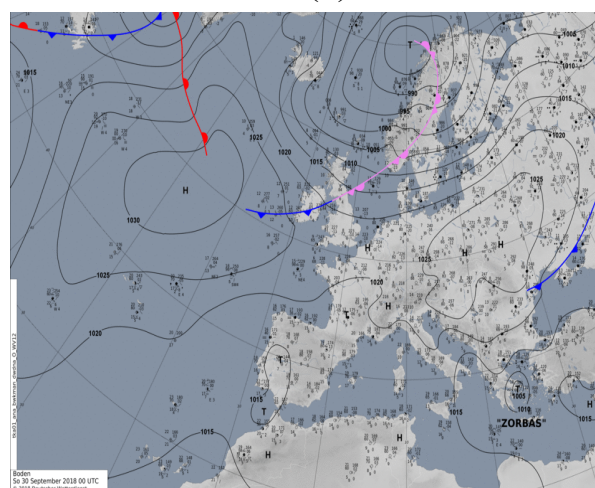
(a)



(б)



(в)



(г)

Рис. 5.7. Висотні карти погоди 28.09.2018 р.: (а) - АТ-500;  
 (б) – ВТ-500/1000; приземний аналіз: (в) - 29.09.2018 р.;  
 (г) – 30.09.2018 р.;

29 вересня в строк 00 UTC на Пелопоннесі медикан досягає пікової інтенсивності з мінімальним тиском 989,3 гПа. Циклонічна система охоплює Італію до Лігурійського моря, Балкани, захід Туреччини. Циклон зберігає фронтальну структуру, оклюдований, точка оклюзії виділяється над Афінами

На цю добу ESTOFEX повідомила про Zorbas, як «середземноморський циклон 2018M02» з такими ж показниками глибини - 989 гПа в Каламе на півдні Пелопоннесу, далі оцінюючи мінімальний тиск на 987 гПа, з однохвилинним інтервалом максимальних стійких вітрів  $120 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ , що відповідає характеристикам ураганів категорії 1.

30 вересня в строк 00 UTC на рівні 500 гПа медикан не визначається як вихрова структура, на Балкани видовжена лише барична улоговина з віссю від ЄТР; за даними карти BT-500/1000 цей регіон охоплений термічною улоговиною. На рівнях 700 і 850 гПа замкнута циклонічна циркуляція продовжує простежуватися, просторова вісь вертикальна. Біля поверхні землі структура циклону розшарована, замкнуті ізобари відсутні, з улоговиною пов'язаний оклюдований полярний фронт. 1 жовтня Zorbas ще простежувався в Егейському морі на рівнях 700 і 850 гПа, а 2 жовтня медикан вийшов на північний захід Туреччини і заповнився.

При формуванні медикан Zorbas проявив вплив подібно борі: південь Середземного моря на кінець вересня залишився дуже теплим, майже на 2-3°C вище норми, а температура поверхні Лігурійського і Адріатичного морів аномально висока - близько 28°C. Вторгнення холоду у тилу медикану між Лівійським узбережжям, Пелопоннесом і далі через Егейське море на Босфор визначало характеристики даного циклону, подібно для атлантичних ураганів. Ці затоки холоду суттєво знизили температуру морської поверхні центрального Середземномор'я, а також Егейського моря на 3-4°C, що характерно для атлантичних ураганів (зазвичай 2-5°C).

Розміри медикану Zorbas на висотах перевищили мезомасштаб і становили до 200-300 км в центральному Середземномор'ї, що є ще одним показником, характерним для атлантичних ураганів.

Стадії розвитку медикану Zorbas за полем хмарності можна простежити за знімками на рис. 5.8.

Зі структури поля хмарності видно, що в цьому випадку «око бурі» не сформувалося, а сам циклон визначається як тропічний шторм у вигляді характерного диску компактного розміру до 30 вересня.

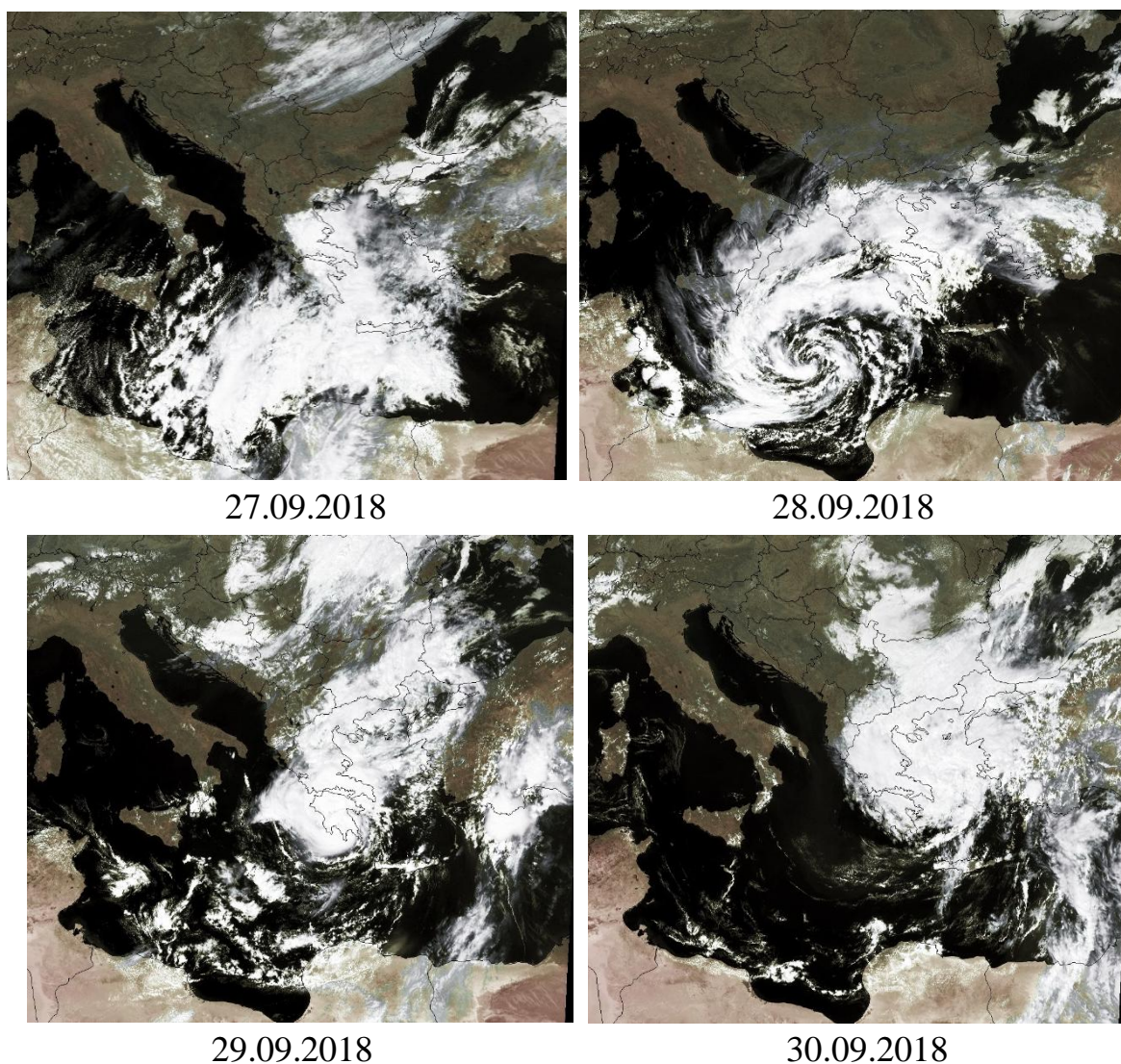


Рис. 5.8. Супутникові знімки Meteosat-MSG 27-30.11.2018 р.

З 29 по 30 вересня під час свого існування медикан Zorbas зумовив раптову повінь в Греції, на заході Туреччини, в Тунісі і Лівії, де спостерігалось близько 200 мм опадів, в Болгарії до 130 мм. В результаті 5 осіб загинули в Тунісі, троє осіб зникли безвісти в Греції. В деяких районах Греції зафіксовано добові суми опадів 29 вересня до 140 мм дощу, шторм спричинив катастрофічний прибій на узбережжя, сильний вітер в Афінах наніс руйнування інфраструктурі, десятки доріг були закриті через затоплення. Центральна і північна частини Пелопоннеського півострова постраждала від повені сильніше всього, швидкість вітру місцями досягала  $117 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ . Тропічний циклон Zorbas викликав найсильнішу повінь у Греції у 2018 р.

Останній випадок для аналізу – середина вересня 2020 р. - 14-19 вересня над Середземним морем сформувався черговий медикан. Греція присвоїла системі назву «Янос» (Ianos), в той же час німецька метеорологічна служба використала назву «Udine»; турецька - «Tulpar», італійська - «Cassilda».

Формуванню гібридної бурі також сприяла тривала літня погода в Середземноморському регіоні, що значно зіграла морські води. Температура води 27-28°C простягалася через південне Середземне море до Іонійського моря і навколо Греції, аномалії ТПВ склали до 2°. За рахунок високих температур Середземного моря новоутворена система низького тиску швидко набувала характеристик тропічного циклону - рис.5.9.

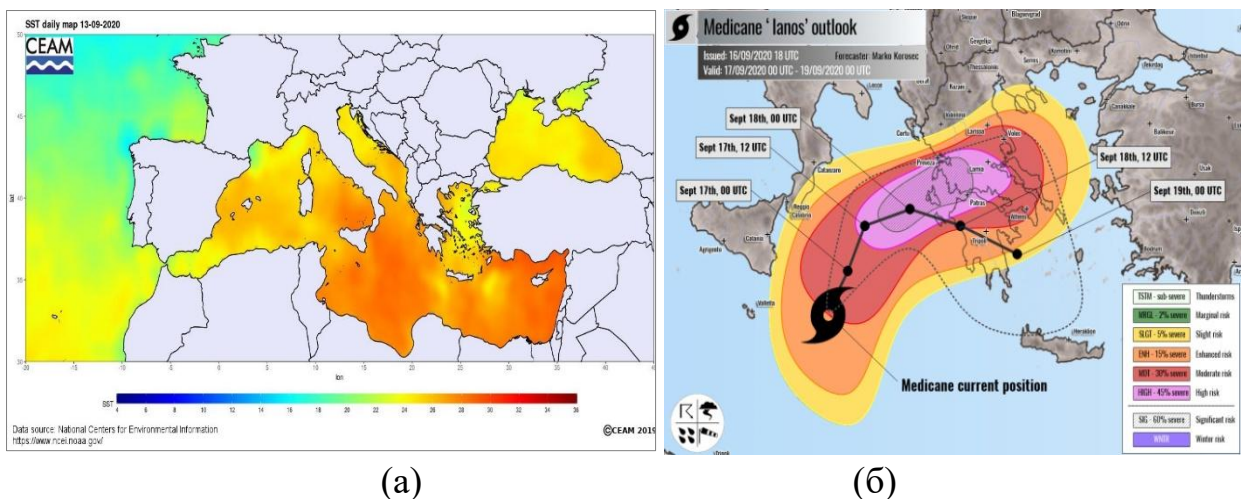


Рис. 5.9. Карта розподілу температури води 13.09.2020 р. – (а); трек урагану Ianos - (б)

За шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS), урагану присвоєна категорія 1, показники урагану – максимальна швидкість вітру 130 км·год<sup>-1</sup>, мінімальний тиск 990 гПа, кількість опадів 595 мм за два дні.

14 вересня 2020 року над затокою Сідра почала розвиватися зона низького тиску, на хвилі фронтального розділу сформувався циклон с мінімальним тиском 1015 гПа. Циклон швидко розвивався протягом наступних годин, повільно був спрямований на північний захід зі швидкістю вітру 50 км·год<sup>-1</sup>. В передній частині улоговини спостерігалось інтенсивне падіння атмосферного тиску – 4,9 гПа, в тилевій частині - ріст тиску 2 гПа. Наявність ізалобаричної пари свідчить про активізацію циклонічної діяльності над Середземним морем.



15 вересня швидкість вітру збільшилась до  $65 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$  при мінімальному тиску 1010 гПа. 16 вересня в приземному полі центр циклону знаходився над Іонічним морем з мінімальним тиском 1005 гПа. За даними карти АТ-500 йому відповідає висотний центр на схід від о.Сардинія, з  $H_{\text{min}}$  581 дам. Вісь даного циклону нахилена на північний захід - рис.5.10.

За даними приземного аналізу 17.09.2020 р. на строк 00 UTC циклон окреслювався п'ятьма ізобарами, характеризувався найбільш вологою повітряною масою, що призвело до розвитку потужної конвективної хмарності, та, як наслідок, випадіння значної кількості опадів над західною частиною Греції. При переміщенні циклону до берегів Греції за рахунок контрасту температури суша-море, перепаду тиску, шорсткості підстильної поверхні, дані фактори призвели до аномальних метеорологічних явищ.

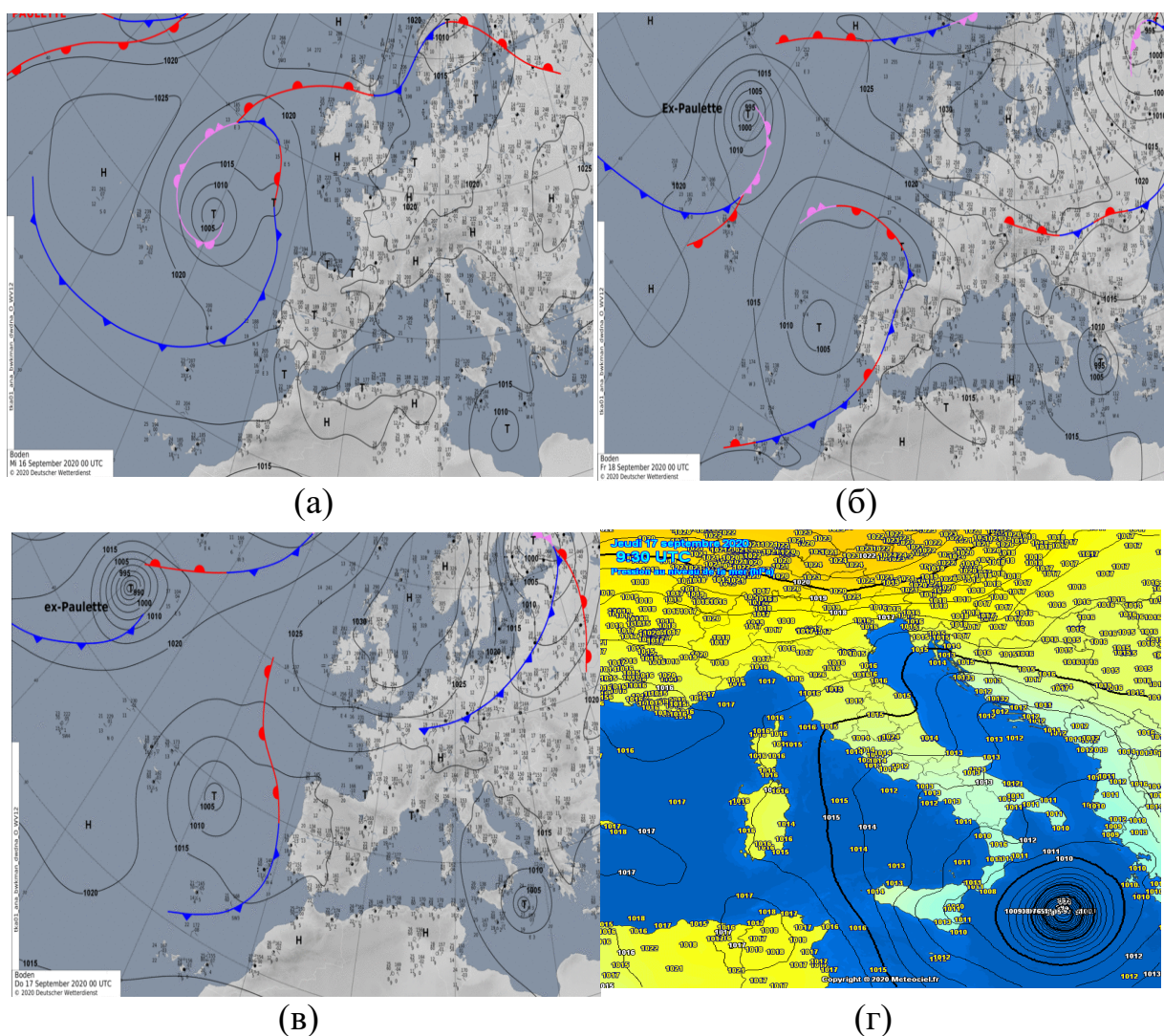


Рис. 5.10. Приземний аналіз: (а) - 16.09.2020 р.; (б) – 18.09.2020 р.; (в)-(г) – 17.09.2020 р.

Медикан Ianos досяг берегів Греції 18 вересня з максимальною інтенсивністю вітрів  $130 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$  та мінімальним тиском  $990 \text{ гПа}$ , що відповідає урагану I категорії за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона. Після виходу на сушу, медикан змістився на південний схід, а 19 вересня знову вийшов в море. Після цього медикан продовжував рухатися на південний схід ще кілька днів, а 21 вересня розпався біля берегів Киренаїка.

Вранці 17 вересня в циклоні сформувалося око бурі. Супутникові знімки показують, що смуги хмарності конвергують у всі квадранти системи, і тепер вона має чітко визначений майже симетричний вигляд – рис.5.11.

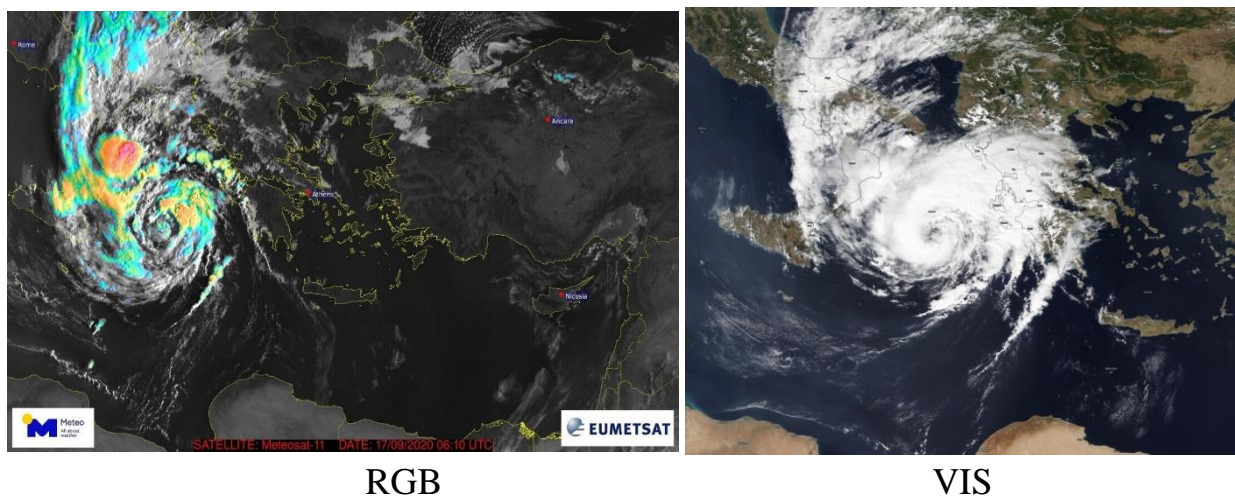


Рис. 5.11. Супутникові знімки хмарності 17.09.2020 р.

В результаті повеней і руйнувань загинуло 4 людини, одна зникла безвісти. Загальні утрати від шторму з мінімальною оцінкою \$100 млн.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі досліджено циклони тропічного походження з нетиповими траєкторіями, а саме з центральної Атлантики на північний схід до узбережжя Європи, які впливають на погодні умови Західної Європи та середземноморські циклони тропічного типу – медикани.

Досліджено п'ять випадків формування ураганів над Північною Атлантикою восени 2017-2019 рр. та три середземноморські тропічні циклони 2017, 2018 та 2020 рр.

Проведене дослідження дозволяє зробити наступні висновки:

1. Мінімальні показники тиску ураганів склали: Ophelia – 959 гПа, Helene – 967 гПа, Leslie – 968 гПа, Oscar – 966 гПа, Lorenzo – 925 гПа.
2. Найпотужнішим виявився Лоренцо, в якому зафіксовані найсильніші вітри  $260 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ , що відповідає категорії 5 за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS). Даний ураган став найбільш «східним» атлантичним ураганом. ТЦ Helene та Oscar досягли категорії 2.
3. Найбільш складна траєкторія руху і тривалість існування більше трьох тижнів належить урагану Leslie. Максимальна швидкість вітру склала  $150 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ , що відповідає категорії 1 (SSHWS).
4. Внаслідок впливу ураганів найбільших руйнувань і збитків зазнали Азорські острови, Піренейський півострів, Ірландія, Британія, Франція.
5. Проаналізовано аномалії температури поверхні води Атлантики та Середземного моря при виникненні тропічних штормів. Траєкторія руху ТЦ співпадала з осередками перегрітої води. Розглянуті п'ять ураганів виникли в областях з показниками температури води у  $26 \dots 30^\circ\text{C}$ , додатна аномалія ТПО складала  $1,0\text{-}2,5^\circ\text{C}$ .
6. Визначено особливості формування тропічних середземноморських циклонів Numa (11-19.11.2017 р.), Zorbas (27.09-01.10.2018 р.) та Ianos (17-19.09.2020 р.) Мінімальні показники тиску: Numa – 995 гПа, Zorbas – 987 гПа, Ianos – 990 гПа
7. Медикани Zorbas та Ianos досягли категорії 2 за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS).
8. Найбільші руйнування, збитки та кількітьс загиблих спричинені середземноморськи тропічним циклоном Numa.

9. Траєкторія медиканів, загалом, була спрямована з Сардинії, через Сицилію, Іонічне море на захід Греції, однак вплив медикану Zorbas поширився до Болгарії, це свідчить, що процеси можуть розвиватися у безпосередній близькості від півдня України, зумовлюючи інтенсивні зливи і штормові вітри та хвилювання на акваторії Чорного моря.
10. Необхідним для формування розглянутих медикан виступила висока температура поверхні води Середземного моря до 24-28°C і інтенсивні затоки холоду у середній і верхній тропосфері у тилову частину циклонів.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Антонюк Я.І., Нажмудінова О.М. Тропічні циклони у 2017р. Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ 23-26 квітня 2018 р. / ОДЕКУ. Одеса: ТЕС. 2018. С.219-222.
2. Антонюк Я.І., Нажмудінова О.М. Середземноморські тропічні циклони. Матеріали тези студентської наукової конференції ОДЕКУ (15-18 квітня 2019 р.) / ОДЕКУ. Одеса: ТЕС. 2019. С.248-249.
3. Антонюк Я.І., Нажмудінова О.М. Урагани північної Атлантики. Матеріали ХІХ наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 25-29 травня. Одеса: ОДЕКУ. 2020. С.267.
4. Мамедов Э.С., Павлов Н.И. Тайфуны. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 140 с.
5. Нестеров Е.С. Экстремальные циклоны в Атлантико-Европейском регионе. М.: Гидрометцентр России, 2018. - 104 с.
6. Нестеров Е.С., Похил А.Э., Федоренко А.В. Об особенностях формирования глубоких циклонов в Северной Атлантике в осенний период. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. №2(372). С.92-101.
7. Похил А.Э., Глебова Е.С. Влияние тропического циклона Омар на погоду в Европе // Метеорология и гидрология, 2010. № 9. С. 36-42.
8. Anagnostopoulou Chr., Tolika K., Flocas H., Maheras P. Cyclones in the Mediterranean region: present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P). European Geosciences Union. Advances in Geosciences. 2009. V.7. P.9-14.
9. Baatsen M., Haarsma R.J., Van Delden A.J., De Vries H. Severe Autumn storms in future Western Europe with a warmer Atlantic Ocean. Clim. Dyn., 2015. V.45. P.949–964.
10. Bakkensen L. Estimating the Damages of Mediterranean Hurricanes. University of Arizona. 2016. 23 p.
11. Cavicchia L., von Storch H., Gualdi S. Mediterranean tropical-like cyclones in present and future climate / Journal of Climate. 2014. V. 27(19). P. 7493-7501.
12. Cavicchia L., von Storch H., Gualdi S. The simulation of medicanes in a high-resolution regional climate model. Climate Dynamics. 2012. V.39 (9-10). P.2273-2290.

13. Cavicchia, L., Storch, H. von, & Gualdi, S. A long-term climatology of medicanes. *Climate Dynamics*. 2014. V. 43 (5-6). P.1183-1195.
14. Claud C., Alhammoud B., Funatsu B.M., Chaboureau J.-P. Mediterranean hurricanes: large-scale environment and convective and precipitating areas from satellite microwave observations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. European Geosciences Union. 2010. V.10 (10). P.2199-2213.
15. Emanuel K. Genesis and maintenance of «Mediterranean hurricanes». *European Geosciences Union / Advances in Geosciences*. 2005. V.2. P.217–220.
16. Francois Lapointe et al, Annually resolved Atlantic sea surface temperature variability over the past 2,900 y. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. 117 (44). 27171-27178.
17. Haarsma, R.J., Hazeleger W., Severijns C., De Vries H., Sterl A., Bintanja R. et al. More hurricanes to hit western Europe due to global warming. *Geophysical Research Letters*, 2013. V.40 (9). P.1783–1788.
18. Kieran R. Hickey The Impact of Hurricanes on the Weather of Western Europe In: Anthony R. Lupo (eds). *Hurricane Research - Climate, Dynamics and Societal Impacts*. Croatia: InTech. 2011. P.78-84
19. Kossin J.P. A global slowdown of tropical-cyclone translation speed. *Nature*. 2018. P.104–107.
20. Longshore D. *Encyclopedia of Hurricanes, Typhoons, and Cyclones*, New Edition. New York: Facts on File. 2008. 480 p.
21. Miglietta M.M., Moscatello A., Conte D., Mannarini G., Lacorata G., Rotunno R. Numerical analysis of a Mediterranean 'hurricane' over south-eastern Italy: Sensitivity experiments to sea surface temperature. *Atmospheric Research*. Elsevier. 2011. V.101 (1–2). P. 412-426.
22. Nastos P.T., Karavana-Papadimou K., Matsangouras I.T. Tropical-like cyclones in the mediterranean: impacts and composite daily means and anomalies of synoptic conditions. University of Athens. *Atmospheric Research/CEST*. 2015. P.156-167.
23. R. Sutton et al. Atlantic multidecadal variability and the UK ACSIS program. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 99. 2008. P.415–425.
24. Sharkov E.A. *Global tropical cyclogenesis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer / PRAXIS, 2000. 370 p.
25. Tous M., Romero R. Medicanes: cataloguing criteria and exploration of meteorological environments. *Tethys. International Journal of Climatology*. 2011. V.8. P.53–61.

26. Zappa, G., Shepherd T.G. Storylines of atmospheric circulation change for European regional climate impact assessment. *Journal of Climate*, 2017. V.30(16). P.6561-6577.
27. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/>
28. <http://weather.gmdss.org/III.html>
29. <http://www.estofex.org/>
30. <http://www.hnms.gr/emv/el/>
31. <http://www.tropicalstormrisk.com/>
32. <http://www2.wetter3.de/fax> <http://www.wetterzentrale.de/>
33. <https://climate4you.com/SeaTemperatures.htm>
34. <https://meteoinfo.ru/033/m033.htm>
35. [https://planet.iitp.ru/Oper\\_pr/Meteo\\_Cyclone.html](https://planet.iitp.ru/Oper_pr/Meteo_Cyclone.html)
36. <https://public.wmo.int/ru/тропические-циклоны>
37. <https://twitter.com/MedicaneCentre>
38. <https://vortex.plymouth.edu/myo/sfc/sst-a.html>
39. <https://watchers.news/2017/11/17/rare-mediterranean-tropical-like-cyclone-forms-heading-toward-greece/>
40. <https://watchers.news/2018/09/28/fully-developed-medicane-in-mediterranean-heading-toward-greece/>
41. <https://www.britannica.com/science/tropical-cyclone>
42. <https://www.dwd.de/>
43. <https://www.eumetsat.int/website/home/Images/RealTimeImages/index.html>
44. <https://www.met.ie/forecasts/national-forecast>
45. <https://www.nhc.noaa.gov/>
46. [https://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/Basin\\_Med.html](https://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/Basin_Med.html)
47. <https://www.weather.gov/jetstream/tc>

## Додаток А

## Довідка

кафедри метеорології та кліматології  
до магістерської кваліфікаційної роботи  
маг. гр. МЗМ-19 Антонюк Яни Іванівни

на тему

«Дослідження впливу тропічних штормів на погодні умови Європи»

Виконання магістерської кваліфікаційної роботи проведене в рамках бюджетної кафедральної тематики «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною», № 0120U100487. Результати, отримані в магістерській кваліфікаційній роботі, можуть бути використані у розділах звіту з науково-дослідної роботи кафедральної теми.

Зав. кафедри

/Прокоф'єв О.М./