

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

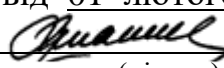
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

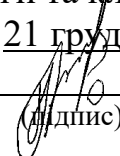
до практичних занять з навчальної дисципліни
«Авіаційна та супутникова метеорологія»

блок «Супутникова метеорологія»
на тему

«Хмарність тропічної зони»

для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 103 «Науки про Землю»

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 6 від 01 лютого 2022 р.
Голова групи  Шакірзанова Ж.Р.
(підпис)

Затверджено
на засіданні
кафедри метеорології та кліматології
Протокол № 5 від 21 грудня 2021 р.
Завідувач кафедри  Прокоф'єв О.М.
(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни
«Авіаційна та супутникова метеорологія»

блок «Супутникова метеорологія»
на тему

«Хмарність тропічної зони»

для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 103 «Науки про Землю»

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 6 від 01 лютого 2022 р.

Одеса – 2022

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Авіаційна та супутникова метеорологія», блок «Супутникова метеорологія», для студентів 4 року навчання денної та заочної форми за спеціальністю 103 «Науки про Землю», рівень вищої освіти Бакалавр.
Нажмудінова О.М. – Одеса, ОДЕКУ, 2022, 30 с.

ЗМІСТ

Передмова.....	4
1 Хмарні системи тропічних широт	5
1.1 Хмарність тропічних циклонів.....	5
1.2 Хмарність внутрішньотропічної зони конвергенції	18
1.3 Хмарність холодних вторгнень у тропіках.....	23
1.4 Хмарність пасатних хвиль.....	25
1.5 Мусонна хмарність.....	27
2 Практична робота №1	29
Список літератури.....	30

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна ««Авіаційна та супутникова метеорологія»» - складова частина навчального плану на рівні бакалавра.

Мета блоку «Супутникова метеорологія» дисципліни «Авіаційна та супутникова метеорологія» - надання знань студентам про використання сучасних методів дистанційного зондування атмосфери і земної поверхні за допомогою метеорологічних штучних супутників Землі (МШСЗ) для діагнозу та прогнозу синоптичних процесів і явищ погоди.

Дані методичні вказівки спрямовані на організацію самостійної роботи студентів під час вивчення теми: «Хмарність синоптичного і мезомасштабів» і під час виконання практичних завдань за вказаною темою.

Оцінювання завдання проводиться відповідно до силлабусу навчальної дисципліни.

Після вивчення теми студент повинен:

знати:

- класифікацію хмарних систем у тропічних широтах;
- особливості розвитку циклонічних систем тропічного походження;
- типи хмарності внутрішньотропічної зони конвергенції (ВЗК)
- хмарні системи пасатів, мусонів, холодних вторгнень у тропіки.

вміти:

- розпізнавати типи хмарних систем у тропіках;
- оцінювати стадію розвитку тропічного циклону за структурою хмарності;
- оцінювати інтенсивність ВЗК за видом хмарності;
- розпізнавати хмарні системи мезомасштабу у тропіках на знімках МШСЗ.

1 ХМАРНІ СИСТЕМИ ТРОПІЧНИХ ШИРОТ

У тропічній зоні, розташованій між 30° північної і південної широти, розвиваються складні атмосферні процеси. Вони недостатньо вивчені, оскільки на величезних океанічних просторах і малонаселених районах континентів відсутні систематичні метеорологічні спостереження, в результаті, суттєво зростає цінність супутникових даних. Циркуляційні системи та пов'язана з ними хмарність у тропіках значно відрізняються від циркуляційних систем і хмарності помірних широт. Причиною є радіаційний режим, малі величини сили Коріоліса в низьких широтах, тип підстильної поверхні: майже 75% тропіків – поверхня океану.

Основними типами хмарних систем у тропіках є:

- 1) тропічні циклони;
- 2) внутрішньотропічна зона конвергенції;
- 3) холодні вторгнення;
- 4) пасатні (східні) хвилі;
- 5) хмарні масиви мусонного походження.

1.1 Хмарність тропічних циклонів

Тропічний циклон, визначений ВМО як «циклон тропічного походження малого діаметру (кілька сотень кілометрів) з мінімальним тиском у центрі, іноді менше 900 гПа». У структурі ТЦ звичайно розрізняють центральну область, або «око урагану», з діаметром порядку кількох десятків кілометрів, слабким вітром і порівняно незначною хмарністю. Вертикальна потужність ТЦ 15-18 км; горизонтальні розміри за радіусом останньої замкнутої ізобари залежать від географічного району і сезону: тихоокеанські тайфуни найбільші - діаметр до 600-800 км, урагани Атлантики - 400 км. Середня тривалість ТЦ - близько 9 діб, максимальна - 4 тижні. Основне джерело існування - виділення прихованої теплоти конденсації вологи, максимальної над тропічними океанами, де температура води найвища, критичними значеннями є 26-27°C. ТЦ найчастіше формуються в тропічній зоні між 4 і 30° широти (найчастіше між 10 і 15°); супроводжуються сильними дощами - добові суми опадів 100-200 мм, іноді до 300 мм, повеннями, у відкритому морі - утворенням хвиль висотою більше 10 м, штормовими нагонами, сильними вітрами ($\geq 70 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), іноді грозами.

Аналіз знімків МШСЗ виділяє значну різноманітність структурних форм хмарності ТЦ, яка визначається основними факторами:

- стадія розвитку;
- характер підстильної поверхні;
- широта місцевості;
- своєрідність конкретних умов атмосферних процесів;
- інтенсивність циркуляції.

Класичний вид хмарної системи зрілого ТЦ над водною поверхнею - це компактний хмарний масив діаметром від 500 до 700 км з кількома спіралями, видимими через покрив перистих хмар, збіжних у центрі циркуляції, де знаходиться око урагану.

В нижньому шарі (товщиною 2-5 км) у ТЦ повітря спрямоване до центру, вітер посилюється і досягає максимуму у вузькій кільцеподібній зоні навколо центра, віддаленій на 20-100 км. В зоні максимальних вітрів встановлюється приблизна рівновага між силою баричного градієнта, спрямованого до центру циклона, і силами протилежної спрямованості: відцентрової і Коріоліса (градієнтний баланс). Не маючи факторів руху далі до центра ТЦ, повітря витісняється нагору та піднімається у системах **Св**. У верхній тропосфері повітря відхиляється від центру назовні, утворюючи шар відтоку, у якому формується завеса (або «щит») перистих хмар – рис.1.1. Відтік концентрується поблизу ізобаричної поверхні 150 гПа, на відміну від нижнього шару, циркуляція тут зовсім асиметрична, а за напрямком стає антициклонічною.

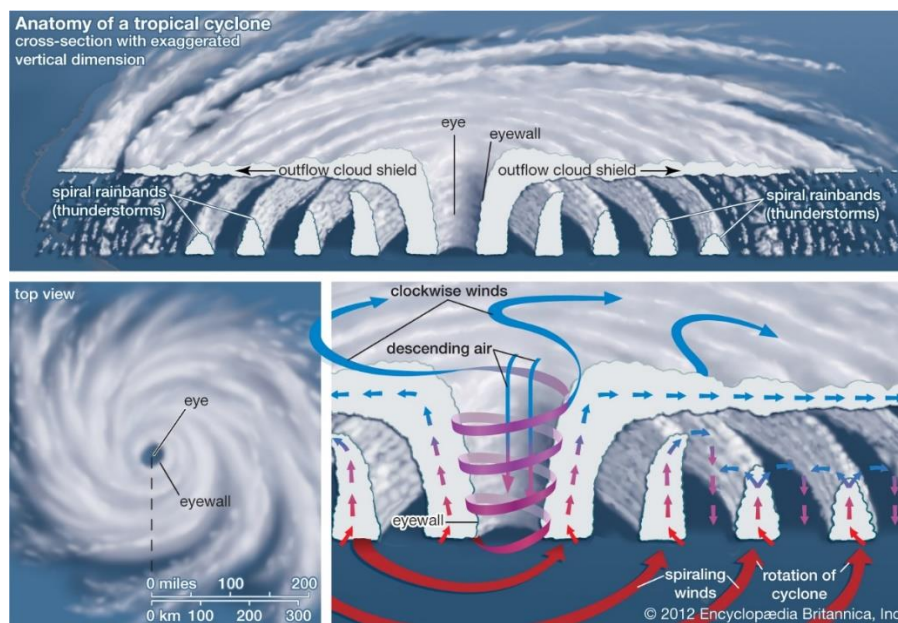


Рис.1.1. Будова тропічного циклону

У середині і поблизу зони максимальних вітрів формується «око бурі» (найбільш внутрішня, звичайно вільна від хмар зона ТЦ діаметром 5-50 км), з навколишньою його «стіною» хмарності. Око утворюється в ТЦ не завжди, лише коли тиск у центрі на рівні моря падає нижче 985 гПа, а максимальна швидкість вітру складає $\geq 23-25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Сучасні супутникові системи завдяки високій просторовій розв'язці дозволяють простежувати хвилі океану всередині «ока бурі» - рис.1.2.

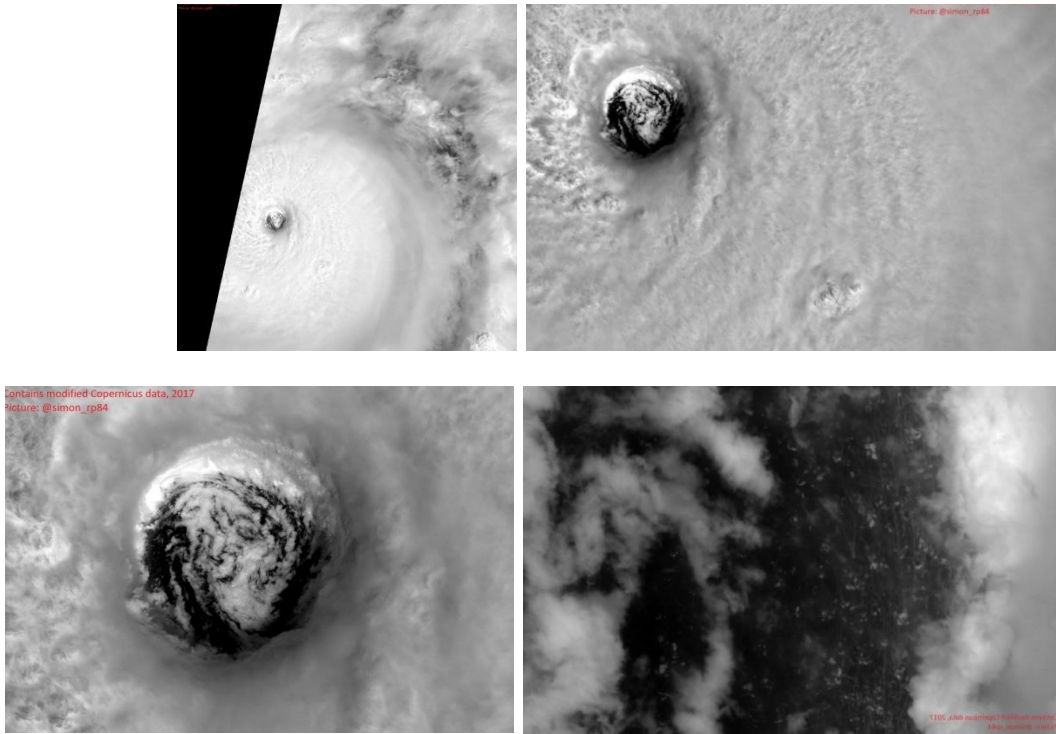


Рис.1.2. Зображення ока бурі ТЦ *Maria*, Category 5 hurricane;
 p_{\min} 908 гПа, V_{\max} 280 км·год⁻¹; Sentinel-2, 19.09.2017

В слабо розвинених ТЦ з тиском 980-990 гПа, діаметр хмарного масиву не перевищує 2-2,5 градусів широти (250-300 км), в найбільш глибоких циклонах (890-900 гПа) діаметр хмарності складає 7-9 градусів широти (800-1000 км).

За знімками МШСЗ встановлюються не тільки поява тропічних циклонів та їх траєкторії, а й інформація про структуру хмарності, її розвиток, розміри, що дозволяє оцінювати та прогнозувати динаміку розвитку і погодні умови. ТЦ виявляються на знімках МШСЗ за набором ознак у структурі хмарності. Під виявленням ТЦ розуміють не тільки встановлення його наявності, а й визначення координат його центру. Відомо, що простора вісь ТЦ квазівертикальна і центр вихрової структури його хмарної системи збігається з приземним центром. Така особливість ТЦ дозволяє досить точно визначити його центр за фокусом хмарного вихору.

Між значенням тиску в центрі циклону та діаметром його хмарної системи існує зв'язок: **чим глибший циклон, тим більший діаметр його хмарної системи і тем краще виражена спіралеподібна структура.**

Характерною структурною рисою ТЦ є спіральні смуги Сб і дощу, що рухаються проти годинникової стрілки у Північній півкулі та за годинниковою стрілкою - у Південній півкулі навколо центра ТЦ. Хмарність тропічних циклонів на ТВ і ІЧ знімках зображується у вигляді великої яскраво-білої плями з короткими спіралеподібними відгалуженнями, що відходять від неї, або у вигляді коми – рис.1.3-1.4.

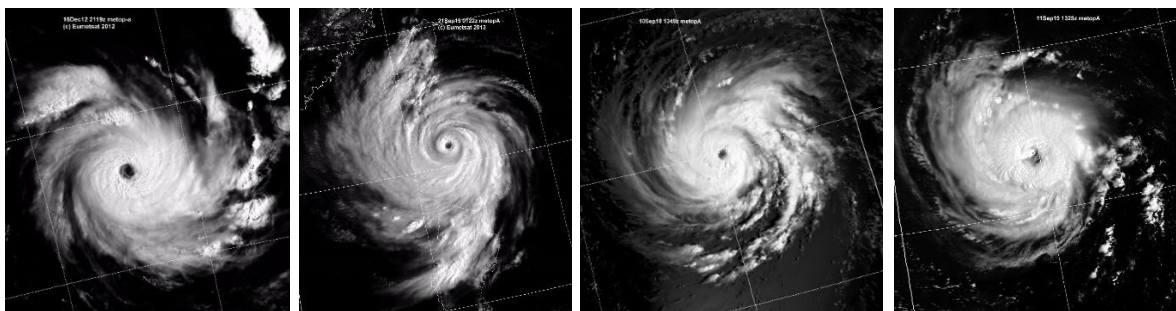
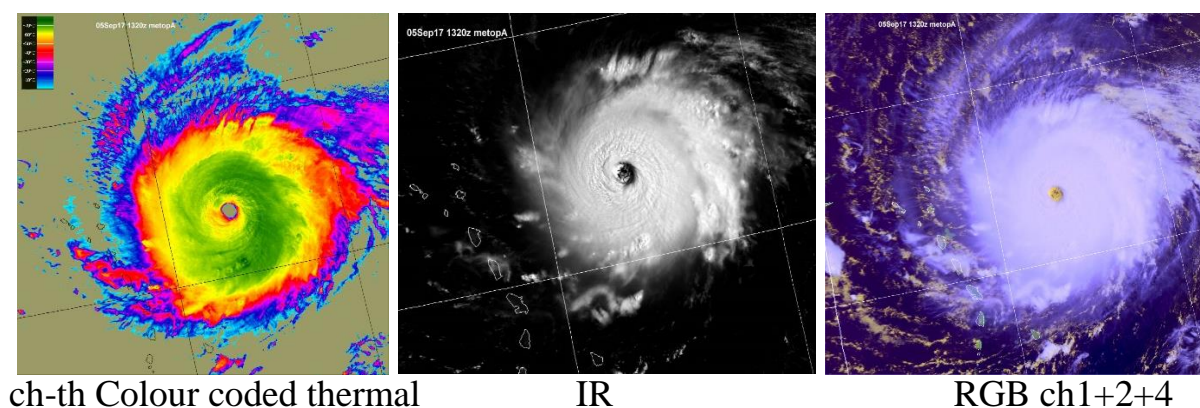


Рис.1.3. Хмарність ТЦ на знімках МШСЗ, Meteosat, IR



ch-th Colour coded thermal

IR

RGB ch1+2+4

Рис.1.4. Хмарність ТЦ *Irma*, Category 5 hurricane;
 p_{\min} 914 гПа, V_{\max} 285 км·год⁻¹; Metop A, 05.09.2017

У якості параметрів хмарної системи ТЦ приймають:

- око бурі;
- смуги перистих хмар;
- смуги купчасто-дощових хмар;
- розриви хмарності і їх орієнтація в центральному суцільному масиві.

Розрізняють 3 положення центру вихрової структури хмарності ТЦ:

1. У хмарному вихорі виділяється око бурі. Положення центру вихору визначається координатами ока.
2. Око бурі не видне. Положення центра хмарного вихору визначається за місцем збіжності хмарних спіралей.
3. Око бурі не видне, а хмарні спіралі нечіткі або зовсім не видні. Центр хмарного вихору визначається як геометричний центр хмарності (у цьому випадку допускається помилка, оскільки тропічні вихори можуть мати асиметричні хмарні системи).

Додатково характеризується форма кола центрального хмарного масиву, ступінь нерівності його меж. За цими показниками ТЦ поділено на чотири категорії. Чим вища категорія, тим більший розмір і ступінь упорядкованості хмарного масиву циклонів.

Міжнародна класифікація тропічних збурень та циклонів дозволяє оцінити інтенсивність ТЦ за характерними особливостями хмарного покриву на космічних знімках.

Тропічні хмарні системи поділяються на 4 групи: стадії А, В, С, Х - рис.1.5-1.10 (спутникові знімки Natural Colour Enhanced product).

Стадія А - відсутні вигнуті смуги і гряди. Щільна аморфна хмарність складається з купчасто-подібних, перисто-подібних хмар та хмар середнього ярусу. Діаметр хмарного масиву $\geq 3^\circ$ широти.

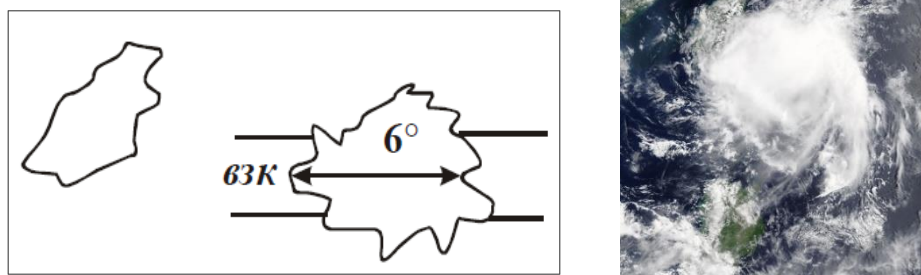


Рис.1.5. Схема тропічної хмарної системи стадії А та приклад ТЦ: Tropical Depression Josie 22.07.2018

Стадія В - слабо організовані гряди та смуги, слабо виражений центр. Характерна щільна хмарна маса, розташована поруч з купчастими хмарами чи вигнутими смугами хмар середнього ярусу, які або відокремлюються від основного хмарного масиву, або є його складовою частиною. Хмарні гряди та смуги слабо структуровані.

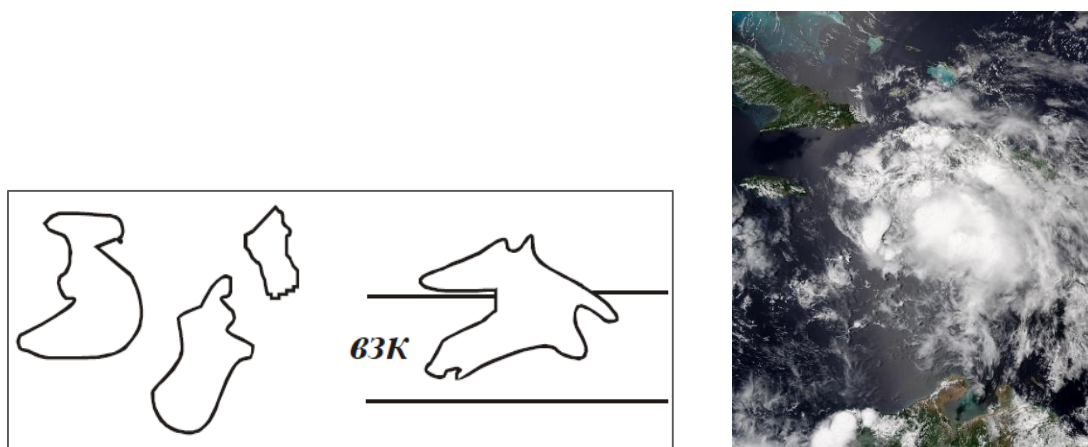


Рис.1.6. Схема тропічної хмарної системи стадії В та приклад ТЦ: Tropical Storm Elsa 03.07.2021

Стадія С - задовільно організовані гряди і смуги. Чітко організовані вигнуті гряди купчастих хмар та широкі вигнуті смуги хмар середнього і верхнього ярусів. Система, утворена вигнутими грядками та смугами, має чітко визначений єдиний центр, масив щільної хмарності відсутній. На стадії С+ виділяється чітко організована хмарність зі значною кількістю викидів (*виметів*) перистих хмар.

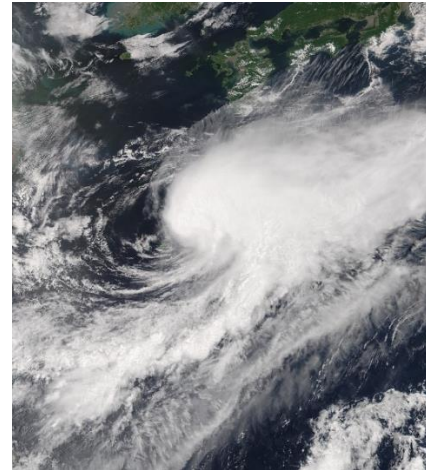
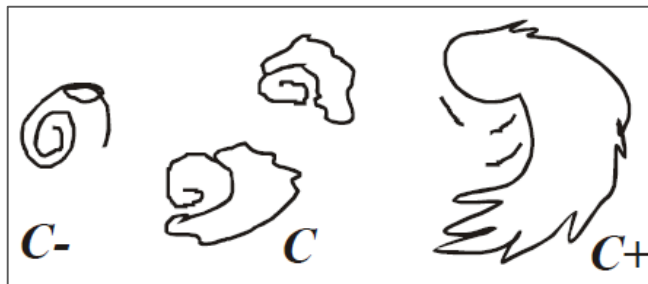


Рис.1.7. Схема тропічної хмарної системи стадії С та приклад ТЦ: Tropical Storm Gaemi 16.06.2018

Стадія X, категорія 1. Слабо виражені спіралеподібні смуги та центр вихору в основному хмарному масиві. Масив суцільної хмарності круглої форми, що нагадує за виглядом перисті хмари, око бурі ще невидне. Центр хмарної системи можна виділити, рухаючись за спіраллю всередину масиву.

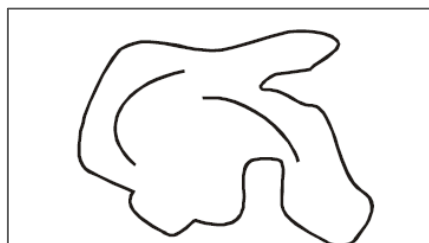


Рис.1.8. Схема тропічної хмарної системи стадії X1 та приклад ТЦ: Hurricane Dorian 28.08.2019

Стадія X, категорія 2. Чітко виражені смуги. Масив яскравої суцільної хмарності, який часто може бути асиметричним, викиди перистих хмар вигнуті і займають велику площу. До центру хмарного масиву під великим кутом орієнтована одна довга чітко організована хмарна спіраль. Головна частина основної хмарної спіралі визначає центр системи.

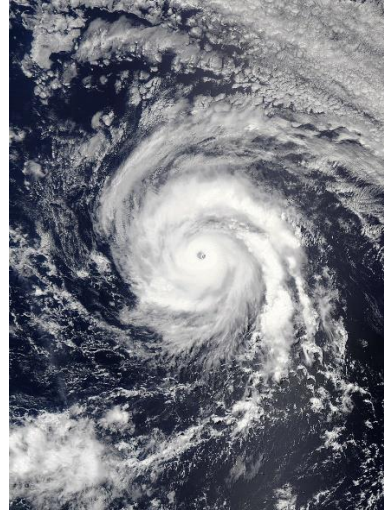


Рис.1.8. Схема тропічної хмарної системи стадії X2 та приклад ТЦ: Hurricane Douglas 23.07.2020

Стадія X, категорія 3. Помірна концентричність хмарних смуг. Око бурі неправильної форми в центральному хмарному масиві. Яскравий центральний хмарний масив, який стає компактним і наближається до кругової форми. По краю простежуються викривлені вимети перистих хмар. Вигнуті борозни всередині центрального масиву відмічають положення спіралеподібних хмарних смуг помірної концентричності форми.



Рис.1.9. Схема тропічної хмарної системи стадії X3 та приклад ТЦ: Hurricane Grace 21.08. 2021

Стадія X, категорія 4. Висока ступінь концентричності хмарних смуг. Кругове око бурі в центрі основного хмарного масиву, дуже яскравий круглий центральний масив суцільної хмарності, в якому існують концентричні борозни. За межами суцільного хмарного масиву смуги чітко виражені та розташовуються концентрично. Хмарна система виглядає симетрично, добре виражене око бурі має вигляд невеликого темного кола, оточеного яскравим кільцем.

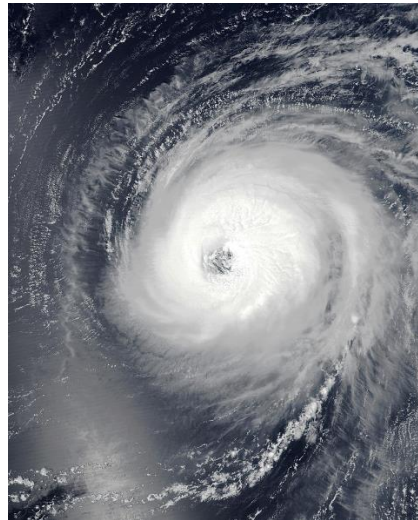
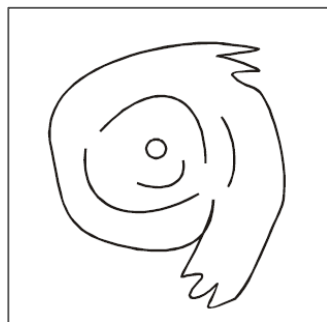


Рис.1.10. Схема тропічної хмарної системи стадії X4 та приклад ТЦ: Hurricane Larry 06.09.2021

Еволюція ТЦ - це проходження атмосферним вихором стадій з низькими швидкостями вітру (порушення чи збурення, депресія), стадій з руйнівною швидкістю вітру – шторм або ураган, і заключної стадії руйнування, коли швидкість вітру знижується до $\leq 17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

При синоптичному аналізі у розвитку ТЦ головним критерієм є швидкість вітру, згідно ВМО виділяють стадії:

- 1) тропічна депресія (TD) - до $17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$;
- 2) тропічний шторм (TS) - $17-23 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$;
- 3) сильний тропічний шторм (STS) - $24-31 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$;
- 4) ураган (тайфун або інший місцевий синонім) (H, T) - $\geq 32 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Цей критерій має 2 недоліки:

- не відображає фізичну суть процесу;
- необхідну інформацію про вітер у центральній частині циклону для визначення стадії не завжди можна отримати.

Дослідження ТЦ за супутниковими знімками вказує, що структура хмарності, її зміна, розмір, визначаються характером та стадією розвитку ТЦ. **В результаті отриманий новий критерій для визначення стадій розвитку ТЦ - характер його хмарної системи.**

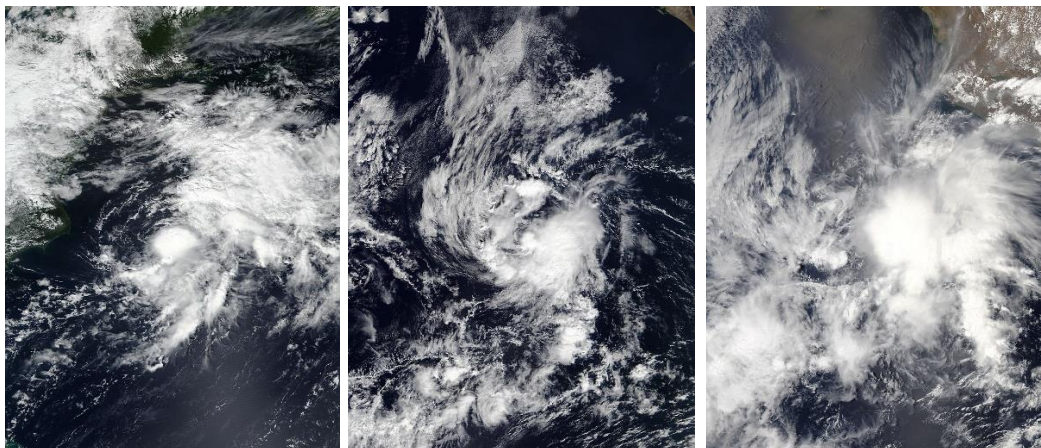
Процес еволюції ТЦ поділяють на 5 стадій:

- 1) 0 - тропічне порушення (збурення);
- 2) 1 - тропічна депресія;
- 3) 2 - тропічний шторм;
- 4) 3 - ураган (тайфун);
- 5) 4 - тропічний циклон, що руйнується.

Стадія 0. Тропічне збурення. Ознаки змін хмарності:

- локальне збільшення кількості та потужності Св в районі існуючих хмарних смуг та скупчень;
- виділення більш щільного хмарного масиву та окремих великих осередків, за умов збереження неупорядкованої структури.

Тропічні збурення найчастіше спостерігаються в області хмарних смуг та скупчень наступного походження: внутрішньотропічна зона конвергенції; пасатна хвиля; полярний фронт, який проникає в низькі широти; неорганізована конвекція у вигляді аморфних хмарних мас як результат згаслого процесу з упорядкованою конвекцією (рис.1.11).



Omar 01.09.2020, Atlantic

Polo 18.11.2020, Pacific

Andres 09.05.2021, Pacific

Рис.1.11. Приклади хмарності ТЦ в стадії тропічне збурення

Стадія 1. Тропічна депресія.

Ознаки змін хмарності за даними МШСЗ (рис.1.12):

- щільний хмарний масив відокремлений безхмарним або малохмарним простором від основної хмарної смуги, орієнтованої уздовж лінії конвергенції (пасатна хвиля, ВЗК);
- початкова впорядкованість розподілу хмар у хмарному масиві, виражена у деякій визначеності форми й появи тонких гряд купчастих хмар.

На цій стадії виділяють 2 етапи:

Етап А, що свідчить про утворення депресії за змінами хмарності:

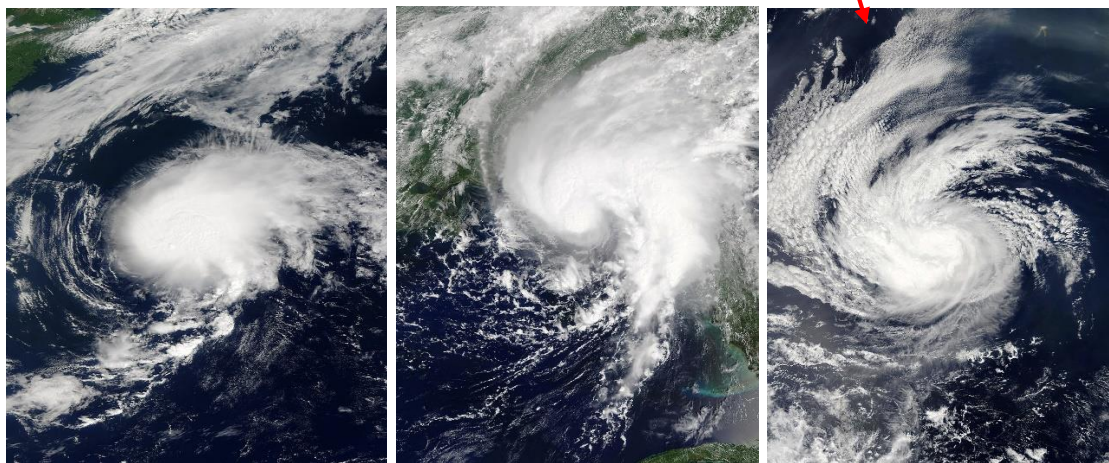
- поява деякої організації у розподілі хмар;
- оформлення більш щільного масив хмарності, розміром $\geq 3^\circ$ широти;

- зникнення навколо масиву хмарності невеликих конвективних осередків і поява безхмарного простору;
- збереження щільного масиву протягом 12 годин;
- наявність слабких викидів перистих хмар.

Етап В, що вказує на трансформацію депресії в тропічний циклон:

- чітке визначення основного хмарного масиву у вигляді дуги або коми;
- подальше уособлення, ущільнення і збільшення розмірів основного хмарного масиву за рахунок посилення конвекції і вертикальних рухів;
- поява викидів перистої хмарності в основному масиві;
- розвиток потужних осередків С_б у передній частині депресії;
- поява хмарних скупчень у тилу депресії, що свідчить про утворення хвостової конвективної смуги, яка забезпечує приплив тепла і вологи з все більшої акваторії.

Хмарний масив набуває форми дуги, оберненої опуклістю на схід або північний схід (у Північній півкулі). Західний увігнутий край зазвичай більш згладжений та має різкий контур, біля нього виникають гряди купчастих хмар з характерною циклонічною кривизною. За умов подальшого розвитку хмарність тропічної депресії продовжує циклонічно викривлятися, набуваючи виду спіралі - **форма коми**. У Південній півкулі система хмарності має дзеркально-зворотну форму - вигляд переверненої коми. У точці збіжності хмарних гряд спостерігається посилений розвиток конвективної хмарності і розташовується центр депресії.



Chantal 20.08.2019, Atlantic Fred 16.08.2021, Atlantic Karina 15.09.2020, Pacific

Рис.1.12. Приклади хмарності ТЦ в стадії тропічна депресія

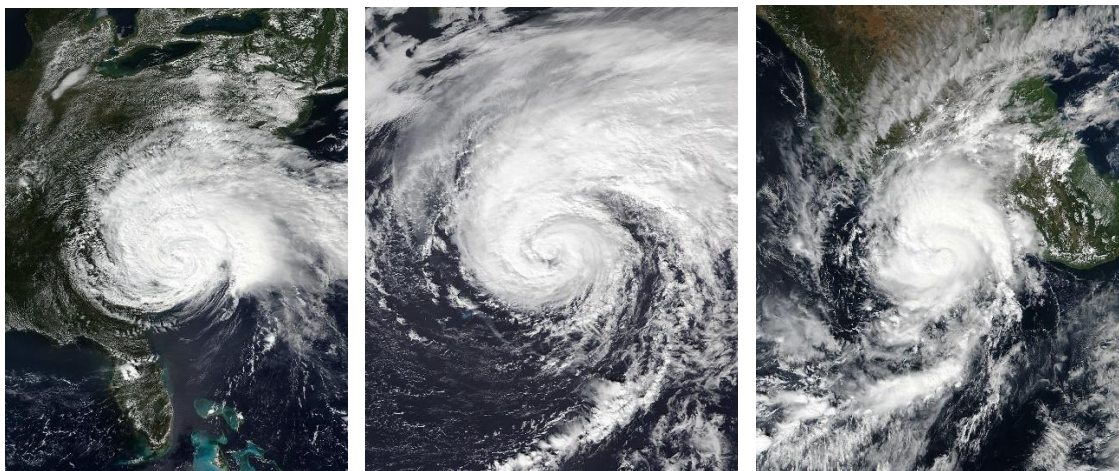
Стадія 2. Тропічний шторм. Характеризується ознаками:

- щільна хмарна система у формі дуги або одного витку спіралі з чітко визначеним центральним хмарним масивом;
- щит перистих хмар, що покривають центральний хмарний масив;
- одна або дві чітко оформлені конвективні хвостові смуги у тилу;

– продовження формування шквальної гряди Сб у передній частині.

Тропічний шторм є початком формування самого ТЦ, з'являється периста хмарність, що є ознакою швидкого поглиблення ТЦ. Перисті хмари виникають за швидкості вітру $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ поблизу приземного центру циклону, положення центру циклону і Сб маскується їх покриттям. Над ТЦ спостерігається антициклонічна циркуляція, що сприяє відтоку повітря та призводить до інтенсивного падіння тиску поблизу земної поверхні. Антициклонічно вигнуті смуги перистих хмар вказують напрямом відтоку повітря на їхньому рівні та початку швидкого поглиблення ТЦ - рис.1.13.

Для тропічного шторму характерна поява на периферії циклона щільних спіралеподібних смуг хмарності, що конвергують до центру за циклонічними лініями току. Віддаляючись від циклону смуги звужуються, в результаті у тилувій частині ТЦ формуються одна або дві конвективні **хвостові смуги**, вони сформовані з купчастоподібних хмар осередкової мезоструктури: середня ширина смуг 200-300 км. Тропічні шторми найчастіше мають 2 хвостові хмарні смуги, для ТЦ Північної півкулі одна розташовується у південно-західній частині вихору, а друга - у північно-східній, для Південної півкулі це, відповідно, – північно-західна та південно-східна частини ТЦ.



Florence 15.09.2018, Atlantic Epsilon 23.10.2020, Atlantic Rick, 21.10.2021, Pacific

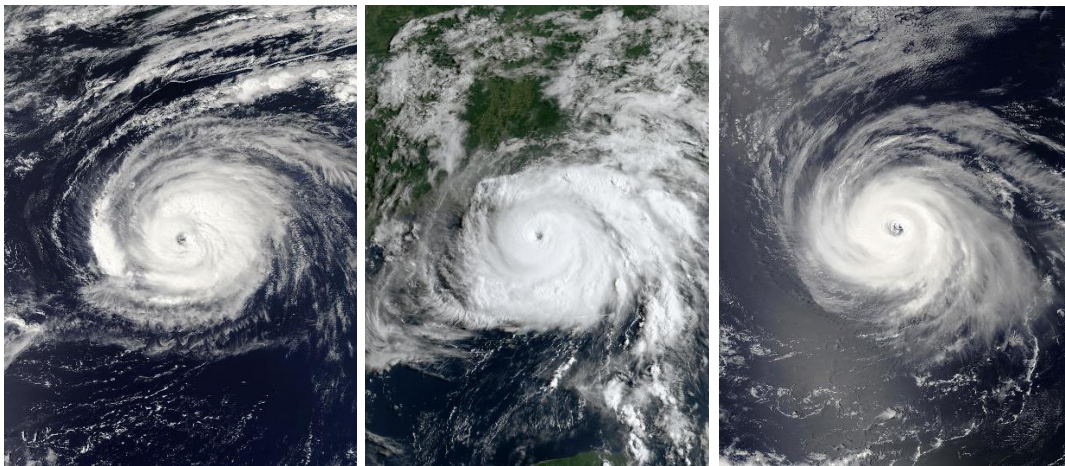
Рис.1.13. Приклади хмарності ТЦ в стадії тропічний шторм

Стадія 3. Ураган, тайфун. Ця стадія найдовша (5-7 діб). ТЦ характеризується майже круглим, у формі диску, масивом суцільної хмарності, розташованим безпосередньо над його центральною частиною. Окремі спіральні смуги хмар відходять від нього, в деяких випадках існує дві щільних спіралі з південного заходу та північного сходу (для Північної півкулі). Межі основного хмарного масиву зазвичай згладжені та різкі, чітко виділяються на темному фоні поверхні океану. Над ураганом (тайфуном) існує щільний покрив перистих хмар з характерними смугами розбіжності

від центру. У центрі диску хмарності часто простежується темна пляма або точка - це око бурі. Ознакою поглиблення, тобто інтенсифікації ТЦ, є лінія шквалів - гряда (або кілька) Сб, розташованих у передній частині циклону на незначній відстані від центрального кругового масиву, а також прорив Сб крізь перисті хмари (проникаюча конвекція).

Основні ознаки ТЦ на стадії урагану (рис.1.14-1.15):

- компактний суцільний масив хмарності кругової форми або диску зі згладженими краями;
- спіральні смуги Сб зі збіжністю до основного масиву; серед них можуть бути дві основні смуги, розташовані діаметрально протилежно;
- щільний покрив перистою хмарністю з характерними смугами;
- в центрі хмарного масиву - око бурі;
- область ока бурі вкрита покривом перистих хмар;
- у передній частині ТЦ – гряди Сб, ЛШ.



Paulette 14.09.2020, Atlantic Ida 29.08.2021, Atlantic Linda 14.08.2021, Pacific

Рис.1.14. Приклади хмарності ТЦ в стадії ураган (тайфун)

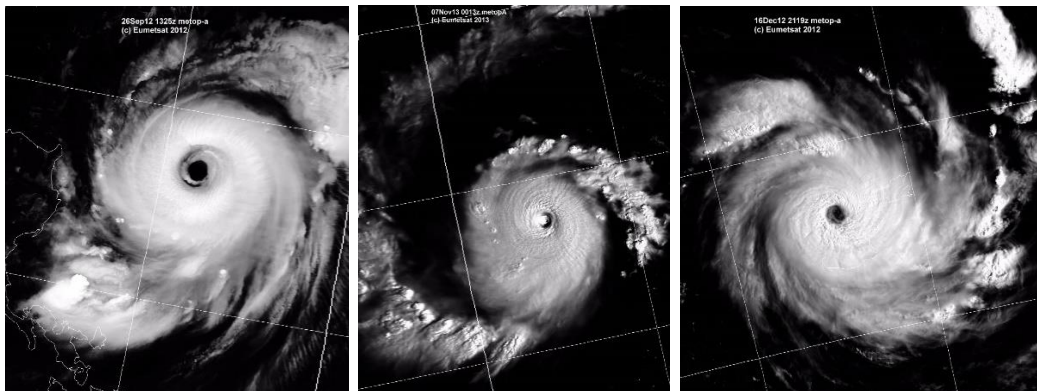


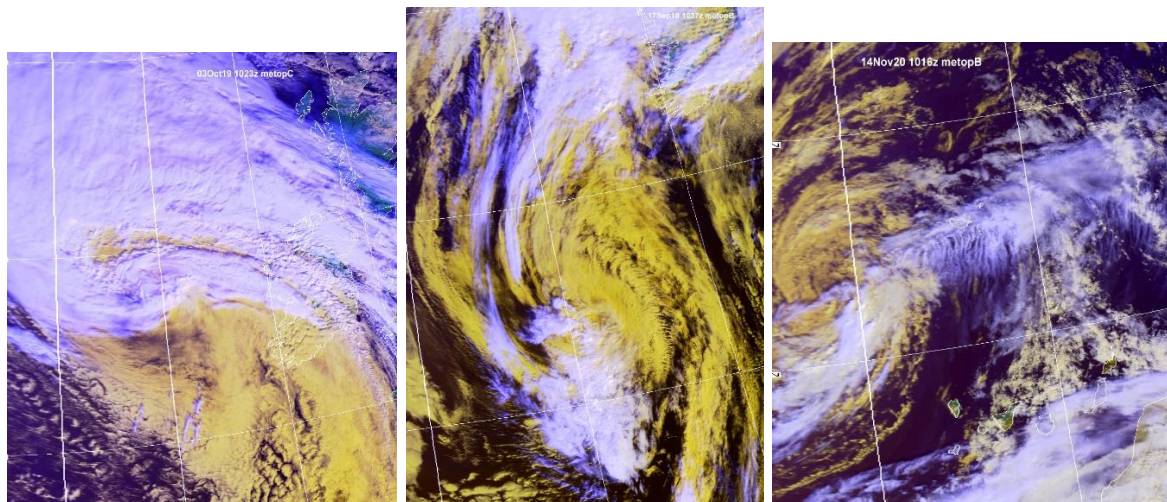
Рис.1.15. Приклади хвостових смуг хмарності ТЦ, IR

Заключна 4 стадія. Стадія руйнування ТЦ. Заключна стадія розвитку ТЦ чітко видна на супутникових знімках. Руйнуванню ТЦ сприяє: зміна синоптичних умов; перехід на більш прохолодну поверхню океану; зближення урагану з полярним фронтом та втягування фронту в систему ТЦ; вихід урагану на сушу.

Основні особливості стадії руйнування (рис.1.16):

- зменшення щільності перистих хмар і часткове їх зникнення;
- порушення правильної кругової форми центрального хмарного масиву;
- зникнення чіткої межі центрального хмарного масиву, границі стають розірваними;
- втрата внутрішньої організації структури хмарності.

Хмарна система ТЦ, яка раніше мала вигляд суцільного хмарного масиву, розбивається на окремі плями, зменшується у розмірах.



ex Huricane Helene 17.09.2018 ex hurricane Lorenzo 03.09.2019 Remnants of T/S Theta 14.11.2020

Рис.1.16. Приклади хмарності ТЦ в стадії руйнування, RGB ch1+2+4

У системі ТЦ спостерігається велике розмаїття мезоструктурних форм хмарності. Значне поширення має осередкова структура. На знімках тайфунів (ураганів) можна простежити не лише спіралеподібні смуги циклону, але й центральний масив хмарності вихору, не прихований перистими хмарами, який визначає осередкову структуру. Конвективні осередки відкритого типу в ТЦ мають великі розміри: діаметр коливається від 100 до 200 км, але часто зустрічаються осередки, розмір яких досягає 250-300 км, такий діаметр є винятком прийнятих розмірів для мезомасштабних утворень. Також з ТЦ пов'язана смугова та грядова хмарність, і, ще меншого порядку, - поперечні смуги хмар. За розташуванням гряд купчастоподібних хмар та смуг верхньої хмарності циклону можна свідчити про напрямок вітру на відповідних рівнях, а за наявністю поперечних смуг - про зони з високими швидкостями вітру, тобто струминні течії (СТ), які огинають ТЦ.

Приклад розвитку ТЦ за стадіями наведено на рис.1.17. Зображено еволюцію атлантичного урагану Humberto, який існував з 8 до 19 вересня 2013 р., досяг 1 категорії (SSHWS), мінімальний тиск у центрі 975 гПа, максимальний вітер 150 км·год⁻¹.

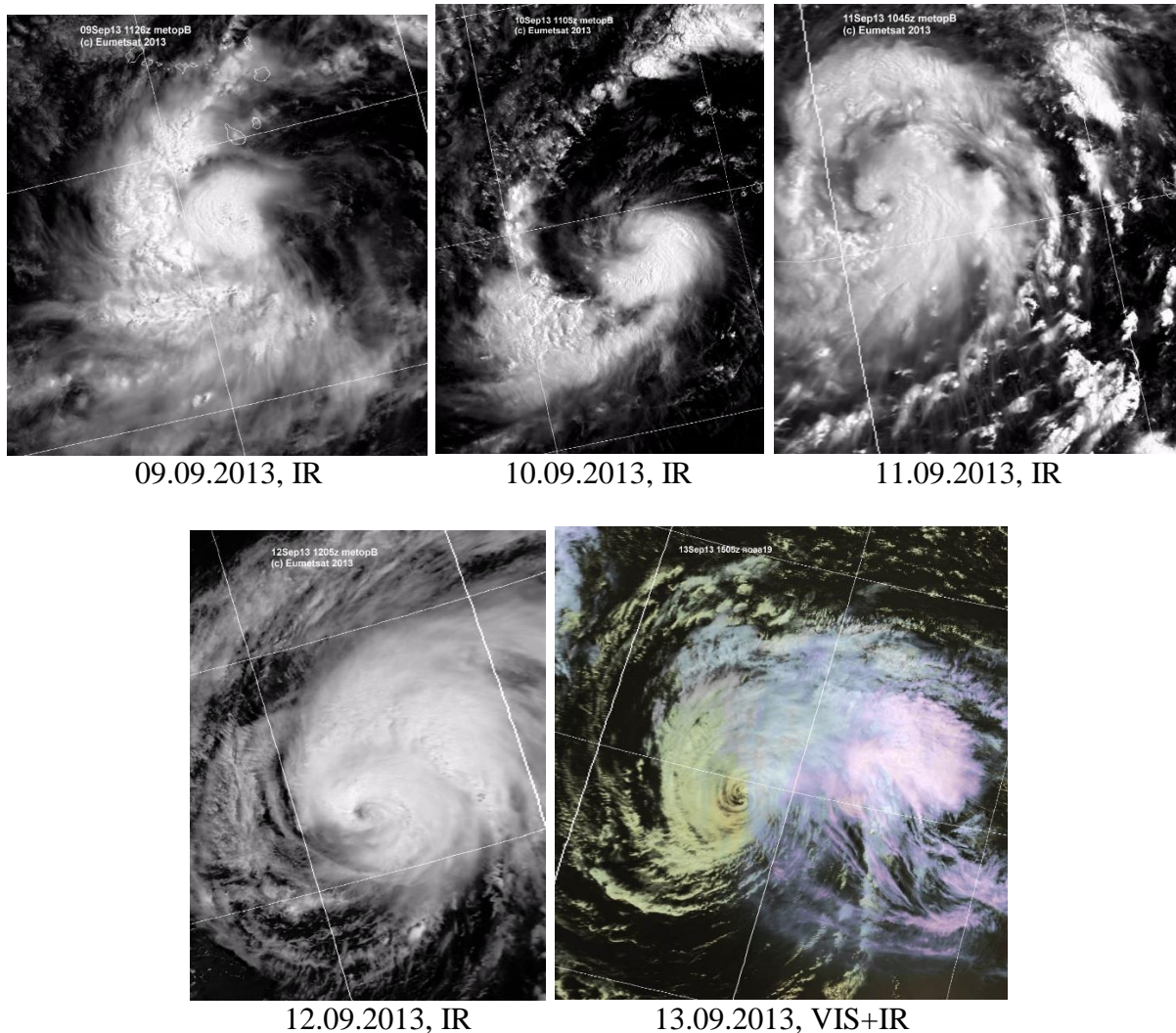


Рис.1.17. Еволюція урагану Humberto за знімками МШСЗ 09-13.09.2013

1.2 Хмарність внутрішньотропічної зони конвергенції

ВЗК (Intertropical Convergence Zone (ITCZ)) - це зона переважно східних вітрів екваторіальної баричної улоговини між пасатами північної та південної півкулі, між пасатом і мусоном або між пасатами і екваторіальними західними вітрами. Ширина ВЗК становить кілька сотень кілометрів. Протягом року ВЗК зміщується на сотні кілометрів від екватора до півкулі, в якій настає літо. Взимку північної півкулі ВЗК мігрує від 0 до 5° півн.ш., влітку може підніматися до 15° півн.ш. В Індійському океані ВЗК може включати екваторіальну зону західних вітрів – рис.1.18.

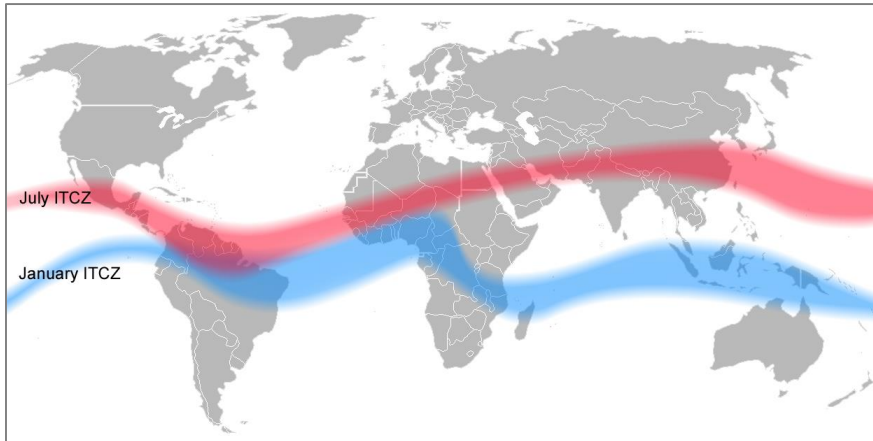


Рис.1.18. Карта-схема положення ВЗК взимку та влітку

Хмароутворення у внутрішньотропічній зоні конвергенції залежить значною мірою від термодинамічних характеристик повітряних мас, які в пасатних течіях конвергують в екваторіальній улоговині, та від процесів, які відбуваються в улоговині. Для цих широт характерна мала величина параметра Коріоліса та наявність конвергенції повітряних потоків, що має лінійний характер, в результаті - існує тенденція хмар групуватися в смуги, рівнобіжні широті.

На знімках МШСЗ внутрішньотропічна зона конвергенції задовільно виявляється у вигляді витягнутої вздовж екватора смуги хмарних скупчень. Хмарні смуги ВЗК характеризуються конвергенцією повітряних течій та інтенсивними висхідними рухами повітря. Широтні хмарні смуги ВЗК переважають у приекваторіальній зоні між 4-12° півн.ш. і 4-10° півд.ш. Хмарна система, в основному, представляє скупчення купчастих, що розвиваються, купчастих потужних та купчасто-дощових хмар у сполученні з великою кількістю перистоподібних хмар; середній розмір 500-600 км завширшки (уздовж меридіана) і близько 2000-3000 км завдовжки (уздовж паралелі).

Смуга значної або суцільної хмарності ВЗК виділяється на фоні меншої кількості хмар з обох боків від неї. Потужна конвекція у ВЗК обумовлює розвиток по вертикалі щільних масивів С_b, оформлених в смугу або дві смуги, що чергуються з ділянками невеликої хмарності та зі значними перервами простягаються паралельно екватору. Іноді не спостерігається жодна хмарна смуга в області ВЗК протягом тисяч кілометрів, - тільки безхмарні ділянки і невеликі скупчення хмар. Такий характер хмарності пов'язаний з коливаннями інтенсивності конвекції уздовж зони конвергенції, спостерігається постійно і є її характерною рисою. Встановлено, якщо поблизу екватора є зона західних вітрів, то уздовж північної та південної ліній конвергенції, утворених відповідно пасатами північної і південної півкуль, виникають дві хмарні смуги. Одна смуга формується за умов конвергенції північно-східних та південно-

східних пасатних вітрів. Одна смуга хмарності ВЗК характерна для Атлантичного океану, а дві - для Індійського океану; у Тихому океані спостерігається будь-який тип хмарності.

Приклади зображень хмарності ВЗК над акваторіями океанів обох півкуль наведені на знімках МШСЗ (1.19).

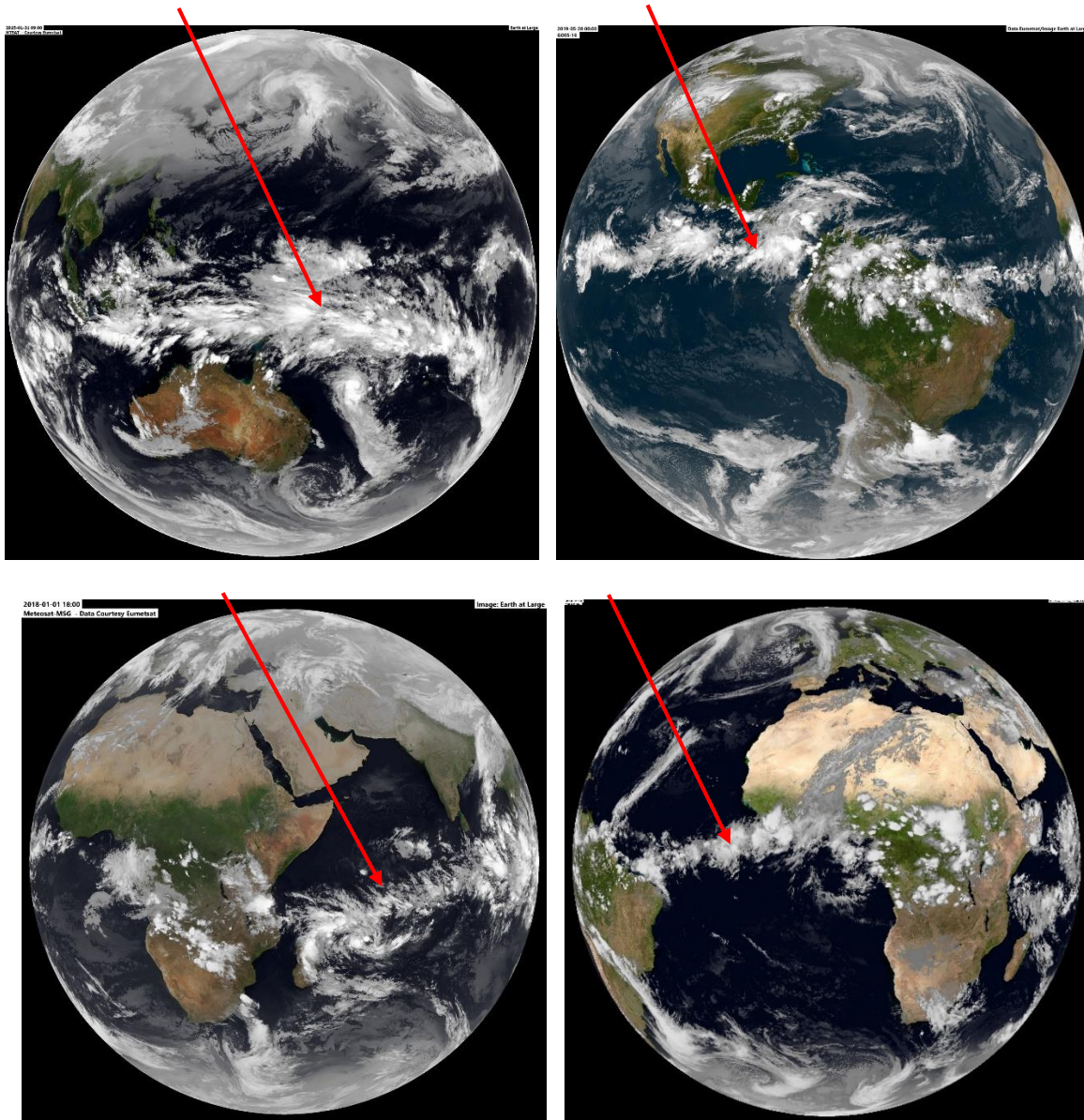


Рис.1.19. Супутникові знімки хмарності Meteosat, IR (Full disc)

Хмарні системи ВЗК можуть розрізнятися за кількістю хмар і мезоструктурними особливостями.

За кількістю хмар розрізняють види хмарності ВЗК:

- 1) суцільний хмарний покрив;
- 2) значна хмарність;
- 3) невелика хмарність.

Мезоструктурні особливості хмарності ВЗК виділяють:

- однорідний за яскравістю масив Сб з покривом перистих хмар;
- скупчення Сб, сформованих в осередки відкритого типу;
- система тонких гряд купчастих хмар, збіжних до осі конвергенції й орієнтованих за напрямом пасатних вітрів;
- система потужних гряд Сб, збіжних до хмарної смуги й орієнтованих за напрямом пасатних вітрів.

Потужність окремих кластерів, гряд та скупчень Сб в області ВЗК чітко простежується за яскравістю зображення на комбінованих знімках над акваторіями океанів обох півкуль – рис.1.20.

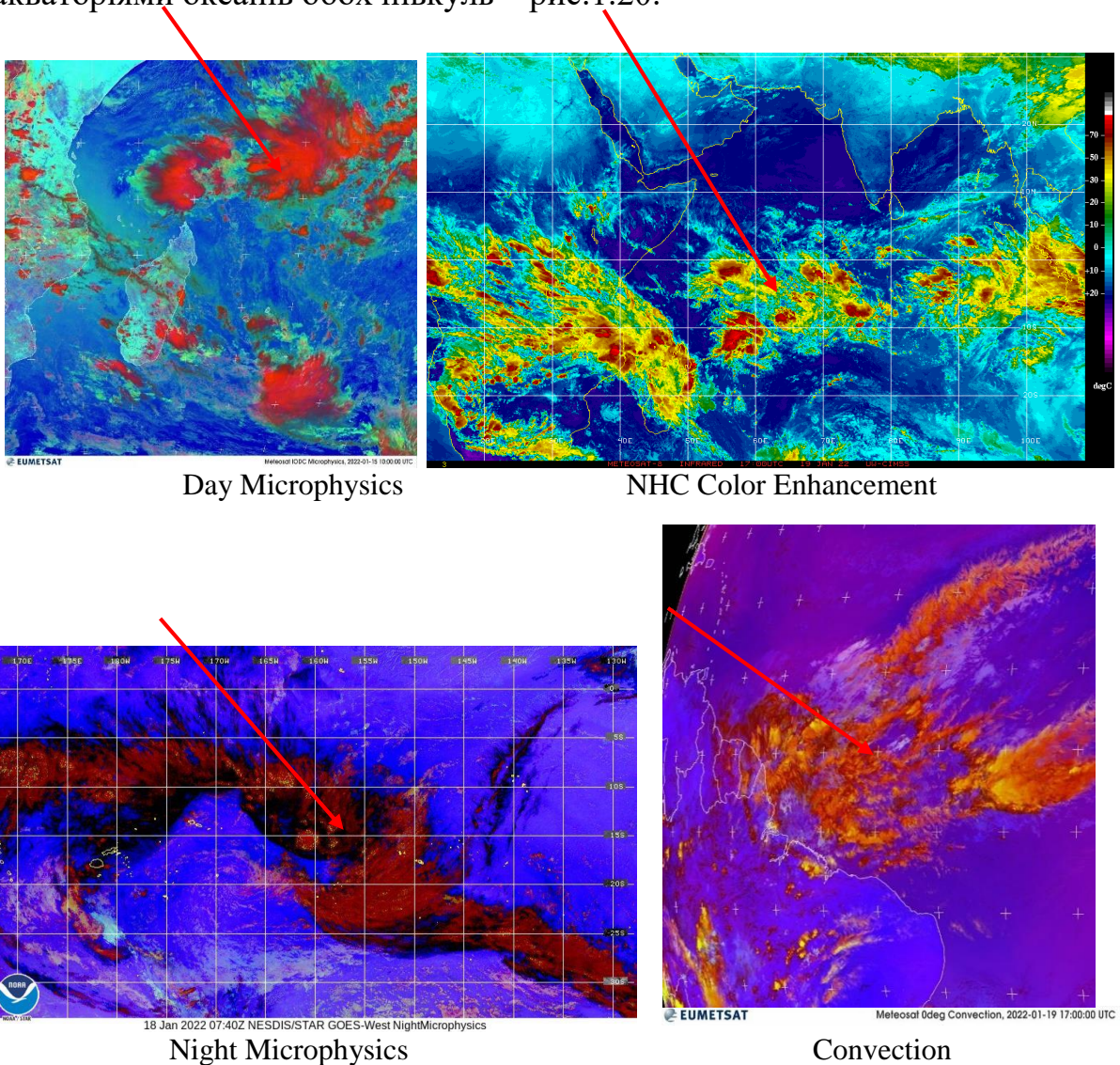


Рис.1.19. Супутникові знімки хмарності RGB

Усередині хмарної системи ВЗК можуть спостерігатися невеликі завихрення, а іноді хмарні вихори. В результаті, розташування хмарних систем ВЗК в деяких районах, таких як південна частина Індійського та

Тихого океанів, задовільно узгодиться з районами виникнення тропічних циклонів – рис.1.21.

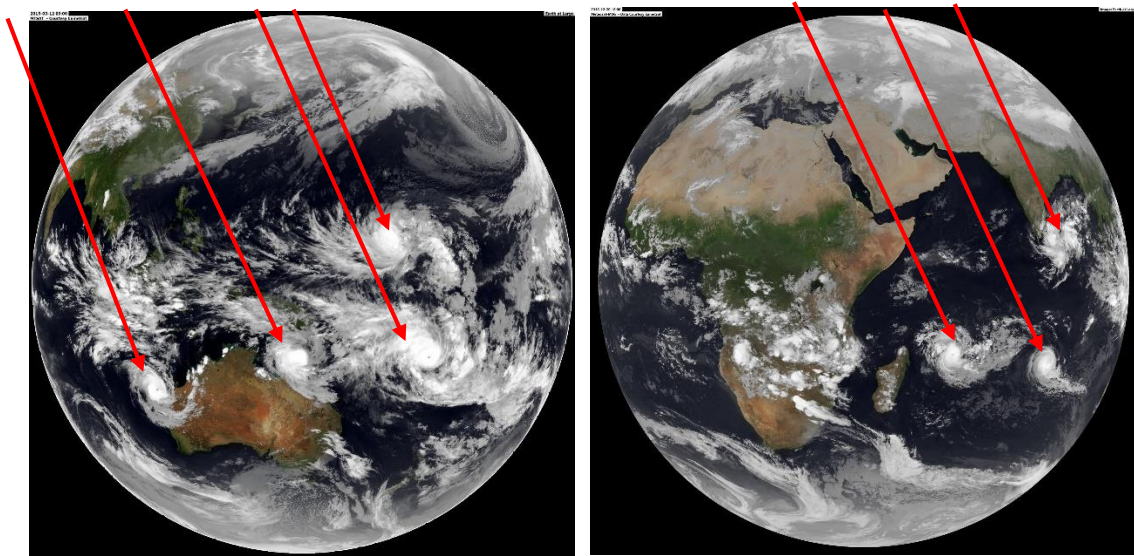


Рис.1.21. Завихрення та ТЦ в системі ВЗК у Тихому та Індійському океанах на знімках МШСЗ, IR (Full disc)

Ознаки хмарності ВЗК, які використовуються при дешифруванні:

- 1) історична послідовність ВЗК та її хмарної системи, що простежується на знімках хмарності протягом кількох діб;
- 2) форма хмарної системи у вигляді смуги шириною не менше 200 км (в середньому 500 км), довжиною не менше 1000 км (в середньому 2000-3000 км);
- 3) переривчастість хмарної смуги у разі обмеженої протяжності;
- 4) орієнтація хмарної смуги уздовж кола широти;
- 5) структура меж смуги розірвана, нерівна або у вигляді гряд, орієнтованих за напрямом пасатів північної та південної півкулі;
- 6) перевага купчастоподібних і похідних від них перистоподібних хмар;
- 7) велика мінливість потужності хмарності уздовж смуги;
- 8) значний до суцільного хмарний покрив, що чергується із ділянками невеликої хмарності та ясного неба;
- 9) особливості мезоструктури: відкриті осередки та гряди;
- 10) наявність тропічних збурень та вихрових утворень, вкраплених у хмарну смугу з її полярного боку;
- 11) хмарна смуга часто має подвійну структуру: одна гілка хмарної системи розташована в північній півкулі, друга - в південній півкулі.

За структурою хмарності можна досить точно визначити положення ВЗК, але більш важливою є оцінка інтенсивності процесів хмароутворення в конкретному регіоні та прогноз конвективних явищ – катастрофічних злив, граду, грози, значного посилення вітру.

1.3 Хмарність холодних вторгнень у тропіках

Проникнення холодного повітря у тропічну зону істотно впливає на погодоутворюючі процеси в цьому районі. Переміщення ХФ з помірних широт в тропіки відбуваються досить часто, але має труднощі ідентифікації. Це пов'язане з недостатньо щільною мережею метеорологічних спостережень над акваторіями океанів і в пустельних районах Африки. З іншого боку, в зв'язку зі значною трансформацією холодного повітря, ХФ настільки розмиваються біля поверхні землі, що простежити на приземних картах погоди їх практично неможливо. Зберігаються в деякій мірі градієнти температури в тропосфері та хмарні системи, які можуть бути визначені серед інших хмарних утворень за характерною для них циклонічною кривизною (вигин в напрямку руху), орієнтацією (нахил), безперервністю. Супутникові знімки значно доповнюють інформацію про холодні вторгнення в тропіки.

Хмарність холодних фронтів характеризується смуговою структурою, самі смуги зазвичай вузькі і мають досить чіткі межі.

Розмивання хмарності в низьких широтах починається з розпаду суцільної смуги на окремі більш тонкі смуги. Смуги хмарності ХФ зміщуються по периферії області високого тиску у субтропіках, після втрати їх прямого зв'язку з циклоном. *У північній півкулі ХФ звичайно спрямовані з північного сходу на південний захід, у південній півкулі - з південно-сходу на північний захід.*

Фронтальна система хмар в тропіках може регенерувати і зберігатись досить тривалий час – протягом декількох діб. Дослідження показують, що передній край хмарної смуги дещо випереджає лінію фронту біля поверхні землі або збігається з нею.

Форми хмар однакові взимку та влітку, це **поєднання купчасто-дощових, потужних купчастих, шаруватоподібних та перистоподібних хмар**. З наближенням до екватора на ХФ переважає конвективна хмарність. Фронтальна хмарність над океаном формується з тих же хмарних форм, що і над континентом, та складається здебільшого з конвективних шаруватоподібних форм. В низьких широтах шаруватоподібні хмари утворюються в основному в результаті конвекції: перисті хмари - з ковадел, а висококупчасті хмари – за умов розтікання частин потужних купчастих та купчасто-дощових хмар. Також у системі хмарності холодних вторгнень **можливе утворення лінії шквалів - гряди С_в перед основним хмарним фронтальним масивом і осередкова структура за хмарною смугою ХФ.** Довжина ділянки ХФ становить кілька тисяч кілометрів, досягаючи 6-7 тисяч км і навіть 8 тисяч км. Взимку хмарні смуги зазвичай мають меншу довжину, ніж влітку. **Середня ширина фронтальної хмарної смуги 500-700 км.** У деяких випадках, коли всередині хмарної смуги розвивається вихор, спостерігається різке збільшення ширини смуги хмарної смуги до

1000 км. Під час зміщення до екватора ширина смуги також дещо збільшується. Приклади хмарних смуг холодних вторгнень у тропіки зображено на рис.1.22.

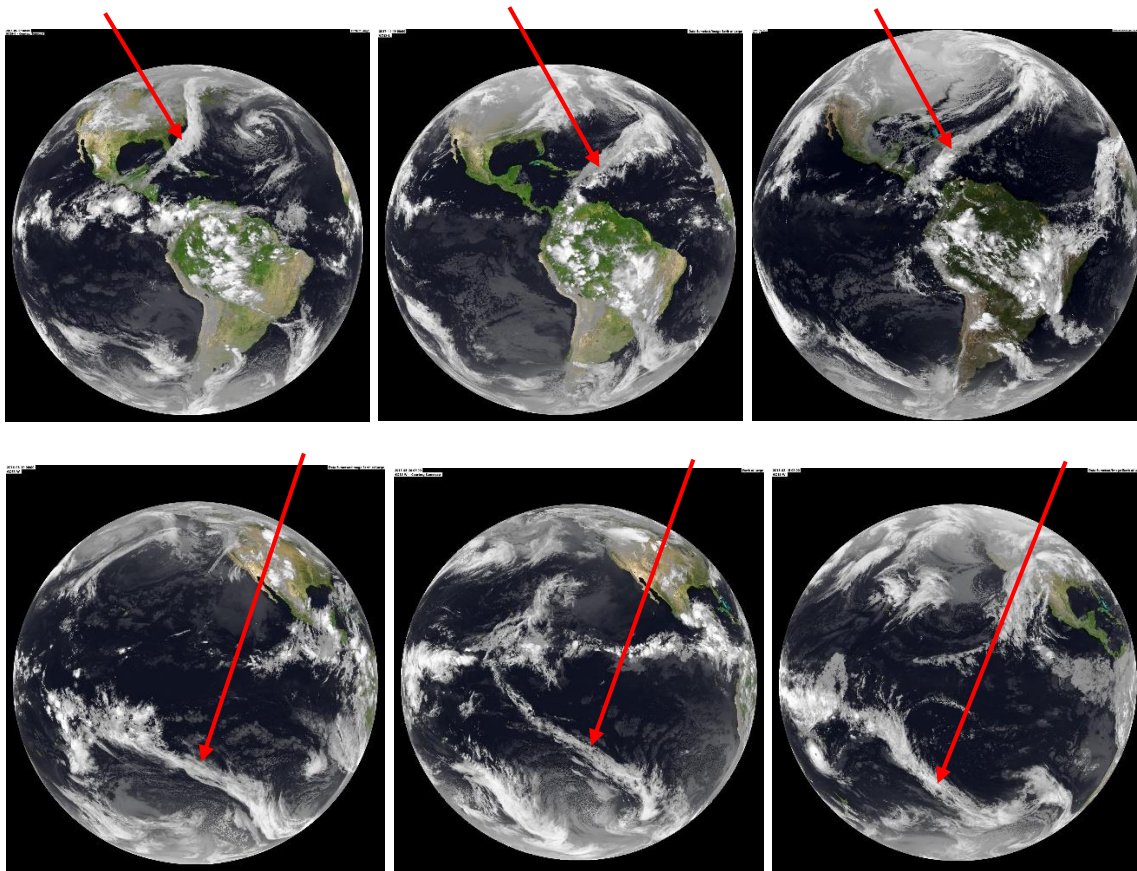


Рис.1.22. Хмарність ХФ у тропіках на знімках МШСЗ, IR

Основні ознаки дешифрування ХФ в тропіках на знімках МШСЗ:

- 1) історична послідовність фронту та його хмарної системи, яка простежується на картах нефоскопічного аналізу;
- 2) безперервність хмарної смуги. Хмарна смуга зберігає клиноподібну форму - у високих широтах вона розширена, в низьких звужена;
- 3) циклонічна кривизна хмарності ХФ, яка поширюється з області циклону й окантовує холодне вторгнення;
- 4) орієнтація хмарної смуги. У Північній півкулі ХФ зазвичай спрямовані з північного сходу на південний захід, у Південній – з південного сходу на північний захід;
- 5) згладжені межі хмарної смуги. Вони більш гладкі, ніж у хмарній смузі ВЗК, особливо згладжений край смуги з боку холодного повітря;
- 6) різноманітність хмарних форм: купчастоподібні, шаруватоподібні, перистоподібні, вкраплення Сб;
- 7) слабка мінливість потужності хмарності уздовж смуги. Це особливо відрізняє її від переривчастої хмарної смуги ВЗК;

- 8) переважаючий суцільний покрив хмар на всій або на більшій протяжності фронтальної смуги;
- 9) смугова структура (мезомасштабні гряди та смуги);
- 10) лінія шквалів - гряда Сб, розташована перед основним хмарним масивом (спостерігається лише в крайніх північних та крайніх південних районах тропіків);
- 11) струминна течія (СТ), що виявляється за структурою хмар, типова для районів, віддалених від екватора на $\geq 15^\circ$ широти;
- 12) система хмарності осередкової структури, розташована за хмарною смугою ХФ, як індикатор холодного повітря, що прогрівається. Осередкова хмарність особливо характерна і чітко виражена над океанами.

Іноді хмарні смуги холодних фронтів, проникаючи в низькі широти, стають неактивними та стаціонарними, що пов'язано з наявністю слабких паралельних висотних потоків в цій області. Зона малорухливих хмарних смуг характеризується збереженням негоди протягом тривалого часу.

1.4 Хмарність пасатних хвиль

Пасатні хвилі виникають в результаті порушення квазізонального переносу повітряних мас у пасатній зоні в усій товщі тропосфери. В середній та верхній тропосфері – це системи «улоговина-гребінь» довжиною 2-3 тисячі кілометрів, а біля поверхні землі – невеликі циклони або депресії з незначними коливаннями тиску. У північній півкулі пасатні хвилі та пов'язана з ними хмарність знаходяться на відносно невеликій відстані від ВЗК в більш високих широтах. **Хмарність пасатних хвиль переміщується в напрямку основного переносу в тропосфері зі сходу на захід, що є причиною їх другої назви – «східні хвилі».**

Східна (тропічна, африканська тропічна) хвиля зазвичай зміщується за зоною сухого повітря, яке інтенсивно опускається та дме з північного сходу. Після проходження осі улоговини вітер повертає на південний схід, вологість різко підвищується, а атмосфера дестабілізується, що спричиняє сильні зливи та грози. Коли хвиля рухається на захід, зливи поступово зменшуються. Виняток розвитку такого процесу відмічається в Атлантиці - іноді приплив сухого повітря, так званий, «повітряний шар Сахари» (SAL) рухається за тропічною хвилею в умовах ясного неба, оскільки конвекція обмежується інверсією сухого шару. *Тропічні хвилі в атлантичному басейні розвиваються в результаті збурень, які поширюються на схід упритул до Судану на сході Африки, і дрейфують через континент в Атлантичний океан.* Вони генеруються або підсилюються африканською тропічною течією, а циркуляція за годинниковою стрілкою центру дії атмосфери

високого тиску поблизу Азорських островів зумовлює рух східних хвиль від прибережних районів Африки до Північної Америки – рис.1.23.

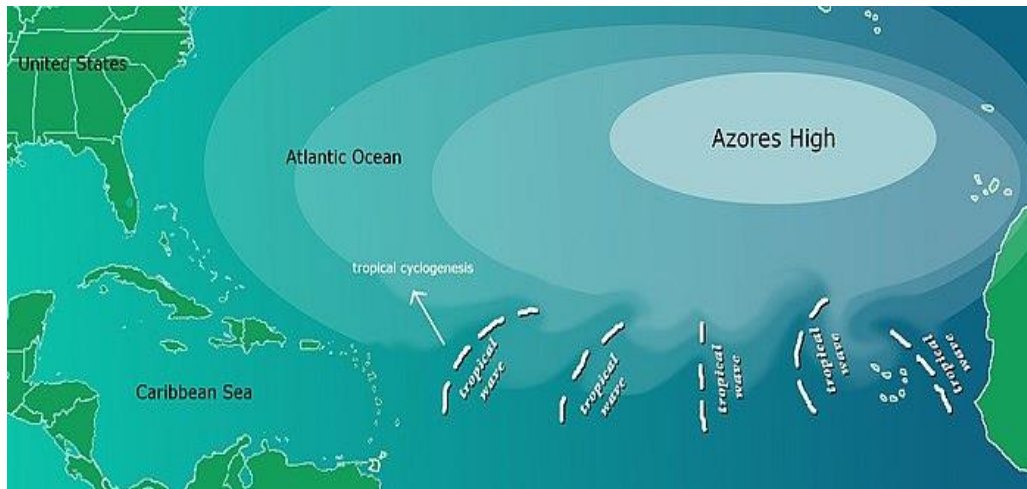


Рис.1.23. Карта-схема утворення тропічних хвиль в Атлантиці

На знімках МШСЗ хмарність східних хвиль має вигляд ізольованих світлого тону хмарних скупчень розмірами від 200-300 км до 1000 км. Окремі хмарні системи мають значний розмір (більше 1000 км) і пов'язані з тропічними депресіями – рис.1.24.

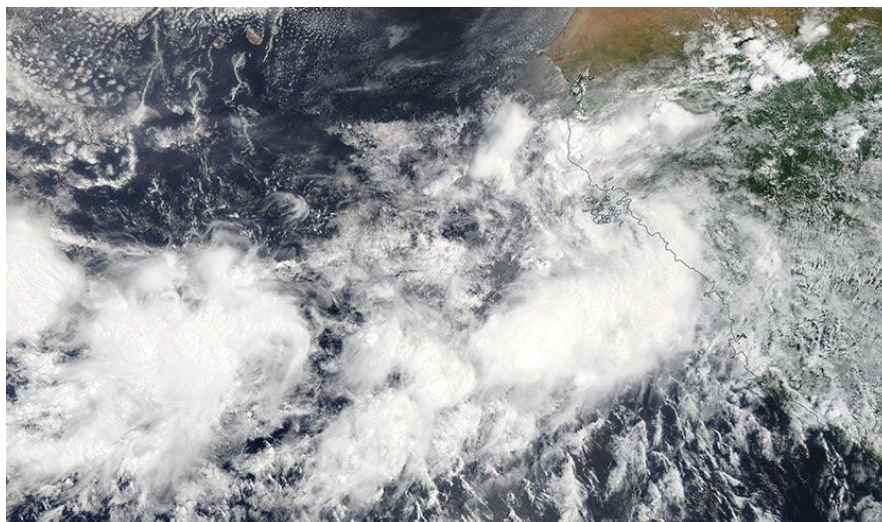


Рис.1.24. Тропічні східні хвилі біля узбережжя Африки на знімку МШСЗ IR, 27.08.2018

Над континентами пасатні хвилі, в тому числі їх наземна компонента, не розвиваються в циклони великих розмірів. Під час переміщення на акваторію Атлантичного океану в розвитку таких циклонів можуть відбуватись значні зміни. За умов утягування в їх систему значної кількості вологи, що супроводжується інтенсивним розвитком конвективних хмар,

відбувається поглиблення циклону та збільшення хмарності. За наявності додаткових умов розвитку (додатна адвекція вихору, дивергенція) східні хвилі розвиваються в тропічні циклони (урагани Атлантики). *В урагани перетворюється тільки невелика частина пасатних хвиль.*

1.5 Мусонна хмарність

Мусони в тропіках обумовлені тим, що зона конвергенції протягом року зміщується від екватора спочатку у Південну, потім у Північну півкулю, туди, де в даному півріччі літо. Режим східних пасатних вітрів - зимового мусону., змінюється на західні вітри - літній мусон. Тому хмарні масиви мусонного походження спостерігаються в строки початку і відступу мусонів.

Мусонні хмари в основному утворюються з хмар конвективних форм: купчастих, потужних купчастих і купчасто-дошових. Іноді разом з конвективними хмарами у мусонній хмарній системі зустрічаються шлейфи перистих хмар різної довжини.

Зазвичай хмари мусонів мають структуру витягнутих гряд або мезомасштабних скупчень. В деяких районах, таких як Аравійське море, мусонні хмари можуть утворювати смуги шириною 600-800 км і довжиною до 200 км. Хмарні смуги мають нахил до широтного кола, залишаючись нібито перпендикулярними напрямку мусонних вітрів. Саме ці параметри - значна ширина, нахил смуги та відстань від екватора, дозволяють відрізнити мусонні хмари від хмарної смуги ВЗК.

Приклад активної мусонної конвекції на південному сході США наведено на рис.1.25.

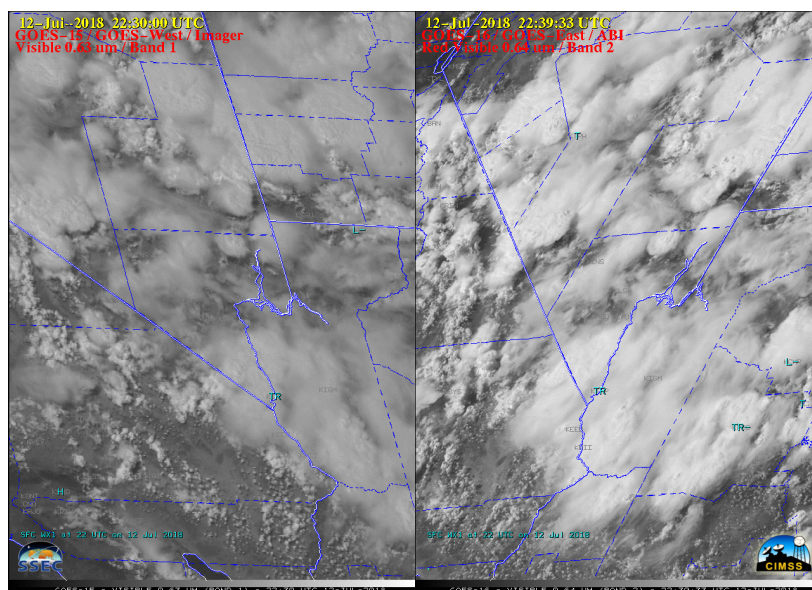


Рис.1.25. Мусонна конвекція VIS, GOES-15-GOES-16, 12.07.2018

Мусонне скупчення – масштабна видовжена область суцільної хмарності над сушею і прилеглими морями у Південно-східній Азії в період з липня до вересня – рис.1.26. Площа мусонного скупчення може сягати $200 \cdot 10^4 \text{ км}^2$.

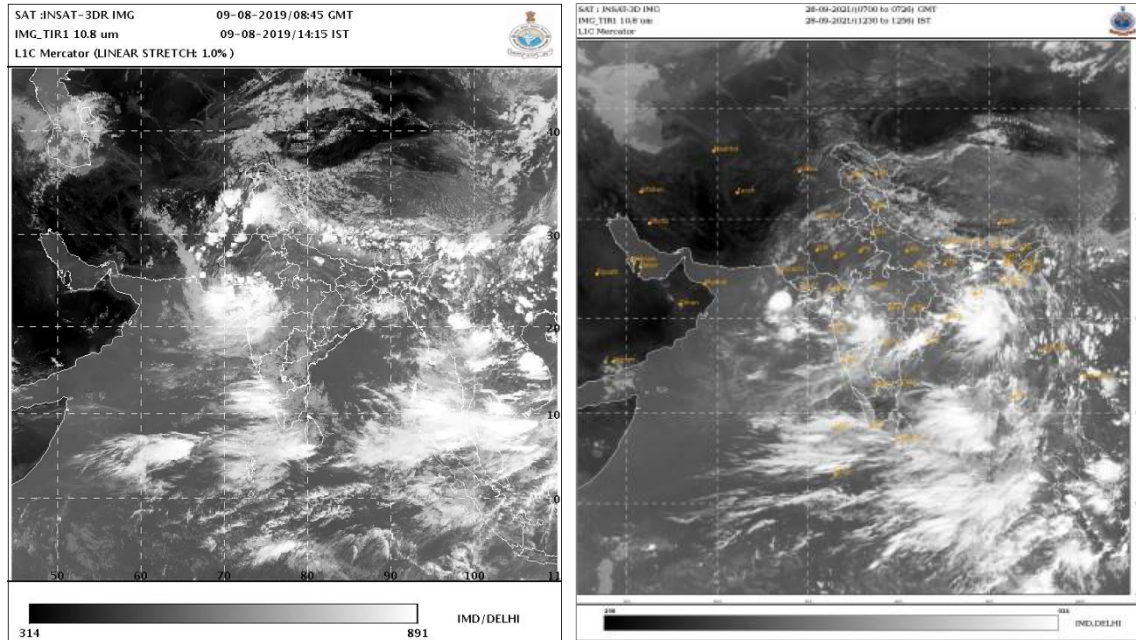


Рис.1.26. Мусонні скупчення у Південно-східній Азії, IR

Зимова мусонна хмарність на знімках МШСЗ в помірних і приполярних широтах часто має характерний вид тонкосмугових струменів, рівнобіжних один одному, з'являється на деякому видаленні від берега з чіткою смугово-грядовою структурою.

Коли вітри спрямовані з моря на материк - початок **літнього мусону** характеризується появою приблизно в першій половині червня значних за площею хмарних масивів на $4-6^\circ$ півн. ш., які зміщуються в напрямку континенту – на північ, північний схід, північний захід.

Мусонна хмарність пов'язана з інтенсивними зливами. Мусонні дощі зазвичай починаються в квітні-травні на сході Бенгальської затоки і поширюються на захід та північ Індії в липні. Початок мусонних дощів в окремій точці має вибуховий характер і називається вибухом мусонів.

2 ПРАКТИЧНА РОБОТА

Хмарні системи синоптичного і мезо-масштабів.

ЗАВДАННЯ:

За обраним варіантом з «Додатку до практичного завдання 2» охарактеризувати всі хмарні об'єкти синоптичного та мезомасштабів за знімками МШСЗ різних спектральних діапазонів.

ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ:

Додаток, що складається з 10 варіантів завдань (архів викладений на сторінках сайту Е-навчання

<http://dpt17s.odku.edu.ua/course/view.php?id=46>

<http://dpt17s.odku.edu.ua/mod/assign/view.php?id=790>

Зміст роботи:

1. Визначити на знімках хмарність об'єктів синоптичного масштабу тропічної зони – тропічних збурень, тропічних циклонів, ВЗК, ХФ в тропіках. Вказати характеристику цих систем:

- географічне положення;
- розмір, структура, чіткість меж;
- вид хмарності, текстура;
- стадія розвитку тропічних циклонів; інтенсивність ВЗК за структурними особливостями хмарності.

2. Визначити на знімках мезомасштабні об'єкти, якщо вони пов'язані з макромасштабними системами – вказати з якими, навести характеристику:

- тип мезомасштабної хмарності – осередки, гряди, скупчення тощо;
- яскравість (відтінки, тони) зображення об'єктів мезомасштабу;
- особливості структури, розмірів, географічного розташування мезомасштабних об'єктів.

Навчально-методичне забезпечення: [1-7].

Питання для самоперевірки

1. Класифікація хмарних систем тропічної зони.
2. Структура хмарної системи тропічного циклону.
3. Стадії розвитку тропічного циклону за змінами хмарності.
4. Яка мезомасштабна хмарність пов'язана з тропічними циклонами?
5. Відмінність хмарних систем позатропічних і тропічних циклонів.
6. Який вигляд має ВЗК на знімках МШСЗ?
7. Що виступає характерною рисою хмарної системи ВЗК?
8. Особливості хмарності холодних вторгнень у тропіки.
9. Який вигляд на знімках МШСЗ має хмарність пасатних хвиль?
10. Який вигляд на знімках МШСЗ має хмарність мусонів?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Герман М.А. Космические методы исследования в метеорологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 351 с.
2. Кудрянь О.П. Супутникова метеорологія: практика нефаналізу. Одеса: ОДЕКУ, 2001. 165 с.
3. Нажмудінова О.М. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Авіаційна та супутникова метеорологія», блок «Супутникова метеорологія», на тему «Базові та комбіновані спектральні канали МШСЗ», для студентів денної та заочної форми навчання. Одеса: ОДЕКУ, 2020. 36 с.
4. Нажмудінова О.М. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Авіаційна та супутникова метеорологія», блок «Супутникова метеорологія», на тему «Хмарність синоптичного і мезо- масштабів», для студентів денної та заочної форми навчання. Одеса: ОДЕКУ, 2020. 36 с.

Інтернет – посилання

1. Електронна бібліотека ОДЕКУ - <http://library-odeku.16mb.com>.
2. <http://terra.nasa.gov/Gallery/>
3. <http://www.eumetrain.org/>
4. <http://www.woksat.info/wos.html>
5. <https://eumetcal.eu/>
6. https://mausam.imd.gov.in/imd_latest/contents/satellite.php#.
7. <https://weather.msfc.nasa.gov/GOES/>
8. <https://www.cyclostorm.com>
9. <https://www.eumetsat.int/>
10. <https://www.ospo.noaa.gov/Products/imagery/index.html>

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни
«Авіаційна та супутникова метеорологія»

блок «Супутникова метеорологія»
на тему

«Хмарність тропічної зони»

для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 103 «Науки про Землю»

Укладач: к.геогр.н., доц. Нажмудінова Олена Миколаївна

Електронна версія © Нажмудінова Олена Миколаївна