МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

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

на тему
«Хмарність синоптичного і мезо- масштабів»

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

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 10 від 10.06. 2021 р.
Голова групи_____ Шакірзанова Ж.Р.
(підпис)

Затверджено
на засіданні
кафедри метеорології та кліматології
Протокол № ___ від _____ 2021 р.
Завідувач кафедри_____ Прокоф'єв О.М.
(підпис)

Одеса – 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

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

на тему
«Хмарність синоптичного і мезо- масштабів»

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

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 10 від 10.06. 2021 р.

Одеса – 2021

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, 2021, 36 с.

ЗМІСТ

Передмова……... 4
1 Об’єкти синоптичного масштабу…… 5
1.1 Хмарність атмосферних фронтів ……. 5
1.2 Хмарні системи фронтальних циклонів……..... 15
1.3 Хмарні системи антициклонів та гребенів…….. 18
Практична робота №1…… 20
Питання для самоперевірки до практичної роботи №1…….. 21
2 Мезомасштабні хмарні системи…….. 22
2.1 Осередкова хмарність…… 22
2.2 Гряди та пасма конвективної хмарності..……..... 25
2.3 Купчасто-дощова хмарність……. 27
2.4 Мезомасштабні конвективні комплекси……. 29
2.5 Лінії нестійкості (шквалів)…… 32
2.6 Мезомасштабні вихори……. 33
Практична робота №2…… 35
Питання для самоперевірки до практичної роботи №2…….. 35
Список літератури…….. 36

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 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 при виконанні практичних завдань за вказаною темою.

Оцінювання завдань проводиться відповідно до силлабусу навчальної дисципліни.

Після вивчення теми студент повинен:

знати:

- характеристики хмарних систем атмосферних фронтів на знімках МШСЗ;
- характеристики хмарних систем циклонів та антициклонів помірних широт;
- основні класи і типи мезомасштабних хмарних систем;
- принципи оцінки термодинамічного стану повітряних мас за даними про мезомасштабні структури хмарності.

вміти:

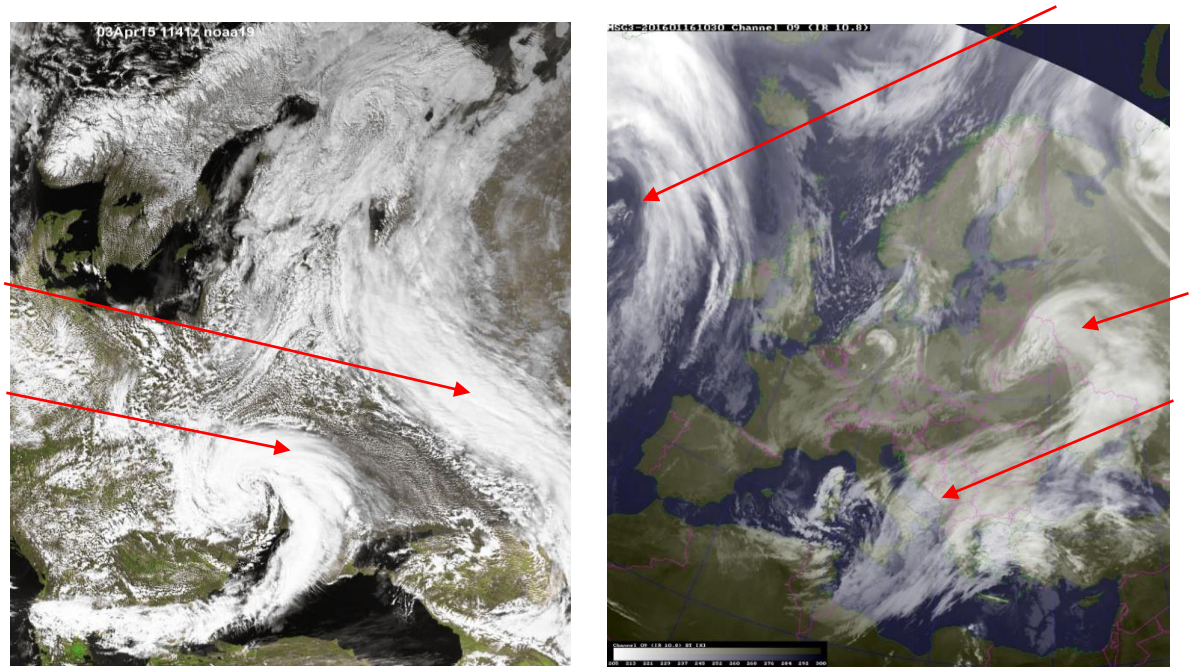
- розпізнавати типи хмарних систем синоптичного масштабу;
- оцінювати інтенсивність атмосферних фронтів за видом хмарності;
- оцінювати інтенсивність та фази розвитку циклонів за видом хмарності;
- розпізнавати хмарні системи мезомасштабу помірних широт на знімках МШСЗ;
- проводити аналіз повітряних мас та метеорологічних величин за даним про мезомасштабну хмарність.

1 ОБ’ЄКТИ СИНОПТИЧНОГО МАСШТАБУ

Системи синоптичного масштабу включають хмарні смуги й спіралі, хмарні вихори, хмарні поля, що складаються із гряд або осередків, якщо лінійні розміри цих полів більше 500 км.

1.1 Хмарність атмосферних фронтів

На знімках МШСЗ **хмарність фронтів має вигляд світлих смуг різної довжини, ширини, структури і яскравості.** Найбільш широкі і яскраві хмарні смуги відповідають активним фронтам з інтенсивними висхідними рухами вологого повітря, більш вузькі і менш світлі хмарні смуги – неактивним фронтам. **Хмарні смуги шириною 400-500 км відповідають ділянкам фронтів, які знаходяться безпосередньо в циклонах або глибоких улоговинах, а незначна хмарність або її відсутність на фронті – в областях високого тиску.** Активність фронтів зменшується від центру циклона до периферії, на знімках це проявляється у зменшенні ширини хмарної смуги і кількості хмарності в ній. На рис.1.1. червоними стрілками вказані смуги фронтальної хмарності.



VIS IR

Рис.1.1. Фронтальна хмарність на знімках МШСЗ

Перистоподібній хмарності відповідає волокниста текстура, купчастоподібній - нерівні, розірвані межі хмар, шаруватоподібній - згладжені рівні краї. На прикладах (рис.1.2), відмічаються вимети перистих хмар яскраво-блакитного тону на передньому краї масивів фронтальної

хмарності; низькі шаруватоподібні хмари – жовтого тону; яскраво-біла купчаста хмарність з вкрапленнями осередків зернистої текстури Cb.

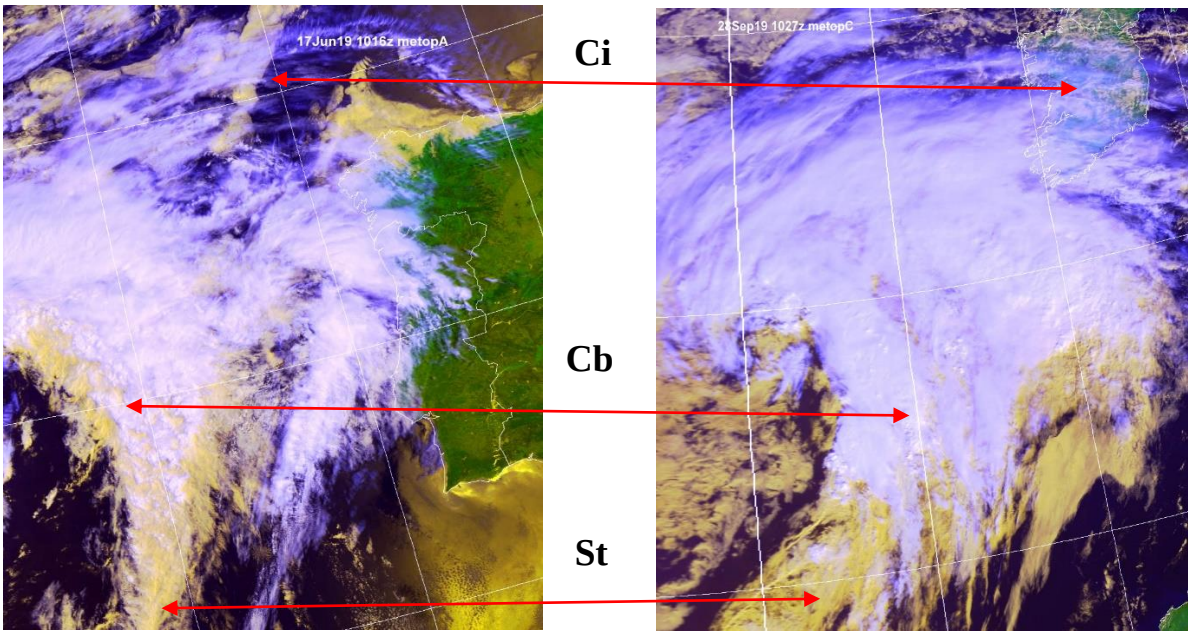


Рис.1.2. Супутникові знімки RGB ch 1+2+4

Хмарність холодних фронтів. Хмарні смуги ХФ мають чітку структуру у вигляді яскравих смуг, довжиною тисячі км, шириною від декількох десятків до 400-500 км. Як правило, смуги мають однорідний тон, на фоні якого виразно простежуються вкраплення яскравих зерен (плям) хмарності вертикального розвитку. **Характерною є помітна циклонічна кривизна (вигин у бік теплого повітря).** Низхідні рухи за ХФ визначають чітку межу хмарності.

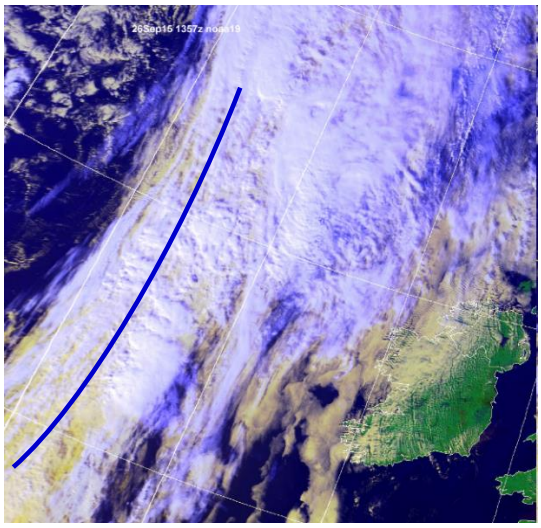
Лінія ХФ біля поверхні землі практично завжди знаходиться в межах хмарної смуги. У випадках, коли переважають шаруватоподібні хмари, лінія приземного фронту розташовується поблизу правого (переднього) краю хмарності, при переважанні купчастоподібних хмар - лінія фронту розташовується з лівого (тилового) краю хмарної смуги.

Активні ХФ характеризуються безперервною смугою розвинених купчасто-дощових або шаруватоподібних хмар, яка виглядає однаково яскраво, як на ТВ, так і ІЧ знімках.

Для *малоактивних* ХФ хмарна смуга менш широка, з окремими просвітами і розривами, хмарність виглядає яскравою на ТВ-знімках та сірого тону – на ІЧ-знімках.

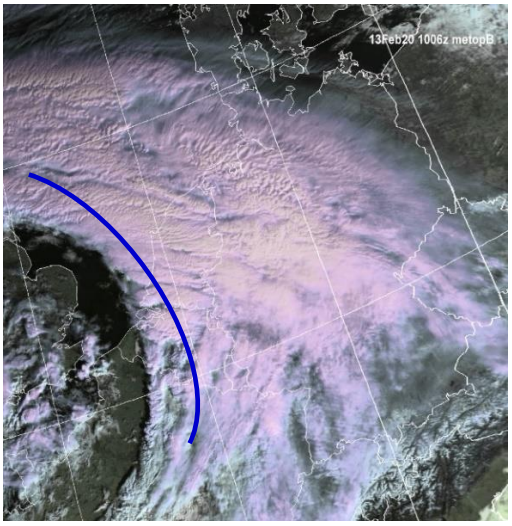
Приклади хмарних систем активного ХФ зображено на рис.1.3 (смугу позначено синім кольором відповідно вимог). У всіх випадках відмічається різка тилова межа хмарної смуги, сама смуга суцільна, без розривів,

яскравого відтінку у різних спектральних діапазонах. Для випадків на рис.1.3 (а)-(б) чітко простежується вкраплення Cb зернистої текстури.



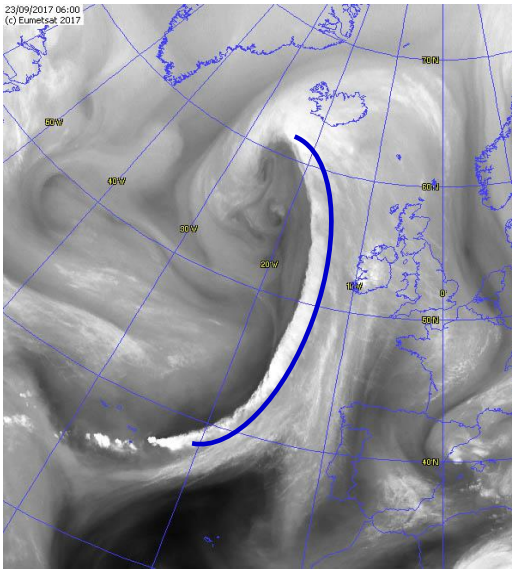
RGB ch1+2+4

(а)

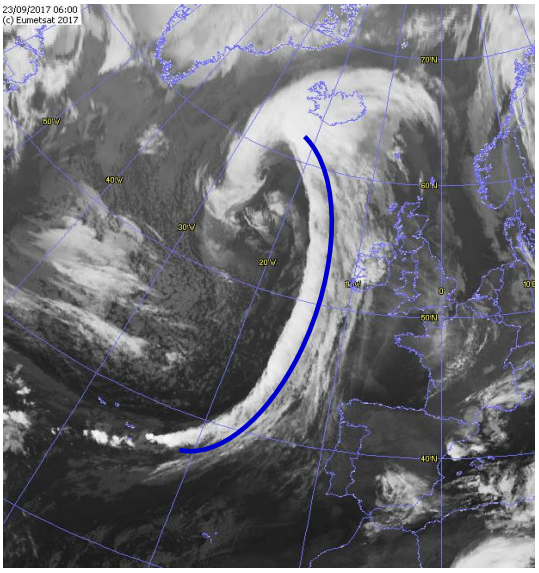


ch2+4

(б)



WV

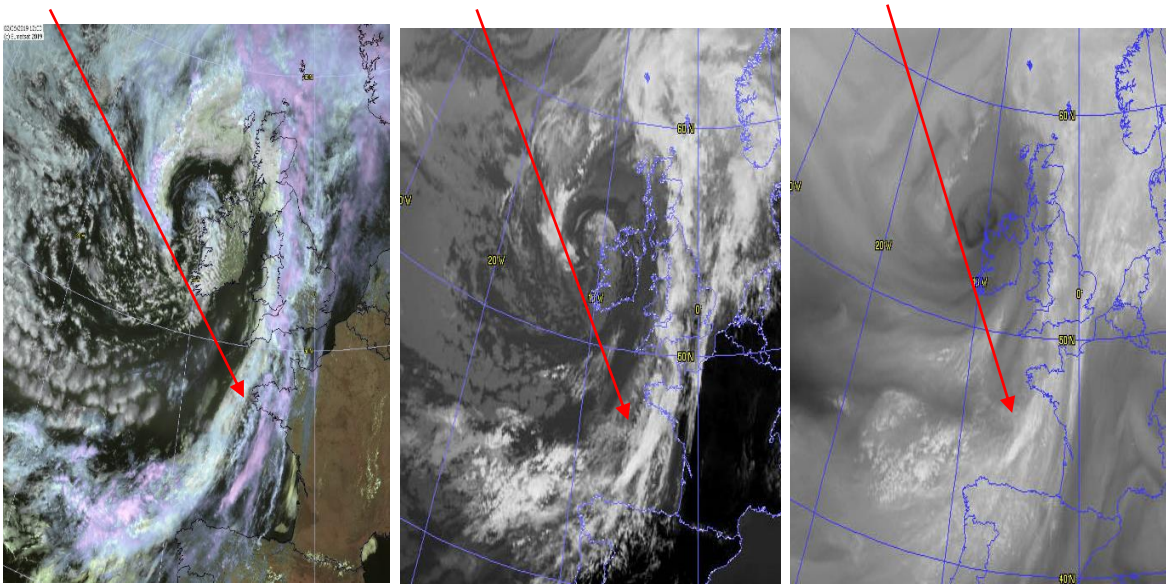


IR

(в)

Рис.1.3. Хмарність холодних фронтів на знімках МШСЗ

Приклад хмарної системи малоактивного ХФ зображено на рис.1.4 (лінію ХФ вказано червоною стрілкою). Фронтальна хмарна смуга має нечіткі межі, розриви, смуга малої ширини, за знімком у каналі водяної пари (WV) видно, що хмарність недостатньо насичена парою і опади малоймовірні.



ch 2+4 IR WV

Рис.1.4. Хмарність малоактивного холодного фронту на знімках МШСЗ

За ХФ можуть спостерігатися скупчення купчастих хмар, сформованих у гряди, осередки або ансамблі, що не мають визначеної структури і є результатом конвекції – рис.1.5.

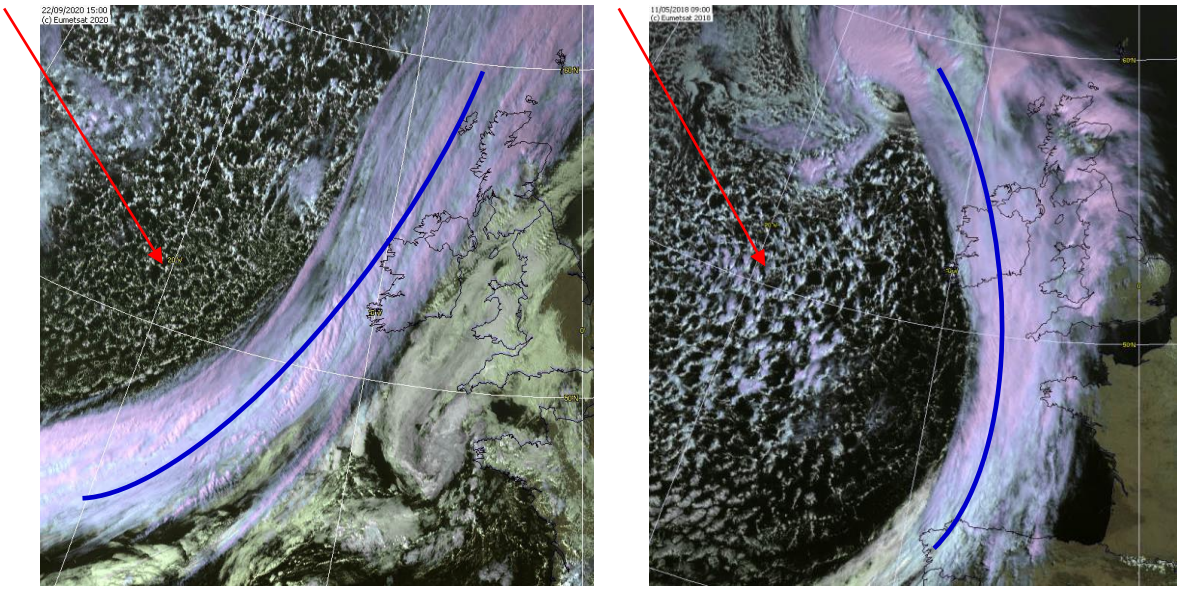
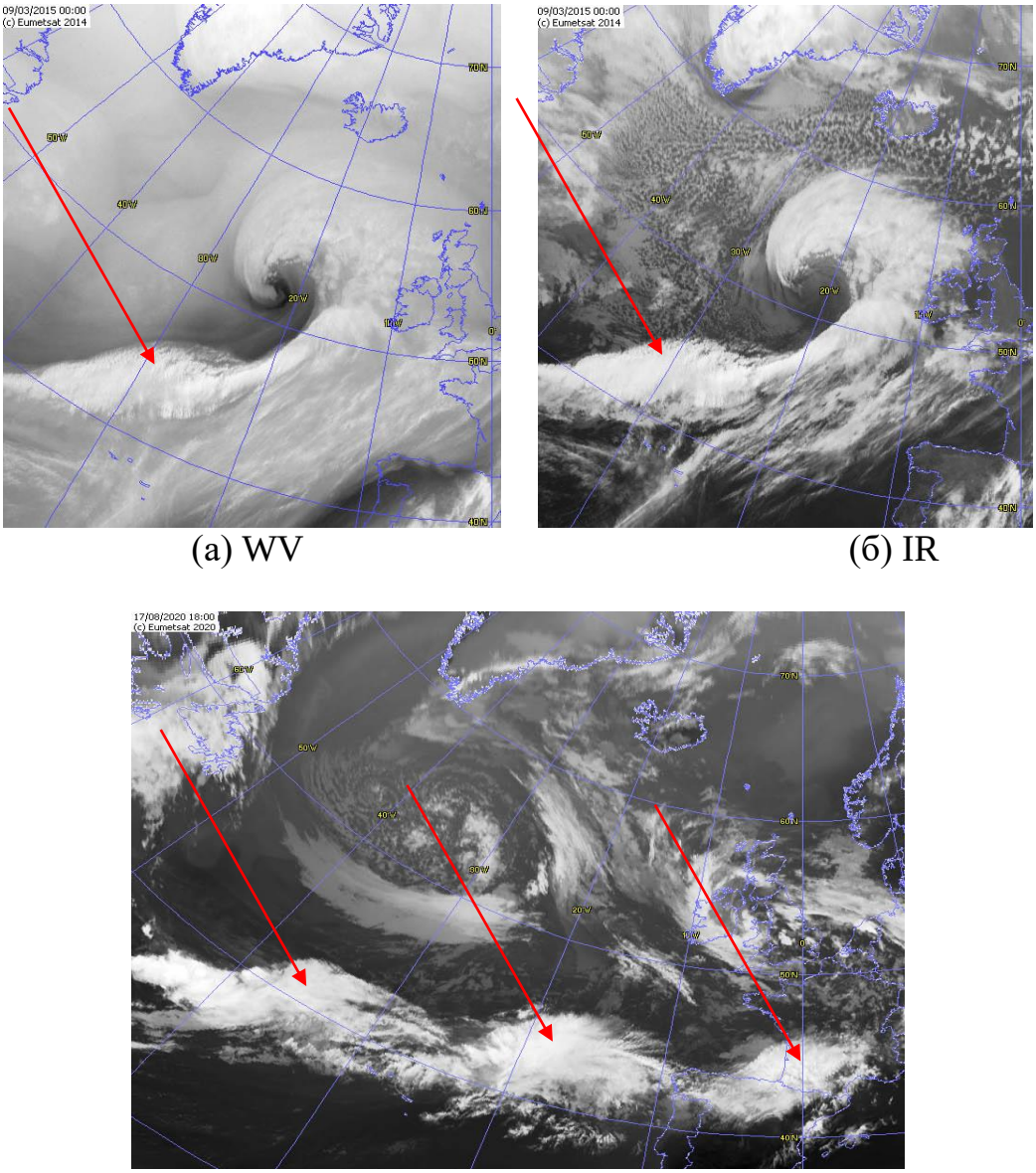


Рис.1.5. Супутникові знімки в комбінації спектральних каналів ch2+4

Хмарність ХФ стає особливо неоднорідною за своїми характеристиками, якщо на ній виникають хвилі.

Фронтальна хвиля – це вигин на лінії фронту і смузі хмарності, обумовлений появою замкнутої циклонічної циркуляції або її тенденції. Конвергенція повітряної маси в область хвилі та висхідні вертикальні рухи

є причиною розвитку значної хмарності; одночасно на суміжних ділянках фронту відбувається дисипація хмарності в результаті низхідних рухів. Першою ознакою утворення хвиль на фронті є поява нерівномірності в ширині хмарної смуги і вигину **у бік холодного повітря** – рис.1.6 (фронтальні хвилі вказані червоною стрілкою). На знімку рис.1.6 (в) простежується полярний фронт з хвилями над Атлантикою.



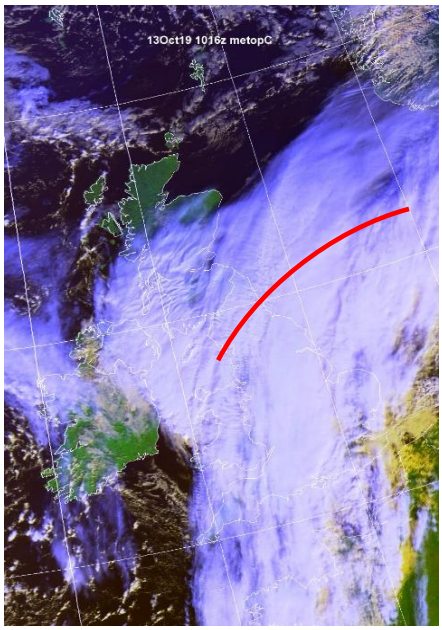
(а) WV (б) IR

(в) IR

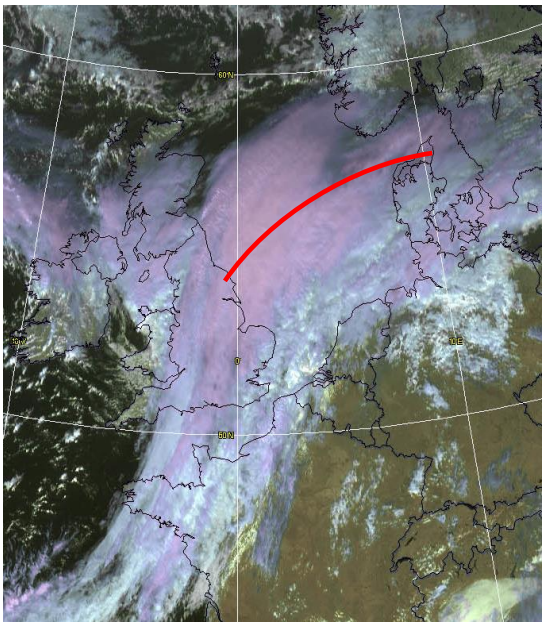
Рис.1.6. Фронтальні хвилі на знімках МШСЗ

Хмарність теплих фронтів. ТФ є вираженим у полі хмарності лише на початкових стадіях розвитку циклону. На супутникових знімках ТФ має вигляд хмарної смуги шириною 300-500 км і довжиною декілька сотень кілометрів, яка має антициклонічний вигін і найбільшу щільність поблизу центру циклону. Довгі хмарні смуги на ТФ зустрічаються рідко.

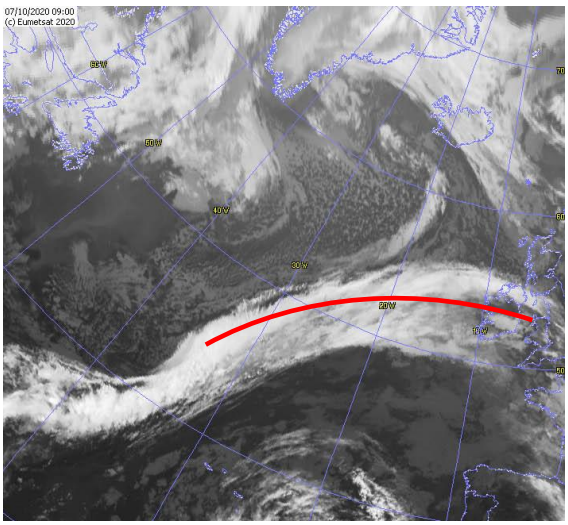
Класична хмарна смуга ТФ сформована з **однорідної шарувато-дощової хмарності.** Відмітною рисою хмарності є нерівний передній край при розшаруванні хмарності. На ТВ-знімках білі та світлі відтінки спостерігаються поблизу тилового краю хмарної смуги ТФ, переходячи до сірих відтінків у передній частині. На ІЧ-знімках тон змінюється від сірого до білого, яскравість зображення зростає від тилового до переднього краю хмарної смуги, що відповідає підняттю хмарних вершин та зниженню температури ВМХ. На знімках ВП хмарна смуга ТФ, як правило, яскраво-біла та біла – рис.1.7. На прикладах смуга ТФ позначена червоною лінією.



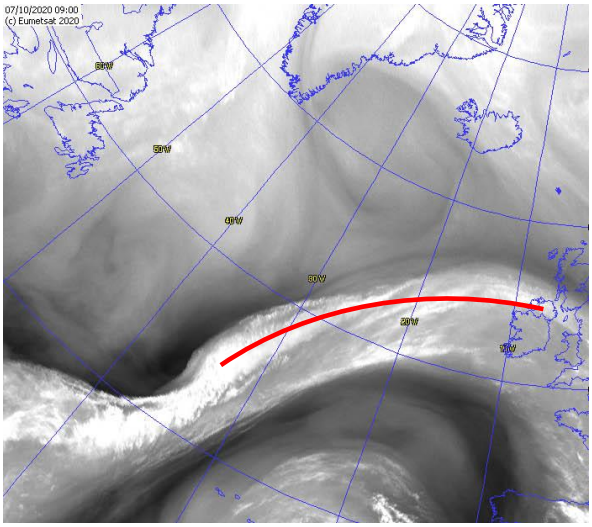
RGB ch1+2+4



ch2+4



IR

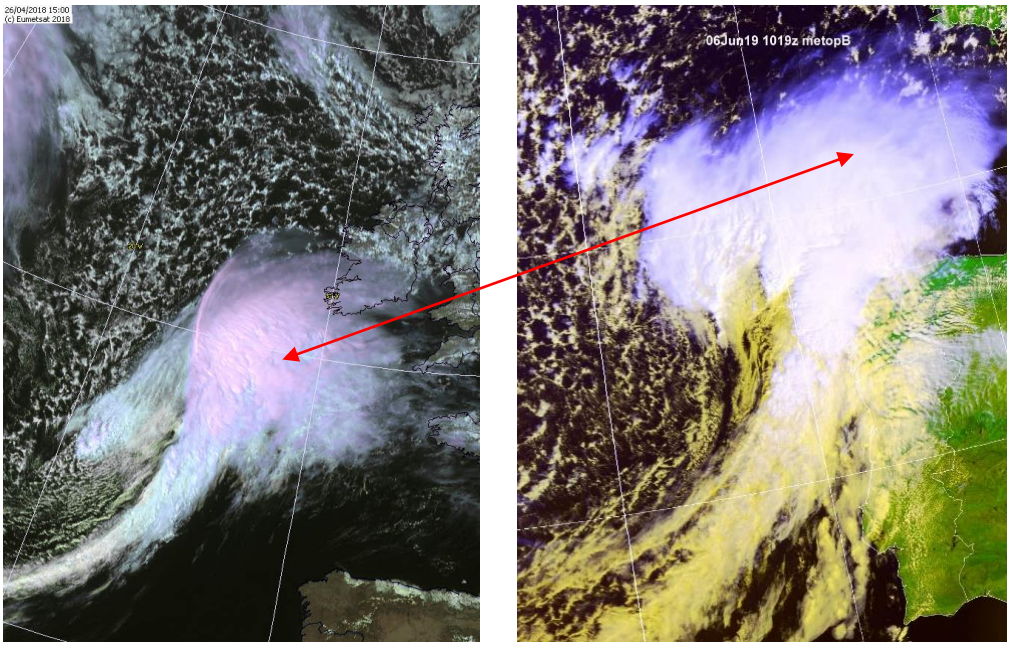


WV

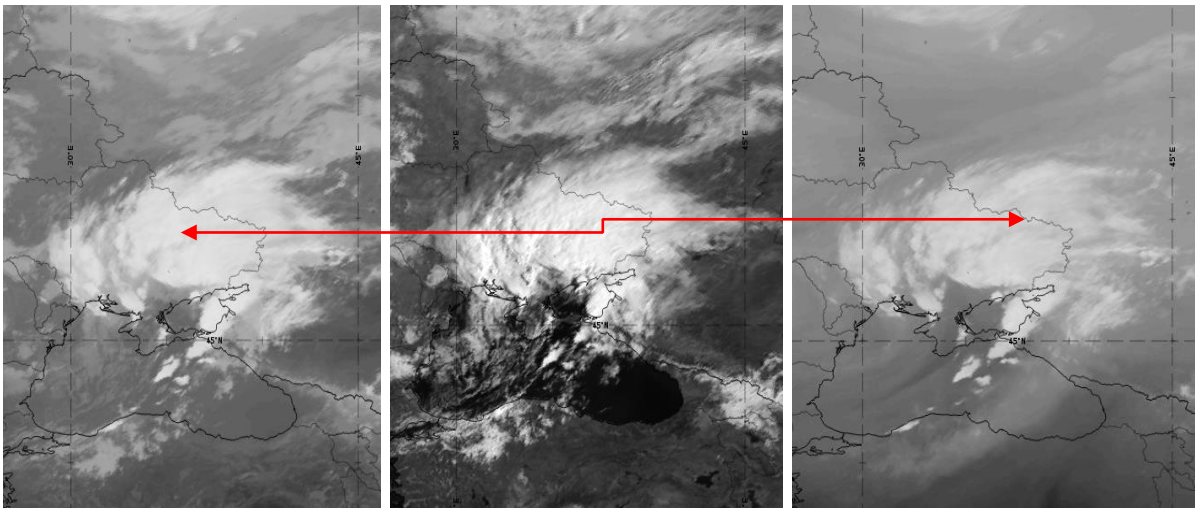
Рис.1.7. Хмарність теплих фронтів на знімках МШСЗ

В деяких випадках хмарність теплого фронту може набувати вигляду **щита**, хмарність якого формується поблизу центральної частини циклону з хмарності теплого фронту, теплого сектору та холодного фронту - рис.1.8.

Для хмарного щита на ТВ-знімках білий тон зображення характерний усередині теплого сектору та поблизу приземного ТФ, сірі відтінки спостерігаються на передньому краї хмарного масиву ТФ. На ІЧ-знімках звичайно тон зображення білий, що свідчить про холоді хмарні вершини, а на ВП-знімках тон, як правило, білий усередині всього хмарного щита.



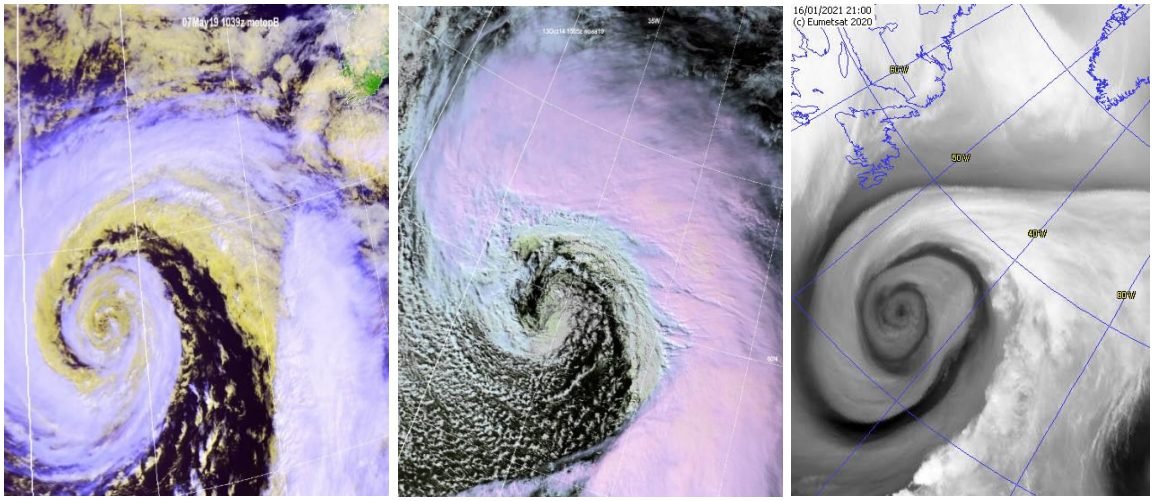
RGB ch1+2+4 ch2+4



IR VIS WV

Рис.1.8. Хмарність теплих фронтів за типом «щита» на знімках МШСЗ

Хмарність фронтів оклюзії. Хмарність ФО має вигляд щільної яскравої хмарної смуги шириною близько 300 км у вигляді спіралі. Вершина хмарної спіралі знаходиться в центрі циклонічної циркуляції на рівні хмарності. Для хмарної смуги ФО характерна різко окреслена, чітка тилова межа, та нерівний, передній край – рис.1.9.



RGB ch1+2+4 ch2+4 WV

Рис.1.9. Хмарні спіралі фронтів оклюзії на знімках МШСЗ

В тилу спіралі на деякій відстані від ФО можуть виділятися хмари купчастоподібних форм у вигляді гряд, конвективних осередків або скупчення хмар, що не мають чіткої структури – рис.1.10.

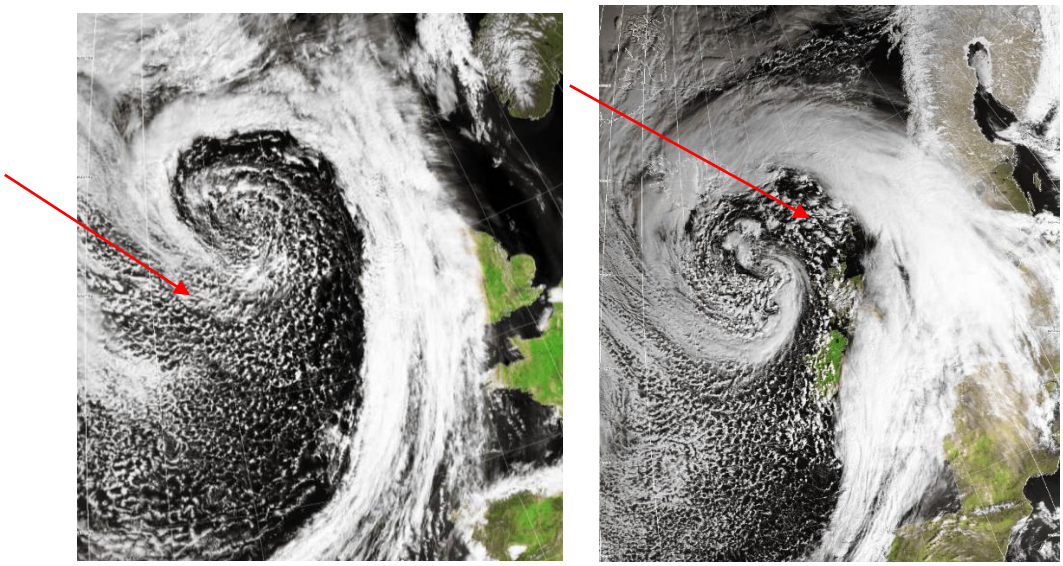
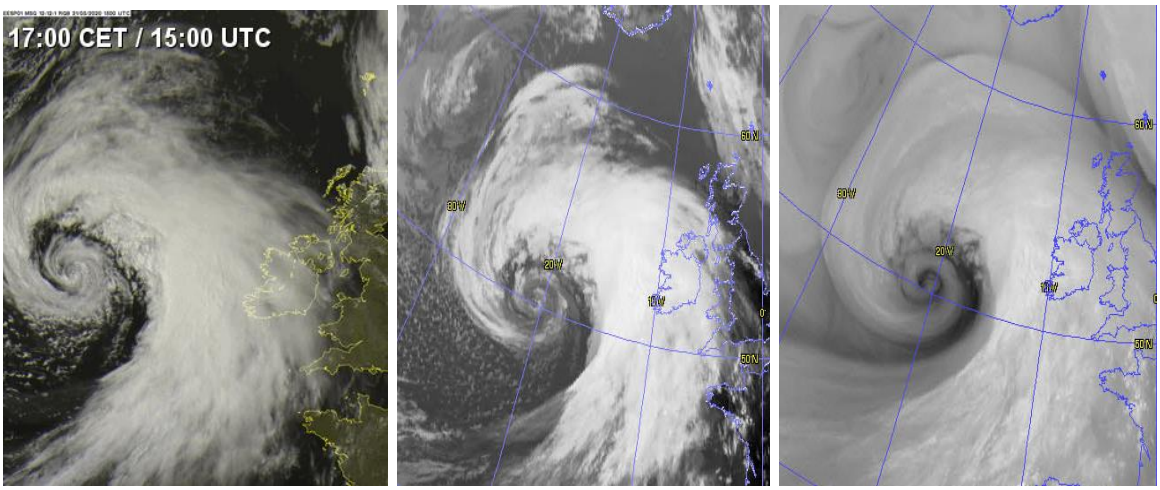


Рис.1.10. Мезомасштабна хмарність у системах ФО на ТВ-знімках МШСЗ

На ТВ-знімках хмарна спіраль має яскравий тон через хмарність з високим альбедо. На ІЧ-знімках тон зображення ФО змінюється від сірого

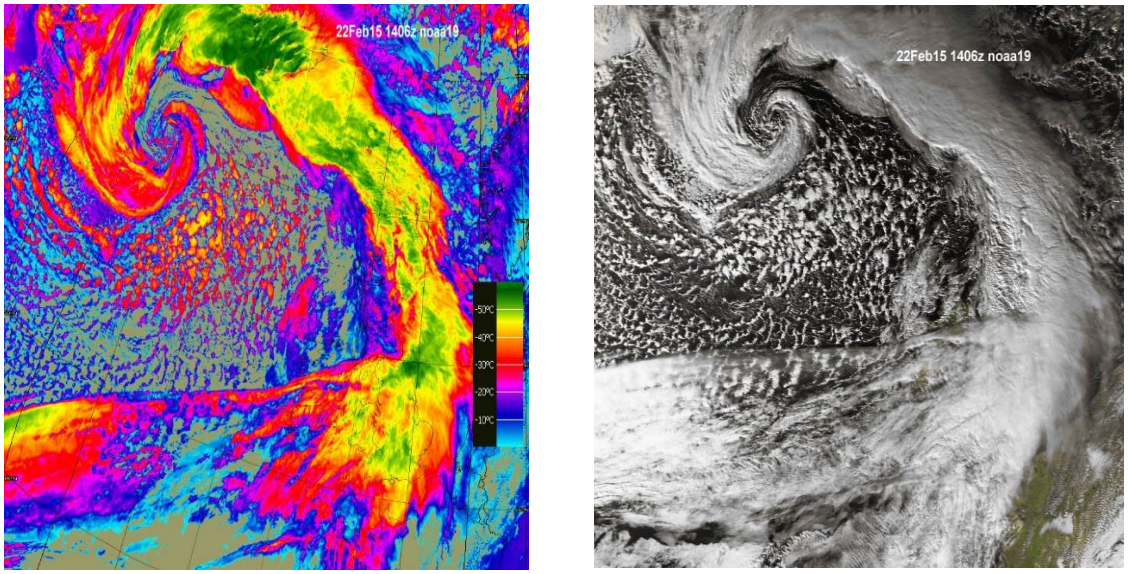
біля центру хмарної спіралі до білого в зоні точки оклюдування. На знімках ВП фронтальна хмарність переважно білого тону - рис.1.11.



VIS IR WV

Рис.1.11. Хмарність фронту оклюзії на знімках МШСЗ

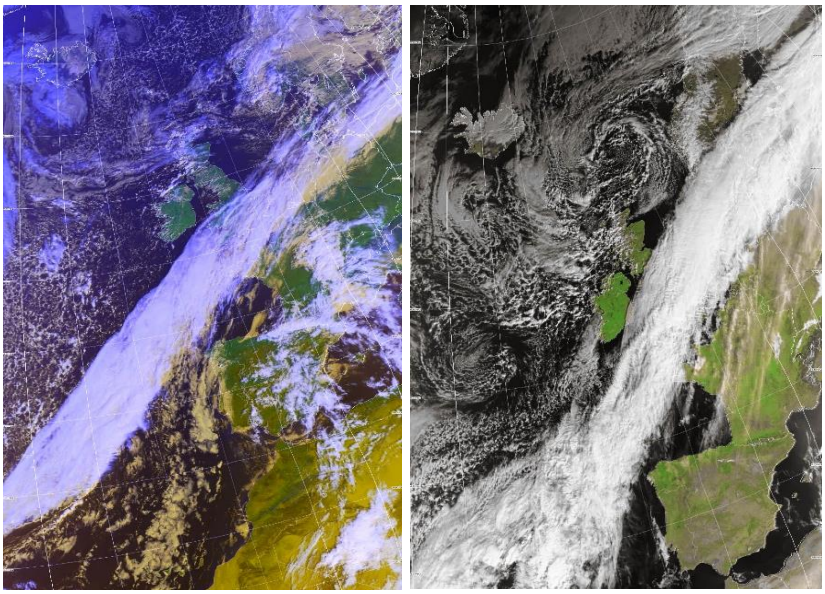
Залежно від синоптичного процесу, хмарна спіраль на знімках може набувати різного вигляду, відображуючи механізм оклюдування. В глибоких, масштабних, старих циклонах або депресіях окремі ділянки довгої хмарної смуги ФО можуть набувати різної кривизни, в результаті формується не спіраль, а, так звана, **«загнута оклюзія».** Звичайно хмарна смуга такого ФО довга і широка, іноді зустрічаються смуги короткі та різко окреслені, особливо в холодних повітряних масах – рис.1.12.



ch-th Colour coded thermal VIS

Рис.1.12. «Загнута оклюзія» на знімках МШСЗ

Хмарність стаціонарних фронтів. Хмарність **стаціонарного фронту звичайно не має циклонічної або антициклонічної кривизни.** Ширина хмарної смуги 200-300 км, структура хмарності неоднорідна. Для активних квазістаціонарних фронтів характерна широка хмарна смуга, всередині якої часто розвиваються хвильові збурення і виникає конвективна хмарність – рис.1.13. Для малоактивних стаціонарних фронтів характерні переривчасті хмарні смуги, які складаються в основному з хмар верхнього та середнього ярусів.



RGB ch1+2+4 VIS

Рис.1.13. Хмарність стаціонарних фронтів на знімках МШСЗ

Зменшення хмарності або її повне розмивання також спостерігається на ділянці **зміни знаку фронту** – рис.1.14.

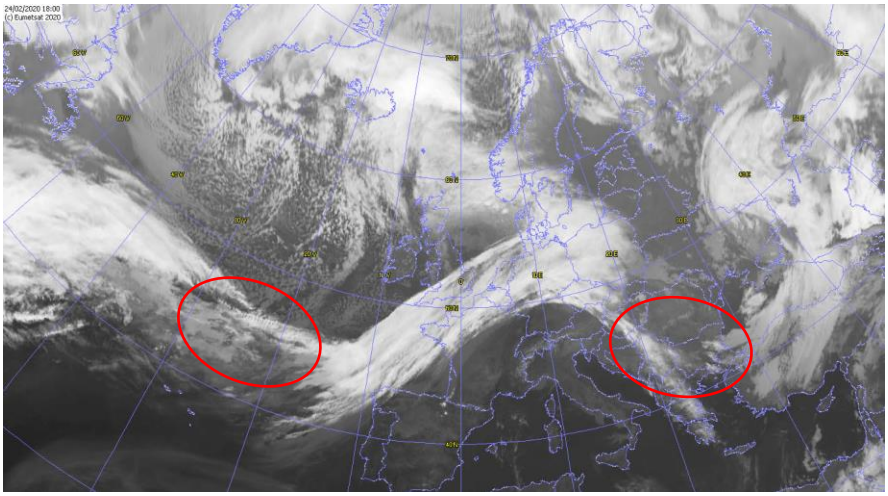


Рис.1.14. Зміна знаку на хмарній смузі АФ на ІЧ-знімку МШСЗ

1.2 Хмарні системи фронтальних циклонів

Циклони помірних широт мають **вихрову структуру** хмарних полів. Хмарні вихори мають вигляд **великомасштабних хмарних спіралей зі збіжністю** (конвергенцією) до одного центру. В кожному хмарному вихорі виділяється основна хмарна спіраль шириною 100-400 км, кривизна якої зменшується від центру циклона до периферії. Рисунок хмарності в циклоні буває більш чітким та правильним над однорідною поверхнею океану. Над складним рельєфом суші часто спостерігається різноманітна деформація хмарних систем. Хмарні вихори помірних широт - це макромасштабні системи, які в процесі еволюції значно змінюються за формою, розміром і структурою хмарності; основним елементом є хмарна спіраль, що формується з хмарності фронту оклюзії. На знімках МШСЗ виділяють **3 основні типи хмарних спіралей** (рис.1.15-1.17).

1. **Хмарні спіралі правильної видовженої форми, близькі до форми логарифмічної чи гіперболічної спіралі**. Лінійний розмір порядку 1000 км, типові для **термічно неоднорідних і рухливих циклонів, як правило, в початкових фазах розвитку**.

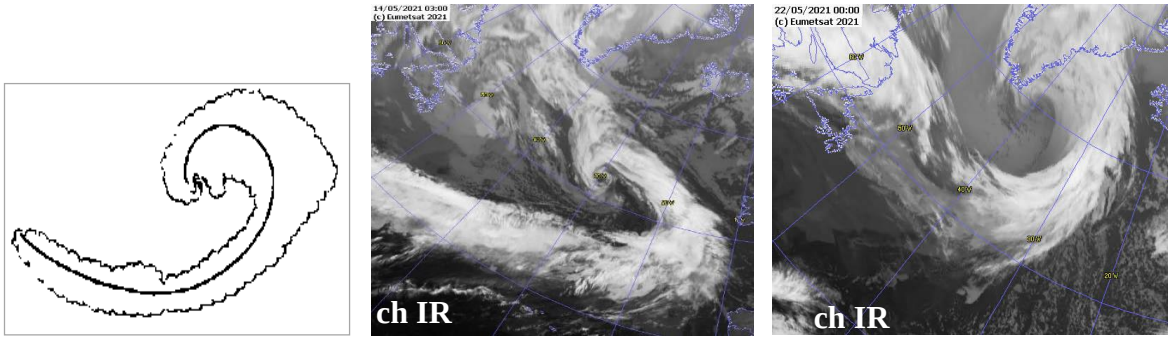


Рис.1.15. Логарифмічні (гіперболічні) хмарні спіралі циклонів

2. Хмарні **вихори правильної округлої форми, що нагадують за виглядом спіраль Архімеда.** Горизонтальні розміри ~ 500-800 км. Типові для **малорухомих, термічно однорідних, холодних та ізольованих циклонів, як правило, в останніх фазах їх еволюції.**

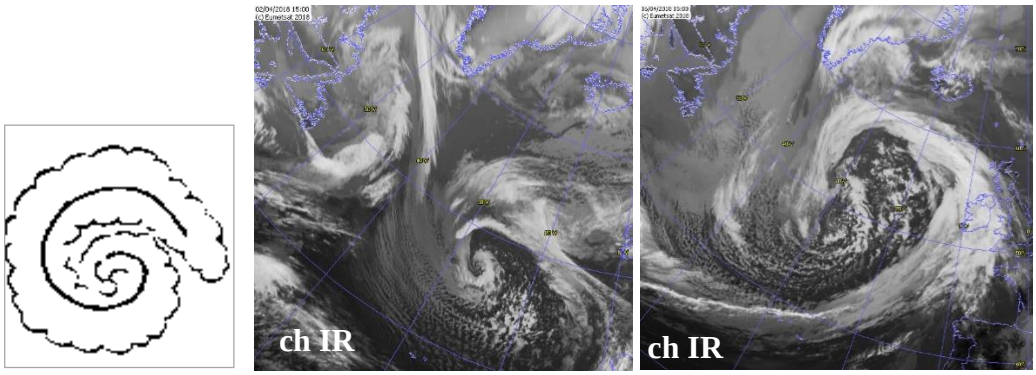


Рис.1.16. Тип хмарності циклонів спіраль «Архімеда»

3. **Хмарні вихори неправильної форми**. Розміри від декількох сотень до 1500-2000 км, виникають **у системах циклонів зі складною структурою термобаричних полів, типові для циклонів у процесі регенерації, багатоцентрових депресій або процесів виникнення нових циклонічних збурень у системі основного вихору**.

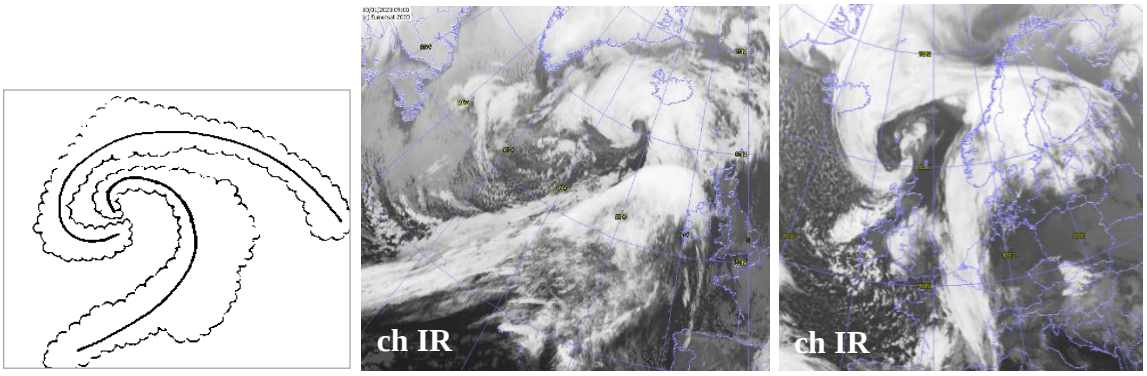


Рис.1.17. Хмарні вихори циклонів неправильної форми

В початкових стадіях циклонічний вихор складається переважно із шаруватоподібної хмарності, яка протягом еволюції вихору змінюється на купчастоподібну.

ВМО з врахуванням розвитку хмарності в циклоні виділяє 6 стадій:

1) стадія хвилі;
2) стадія молодого циклону;
3) стадія розвинутого циклону;
4) стадія циклону, що оклюдується;
5) стадія оклюдованого циклону;
6) стадія дисипації.

Поява хвилі на фронті супроводжується розширенням ділянки фронтальної хмарної смуги, яка має сотні, а іноді тисячі кілометрів довжини. Розширення смуги значною мірою відбувається у бік холодного повітря, а сама хмарна смуга набуває антициклонічного вигину.

В стадії молодого циклону кривизна хмарної смуги стає більш виразною завдяки адвекції холодного повітря, що триває і посилюється. Хмарний масив набуває вигляду вираженої вихрової структури. Оформлюються хмарні смуги холодного і теплого фронтів, які спірально збігаються до точки, що співпадає з приземним центром циклону.

В стадії розвинутого циклону хмарність має вигляд спіралеподібної форми - «хмарна кома». В її більшій частині знаходиться хмарність ФО. На початку оклюдування з’являється чітко виражена хмарна спіраль, яка утворюється з хмарності фронту оклюзії з одночасним втягненням за фронтом сухого холодного повітря в центральну частину циклону.

Характерним індикатором циклону, що оклюдується, є деградація хмарної смуги ТФ: з розвитком циклону від неї залишається лише

невеликий виступ. Основна широка хмарна смуга відповідає ФО, і переходить у хмарність ХФ без помітного роздвоєння на хмарність холодного та теплого фронтів. За ХФ можуть спостерігатися поля конвективних осередків в холодній повітряній масі, що прогрівається від підстильної поверхні. При посиленні вітру поля осередків перебудовуються у гряди, які орієнтуються вздовж векторів вертикального зсуву вітру. Характерне зображення оклюдованого циклону – вихрова хмарна система, ізольована від фронтальної хмарності, при цьому спіралі чітко відділяються проміжками з проясненням.

Стадія дисипації – хмарність, пов’язана з ФО і ХФ, деградує і відтісняється на периферію. Можуть відзначатися хмарні спіралі невеликого розміру з потужних купчастих і купчасто-дощових хмар, вони знаходяться у тилу циклону і є типовими для теплого періоду. Значна хмарність зберігається в області оклюдування.

Приклад типового розвитку хмарності циклону в процесі його еволюції зображено на рис.1.18 – 1.19.

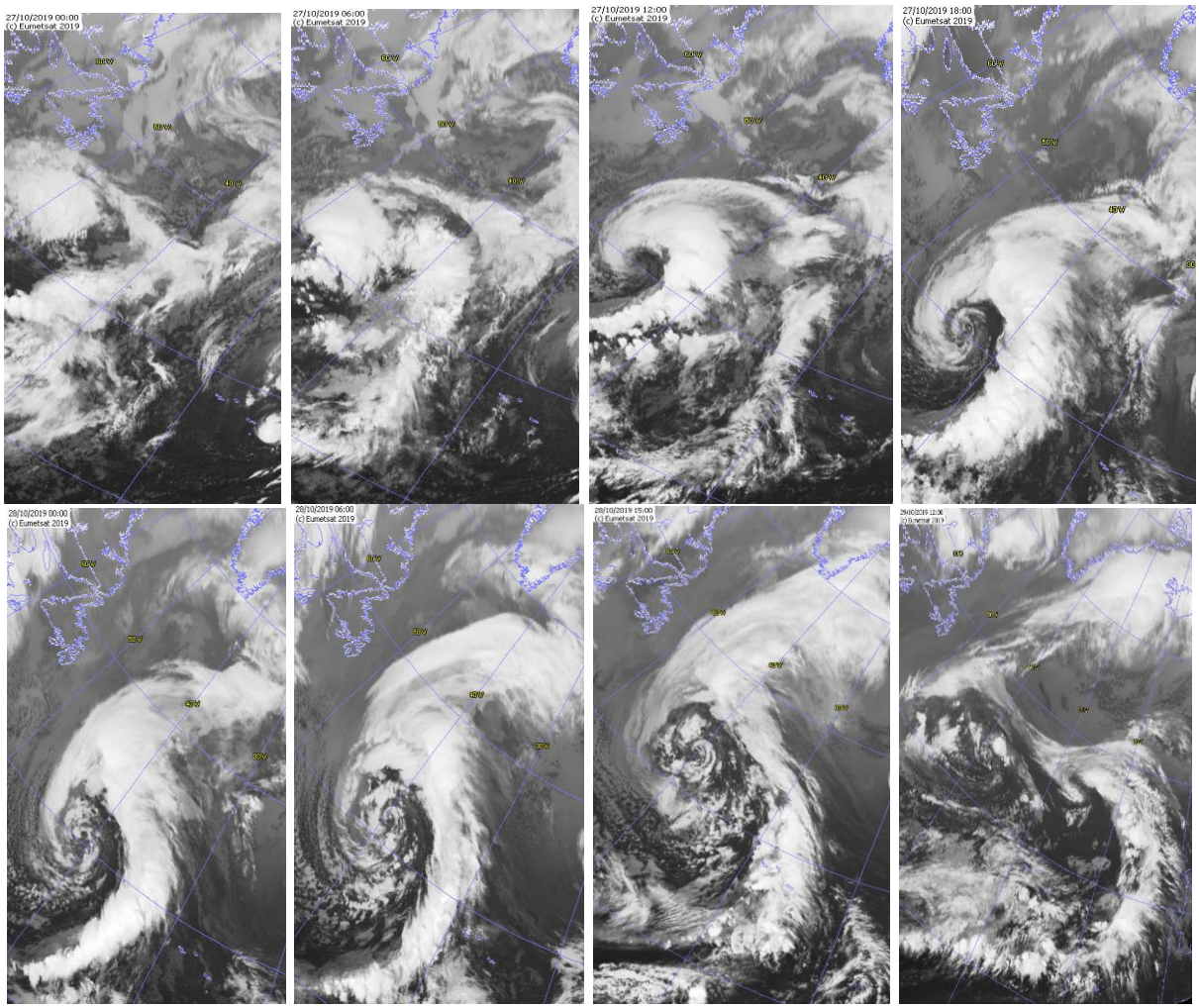


Рис.1.18. Еволюція хмарності циклону на знімках МШСЗ (IR)

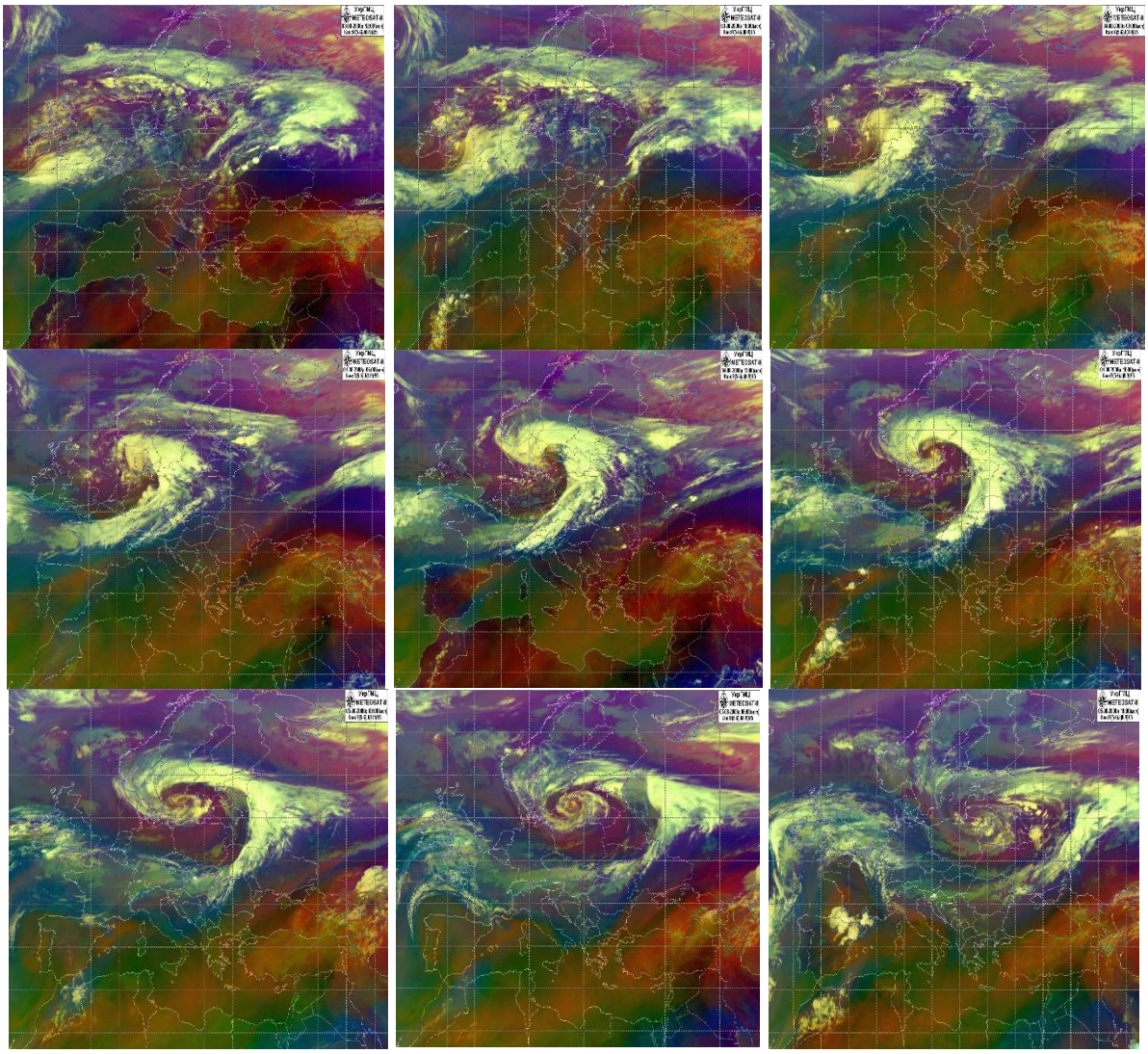


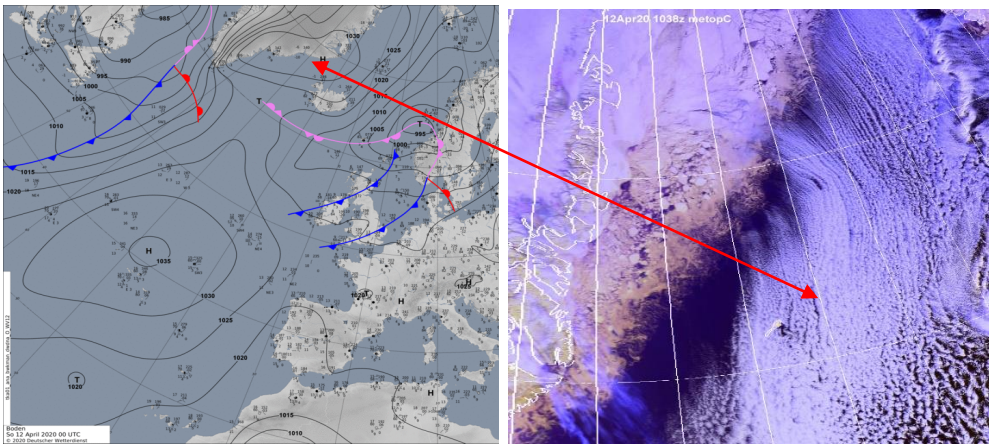
Рис.1.19. Еволюція хмарності циклону на знімках МШСЗ (RGB Airmass)

1.3 Хмарні системи антициклонів та гребенів

Антициклони і пов’язані з ними гребені характеризуються своєрідними полями хмарності, структура яких залежить від кількох факторів, **основними з яких є термічна структура антициклону** і стан підстильної поверхні.

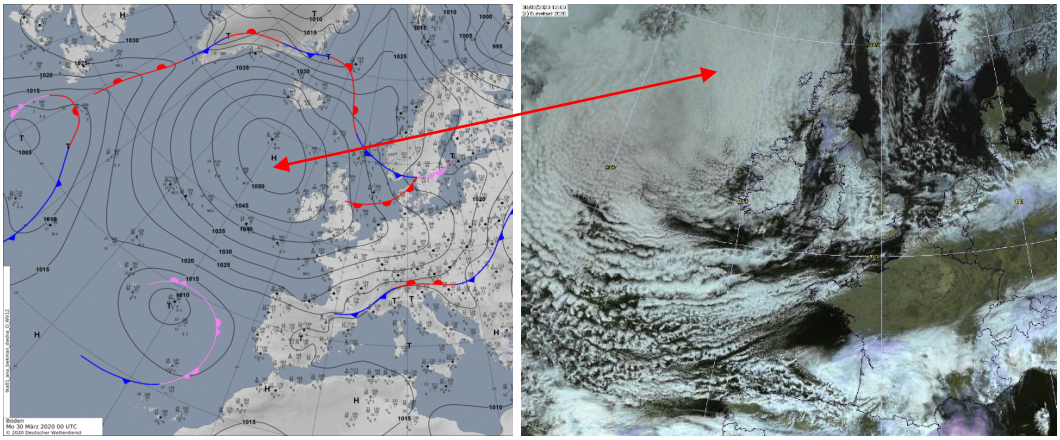
Якщо низький холодний антициклон пересувається над теплою океанічною поверхнею, в його області формуються поля відкритих осередків або хмарних гряд купчасто-подібних форм хмарності – рис.1.20.

Якщо високий теплий антициклон розвивається над холодною підстильною поверхнею, на знімках хмарності спостерігаються розвинуті поля шаруватої хмарності, туману або закритих осередків – рис.1.21.



Приземна карта погоди знімок МШСЗ RGB ch1+2+4

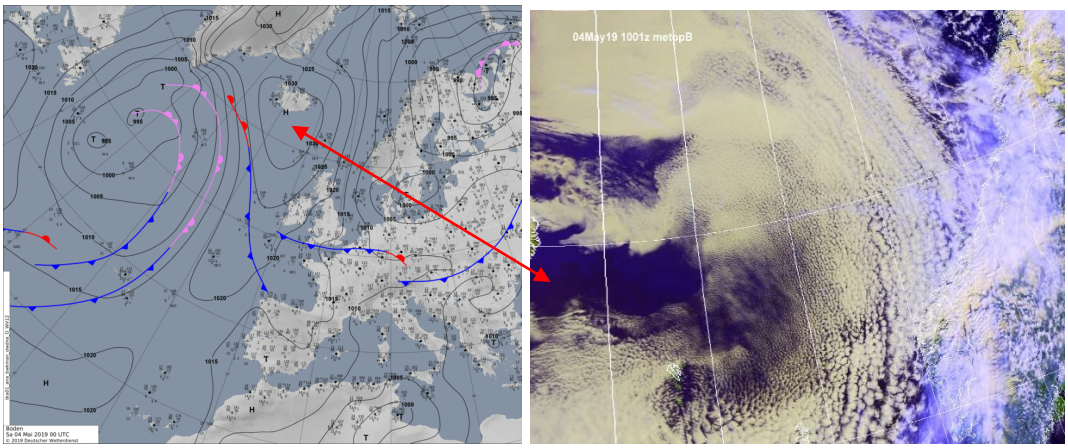
Рис.1.20. Грядова хмарність у системі антициклону 12.04.20 р.



Приземна карта погоди знімок МШСЗ ch2+4

Рис.1.21. Масив закритих осередків у системі антициклону 30.03.20 р.

У випадку, коли гребінь утворюється між двома близько розташованими циклонами, на знімку спостерігається купчастоподібна хмарність низьких рівнів в передній частині приземного гребеня – рис.1.22.



Приземна карта погоди знімок МШСЗ RGB ch1+2+4

Рис.1.22. Купчастоподібна хмарність у передній частині гребеня 04.05.19 р.

Практична робота №1

Етап 1. Аналіз хмарності атмосферних фронтів

ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ:

Додаток 1, що складається з 10 варіантів завдань (архів викладений на сторінці сайту Е-навчання http://dpt17s.odeku.edu.ua/course/view.php?id=46

Кожен варіант завдання включає:

1. Приземні та висотні карти погоди за одну добу за кілька строків.
2. Супутникові знімки хмарності базових та комбінованих спектральних каналів за кілька строків.

ЗАВДАННЯ:

За обраним варіантом з «Додатку 1», охарактеризувати хмарність атмосферних фронтів за знімками МШСЗ різних спектральних діапазонів.

Зміст роботи:

- Визначити типи атмосферних фронтів, представлених на всіх знімках за дешифрувальними ознаками відповідно до синоптичної ситуації.
- Вказати географічне положення, розміри, структуру, чіткість меж хмарності АФ;
- Визначити види хмарності у фронтальній системі із зазначенням текстури.
- Визначити об’єкти мезомасштабу, пов’язані з АФ.

Навчально-методичне забезпечення: [1-5].

Етап 2. Аналіз хмарності циклонів і антициклонів на різних стадіях розвитку

ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ:

Додаток 2, що складається з 10 варіантів завдань (архів викладений на сторінці сайту Е-навчання http://dpt17s.odeku.edu.ua/course/view.php?id=46

Кожен варіант завдання включає:

1. Приземні та висотні карти погоди за кілька діб.
2. Супутникові знімки хмарності базових та комбінованих спектральних каналів за кілька строків кожної доби періоду.

ЗАВДАННЯ:

За обраним варіантом з «Додатку 2», охарактеризувати хмарність циклонів та антициклонів за знімками МШСЗ різних спектральних діапазонів.

Зміст роботи:

- Визначити на знімках хмарність циклонів та антициклонів.
- Вказати характеристику циклонічних систем за послідовними знімками та синоптичним аналізом: розміри, структуру, стадію розвитку циклону за ознаками його хмарності, тип хмарної спіралі циклону.
- Вказати типи хмарності, пов'язані з антициклонами.

Навчально-методичне забезпечення: [1-5].

Питання для самоперевірки

1. Яку структуру на знімках МШСЗ має фронтальна хмарність?
2. Які існують відмінності у зображення на супутникових знімках хмарності активних та розмитих АФ?
3. Як на знімках МШСЗ виглядає хвиля на фронті?
4. Як на знімках МШСЗ виділяється зміна знаку на АФ?
5. Перелічіть основні характеристики фронтальних систем ТФ, ХФ, ФО.
6. Що таке щит ТВ, який вигляд має на супутникових знімках?
7. Що таке «загнута оклюзія»?
8. Які особливості має зображення фронтальної хмарності різних типів на знімках базових спектральних діапазонів?
9. Які особливості має зображення фронтальної хмарності різних типів на знімках RGB?
10. Як розпізнати на знімках МШСЗ стаціонарний АФ?
11. Який вигляд має хмарність циклонів на знімках МШСЗ?
12. Які типи хмарних спіралей виділяють у циклоні?
13. Як зображується на знімку МШСЗ циклон в різних стадіях розвитку?
14. З яких видів хмарності складається циклон на початку та наприкінці розвитку?
15. Які відтінки у базових спектральних діапазонах типові для хмарності циклонів у різних стадіях?
16. Особливості зображення циклону на знімках МШСЗ в останніх стадіях розвитку?
17. Який фактор визначає формування полі хмарності в антициклонах та гребенях?
18. Як хмарні системи антициклонів можна визначити на знімках МШСЗ?
19. Яка хмарність антициклонів чітко розрізняється на знімках RGB?
20. Які типи мезомасштабної хмарності пов'язані з циклонами та антициклонами?

2 МЕЗОМАСШТАБНІ ХМАРНІ СИСТЕМИ

Мезомасштаб визначає атмосферні процеси, які за просторово-часовою структурою є середніми між велико- та мікромасштабними – **десятки-кілька сотень км.** Хмари мезомасштабу можуть утворювати поля хмарності (осередки, пасма і інші), або бути складовою частиною макромасштабних хмарних систем (фронтів, циклонів).

У формуванні більшості мезомасштабних хмарних систем основним фактором є реалізація конвективної нестійкості атмосфери. Виділяють конвекцію мілку та глибоку. **Мілка конвекція представлена Sc і Cu cong. Глибока конвекція представлена Cb, ізольованими або в скупченнях, в межах всіх мезомасштабів.**

Мезомасштабні системи ГК поділяють на 2 основних типи:

1. Системи **лінійного типу**: лінії шквалів, гряди (пасма) Cb.
2. Системи **симетричного типу**: мезомасштабні конвективні комплекси (МКК), скупчення Cb, конвективні осередки.

2.1 Осередкова хмарність

В атмосфері виникають два різновиди осередкової хмарності: відкриті осередки з безхмарною центральною частиною і хмарним кільцем і закриті осередки з хмарною центральною частиною.

Відкритий осередок – це система конвективних течій гексагональної форми з низхідними рухами повітря в центрі і висхідними на периферії. На знімках МШСЗ відкриті осередки мають вигляд хмарних кілець, які **складаються з множини окремих чи злитих Cu або Cb**. Всередині кільця ясно або малохмарно – рис.2.1.

VIS RGB ch1+2+4

Рис. 2.1. Структура та приклади відкритих осередків

Закритий осередок – це система конвективних течій гексагональної форми з висхідними рухами повітря в центрі та низхідними на периферії. На знімках МШСЗ закриті конвективні осередки являють собою хмарні

утворення квазігексагональної форми усередині порівняно вузького малохмарного повітря. **Формуються в більшості випадків з Sc** (рис.2.2).

ch2+4 RGB ch1+2+4

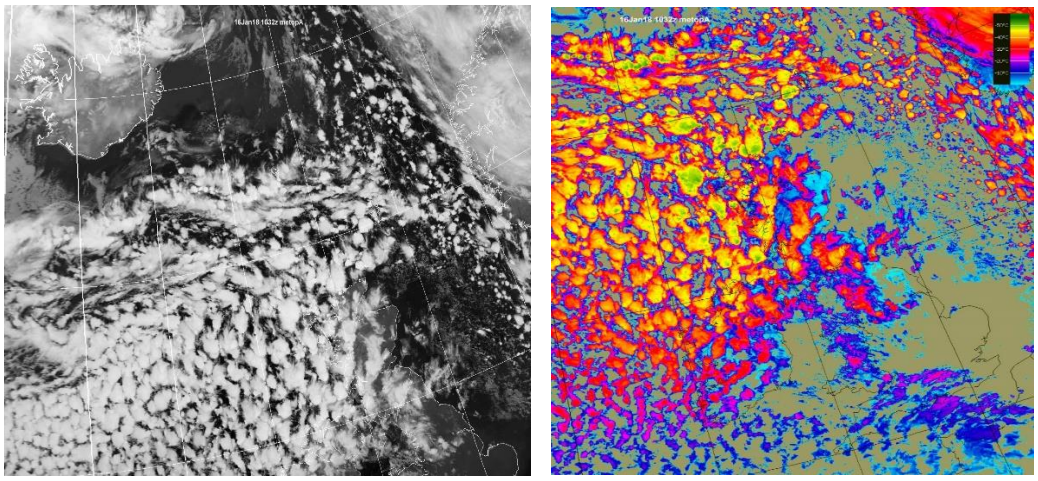
Рис. 2.2. Структура та приклади закритих осередків

Правильність форми осередків залежить від вітрових умов їх формування. За слабкого вітру осередки мають майже правильну гексагональну форму (шестикутники), при посиленні вітру симетрія порушується. Середня швидкість вітру для відкритих осередків 7 м·с$^{-1}$, не перевищує 10 м·с$^{-1}$, для закритих 5 м·с$^{-1}$.

Діаметр відкритих конвективних осередків 10-100 км, з найбільшою повторюваністю 30-40 км (50%).

Діаметр закритих осередків найчастіше 20-40 км (48%).

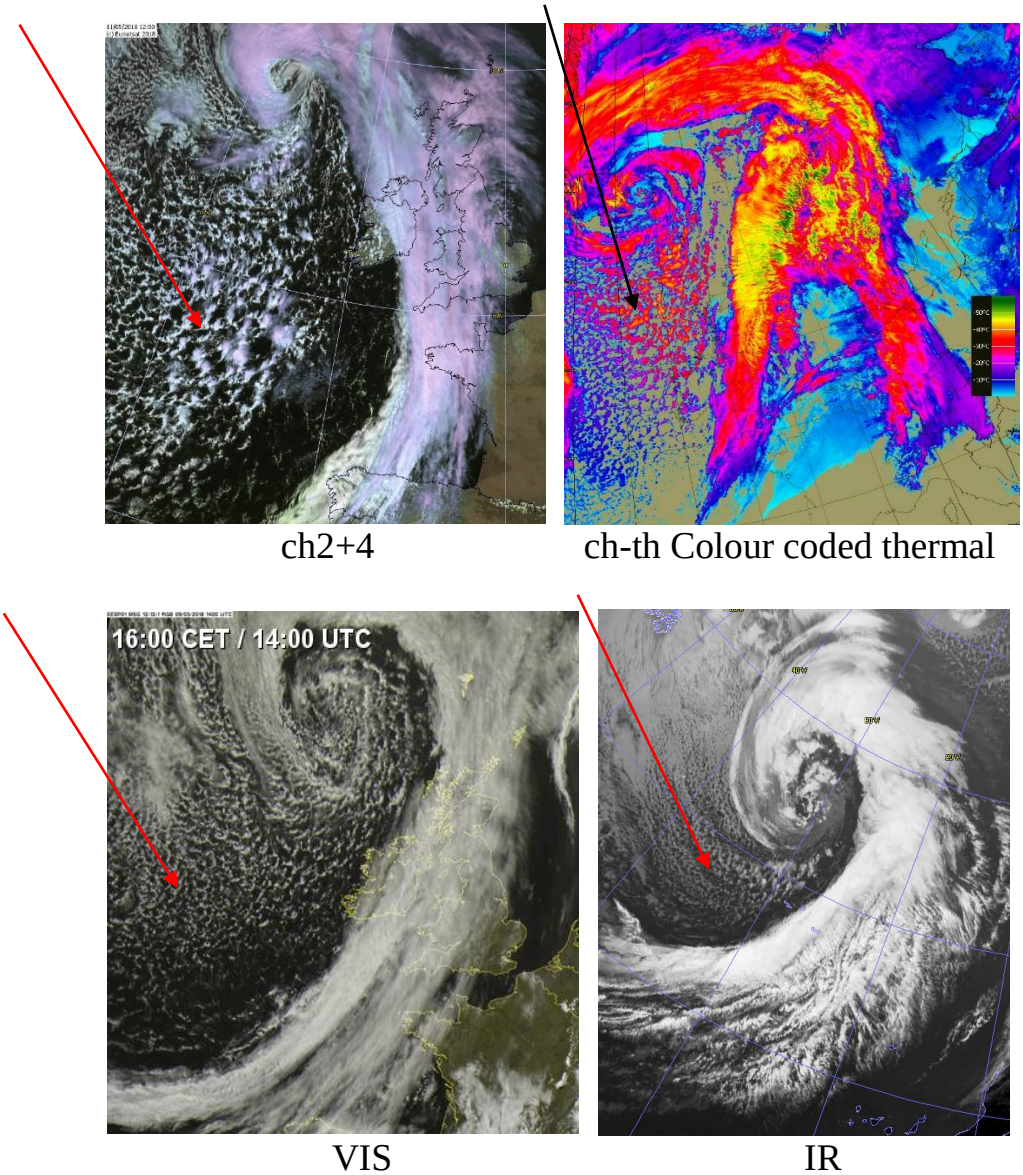
В умовах глибокої конвекції можуть формуватися **квазіполігональні конвективні осередки відкритого типу з купчасто-дощових хмар**, при цьому найбільш інтенсивні конвективні течії розвиваються на вершинах полігонів – рис.2.3.



IR ch-th Colour coded thermal

Рис. 2.3. Квазіполігональні відкриті конвективні осередки

Вид хмарних осередків в середньому залежить від процесів охолодження або прогрівання граничного шару атмосфери, таким чином **вид осередків може бути індикатором типу повітряної маси. Відкриті конвективні** осередки в атмосфері виникають у повітрі, яке поступово прогрівається, і характеризують район **адвекції холодних** повітряних мас або район з вертикальними великомасштабними висхідними рухами. Така синоптична ситуація характерна **для тилових частин циклонів** – рис.2.4.



ch2+4 ch-th Colour coded thermal

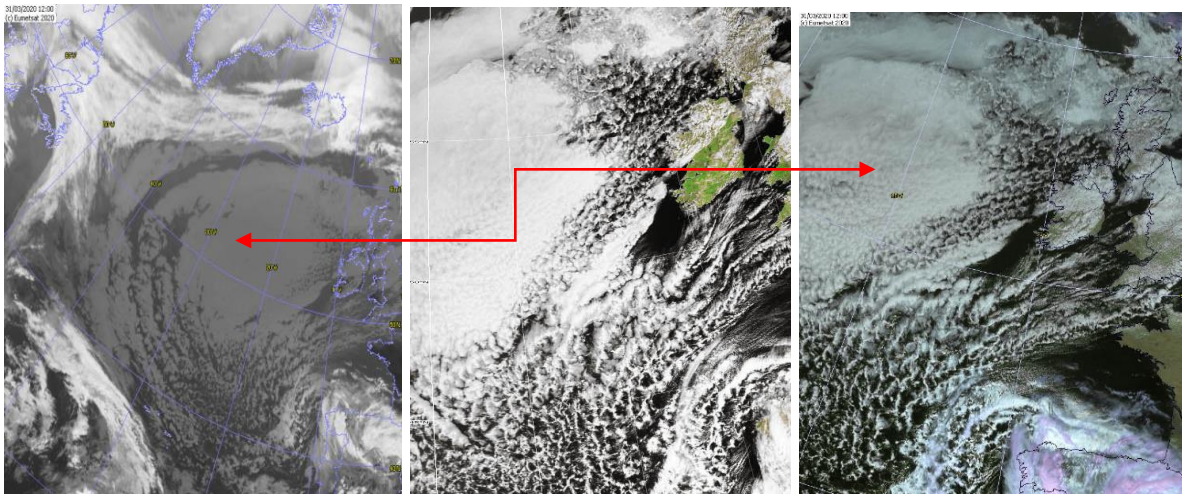
VIS IR

Рис.2.4. Масиви відкритих осередків у тилу циклонів на знімках МШСЗ

Закриті конвективні осередки виникають в повітряних масах, які поступово охолоджуються і характеризують райони **адвекції теплих повітряних** мас або райони з низхідними великомасштабними рухами. Такі умови найбільш часто виникають на **західній периферії антициклонів і в**

передніх частинах висотних гребенів, а також при адвекції теплого повітря на вихолоджену підстильну поверхню.

На ТВ-знімках тон шарувато-купчастої хмарності змінюється від білого до світло-сірого, а **на ІЧ-знімках – від світло-сірого до темно-сірого, часто окремі елементи не розрізняються і тому хмарність має вид суцільного сірого покривала** – рис.2.5.



IR VIS ch2+4

Рис.2.3. Масив закритих осередків на знімках МШСЗ

2.2 Гряди та пасма конвективної хмарності

Гряди конвективних хмар спостерігаються, як правило, в масах холодного повітря при наявності сприятливих умов розвитку конвекції: адвекції холодного повітря на більш теплу підстильну поверхню і достатній кількості вологи. Утворюються як над океанами, так і над рівнинними частинами континентів, і за умов мілкої конвекції **розвиваються в шарі повітря товщиною 1-3 км** при температурній стратифікації, близькій до сухоадіабатичної. **Зверху** розвиток конвекції обмежує **інверсія**.

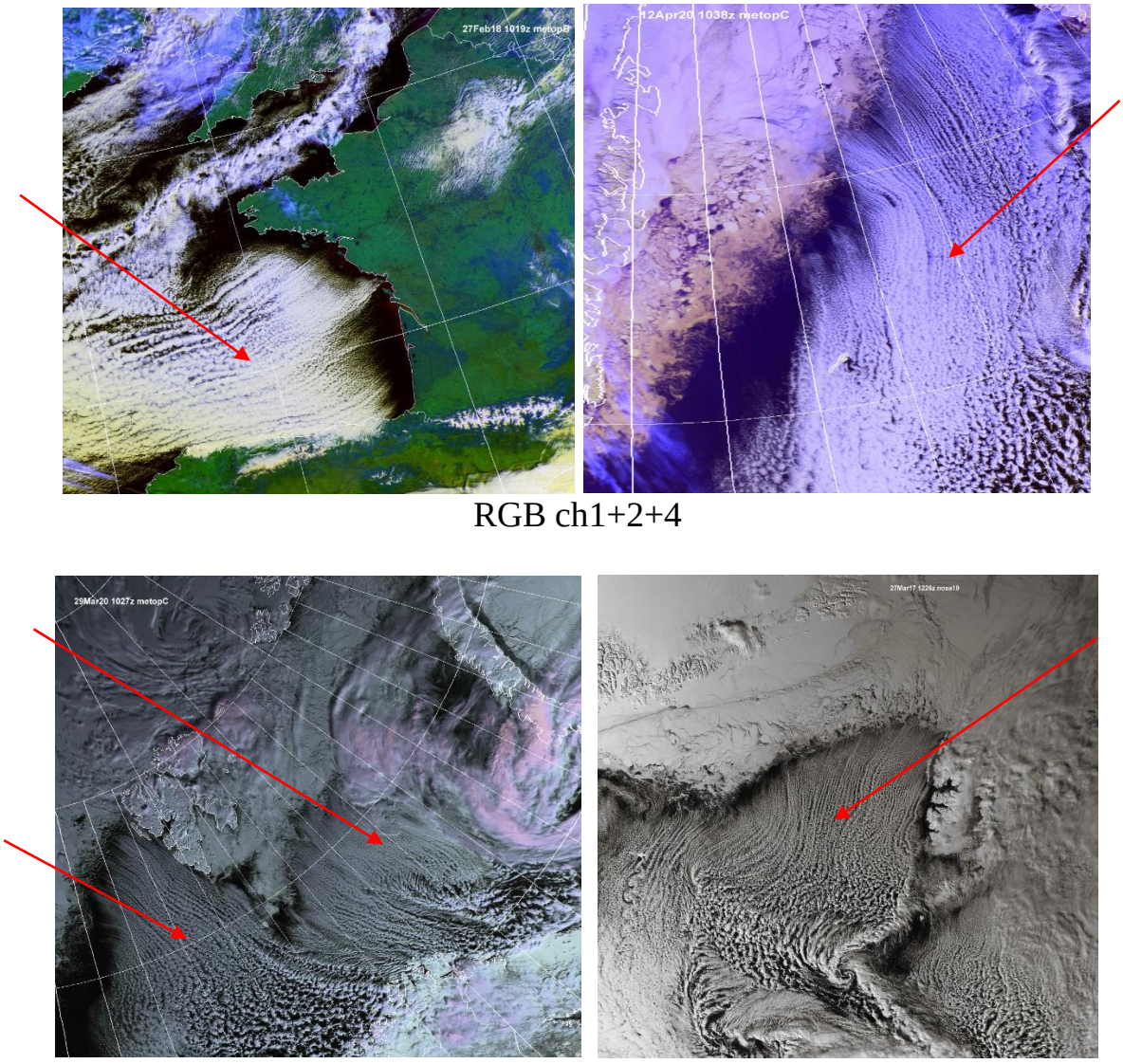
Найчастіше гряди формуються в тилових частинах циклонів та в перехідній зоні між циклоном і антициклоном.

Відстань між осями сусідніх гряд (довжина хвилі) коливається від декілька кілометрів до 50 км, в середньому складає 6-15 км, причому над океанами більше відсоток крупних гряд розміром понад 15 км. Відстань між конвективними хмарними грядами залежить від інтенсивності конвекції. Між товщиною конвективного шару (h) і відстанню між грядами L існує емпіричний зв'язок h:L=1:5. **Гряди Cb мають лінійні розміри від 10 до 100 км, їх ширина коливається від 1 км до 20-30 км** – рис.2.4.

На відміну від осередків, для формування гряд необхідне збільшення швидкості вітру як біля поверхні землі, так і на висотах. **Осередки починають перебудовуватися у гряди за швидкості вітру ≥10 м·с$^{-1}$ біля**

поверхні землі і 15-20 м·с$^{-1}$ на висоті 1-2 км. Вертикальний профіль вітру звичайно струменеподібний. При розвитку гряд **в умовах мілкої конвекції** з висотою спостерігається слабкий вертикальний зсув вітру в межах конвективного шару (< 10° на 1 км), тому гряди орієнтуються вздовж напрямку повітряного потоку в конвективному шарі. За умови **глибокої конвекції**, коли купчаста та купчасто-дощова хмарність розвивається в потужному шарі повітря, спостерігається **значний поворот вітру з висотою**. Гряди орієнтуються вздовж напрямку зсуву вітру.

В результаті, **мезомасштабні гряди хмарності можуть використовуватися як індикатори напрямку вітру в нижній і середній тропосфері.**



RGB ch1+2+4

ch2+4 IR

Рис.2.4. Грядова хмарність на знімках МШСЗ

2.3 Купчасто-дощова хмарність

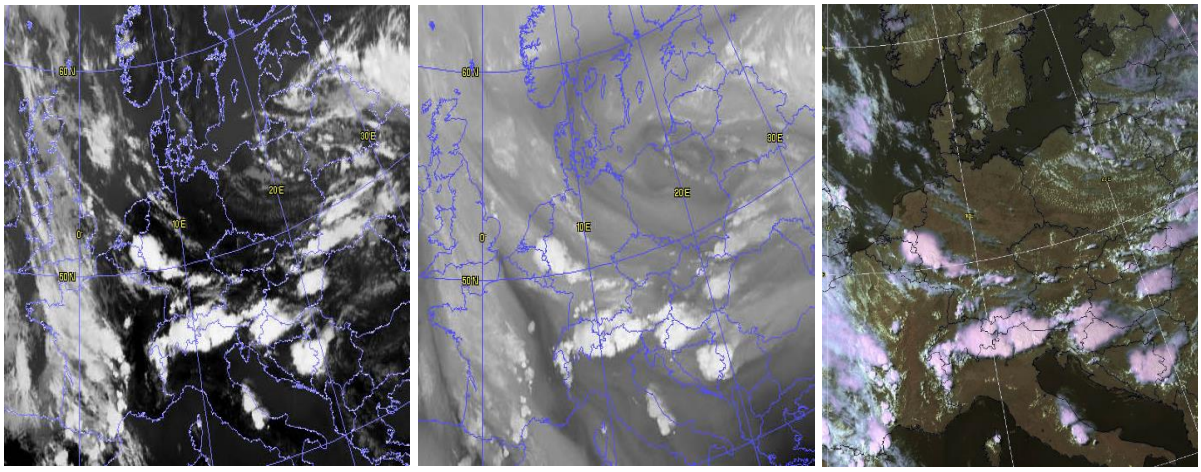
Розповсюдженими у помірних і, особливо, в низьких широтах різновидами мезомасштабних хмарних систем є **скупчення хмар, які виникають в умовах глибокої конвекції.** Для розвитку **Cb** великого розміру необхідні три основні умови: **сухо- або волого нестійка стратифікація атмосфери, достатня кількість вологи і конвергенція повітряної маси в області розвитку конвекції, головним чином в нижній частині тропосфери.** Такі умови можуть існувати й у відносно однорідній повітряній масі, але переважно вони виникають **на атмосферних фронтах, особливо при утворенні фронтальних хвиль.**

На супутникових знімках виділяють дві основні форми скупчень **Cb**: **кластери у теплому повітрі** (Cumulonimbus Cluster) та **скупчення розвинутих хмар у холодному повітрі** (Enhanced Cumulus).

Кластери **Cb** утворюються у термічно та динамічно нестійкій атмосфері, в помірних широтах це холодні повітряні маси за ХФ, в зоні ХФ, а також в теплих повітряних масах в зоні ТФ. **Часто кластер є попередньою стадією розвитку МКК.**

На знімках кластери спостерігаються у вигляді **відносно крупних, чітко окреслених скупчень Cb розміром ~ 200 км, в яких окремі Cb, як правило, не розпізнаються.**

На ІЧ, ТВ та ВП знімках кластери звичайно мають **білий тон зображення**, який відповідає **щільній, багатошаровій хмарності** – рис.2.5.



IR WV ch2+4

Рис.2.5. Кластери купчасто-дощової хмарності на знімках МШСЗ

Кластери часто виникають в масі низької осередкової хмарності. Кластери чітко розпізнаються на знімках RGB ch1+2+4, де осередок, що розвивається, виглядає яскраво-білим ядром на фоні оточуючих перистих хмар блакитного тону – рис.2.6.

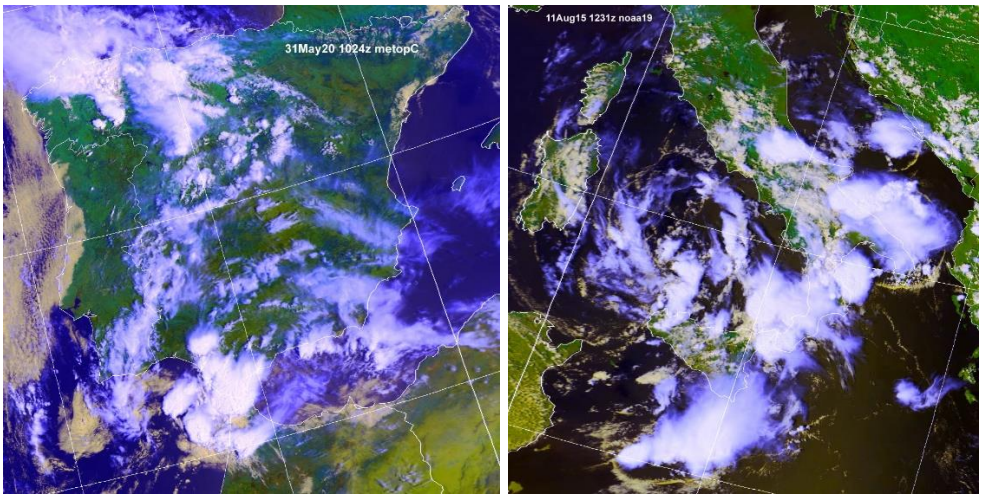
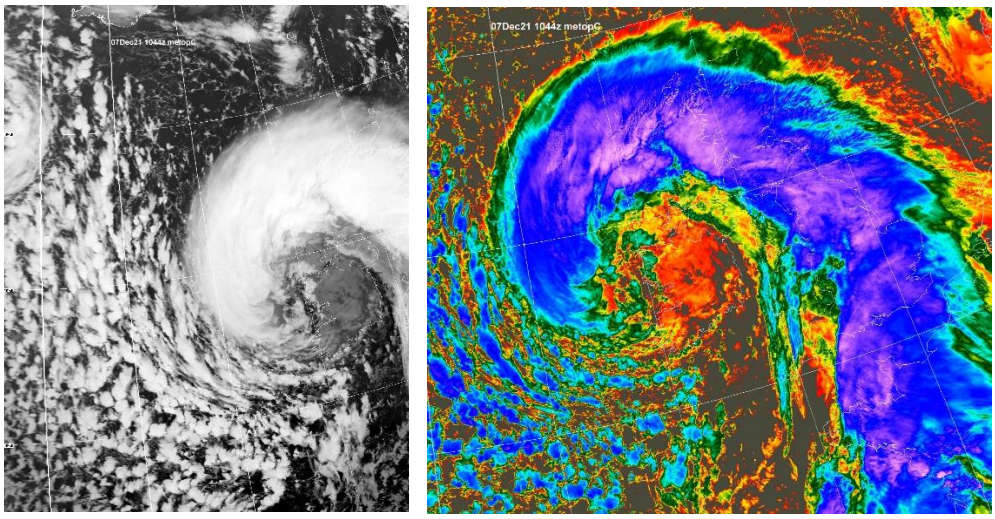


Рис.2.5. Кластери купчасто-дощової хмарності, RGB ch1+2+4

Скупчення розвинених хмар (ЗХ) містять **кластери конвективних осередків**, які виглядають більшими за розміром та товщиною, ніж оточуючі хмарні осередки.

Скупчення спостерігаються в холодних повітряних масах на деякому віддалені від холодного фронту. На супутникових знімках виглядають як **хмарні кластери з чіткими межами, різних розмірів та форм - такі скупчення виникають в області відкритих конвективних осередків мілкої конвекції у холодній повітряній масі (**рис.2.7).

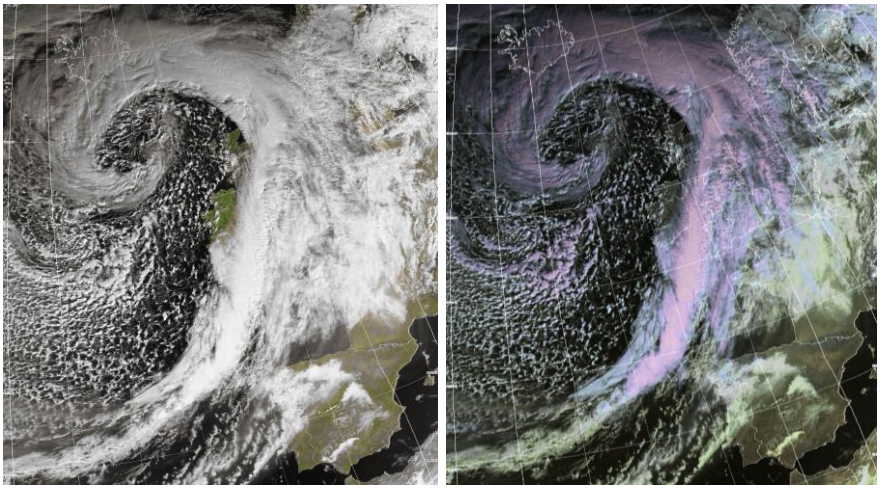


IR ch-th Colour coded thermal

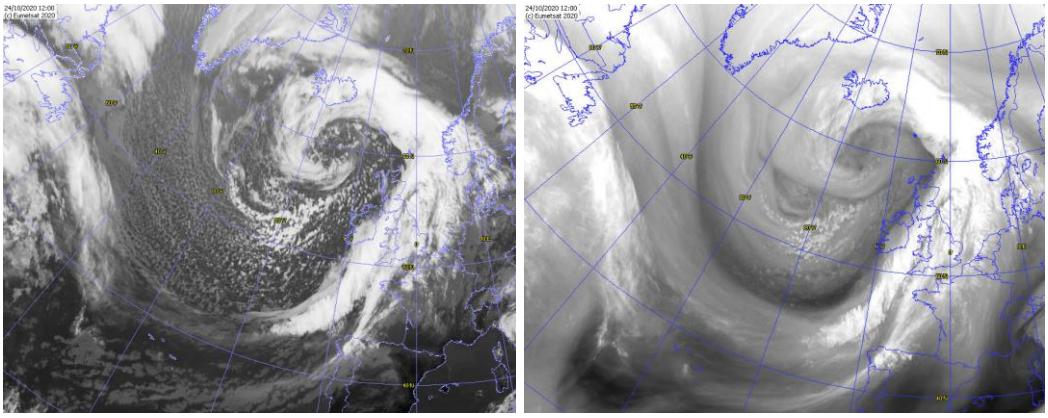
Рис.2.7. Скупчення розвинених хмар на знімках МШСЗ 07.12.2021

Скупчення розвинених хмар може перерости у спіральну форму циклонічної хмарності мезомасштабу у вигляді коми, що є ознакою формування мезовихору біля поверхні землі.

Скупчення розвинених хмар на ІЧ, ТВ та ВП знімках мають **білий тон** зображення, який відповідає **потужній, багатошаровій конвективній хмарності на фоні низьких хмар сірого відтінку** – рис.2.8



VIS ch2+4



IR WV

Рис.2.8. Скупчення розвинених хмар в тилу циклона 24.10.2020 р.

2.4 Мезомасштабні конвективні комплекси

Термін **МКК уведений для позначення крупних скупчень Cb квазікругової форми** масштабу мезо-α що належать до систем глибокої конвекції. МКК утворюються як в тропіках, так і в помірних широтах в **літній період.** Розміри МКК сягають 250-300 км; температура ВМХ зовнішньої площі хмарного масиву розміром до 100 000 км^2 складає - 32°С, а внутрішньої області розмірами 50 000 км^2 < - 52°С при збереженні показників ≥ 6 годин; в період максимального розвитку відношення малої осі хмарної системи до великої (ексцентриситет) не менше 0,7. Характерною особливістю МКК є компактність його хмарної системи – рис.2.9.

Виділяють мезомасштабні конвективні системи (МКС), як хмарні системи, що включають ансамблі грозових осередків (багатокоміркові і суперкоміркові шторми) і зумовлюють безперервні опади в зонах з горизонтальними розмірами ≥100 км принаймні в одному напрямку. Кілька МКС можуть бути включені до складу МКК.

На супутникових знімках МКК виглядають як мезомасштабні хмарні кластери **різко окресленої кругової або овальної форми**, в залежності від сили вітру на верхніх рівнях – рис.2.10.

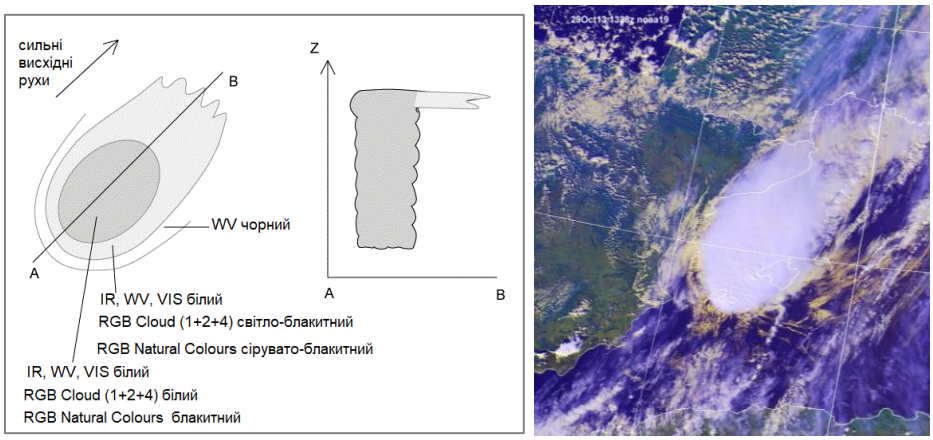
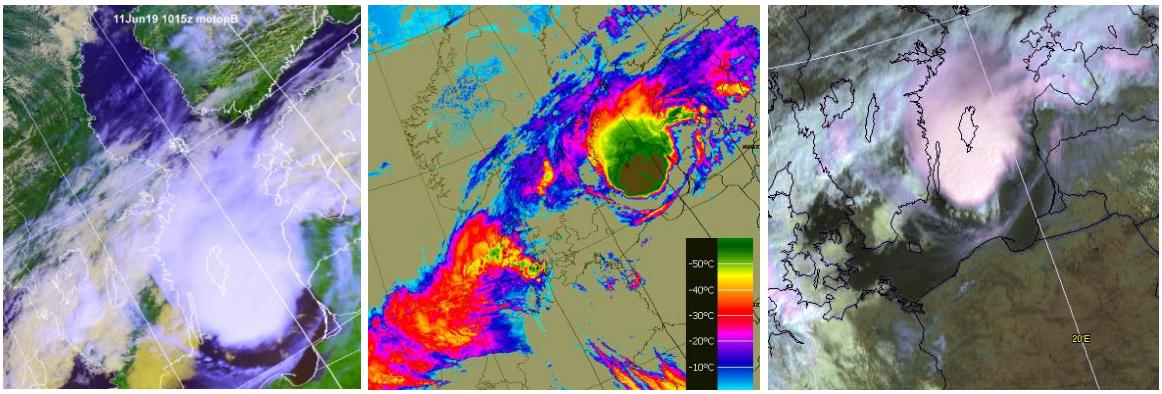


Рис. 2.9. Схема-будова і приклад МКК 29.10.2013 р.



RGB ch1+2+4 ch-th Colour coded thermal ch2+4

Рис. 2.10. Структура МКК на знімках МШСЗ 11.06.2019

Середній період існування МКК складає 16 годин, вплив на умови погоди може проявлятися протягом 24-36 год. З МКК пов’язані сильні зливи, крупний град, смерчі і катастрофічні шквали, інтенсивні грози. **Розвиваються МКК переважно в вечірні та нічні години.**

На ІЧ, ТВ та ВП МКК характеризуються **яскраво білим тоном** зображення в активній центральній частині, де хмарність протягується крізь всю тропосферу. **Передній** (розташований попереду потоку) **край хмарного кластеру дуже різкий та має найбільшу яскравість**

зображення. При сильних вітрах у верхній тропосфері спостерігається витягнення шлейфу перистої хмарності в тилу, який має білий тон на ІЧ та волокнисту текстуру сірого тону на ТВ. Якщо в області МКК є декілька незалежних штормових зон, вид хмарності набуває неоднорідної структури.

Найчастіше МКК утворюються **з антициклонічного боку широкої і відносно слабкої фронтальної зони** за умов мезомасштабної конвергенції повітря в нижньому шарі тропосфери, а також волого-нестійкого стану атмосфери. Сприятлива синоптична ситуація **складається в малоградієнтних полях зниженого тиску і на стаціонарних фронтах, при наявності** струминних течій низьких рівнів. В верхній тропосфері повинні бути відсутні вираженні атмосферні фронти та струминні течії.

В процесі еволюції МКК проходить кілька стадій, які характеризуються своєрідним станом атмосфери і умов погоди: **стадія, що передує утворенню хмар** - конвергенція вологи в нижній частині тропосфери завдяки слабо вираженим коротким хвилям на стаціонарних АФ або завихренням, що залишилися від попередніх МКК; **стадія утворення хмарного масиву; стадія росту МКК**; **стадія максимального розвитку**; **стадія згасання; стадія руйнування** – рис.2.11.

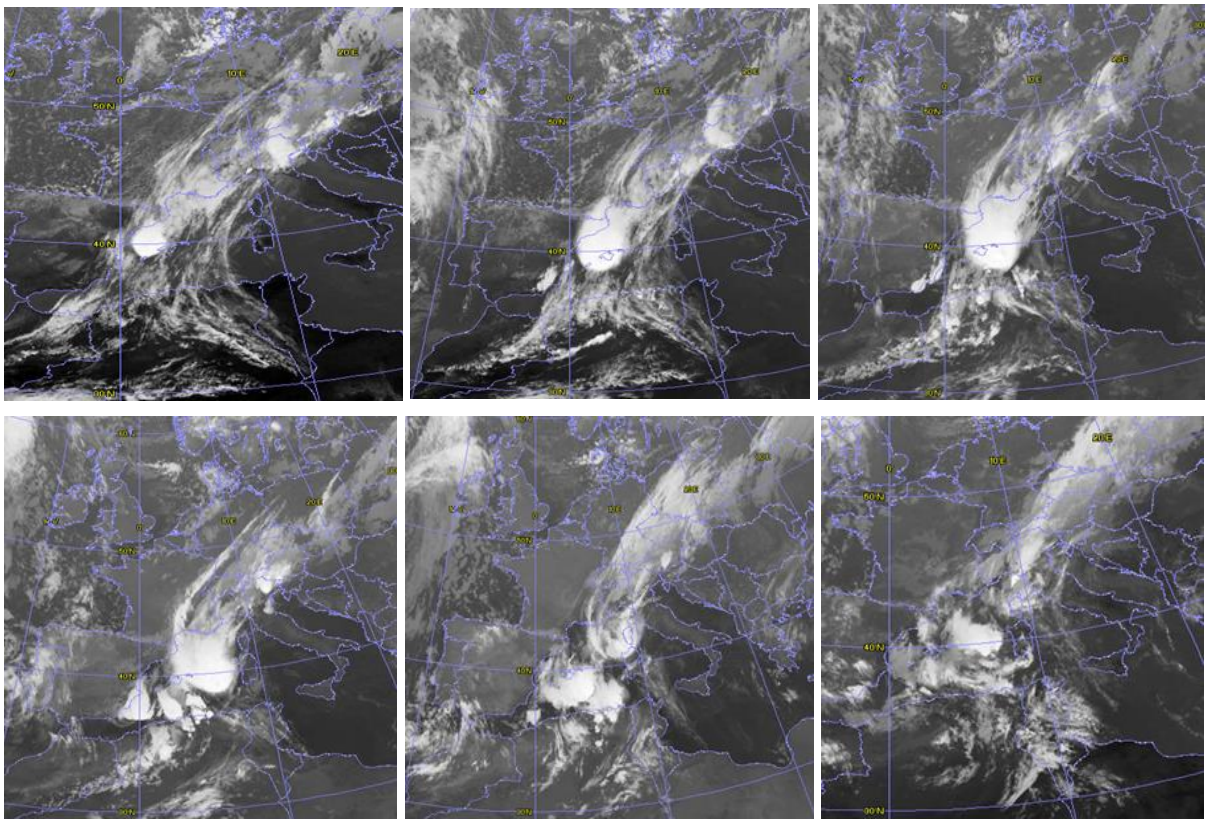


Рис. 2.11. Еволюція хмарності МКК на ІЧ-знімках МШСЗ

2.5 Лінії нестійкості

Лінія шквалів (або лінія нестійкості) належить до хмарних об’єктів лінійного типу масштаб мезо-α і уявляє собою **скупчення купчасто-дощових та потужних купчастих хмар –** рис.2.12.

З ЛШ пов’язані сильні вітри, інтенсивні зливові опади, грози, град.

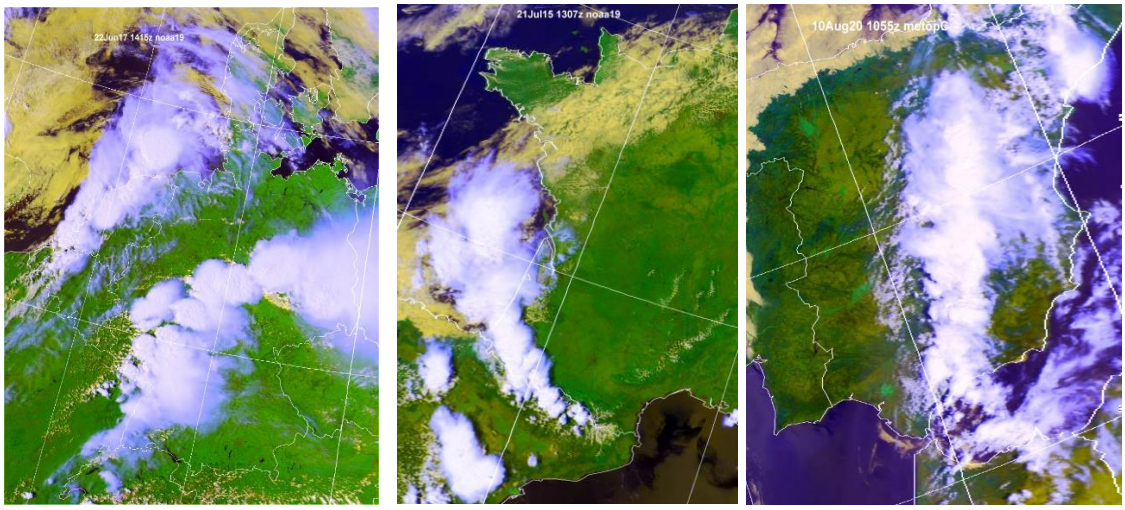
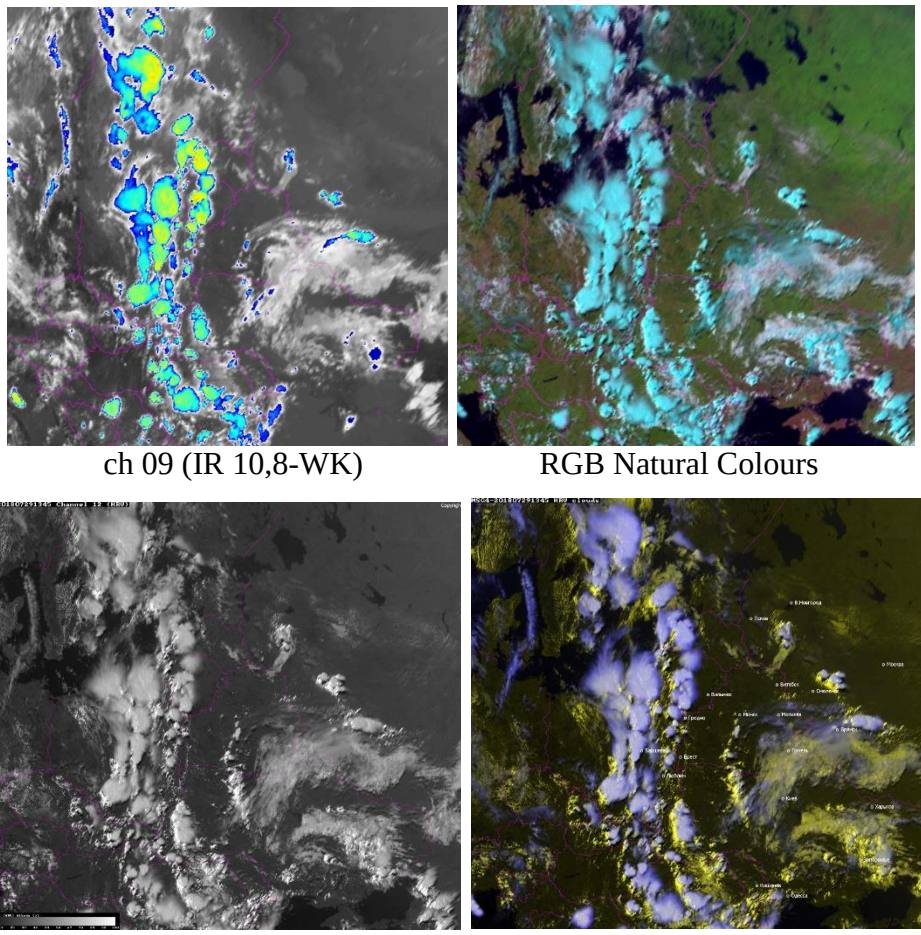


Рис. 2.12. Лінії шквалів на знімках МШСЗ RGB ch1+2+4

Лінії шквалів утворюються як в тропіках, в області ВЗК, так і в помірних широтах (найчастіше - в теплому секторі циклону перед ХФ).

На супутникових знімках лінії шквалів мають вигляд скупчень крупних конвективних елементів, розміщених вздовж однієї лінії паралельно хмарній смузі ХФ. Відстань між ЛШ та хмарністю ХФ в середньому 200-300 км, швидкості переміщення цих хмарних систем співпадають. Хмарність ліній шквалів є неоднорідною, горизонтальна протяжність може досягати тисячі кілометрів, а ширина в середньому складає 50-100 км. Період існування ЛШ складає звичайно більше доби, але окремі її елементи існують близько 5-6 годин. Ознакою зародження лінії шквалів в помірних широтах за даними супутникових знімків є поява вузького та довгого ланцюжка конвективних хмар, який відокремлений від системи холодного фронту безхмарною зоною шириною близько 100 км.

На ТВ, ІЧ та ВП-знімках ЛШ виглядають яскраво-білими. **Скупчення купчасто-дощових хмар мають загальне покриття перистими хмарами з ковадел, викиди з яких в помірних широтах розташовані попереду хмарності лінії шквалів** – рис.2.13. В тропічних широтах, навпаки, спостерігається відставання перистої хмарності з ковадел купчасто-дощових хмар.



ch 09 (IR 10,8-WK) RGB Natural Colours

ch 12 HRV HRV Clouds

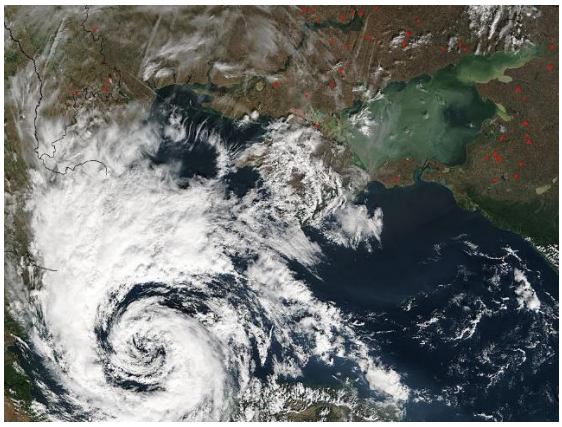
Рис. 2.13. Лінії шквалів над Європою 29.07.2018 р. на знімках МШСЗ

2.6 Мезомасштабні вихори

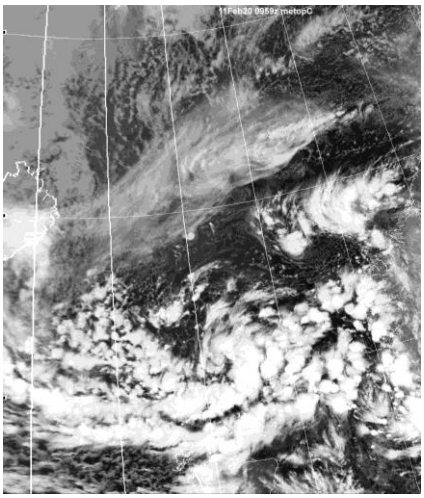
Терміном «мезомасштабні вихори» об’єднана група вихрових **утворень з циклонічною циркуляцією в помірних та високих широтах, з горизонтальними розмірами 100-500 км в діаметрі, які зароджуються та існують поза прямого зв’язку із фронтальними системами синоптичного масштабу.** Період існування таких вихорів складає 1-2 доби. З мезомасштабними циклонами бувають пов’язані різкі погіршення погодних умов, сильні опади, шторми на океанах та внутрішніх морях.

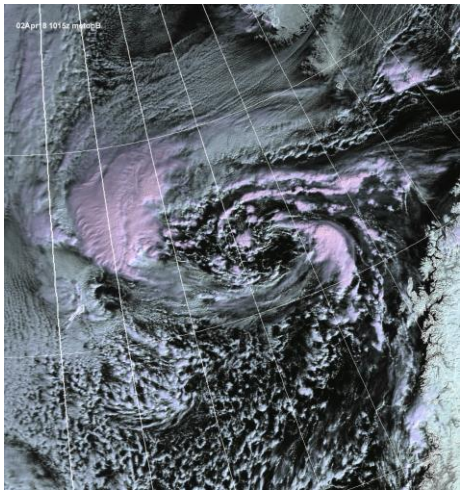
Над океанами мезомасштабні циклони формуються переважно в **холодну** половину року**. Влітку мезоциклони утворюються над прогрітим континентом,** досить часто над районами центральної та східної Європи**. Нефронтальні мезовихори** виникають **у тилових частинах глибоких циклонів, в холодних повітряних масах за основним холодним фронтом. Первинною ознакою зародження мезовихору може бути скупчення зростаючих хмар в холодній повітряній масі.**

Вид хмарності мезоциклонів різноманітний: скупчення Cb, хмарна кома, сімейство хмарних спіралей конвективних хмар тощо (рис.2.14).



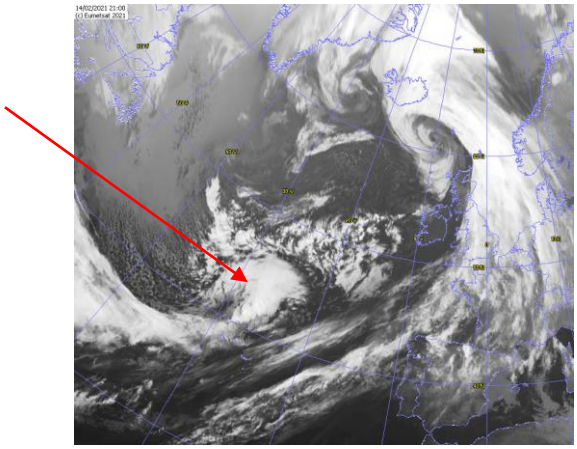
мезоциклон Чорного моря, VIS

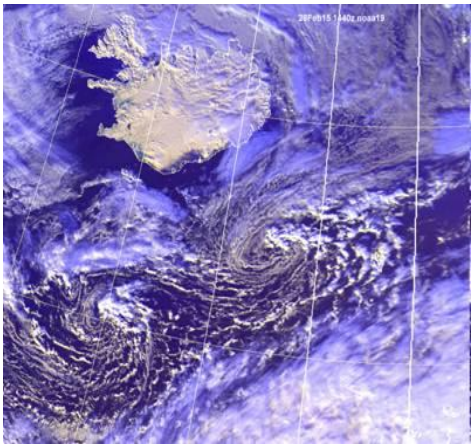




IR ch2+4

скупчення Cb





IR

хмарна кома

RGB ch1+2+4

хмарні спіралі

Рис. 2.14. Мезовихори різних типів на знімках МШСЗ

Практична робота №2

Аналіз мезомасштабних хмарних систем

ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ:

Додаток 3, що складається з 10 варіантів завдань (архів викладений на сторінці сайту Е-навчання http://dpt17s.odeku.edu.ua/course/view.php?id=46

Кожен варіант завдання включає:

1. Приземну карту погоди одну добу.
2. Супутникові знімки хмарності базових та комбінованих спектральних каналів.

ЗАВДАННЯ:

За обраним варіантом з «Додатку 3», визначити усі об'єкти мезомасштабу за знімками МШСЗ різних спектральних діапазонів.

Зміст роботи:

- Визначити на знімках мезомасштабну хмарність.
- Вказати розміри, структуру, текстуру об'єктів мезомасштабу, географічне розташування.
- Виділити індикатори полів температури повітря, характеристик вітру та опадів за виглядом та типом мезомасштабної хмарності.

Навчально-методичне забезпечення: [1-5].

Питання для самоперевірки

1. Які мезомасштабні системи відносять до симетричного та лінійного типу?
2. З яких типів хмар складаються закриті (відкриті) конвективні осередки?
3. Яка мезомасштабна хмарність є індикатором температури повітря, вітрового режиму?
4. Перелічіть основні характеристики грядової хмарності на знімках?
5. Які виділяють типи мезомасштабної конвективної хмарності?
6. Чим відрізняються кластери та скупчення зростаючих хмар?
7. Як на знімках МШСЗ виглядає МКК?
8. Які системи можуть виступати показником розвитку МКК?
9. Як на знімках МШСЗ виглядають лінії нестійкості (шквалів)?
10. Який вигляд на супутникових знімках мають мезомасштабні вихори?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Байрак Г.Р., Муха Б.П. Дистанційні дослідження Землі: навчальний посібник / Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 712 с.
2. Кудрянь О.П. Супутникова метеорологія: практика нефаналізу. Одеса: ОДЕКУ, 2001. 165с.
3. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA: монографія / Пащенко Р.Е., Радчук В.В., Красовський Г.Я. та ін. // за ред. С.О. Довгого. Київ: ФОП Пономаренко Є.В., 2013. 316 с.
4. Нажмудінова О.М. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Авіаційна та супутникова метеорологія» на тему «Базові та комбіновані спектральні канали МШСЗ». Одеса: ОДЕКУ, 2020. 36с.
5. Семенова І.Г. Супутникова метеорологія: Конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2008. 74 с.

Інтернет – посилання

1. Електронна бібліотека ОДЕКУ - http://library-odeku.16mb.com.
2. http://old.wetterzentrale.de/topkarten/fssatms1.html
3. http://www.eumetrain.org/
4. http://www.woksat.info/wos.html
5. https://msg.bourky.cz
6. https://www.eumetsat.int/
7. https://www.hurricanezone.net
8. https://www.ospo.noaa.gov/Products/imagery/index.html
9. https://www.star.nesdis.noaa.gov/GOES/index.php

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять з навчальної дисципліни
«Авіаційна та супутникова метеорологія»
на тему
«Хмарність синоптичного і мезо- масштабів»

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

Укладач: к.геогр.н., доц. Нажмудінова О.М.

Електронна версія © Нажмудінова О.М.