

# Теплий Фронт–Щит (Warm Front Shield)

## Зміст

- Структура хмар на супутникових знімках
- Метеорологічні фізичні основи
- Ключові параметри
- Типовий зовнішній вигляд у вертикальних поперечних перерізах атмосфери
- Синоптичні ситуації та явища
- Посилання на довідкову літературу

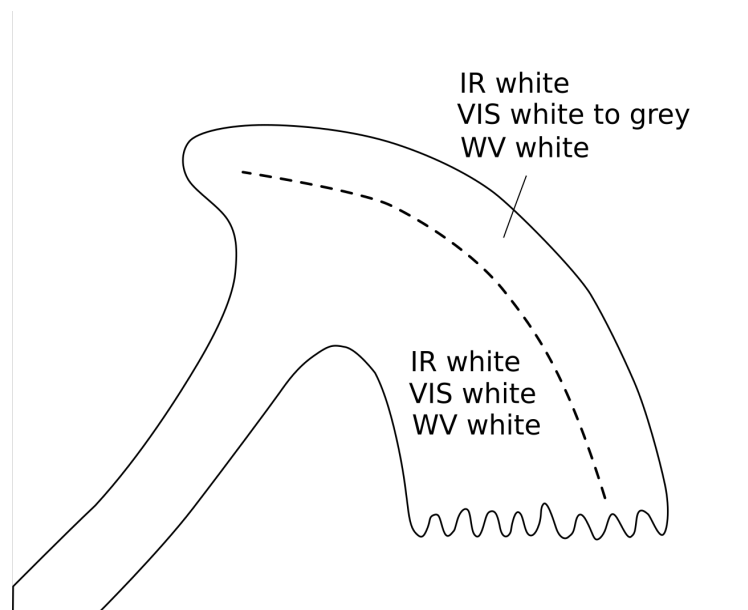
## Структура хмар на супутникових знімках

На супутниковому зображенні так званий "хмарний щит" синоптичного масштабу, який лежить перед холодним фронтом, представляє Теплий Фронт–Щит, який складається з ділянки теплового фронту та теплового сектору.

### Вигляд в основних супутникових каналах:

- На VIS зображеннях як правило, відмічаються білуваті відтінки в теплому секторі (у випадку добре розвинутого фронту) і біля приземного теплового фронту, тоді як сірі відтінки поступово стають темнішими і все більш насиченого кольору – ближче до переднього краю хмарної смуги.
- На IR–зображеннях сірі відтінки хмарності набувають зазвичай більш білуватого кольору, що вказує на холодні вершини хмар. Однак дуже часто вони демонструють підструктури, які відрізняються від випадку до випадку.
- На WV–зображеннях в межах ділянок з хмарністю значення пікселів є високими (яскравими). На передньому краї так званого "хмарного щита", WV–зображення показує, що вздовж осі струменя існує різкий градієнт від білого до чорного, це вказує на сухе повітря на стороні циклонічного струменя.

На відміну від Теплого Фронту–Смуги (Warm Front Band), теплий сектор Теплого Фронту–Щита покритий хмарами в межах висхідного струменя, який може (у добре розвиненому випадку) простягатися через значно вищий шар тропосфери.



### Зовнішній вигляд на зображеннях базових RGB–продуктів:

#### Airmass RGB

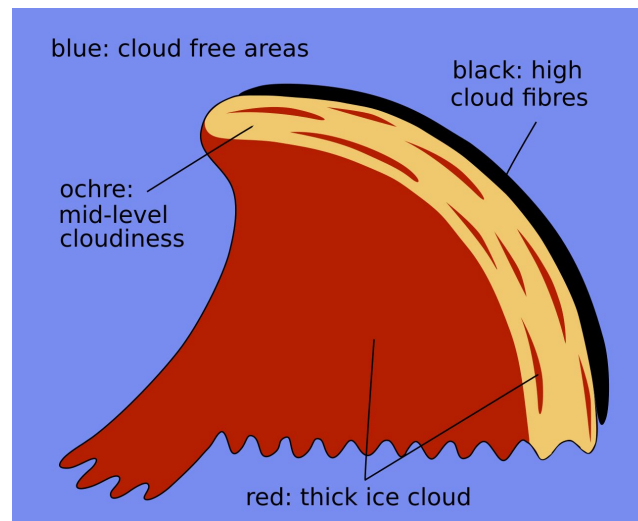
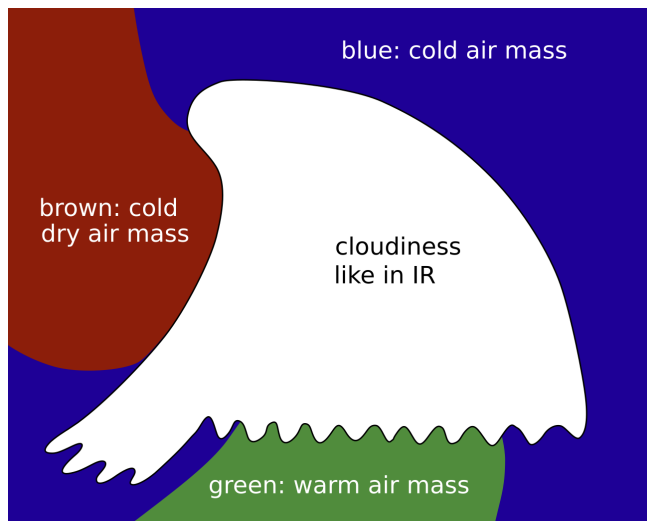
Зазвичай перед Теплим Фронтом–Щитом темно–сині кольори позначають холодні повітряні маси. Теплий Фронт–Щит є частиною теплого сектора. На Пд/Пд–Зх цього хмарного щита кольори зазвичай зеленуваті, що відображає тепліші повітряні маси. Навколишні блакитні кольори, частково навіть усередині Теплого Фронту–Щита, належать до холоднішої повітряної маси, на яку піднімається тепліше повітря. Ще одним фактором, що сприяє цьому, є висока вологість повітря.

Хмари Теплого Фронту–Щита мають також дуже схожий вигляд і на IR–зображеннях.

#### Dust RGB

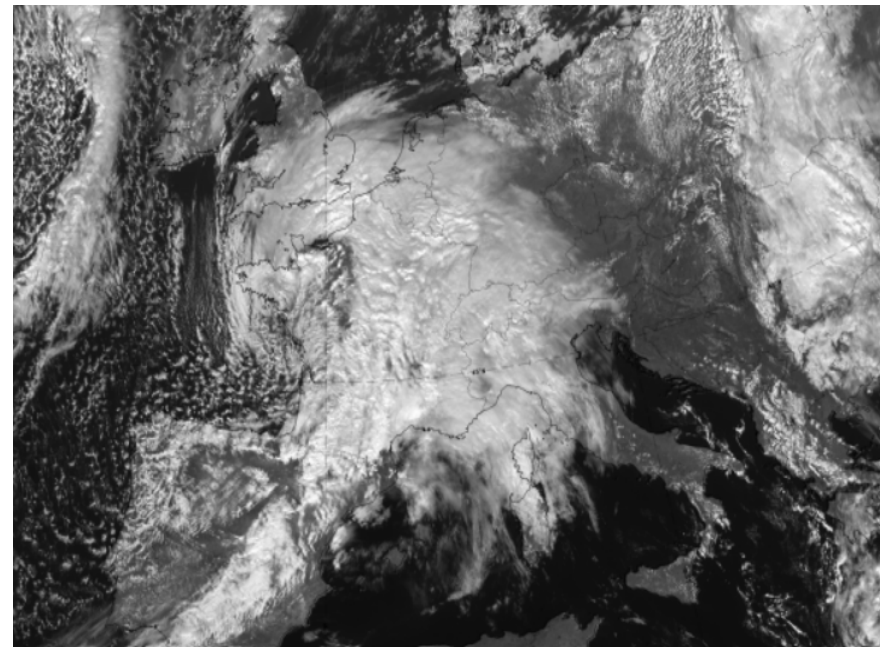
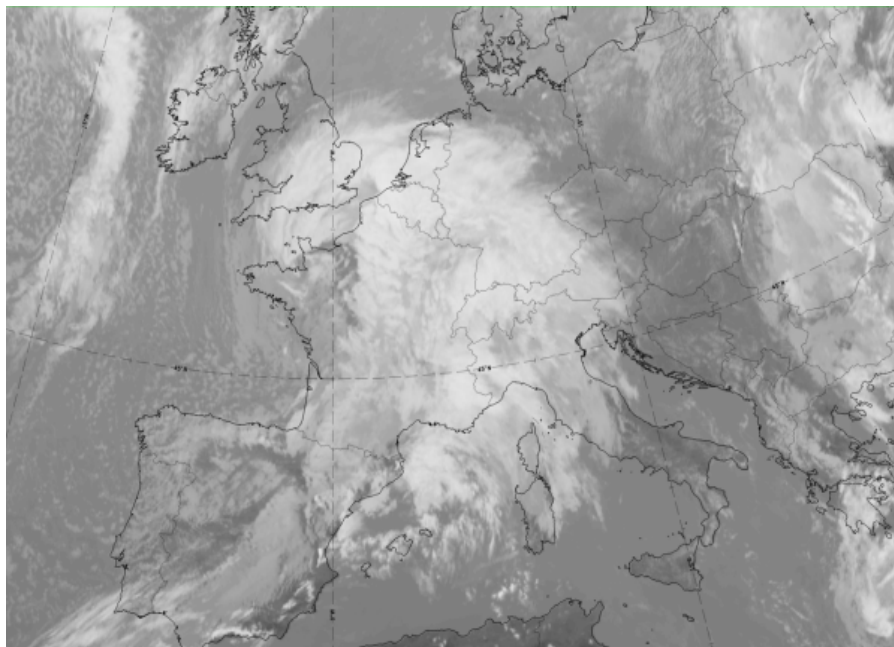
Кольори від блакитного до рожево–блакитного, можна побачити там, де немає хмарності понад сушею чи морем. Деякі "хмарні плями" та конфігурації можуть мати різні відтінки охри.

Кольори Теплого Фронту–Щита залежать від товщини хмарного шару. Більш масивні, щільні ділянки виглядають темно–червоними, що вказує на масивні крижані хмари. Нижні шари хмар мають забарвлення від жовтого до охристого. Досить часто передній край смуги хмарності теплого фронту супроводжується чорними волокнами, які тягнуться там уздовж осі струминної течії.



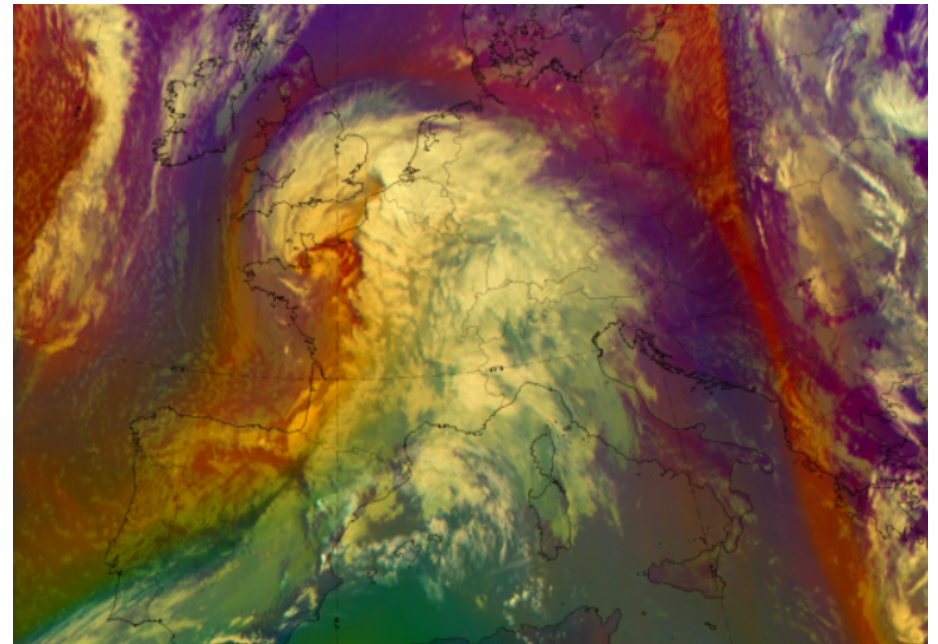
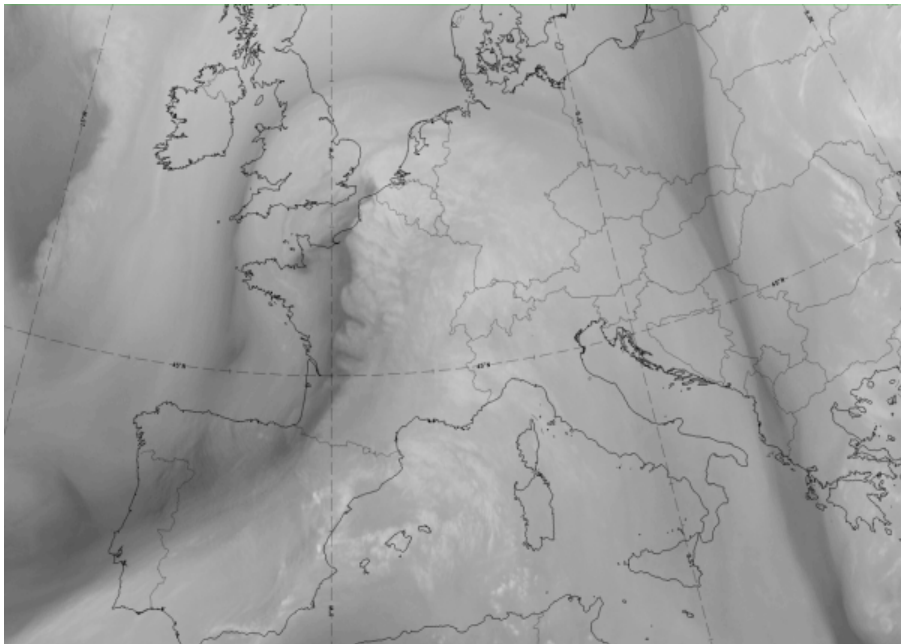
Схеми для основних RGB; зліва – Airmass RGB; справа – Dust RGB.

Випадок за 5 березня 2020 року, 12 UTC показує холодний фронт, що поширюється з Іспанії до Бельгії. Хмарність Теплого Фронту-Щита можна побачити на сході над Німеччиною, Швейцарією, Австрією, Італією та Південною Францією. Можна також виявити багато типових структур і відтінків сірого, які були згадані вище.

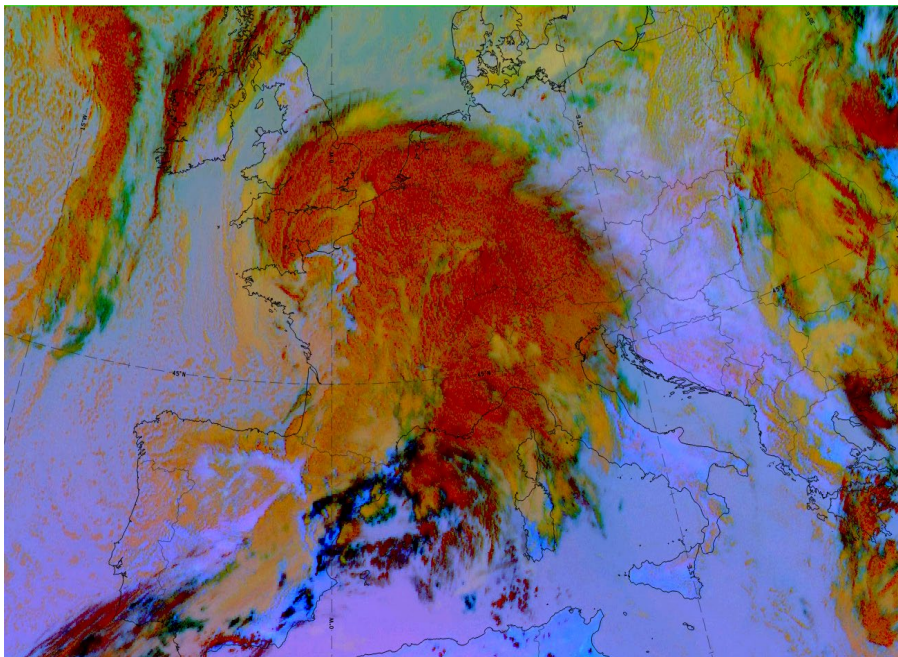


5 березня 2020 р., 12UTC: зображення IR (ліва) та HRV (права).





5 березня 2020 р., 12UTC: зображення WV (ліва) та Airmass RGB (права).



5 березня 2020 р., 12UTC: зображення Dust RGB.

- **IR** Яскравий і структурований.
- **HRV** Яскравий і структурований, з темно-сірими відтінками на передньому краї, понад територію Німеччини.
- **WV** Світло-сіра ділянка з високою вологістю та з деякими структурами хмарності; темна смуга відмічається на схід від хмарності Теплого Фронту-Щита.
- **Airmass RGB** Темно-сині кольори представляють холодну повітряну масу, яка розміщується на схід від Теплого Фронту-Щита. У той же час безхмарні області як всередині, так і на південь від Теплого Фронту-Щита зображені зеленуватим кольором, що означає теплі повітряні маси.
- **Dust RGB** Охристі кольори зазвичай відмічаються в південній і південно-західній частинах Теплого Фронту-Щита і представляють хмарність середнього рівня; темно-червоні кольори вказують на масивні крижані хмари, які розташовані переважно у східній та північно-східній частинах зображення.

## Метеорологічні фізичні основи

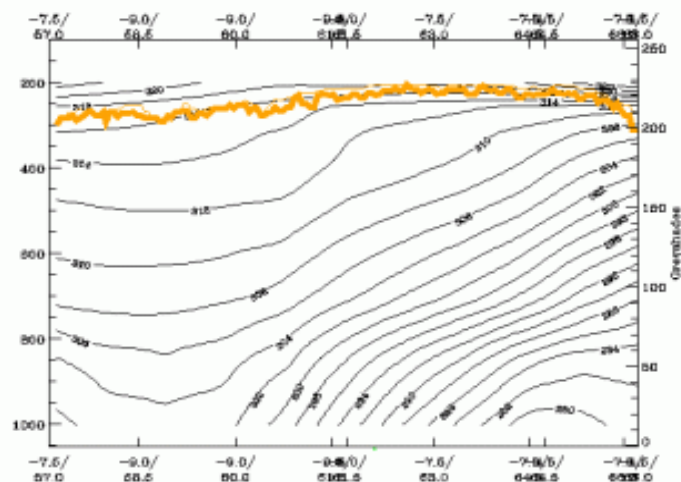
Класична фізична модель теплового фронту, а також теорія конвеєрної стрічки (conveyor belt theory) теплих фронтів не роблять різниці між Теплим Фронтом-Смугою (Warm Front Band) та Теплим Фронтом-Щитом (Warm Front Shield). Але основною відмінністю між цими типами фронтів є хмарність у теплому секторі. З класичною моделлю теплового фронту зрозуміти це нелегко. Теорія конвеєрної стрічки краще пояснює цю особливість.

Хмарність у теплому секторі пов'язана з більш-менш вираженим висотним фронтом, і на різних поверхнях цих фронтальних зон є чітко виражений висхідний струмінь (Warm Conveyor Belt). Він перетинає приземні лінії холодного та теплового фронтів і здебільшого існує в глибокому шарі тропосфери. Це може бути причиною щільної хмарності та опадів у теплому секторі за приземним фронтом.

Крім цієї фронтальної зони верхнього рівня існує також фронтальна зона приземного рівня. Хмарність у цій фронтальній зоні зазвичай не можна диференціювати на супутниковому зображенні, але її можна пояснити так само, як і хмарність Теплого Фронту-Смуги (потік з тилу холодного фронту і утворює вищезгадану високу хмарність).

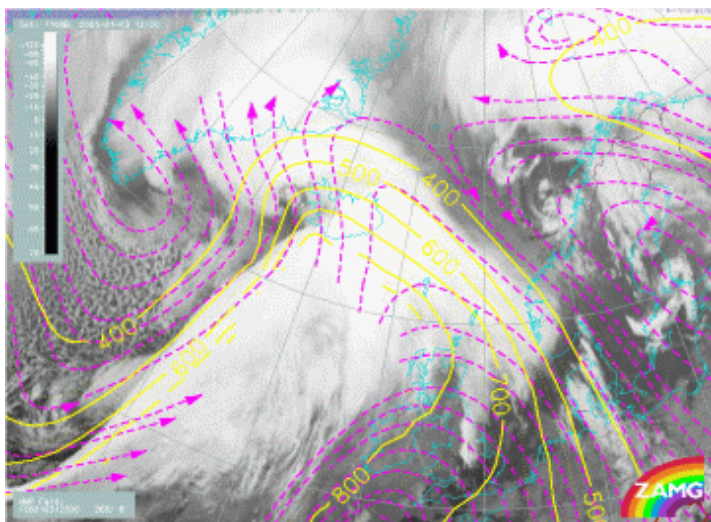
У випадку Теплого Фронту-Смуги, немає достатнього висхідного руху повітря, що є причиною відсутності хмарності. У Теплому Фронті-Щиті – підйом повітря набагато сильніший (це або характерна особливість синоптичної ситуації, або наслідок подальшого розвитку фронтальної системи). Якщо фронтальні поверхні наближаються, то ізентропічні поверхні стають все більш нахиленими, що призводить до сильнішого підйому відносного потоку. На супутникових зображеннях цей процес часто супроводжується розвитком хмарності в теплому секторі Теплого Фронту-Смуги, що завершується утворенням так званого "хмарного щита".



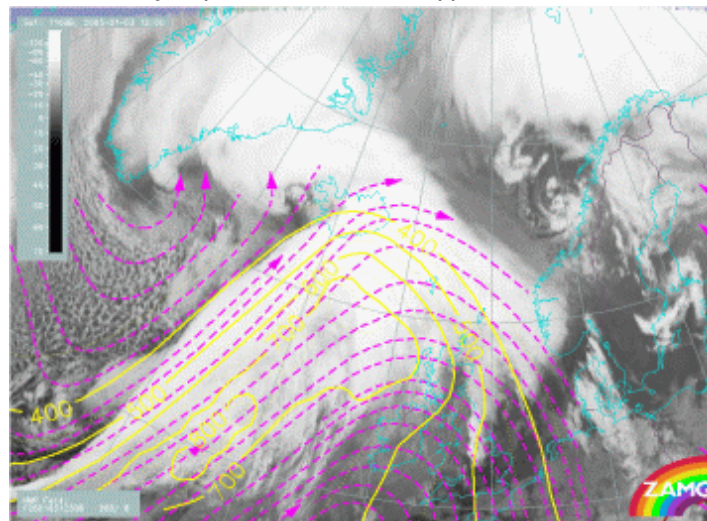


03 січня 2005, 12.00 UTC – Вертикальний переріз атмосфери; чорні лінії – ізентропи (ThetaE), помаранчева тонка лінія – значення IR пікселів, помаранчева товста лінія – значення WV пікселів.

Існує чітко виражений приземний фронт і висотний фронт, що розвивається. Ізентропічна поверхня 300К, на малюнку зліва, належить до вираженої фронтальної зони приземного фронту. Ізентропічна поверхня 308К, на малюнку справа, належить до фронтальної зони висотного фронту.



3 січня 2005, 12.00 UTC – зобр. Meteosat 8 IR10.8; блакитні лінії – відносні потоки 300К – системна шв. 260° 8 м/с, жовті лінії – ізобари 300К.



3 січня 2005, 12.00 UTC – зобр. Meteosat 8 IR10.8; рожеві лінії – відносні потоки 308К – системна шв. 260° 8 м/с, жовті лінії – ізобари 308К.

Ця ізентропічна поверхня характерна для ситуації та розвитку хмар у фронтальній зоні приземного фронту. Найбільш вражаючою відмінністю від фронтальної зони висотного фронту – є зміщення на північ висхідного потоку (зображення зліва). Це спричиняє перевищення фронтальної лінії на шарі приблизно від 700 до 500 гПа. Другий відносний потік із-за холодного фронту не можна спостерігати на цій ізентропічній поверхні. Ця ізентропічна поверхня характерна для ситуації з висотним фронтом, а також для теплового сектора. Хоча ця ситуація досить складна, представляючи розвиток і злиття кількох систем синоптичного масштабу, можна виявити багато особливостей, описаних у даному розділі. Обидва супутникові зображення з накладеними відносними потоками показують виражений висхідний потік (Warm Conveyor Belt). Збільшення хмарності в теплому секторі проявляється у відповідній області від Ісландії до південної Норвегії.

# Ключові параметри

## Еквівалентна товщина (Equivalent thickness):

Ділянку з висшими градієнтами еквівалентної товщини, характерну для фронтальної зони, можна знайти в передній частині так званого "хмарного щита".

## Параметр теплового фронту (Thermal front parameter – TFP):

Цей параметр має свій максимум поблизу області приземного фронту, яка розташована всередині хмарності на теплій стороні градієнтної зони. Отже, неможливо визначити розташування приземного теплового фронту лише за допомогою зображень хмарності.

## Тепла адвекція (Warm Advection – WA):

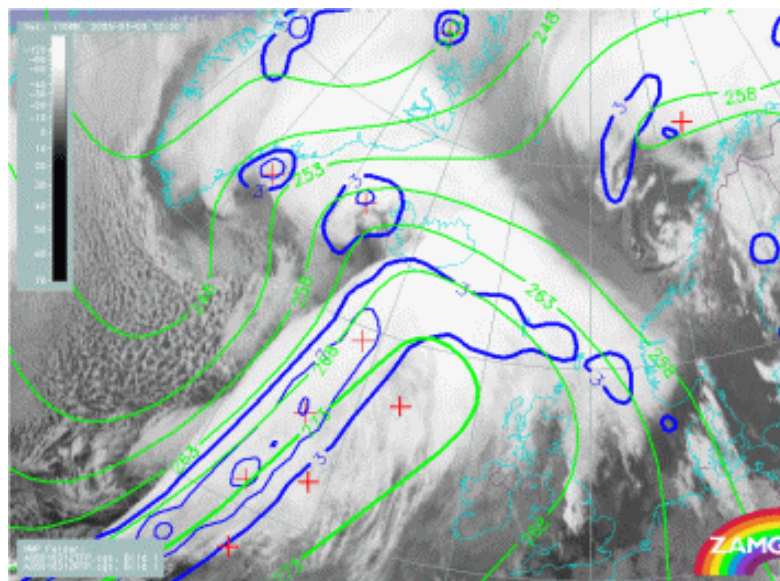
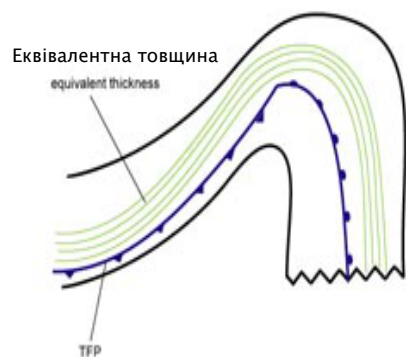
Вся хмарність Теплового Фронту-Щита (фронтальна хмарність, а також хмарність теплового сектору) знаходиться в межах більш-менш вираженої теплої адвекції. Поле теплої адвекції збільшується в напрямку до точки оклюзії. Тому максимум теплої адвекції можна спостерігати у випадку фронтальної системи, що рухається на схід, у північній частині так званого "хмарного щита". Другий, як правило, менш виражений максимум теплої адвекції можна знайти в центральній частині хмарного щита (теплий сектор).

## Зсувна завихреність (Shear vorticity) при 300 гПа:

Нульова лінія збігається з переднім краєм хмарності Теплового Фронту-Щита.

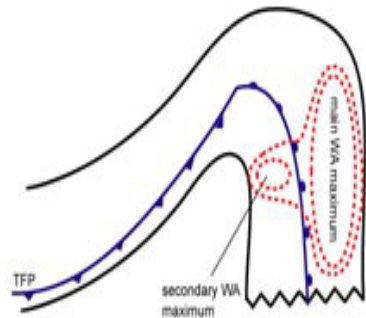
## Ізотахи при 300 гПа:

Передній край хмарності Теплового Фронту-Щита накладається поверх струминної течії.

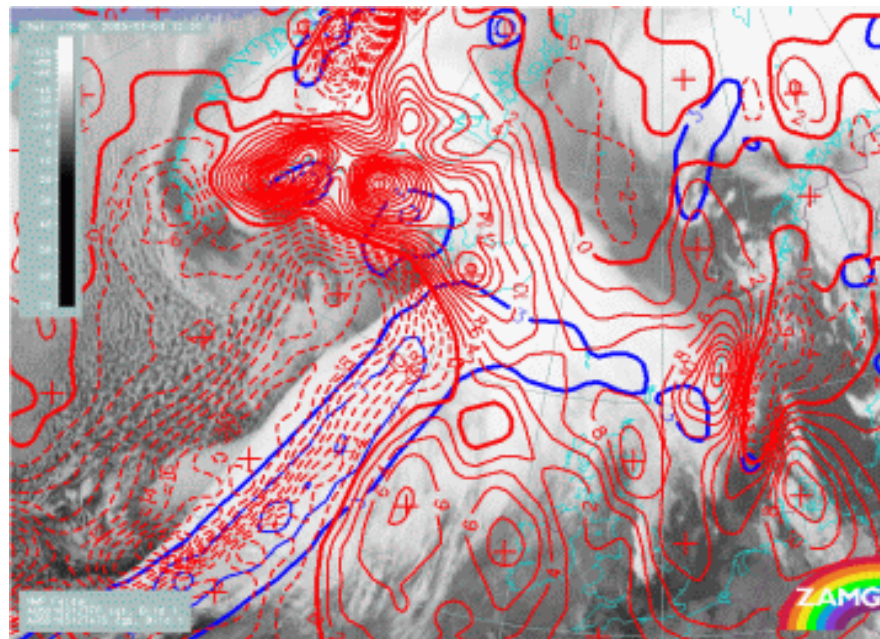


03 січня 2005/12.00 UTC – зображення Meteosat 8 IR10.8;  
сині лінії – параметр теплового фронту 500/850 гПа, зелені лінії –  
еквівалентна товщина 500/850 гПа.

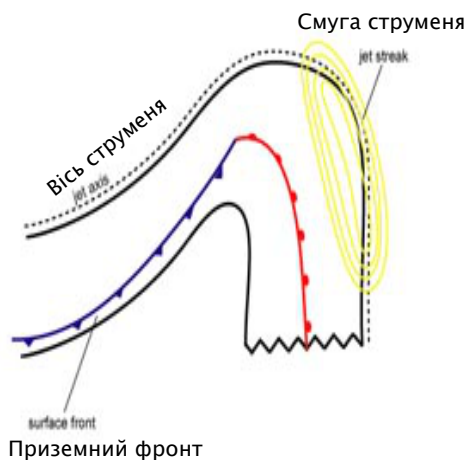




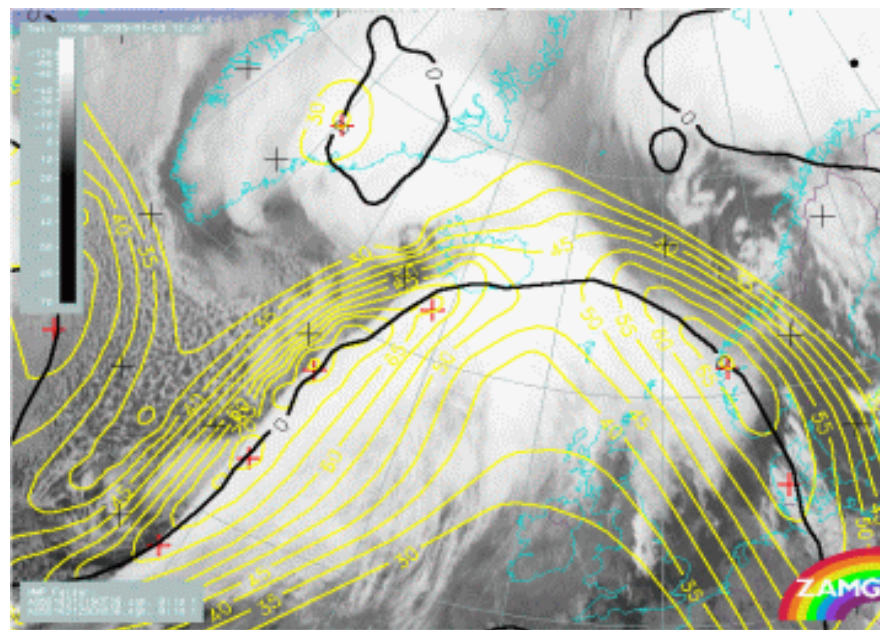
Тепла адвекція



03 січня 2005/12.00 UTC – зображення Meteosat 8 IR10.8;  
сині лінії – параметр термального фронту при 500/850 гПа, червоні лінії – адвекція температури при 500/1000 гПа.



Приземний фронт



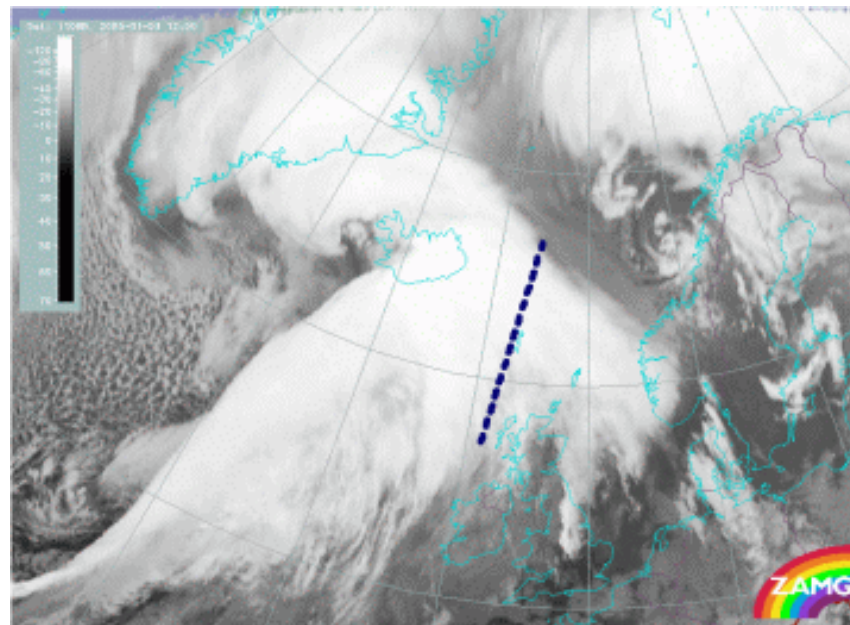
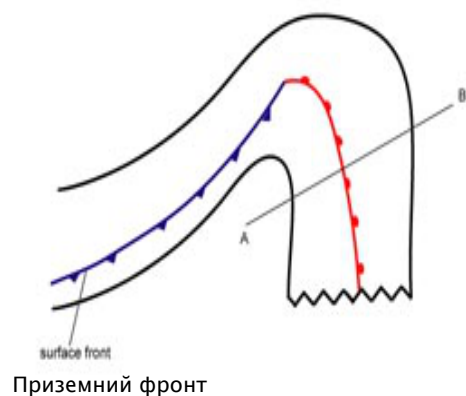
03 січня 2005/12.00 UTC – зображення Meteosat 8 IR10.8;  
жовті лінії – ізотахи при 300 гПа, чорні лінії – нульова лінія зсувної завихреності (shear vorticity) при 300 гПа.



## Типовий зовнішній вигляд у вертикальних поперечних перерізах атмосфери

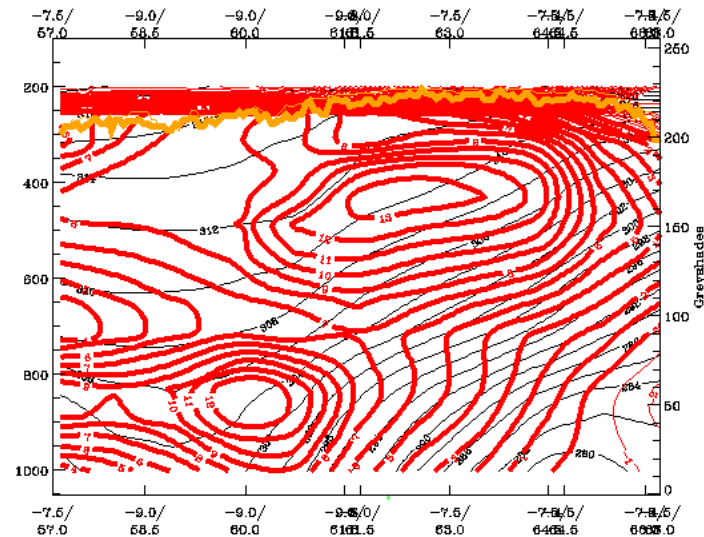
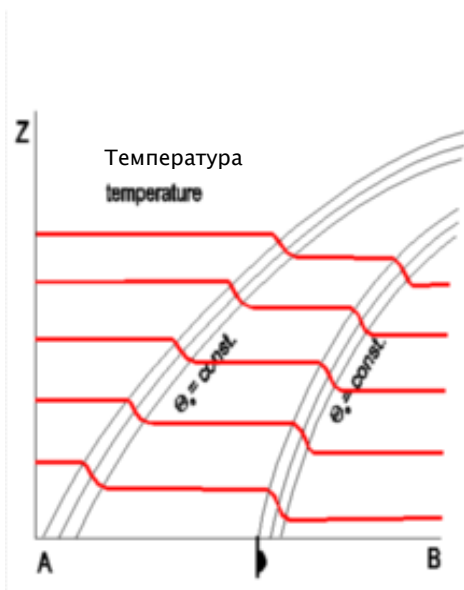
Ізентропи еквівалентної потенційної температури вздовж Теплого Фронту–Щита, показують дві зони вищого градієнта: зону приземного теплого фронту та зону висотного теплого фронту. Обидві зони нахилені від низьких до високих рівнів і зливаються в межах верхнього рівня тропосфери. В обох випадках холодніше повітря можна знайти перед і під теплішим повітрям, позаду та понад вищезгаданими зонами. Поле вологості показує високі значення безпосередньо позаду та всередині обох фронтальних поверхонь теплого фронту. Нижчі значення можна знайти під зонами високого градієнта. У зв'язку з цим особливий інтерес представляють більш низькі значення вологості між двома фронтальними зонами, що вказує на повітряні маси різного походження. Як і розподіл вологості, поле адвекції температури також можна розділити на дві частини. Тепла адвекція існує над і всередині зони скупчення приземного теплого фронту. Холодну адвекцію можна знайти нижче та попереду приземного фронту. Навпаки, висотний фронт повністю знаходиться в межах теплої адвекції. Максимум теплої адвекції можна знайти в зонах вищого градієнта обох фронтальних поверхонь. У випадку приземного теплого фронту максимум теплої адвекції знаходиться приблизно на рівні 800 гПа, тоді як у випадку висотного фронту його можна знайти приблизно на рівні 600 гПа.

Усі три канали супутникових зображень (IR, VIS, WV) у випадку Теплого Фронту–Щита показують широкую область високих значень. У той час як IR-зображення показує на Теплому Фронті–Щиті лише незначне збільшення значень відтінків сірого від заднього до переднього краю, то розподіл відтінків сірого на зображенні VIS є зворотним. Найбільш вираженою особливістю на WV-зображенні є мінімум, пов'язаний із сухим повітрям на передньому краї хмарності, пов'язаної з фронтом.

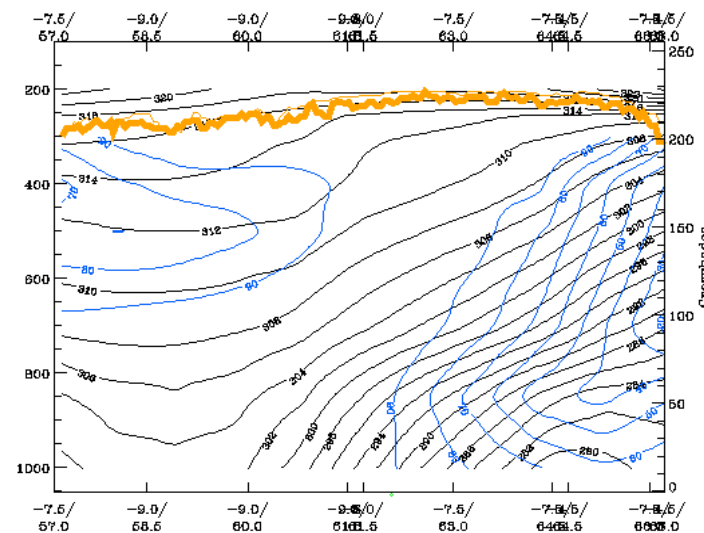
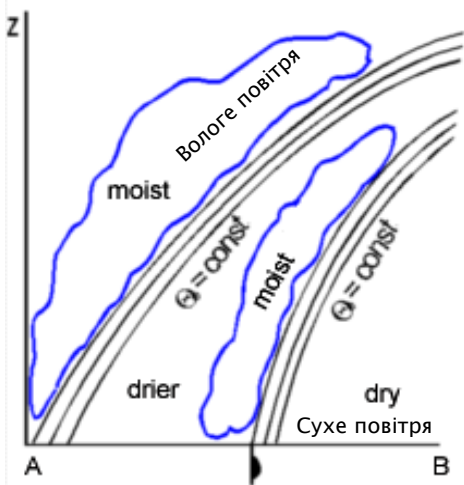


03 січня 2005/12.00 UTC – зображення Meteosat 8 IR 10.8;  
вказано положення вертикального перерізу атмосфери.

Перший атмосферний переріз показує температурну адвекцію, зображену червоним кольором. Основний максимум пов'язаний із приземною зоною теплового фронту, другий, слабший, проявляється у висотній фронтальній зоні. За положенням лінії приземного фронту, головний максимум знаходиться попереду, другий – позаду. Відносну вологість зображено синім кольором.



03 січня 2005/12.00 UTC – Вертикальний переріз;  
чорні лінії – ізентропи ( $\Theta$ ), червоні товсті лінії – температурна тепла адвекція, червоні тонкі лінії – температурна золотна адвекція, оранжева тонка лінія – значення IR-пікселів, оранжева товста лінія – значення WV-пікселів.



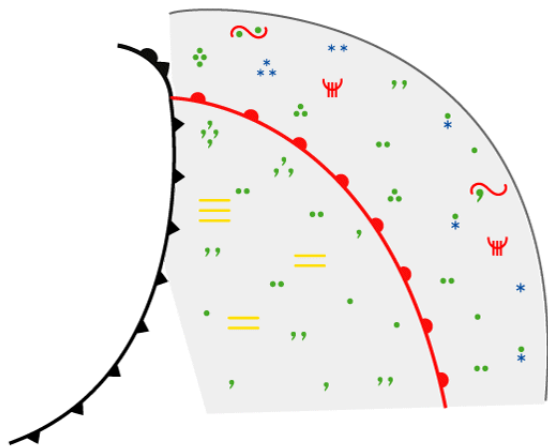
03 січня 2005/12.00 UTC – Вертикальний переріз;  
чорні лінії – ізентропи ( $\Theta$ ), сині лінії – відносна вологість, помаранчева тонка лінія – значення IR пікселів, помаранчева товста лінія – значення WV пікселів.

# Синоптичні ситуації та явища

Теплі Фронти-Щати пов'язані з багат шаровими хмарами, з великою кількістю хмар низького та середнього рівня в теплому секторі. Помірні та сильні опади можна знайти значно попереду приземного фронту, але після проходження фронту в теплому секторі все ще можливі незначні та помірні опади.

Параметр	Опис
Опади	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Перед приземним фронтом невеликі, помірні або сильні опади</li> <li>• Взимку перед приземним фронтом можливий сніг, льодяний дощ, дрібний дощ</li> <li>• Після проходження фронту – дощ з мрякою (взимку невеликий сніг)</li> </ul>
Температура	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Повільно зростає після проходження фронту.</li> </ul>
Вітер (в тому числі пориви)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Поворот вітру при проходженні фронту</li> <li>• Іноді в теплому секторі вітер посилюється і стає більш поривчастим</li> </ul>
Інша відповідна інформація	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Зони опадів рухаються швидше, ніж приземний фронт</li> <li>• Іноді перед приземним фронтом виникає ожеледиця (від середньої до сильної)</li> <li>• Взимку в теплому секторі часто виникає імла, і там існує ризик туману</li> <li>• У теплому секторі можлива невелика турбулентність</li> <li>• Влітку можливий грім, швидше за все, на теплій стороні фронту.</li> </ul>

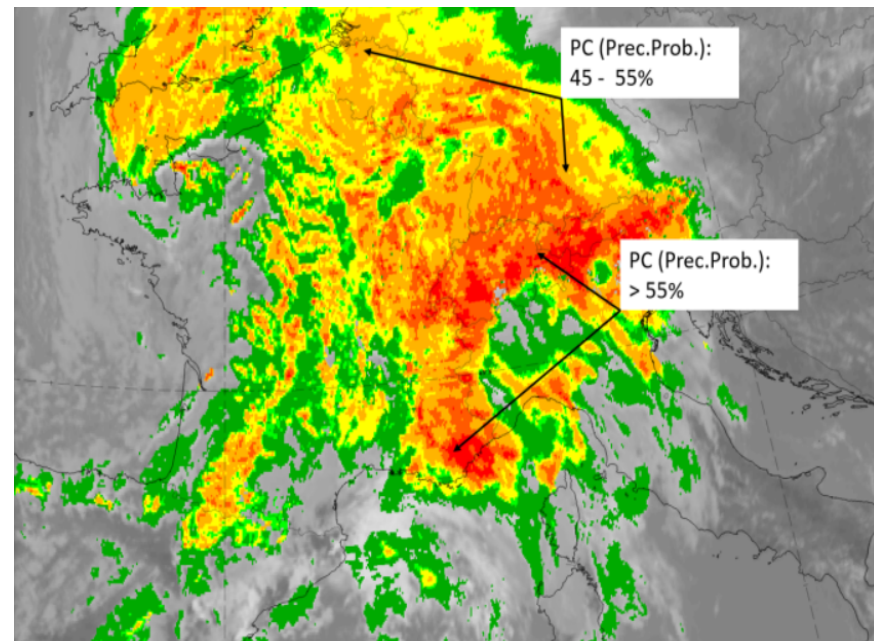
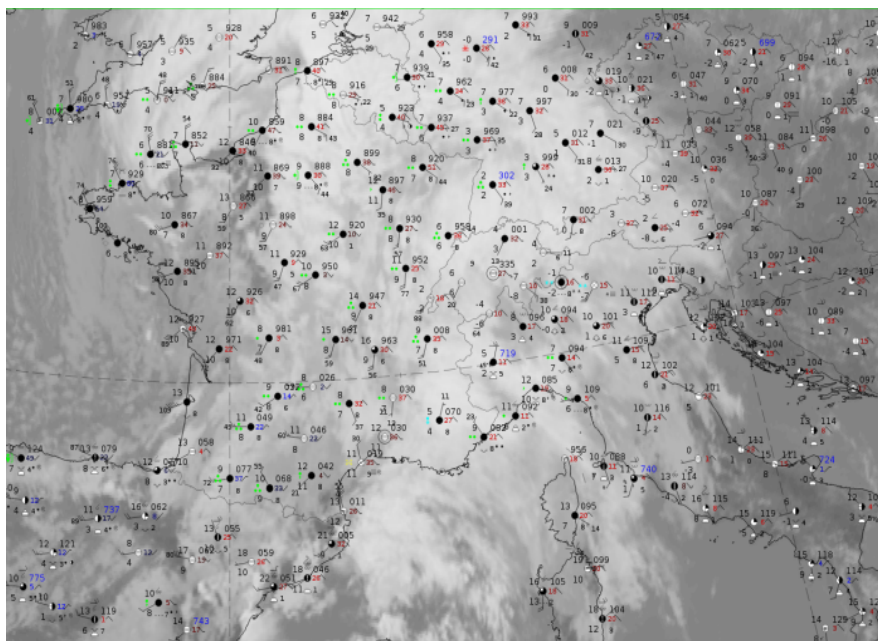
Для демонстрації типових погодних явищ, пов'язаних з цим типом фронту, як репрезентативний зразок використовується випадок за 5 березня 2020 року, 12 UTC.



**WARM FRONT SHIELD**

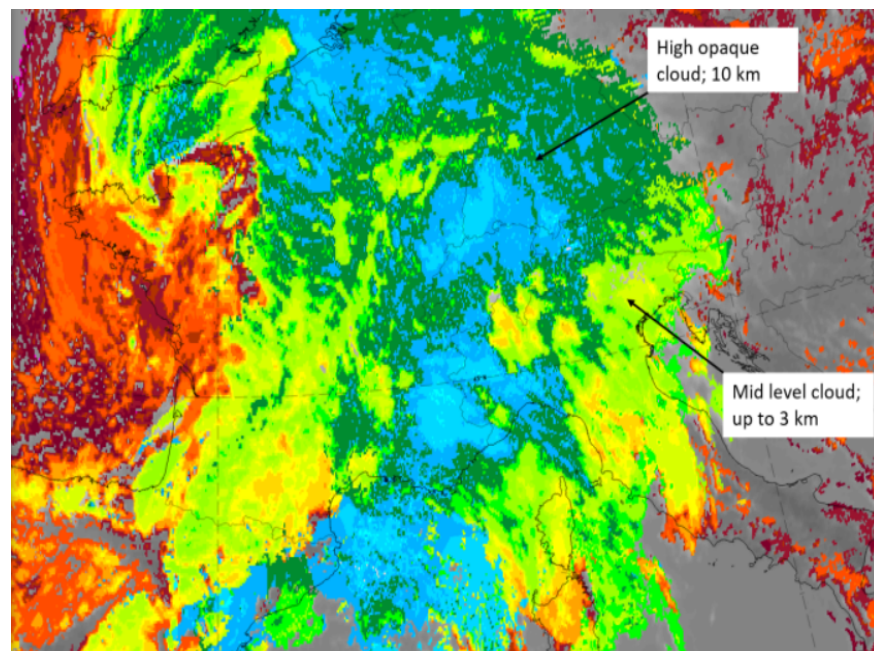
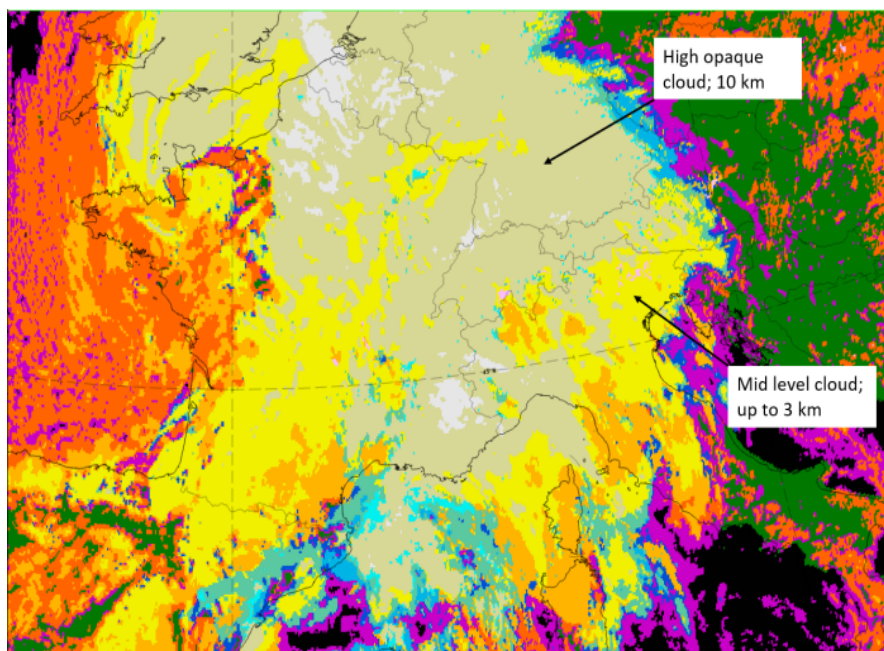
Схема Теплового Фронту-Щита



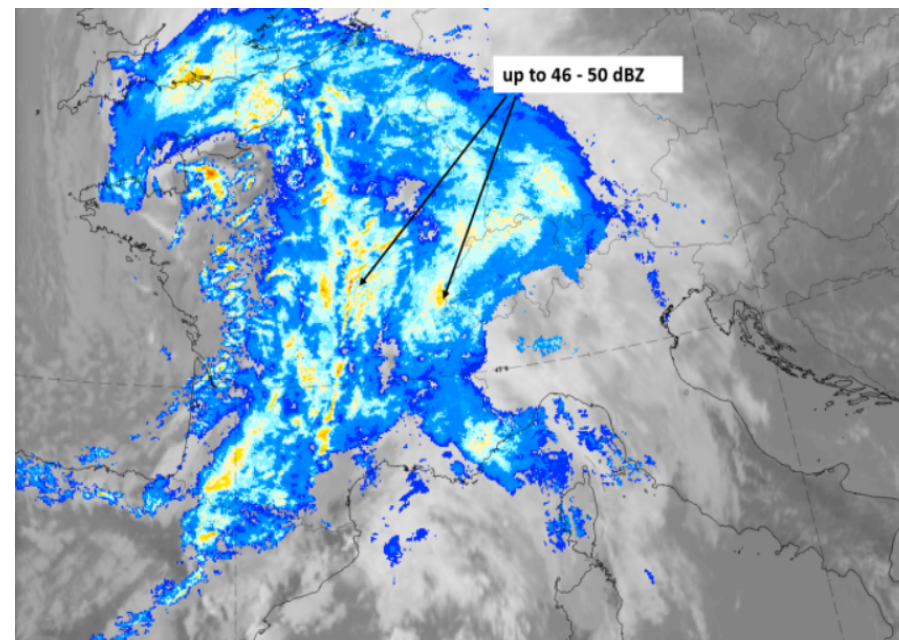
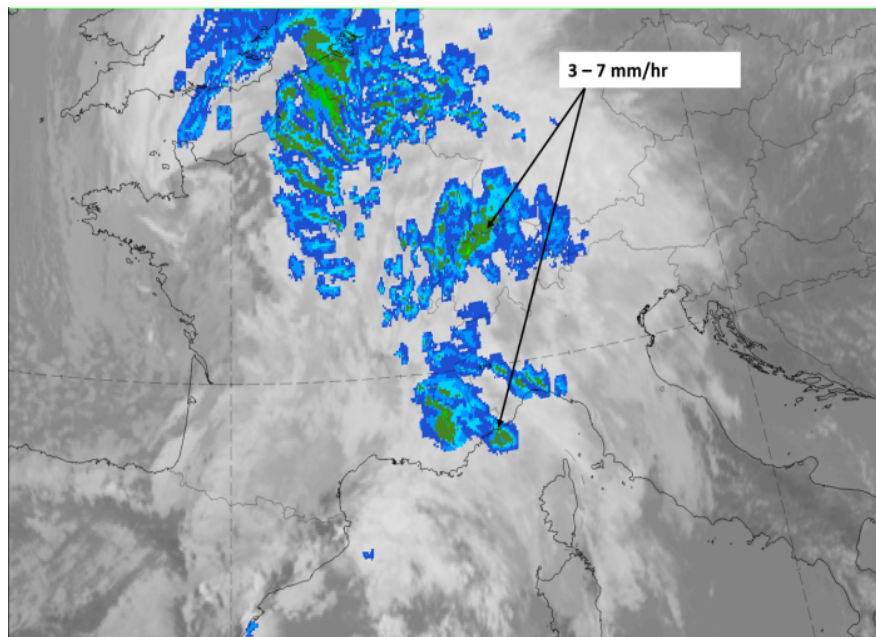


5 березня 2020 р., 12UTC: зображення IR + синоптичні вимірювання (зліва), Ймовірність помірного дощу (справа).

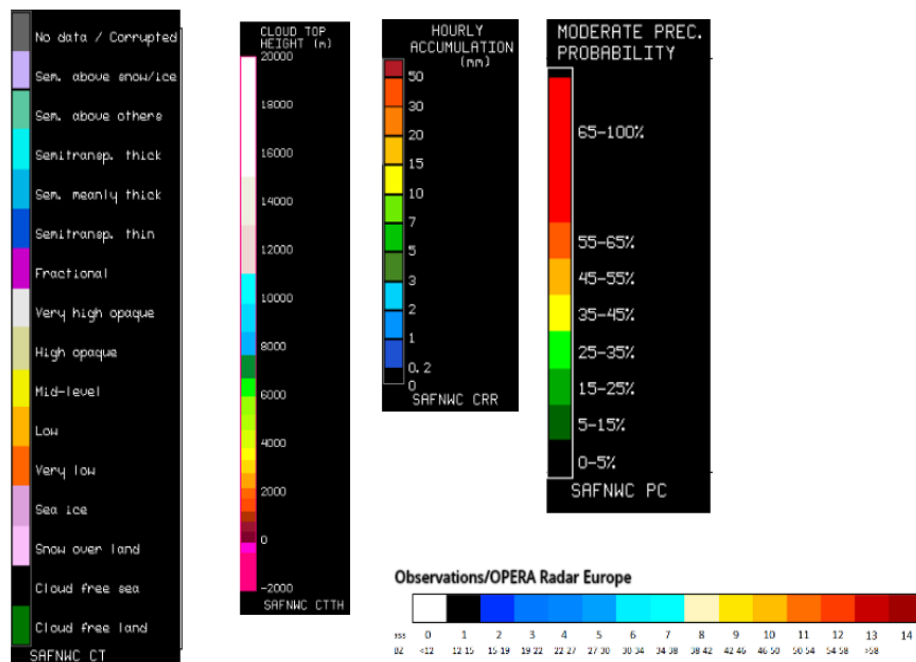
Найбільша частина Теплого Фронту-Щита над Францією та Західною Німеччиною демонструє широке поширення опадів. На сході, над східною Німеччиною та Австрією опади не спостерігаються. На обох зображеннях є очевидним збільшення опадів на навітряній стороні Альп.



5 березня 2020 р. о 12 UTC: зображення зліва – Тип хмари (Cloud Type, NWCSAF), справа – Висота верхівки хмари (Cloud Top Height, NWCSAF)



5 березня 2020 р. о 12 UTC: зображення зліва – оцінка конвективних опадів (Convective Rainfall Rate, NWCSAF), справа – інтенсивність радіолокації від радіолокаційної системи Opera.



Щоб визначити значення типу хмари (Cloud Type), висоти типу хмари (Cloud Top Height), хмарності з опадами (Precipitating Clouds) і радару Опера для будь-якого пікселя на зображеннях – дивіться шкалу зліва.



# Посилання на довідкову літературу

## Загальна метеорологія та основи

- BROWNING K. A. (1985): Conceptual models of precipitation systems; Quart. J. R. Meteor. Soc., Vol. 114, p. 293 – 319
- BROWNING K. A. (1986): Conceptual models of precipitation systems; Weather&Forecasting, Vol. 1, p. 23 – 41
- CONWAY B. J., GERARD L., LABROUSSE J., LILJAS E., SENESI S., SUNDE J. and ZWATZ-MEISE V. (1996): COST78 Meteorology –Nowcasting, a survey of current knowledge, techniques and practice – Phase 1 report; Office for official publications of the European Communities
- GREEN J. S. A., LUDLAM F. H. and MCILVEEN J. F. R. (1966): Isentropic relative flow analysis and the parcel theory; Quart. J. R. Meteor. Soc., Vol. 92, p. 210 – 219
- HARROLD T. W. (1973): Mechanisms influencing the distribution of precipitation within baroclinic disturbances; Quart. J. R. Meteor. Soc., Vol. 99, p. 232 – 251
- HUBER-POCK F. and KRESS CH.(1989): An operational model of objective frontal analysis based on ECMWF products; Met. Atmos. Phys., Vol. 40, p. 170 – 180
- KURZ M. (1990): Synoptische Meteorologie – Leitfäden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst; 2. Auflage, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

## Загальна супутникова метеорологія

- BADER M. J., FORBES G. S., GRANT J. R., LILLEY R. B. E. and WATERS A. J. (1995): Images in weather forecasting – A practical guide for interpreting satellite and radar imagery; Cambridge University Press
- CARLSON T. N. (1987): Cloud configuration in relation to relative isentropic motion; in: Satellite and radar imagery interpretation, preprints for a workshop on satellite and radar imagery interpretation – Meteorological Office College, Shinfield
- Park, Reading, Berkshire, England, 20 – 24 July 1987, p. 43 – 61
- ZWATZ-MEISE V. (1987): Satellitenmeteorologie; Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – London – Paris – Tokyo

## Спеціалізована супутникова метеорологія

- BENNETTS D. A., GRANT J. R. and MCCALLUM E. (1988): An introductory review of fronts. Part I: Theory and observations; Met. Mag., Vol. 117, p. 357 – 370
- BENNETTS D. A., GRANT J. R. and MCCALLUM E. (1989): An introductory review of fronts. Part II: A case study; Met. Mag., Vol. 118, p. 8 – 12
- CARLSON T. N. (1980): Airflow through mid-latitude cyclones and the comma cloud pattern; Mon. Wea. Rev., Vol. 108, p. 1498 – 1509
- HERZEGH P. H. and HOBBS P. V. (1980): The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in mid-latitude cyclones. Part II: Warm front clouds; J. Atmos. Sci., Vol. 37, p. 597 – 611
- HOSKINS B. J. and HECKLEY W. A. (1981): Cold and warm fronts in baroclinic waves; Quart. J. R. Meteor. Soc., Vol. 107, p. 79 –90
- HOUZE R. A. JR., RUTLEDGE S. A. and HOBBS P. V. (1981): The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in mid-latitude cyclones. Part III: Air motions and precipitation growth in a warm frontal rain band; J. Atmos. Sci., Vol. 38, p. 639 – 649
- LOCATELLI J. D. and HOBBS P. V. (1987): The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in mid-latitude cyclones. Part XIII: Structure of a warm front; J. Atmos. Sci., Vol. 44, p. 2990 – 2309
- RUTLEDGE S. A. and HOBBS P. V. (1983): The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. Part VIII: A model for the "seeder – feeder" process in warm frontal rain bands; J. Atmos. Sci., Vol. 40, p. 1185 – 1206
- ZWATZ-MEISE V. (1990): Satellite synoptic of warm fronts; Proceedings of 8th Meteosat Scientific Users' meeting, Norrköping, Sweden, 28 – 31 August 1990, p. 151 – 160