

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

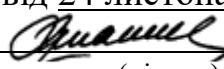
до практичних занять з навчальної дисципліни
«Авіаційна та супутникова метеорологія»

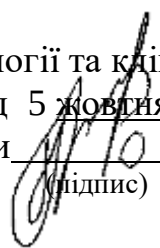
блок «Супутникова метеорологія»

на тему

«Основи дешифрування супутникових знімків»

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

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 4 від 24 листопада 2021 р.
Голова групи  Шакірзанова Ж.Р.
(підпис)

Затверджено
на засіданні
кафедри метеорології та кліматології
Протокол № 3 від 5 жовтня 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

«Основи дешифрування супутникових знімків»

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

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 4 від 24 листопада 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, 40 с.

ЗМІСТ

Передмова.....	4
1 Розпізнавання зображень хмарності і підстильної поверхні на знімках МШСЗ	5
1.1 Яскравісні дешифрувальні ознаки.....	7
1.2 Структурні дешифрувальні ознаки.....	11
1.3 Класифікація хмарності за структурою на знімках МШСЗ....	17
1.4 Зображення підстильної поверхні на космічних знімках.....	29
2 Помилки ідентифікації хмарності.....	35
2.1 Зображення гідро- та літометеорів.....	35
2.2 Конденсаційні сліди літаків та трасові доріжки кораблів.....	36
Практична робота №1.....	39
Питання для самоперевірки до практичної роботи №1.....	39
Список літератури.....	40

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: «Структура хмарності і об'єктів підстильної поверхні на знімках МШСЗ» і при виконанні практичного завдання за темою «Базові і комбіновані супутникові знімки. Дешифрування знімків МШСЗ» та індивідуального завдання.

Оцінювання завдання проводиться відповідно до силлабусу навчальної дисципліни.

Після вивчення теми студент повинен:

знати:

- методику дешифрування супутникових знімків хмарності;
- особливості зображення підстильної поверхні на знімках МШСЗ;
- типи помилок при ідентифікації хмарних полів.

вміти:

- розпізнавати типи хмарності, стан підстильної поверхні, зони туманів, небезпечні зони конвекції на знімках базових каналів (ТВ, ІЧ, ВП-знімки) та комбінованих знімках;
- відрізняти об'єкти підстильної поверхні, хмарності та гідро- та літометеори від штучних об'єктів.

1 РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ХМАРНОСТІ І ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ НА ЗНІМКАХ МШСЗ

Застосуванню знімків МШСЗ передуює процес **дешифрування**.

Атмосфера представлена об'єктами різними властивостями, які визначаються за космічною інформацією, супутниковими знімками, двовимірними зображеннями, отриманими в результаті зйомок спеціального обладнання з космосу. Зображення розглядаються як образні моделі реальності, об'єкти на яких представлені у викривленому вигляді, з втратою деталізації, тобто **зображення генералізовано - узагальнено**. Розпізнавання об'єктів за супутниковими знімками вимагає знань і навичок дешифрування, оскільки відображаються лише певні властивості об'єктів, зображується стан об'єкта у певний момент часу, *дрібні деталі відсутні*, зображення об'єкта є мінливим, відображуються об'єкти великого розміру, незвичні для зору.

***Дешифрування (інтерпретація)** - це процес розпізнавання об'єктів, їх властивостей та взаємозв'язків за зображенням на космічному знімку. Властивості об'єктів, відображені на знімку і використовувані для розпізнавання, називаються дешифрувальними ознаками.*

Дешифрувальні ознаки поділяють на **прямі та непрямі**. Властивості об'єкта, який відображається на знімках, називаються **прямими дешифрувальними ознаками**. До них відносяться характеристики: **геометричні** (розмір, форма, тінь); **яскравісні** (тон, рівень яскравості, колір, спектральний образ); **структурні** (текстура, структура, рисунок).

***Розмір** об'єкта залежить від масштабу, при дешифруванні аналізуються відносні розміри об'єктів - на одному і тому ж знімку.*

***Форма** об'єкта або його контурів - дуже чіткий критерій дешифрування. Форма природних об'єктів є нерегулярною. Зі зміною масштабу знімка форма об'єкта може змінюватися у зв'язку зі зникненням деталей. Форма плоских об'єктів може викривлятися по краях знімка або вони можуть бути розташовані на похилій поверхні. На космічних знімках форма об'єктів, які не мають вертикальної протяжності передається практично без спотворення.*

***Тінь** є важливим критерієм дешифрування, вона надає уявлення про відносну висоту та профіль об'єкта, наприклад тіні, від вище розташованих хмар на нижній ярус. Розрізняють власну тінь, це частина об'єкта, не освітлена прямим сонячним світлом, і падаюча тінь - це тінь об'єкта на земній поверхні або поверхнях інших об'єктів. Власна тінь дає можливість характеризувати поверхню об'єкта, що має об'ємну форму. Падаюча тінь у більшій мірі визначає вертикальну протяжність, силует об'єкта. За падаючою тінню на знімках розпізнають об'єкти, що займають невелику площу, але велику вертикальну протяжність – рис.1.1. Значення*

тіні як дешифрувальної ознаки особливо важливе для великомасштабних зображень.

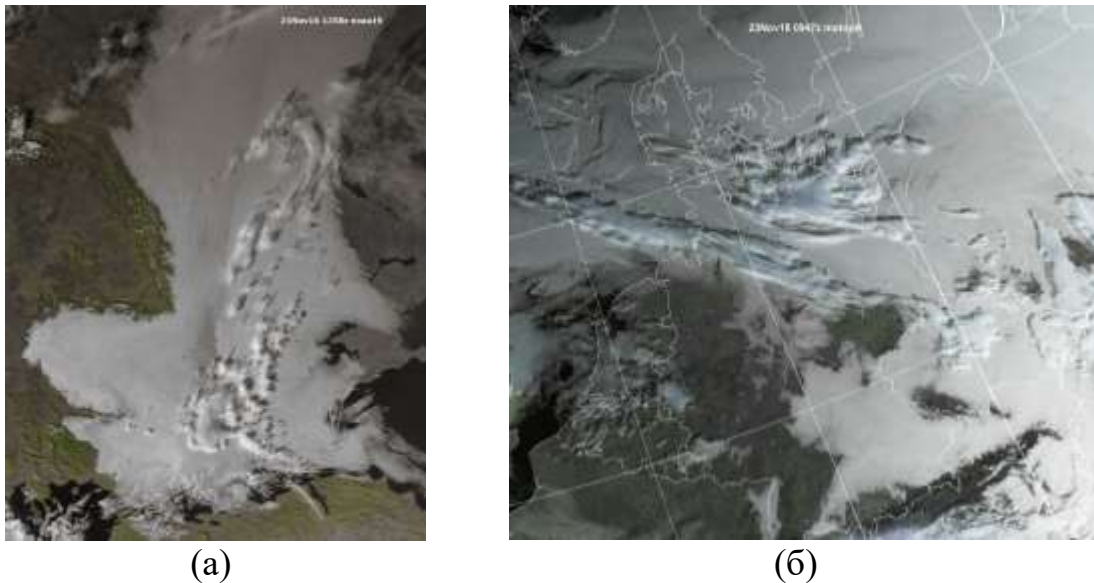


Рис.1.1. Приклади *тіні* хмарності на матову поверхню зони туманів, Meteosat VIS

Непрямі дешифрувальні ознаки. Об'єкти на супутниковому знімку не завжди можна інтерпретувати за прямими ознаками. *Визначити об'єкти та явища можна за непрямими ознаками дешифрування. Основою дешифрування за непрямими ознаками є наявність взаємозв'язків всіх природних і антропогенних властивостей території. У якості непрямих ознак дешифрування виступають прямі ознаки інших об'єктів, які називаються індикаторами. Такий підхід називається індикаційним дешифруванням.* Непрямі ознаки поділяють на три групи індикаторів: **об'єкти, властивості об'єктів, динаміка руху та змін об'єктів.**

За непрямими ознаками **особливостей об'єктів** можливо інтерпретувати об'єкт за його виглядом та розташуванням. Наприклад серповидний об'єкт в горах - скелі, білі плями на знімках гори - сніг. **Індикатори динаміки** дозволяють визначити за супутниковими знімками рух, часові зміни та їх особливості. Наприклад, форми піщаного рельєфу – індикатори напрямку вітру, рисунок на поверхні льодовиків – індикатор руху льоду. *Непрямі ознаки дешифрування виявляються на великій території. В якості індикаторів можуть виступати рослинність і рельєф.*

Результати дешифровки супутникових знімків залежать від методики та технології процесу. Правильною вважається схема, за якою зі знімку отримується максимум інформації. Головна перевага методу візуального дешифрування — це легкість отримання просторової інформації. Візуально визначаються форма, відносні розміри об'єктів і особливості їх розподілу. Іншою перевагою є одночасне використання всієї сукупності дешифрувальних ознак, особливо непрямих.

1.1 Яскравісні дешифрувальні ознаки

Яскравісні ознаки – це *тон зображення, рівень яскравості (кодована яскравість), колір, спектральний образ*, пов'язані з однією і тією ж властивістю об'єктів - спектральною відбивною здатністю.

Тон об'єкта характеризує відносну яскравість кольору і є одним з важливих якісних критеріїв дешифрування. Тон - це оптична щільність зображення на чорно-білих знімках при візуальному аналізі. Це ознака є інтегральною або зональною функцією у вузькій частині спектру. Однакова інтегральна або зональна яскравість на цифрових знімках кодується за рівнем яскравості шкали з визначеного числа ступенів (256). На кольорових знімках відмінності спектральної яскравості об'єктів відображаються кольором, а на багатозональних - набором відтінків або рівнів яскравості.

Спектральний образ - це набір тонів (яскравостей) зображення об'єкта на ряді зональних знімків. При автоматизованому дешифруванні багатозональних знімків він є основною дешифрувальною ознакою.

Мінливість спектральної яскравості об'єктів зумовлює низьку надійність яскравісних дешифрувальних ознак. Тон (рівень яскравості, колір, спектральний образ) одного і того ж об'єкта на різних знімках сильно варіюється. При візуальному дешифруванні чорно-білих знімків, використовують шкалу відтінків. Шкала допомагає оцінити відмінності в тоні двох форм хмар, що знаходяться на відстані або на різних знімках.

Число ступенів шкали визначається порогом світлової чутливості зору і містить сім ступенів (приклад тональності на рис.1.2):

- 1) білий (крайній візуально розпізнаваний тон);
- 2) майже білий – щільність вуалі;
- 3) світло-сірий (мінімальна щільність більшості зображень);
- 4) сірий (середня щільність більшості зображень);
- 5) темно-сірий (максимальна щільність більшості зображень);
- 6) майже чорний – тон, що перевищує максимальну щільність більшості зображень;
- 7) чорний - (крайній візуально розпізнаваний тон).

Кольорові зображення містять більше відтінків, ніж чорно-білі, і око легше сприймає колірні відмінності, ніж відтінки сірого. Дешифрування кольорових знімків зручніше, але колір об'єктів на зображеннях змінюється під впливом численних факторів, особливо на кольорових синтезованих знімках. У дешифруванні при визначенні кольору використовують кілька термінів. Термін «відтінок» використовується в різних значеннях частіше замість терміну «тон», при дешифровці термін «відтінок» зазвичай відносять до чорно-білих знімків.

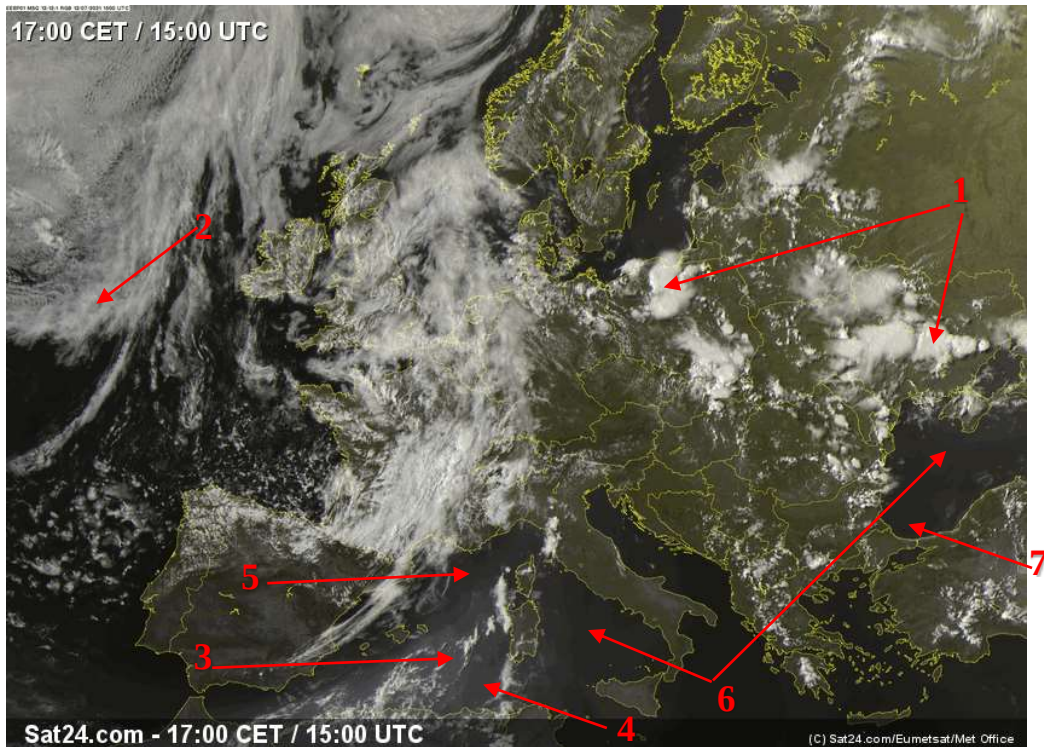


Рис.1.2. Приклад 7-ми ступенів шкали відтінків на супутниковому знімку Meteosat MSG VIS, 12.07.2021

Для опису насиченості кольору використовуються терміни «густий, щільний», «чистий», на відміну від пастельних, білястих, а для характеристики світла - «яскраве» або «темне».

Яскравість зображення визначається як фізичними характеристиками об'єктів, так і способом отримання космічного зображення. *Яскравість об'єкта на ТВ-знімках залежить від його освітленості і коефіцієнта відбиття.* Освітленість залежить від висоти Сонця, прозорості атмосфери, нахилу поверхні і її шорсткості. При одній і тій же освітленості яскравість об'єктів з різними відбивними властивостями буде різною, що надає можливість розпізнавати на ТВ-знімках хмарність на фоні підстильної поверхні. Купчасто-дощові хмари з максимальною водністю і вертикальними розмірами на знімках виглядають найбільш яскравими, при чому і в ранкові часи, коли промені Сонця освітлюють їх вершини. Значну яскравість мають шарувато-дощові хмари при значній водності. Невелику яскравість має периста і шарувата хмарність з малою вертикальною протяжністю, а найменшу – купчаста хмарність хорошої погоди. При великій висоті Сонця можуть виникати труднощі при розпізнаванні хмар верхнього ярусу, оскільки їх альbedo незначно (на 19-20%) відрізняється від альbedo підстильної поверхні – рис.1.3-1.4.

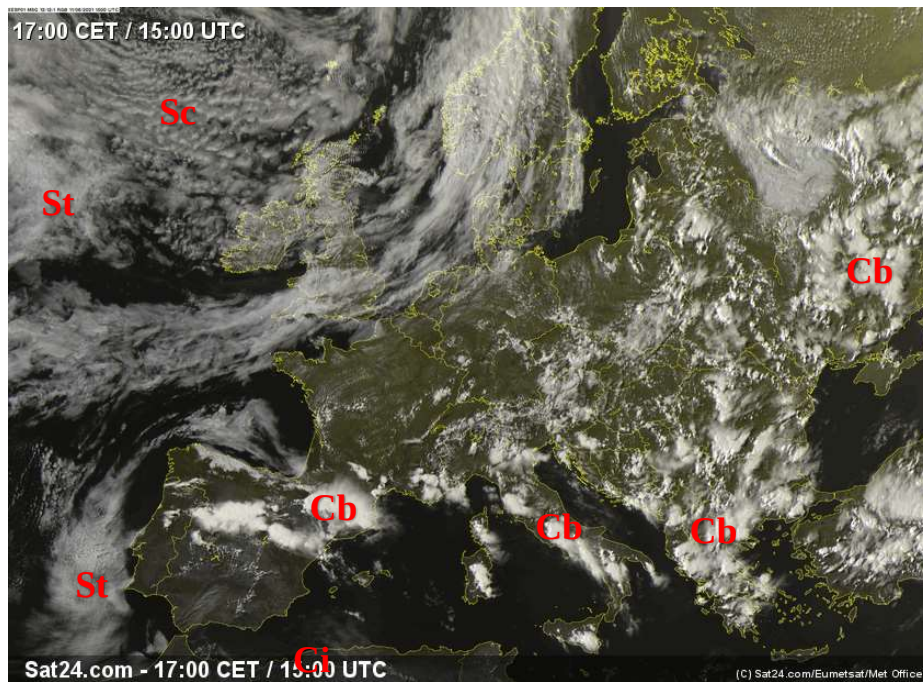


Рис.1.3. Супутниковий знімок Meteosat MSG VIS, 11.06.2021

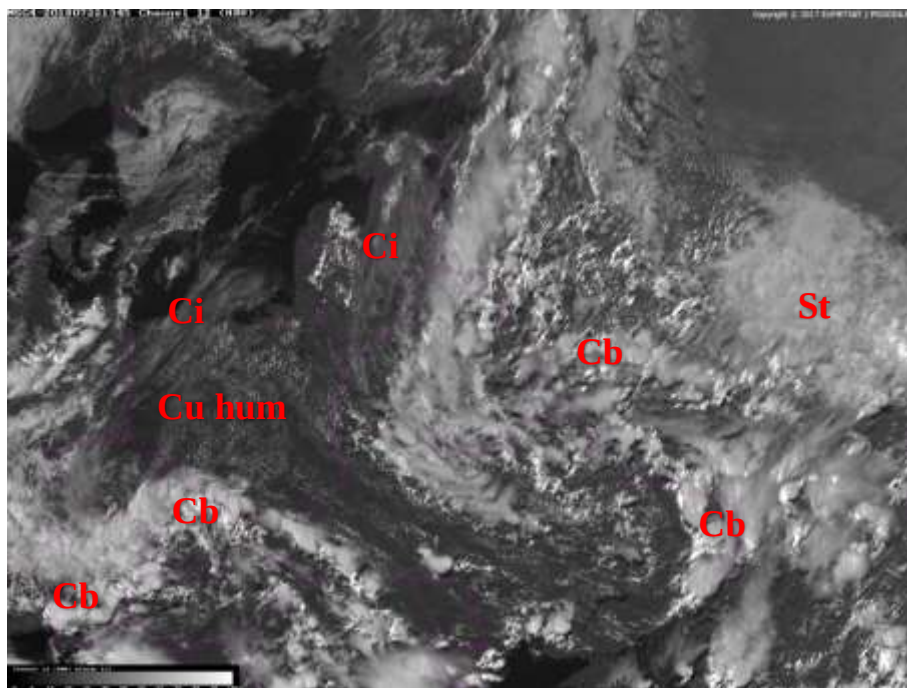


Рис.1.4. Супутниковий знімок MSG4 VIS, висока просторова розв'язка, 22.07.2018

Яскравість на ІЧ знімках залежить від *інтенсивності теплового випромінювання хмарністю і земною поверхнею*. Оскільки в тропосфері температура зменшується з висотою, то в більшості випадків хмарність випромінює при більш низьких температурах, ніж підстильна поверхня. Апаратура супутника за різницею випромінювання дозволяє відрізнити

підстильну поверхню від хмар, а також виділяти хмарність різних ярусів. Хмарність на знімках ІЧ має тим більшу яскравість, чим вища верхня межа хмар – рис.1.5.

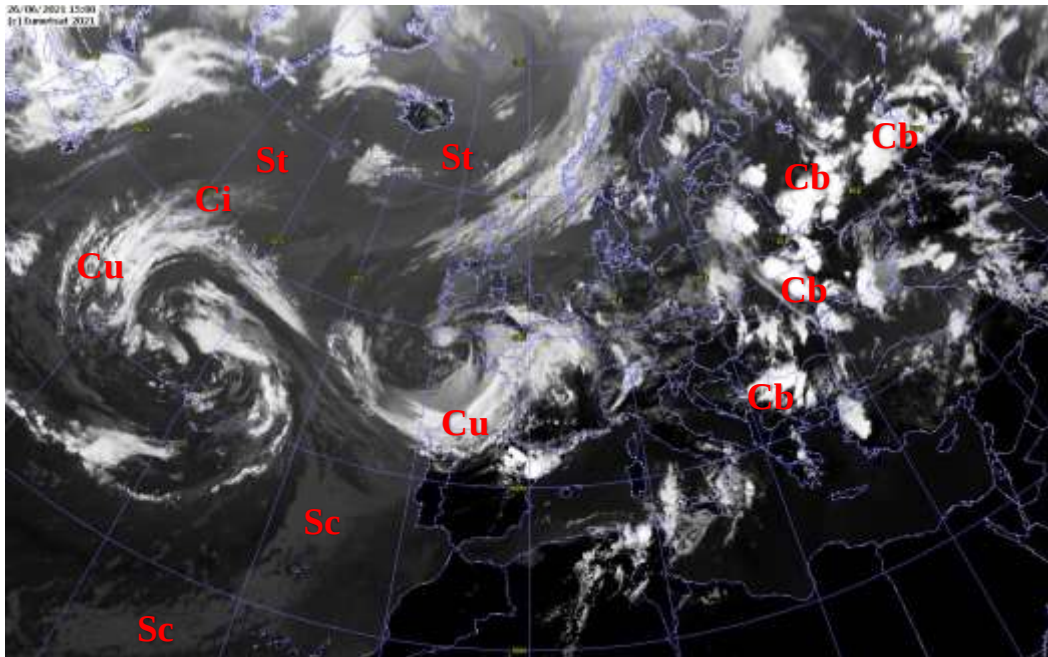


Рис.1.5. Супутниковий знімок Eumetsat IR, 26.06.2021

На ІЧ-знімках внаслідок більш високих температур слабо виражена шарувата, шарувато-купчаста, невелика купчаста хмарність, туман – рис.1.6.

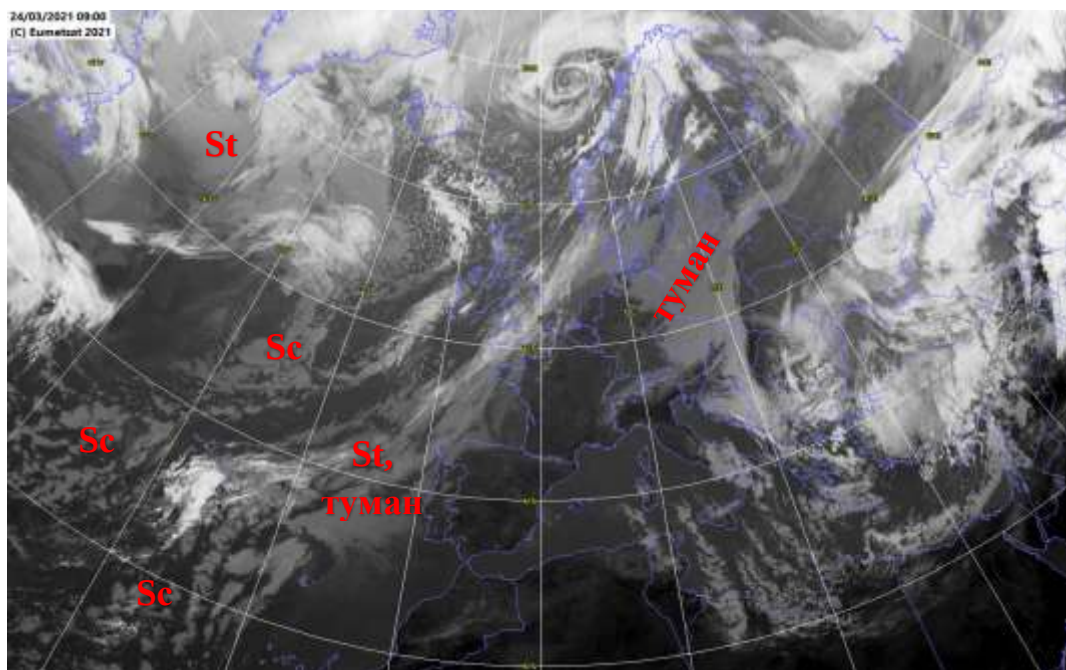


Рис.1.6. Супутниковий знімок Eumetsat IR, 24.03.2021

1.2 Структурні дешифрувальні ознаки

Структура зображення визначається взаємним розташуванням об'єктів на знімку, чітка розпізнавальна структура спостерігається в місцях, де повторюються одні і ті ж тон і текстур. Розміри і форма окремих елементів хмарності утворюють структури різних масштабів і є важливими характеристиками при дешифруванні знімків.

Рисунок зображення є складною дешифрувальною ознакою. Він представляє поєднання зображень об'єктів та їх частин певної форми, розміру та тону, доповненими просторовими розподілом елементів зображення, їх розміщенням, повторюваністю. Рисунок мало залежить від умов освітлення, сезону і технічних параметрів зйомки, незважаючи на мінливість окремих складових. Рисунок зображення формується змінами яскравості по полю знімка, тобто за рахунок просторової неоднорідності поля випромінювання. Рисунок зображень вважається надійною дешифрувальною ознакою.

В залежності від розмірів елементів хмарності виділяють три їх різновиди: **текстуру, мезоструктуру і макроструктуру.**

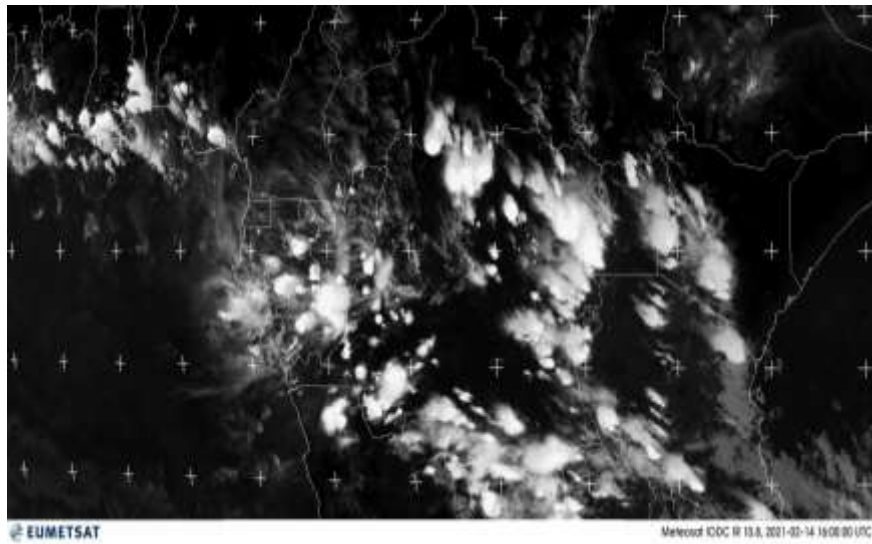
Поєднання елементів зображення, які сприймаються як відмінності в тоні або яскравості невизначеної малої форми називається **текстурою зображення.**

Текстура зображення – це рисунок, утворений найдрібнішими деталями хмарності або підстильної поверхні, розміри яких порівняні з роздільною здатністю супутникової апаратури. Текстура є якісним параметром і класифікується на види.

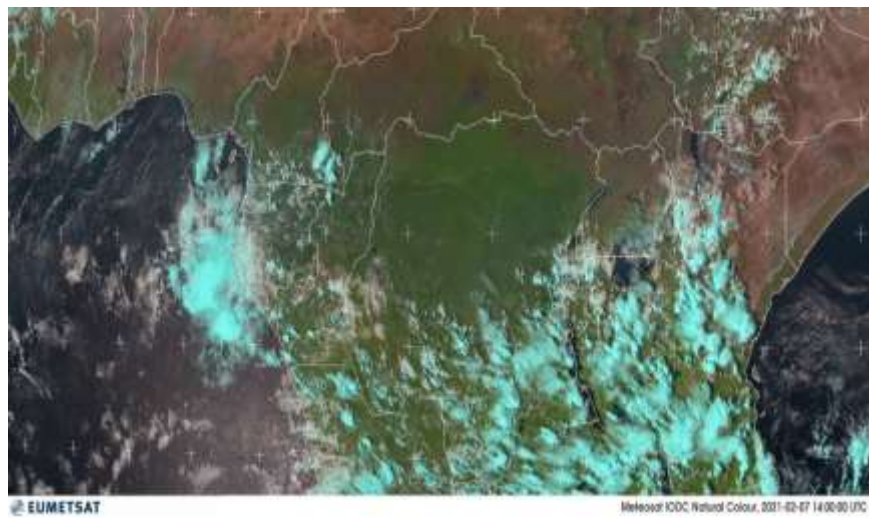
Якщо найменшими деталями є **зерна (плями)** світлого тону на темному фоні (або навпаки, темні зерна на світлому фоні), то їх скупчення утворює **зернисту текстуру**. Вона характерна для купчасто-дощових хмар, битої криги. На ІЧ-знімках зерниста текстура має переважно сірий і темно-сірий тон за винятком купчасто-дощових хмар. Різновидом зернистої текстури є **куполоподібна текстура**, що характеризується більш крупними, білими, округлими плямами на темному фоні, типова для потужних купчастих та купчасто-дощових хмар (рис.1.7-1.9).

Волокнисту текстуру утворюють скупчення тонких смуг, ниток, волокон світлого тону незначної товщини, видовжених на десятки і сотні кілометрів, з нечіткими розмитими границями – рис.1.10. Така текстура характерна для хмарності верхнього, іноді середнього ярусу, а також смуг диму і пилу.

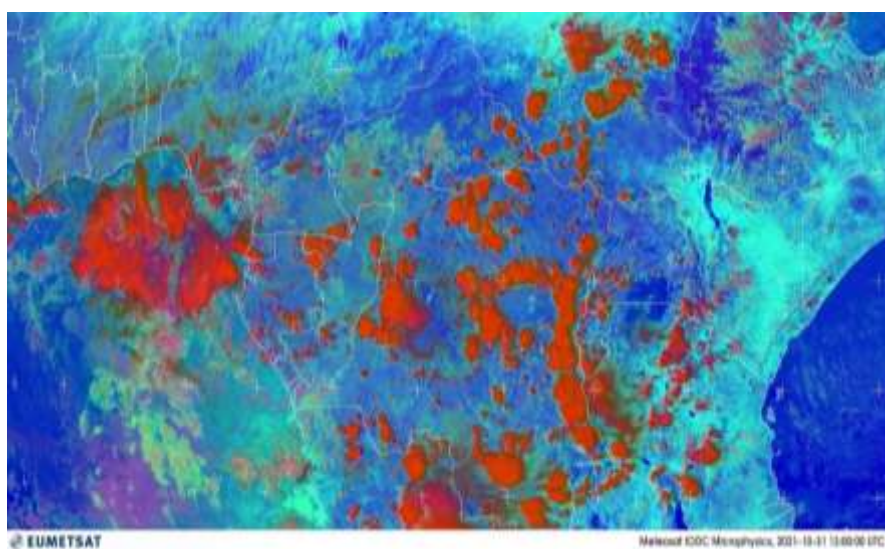
Для **матової текстури** характерна відсутність деталей, вона має однорідний тон зображення і типова для відкритих ділянок водної поверхні, суцільних льодових полів, шаруватої хмарності на різних висотах, туману, пустельних районів суші – рис.1.11.



IR 10,8



RGB Composites Natural Colour



RGB Composites Day Microphysics

Рис.1.7. Зерниста та куполоподібна текстура Сb хмар на знімках МШСЗ

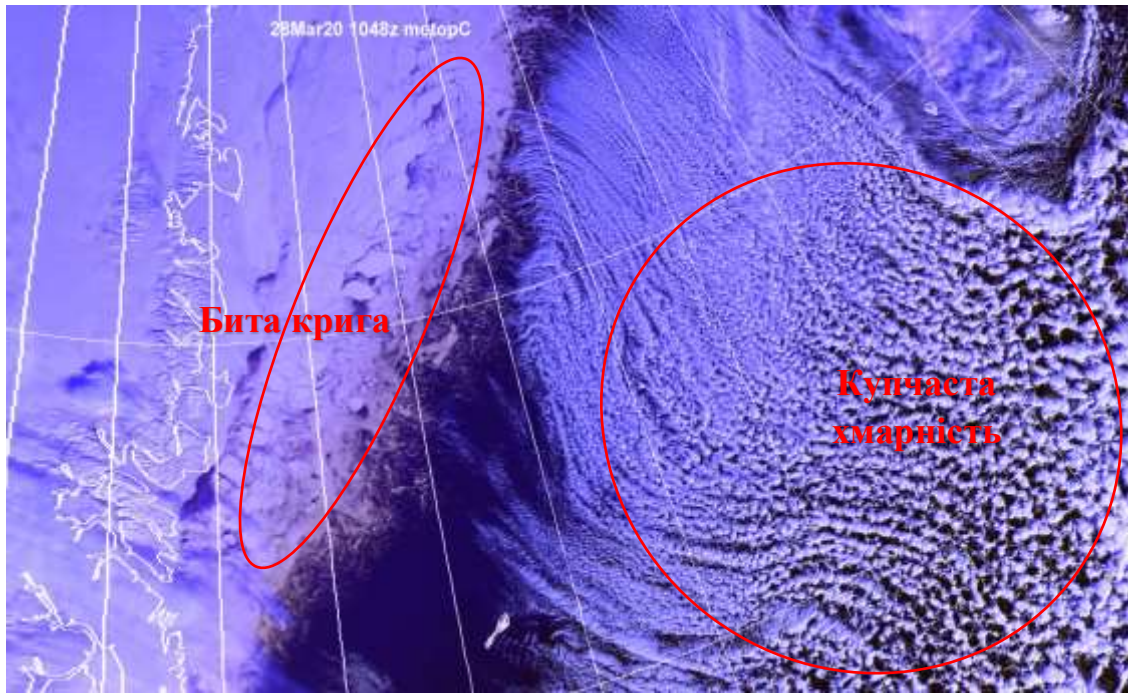


Рис.1.8. Зерниста текстура хмар та битой криги на знімку RGB ch1+2+4

На знімку (рис.1.8) купчаста хмарність мезомасштабу зернистої текстури різного розміру сформована у гряди (хмарні вулиці), орієнтовані за напрямком вітру над Гренландським морем. Зона битой криги - біля північно-східного узбережжя Гренландії.

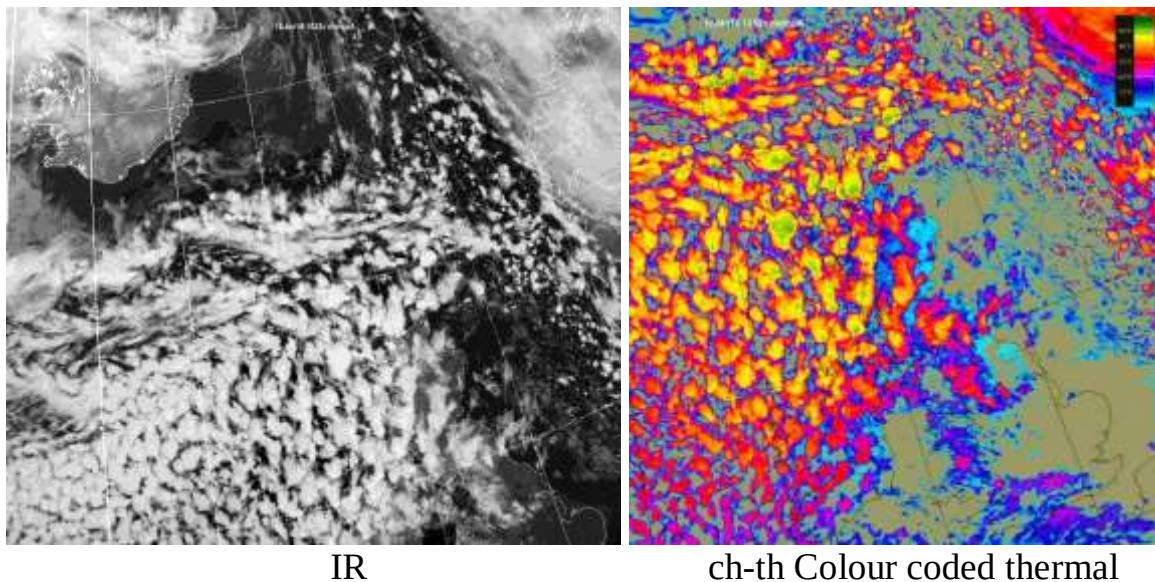
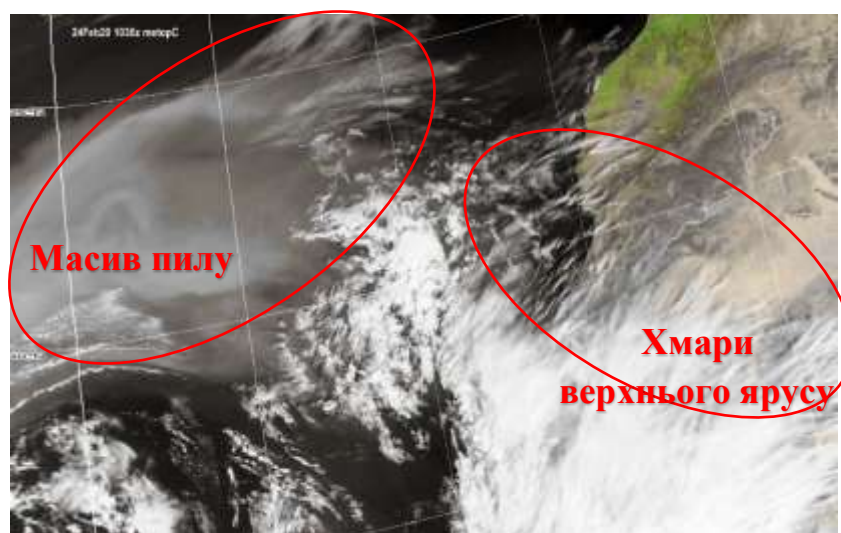
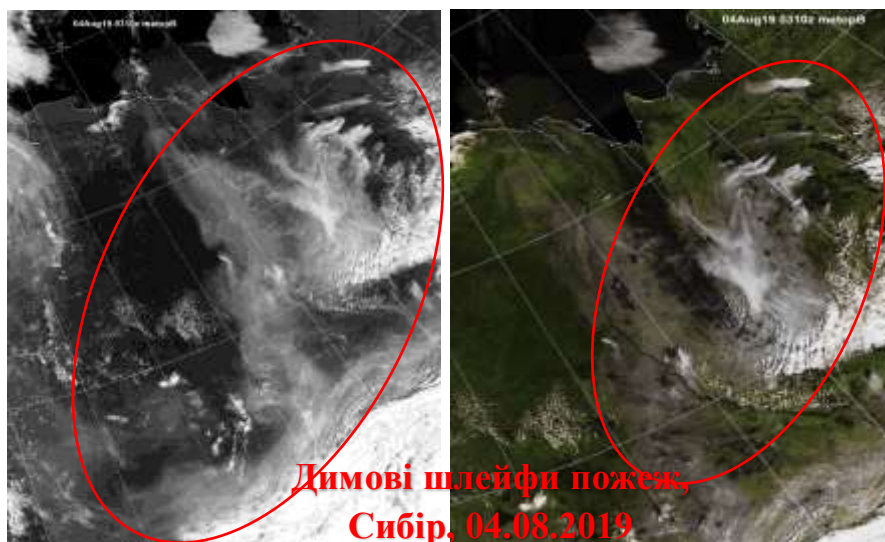


Рис.1.9. Куполоподібна текстура Сб хмар на знімках МШСЗ, 16.01.2018

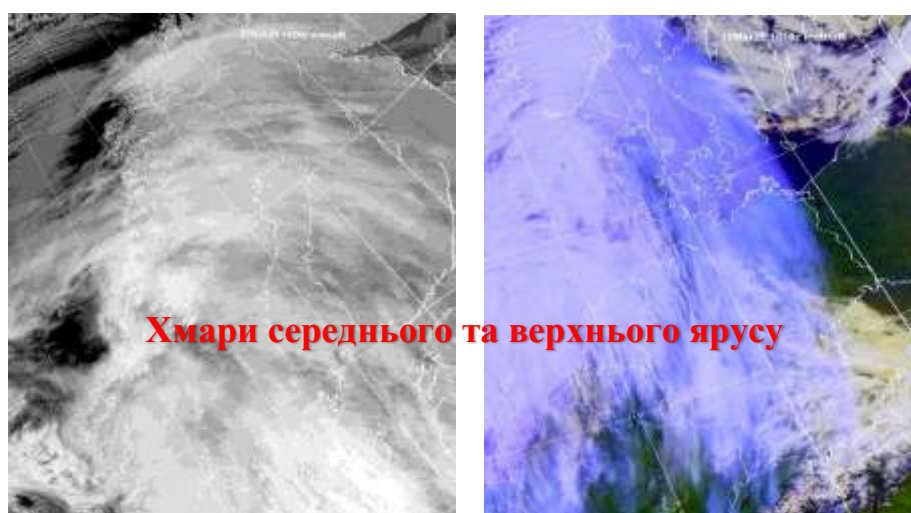


VIS



IR

VIS



IR

RGB ch1+2+4

Рис.1.10. Волокниста текстура різних об'єктів на знімках МШСЗ

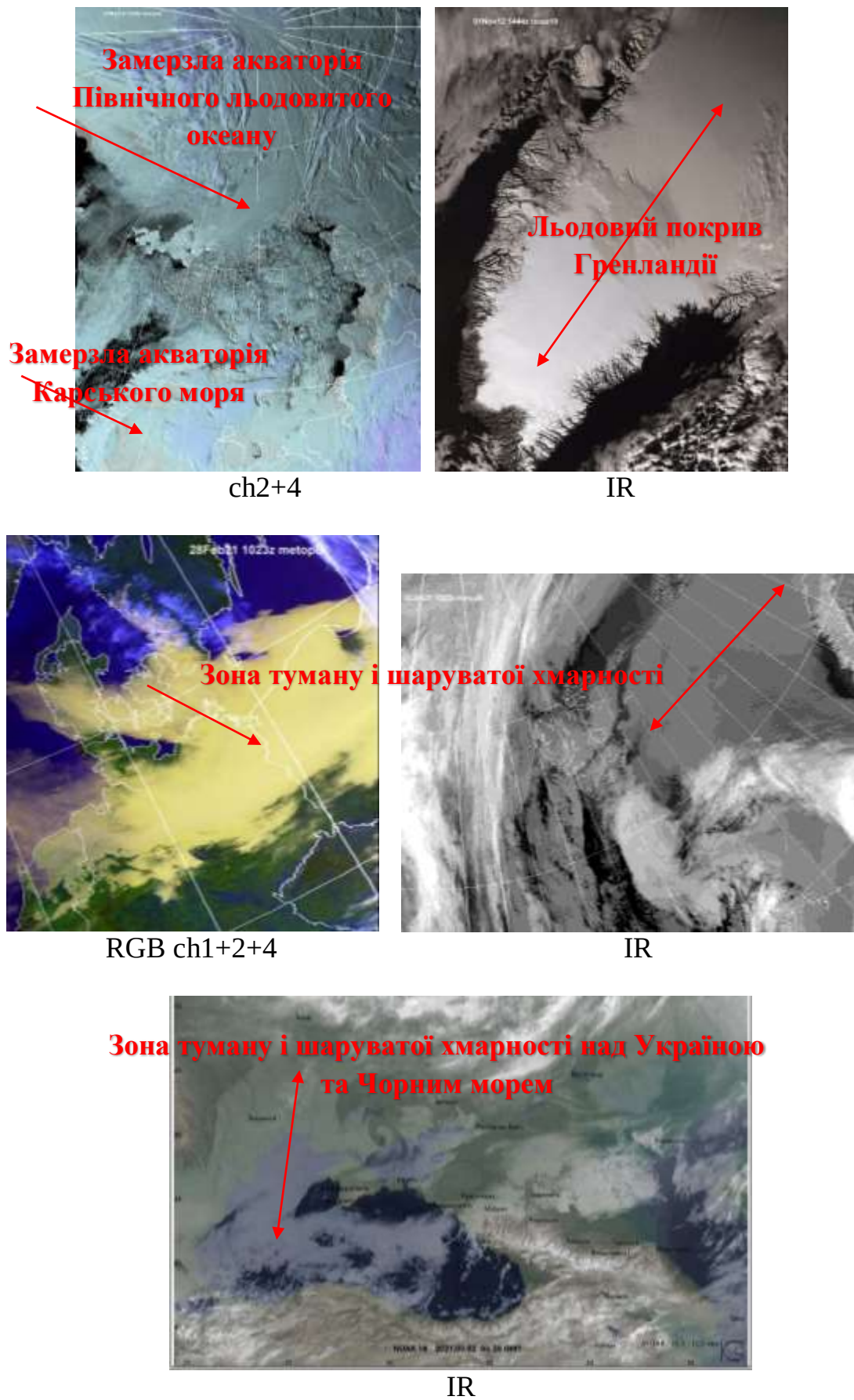
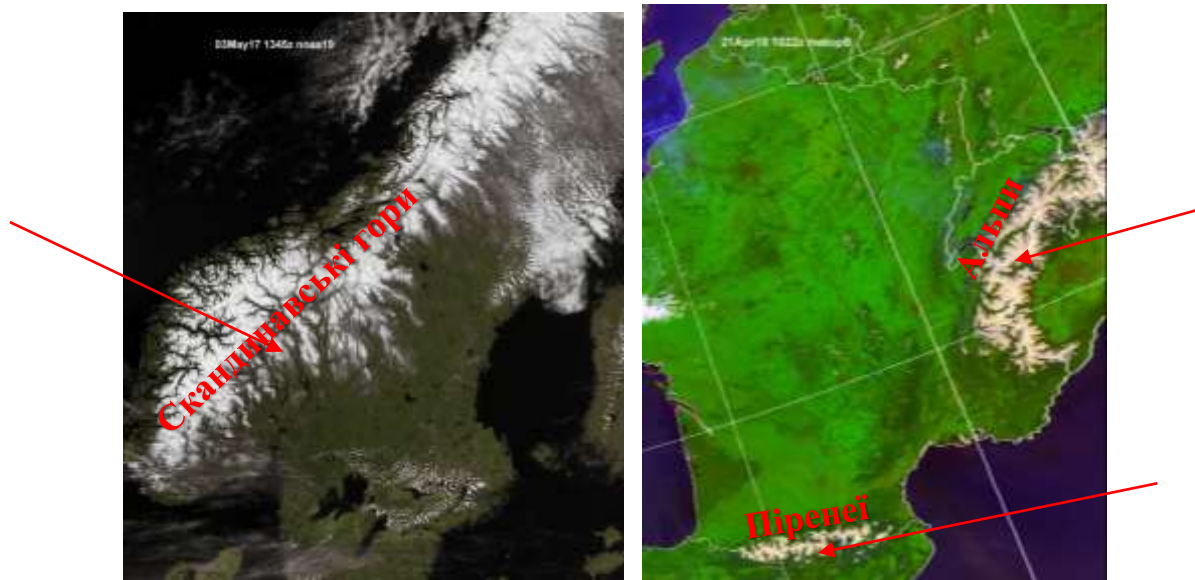
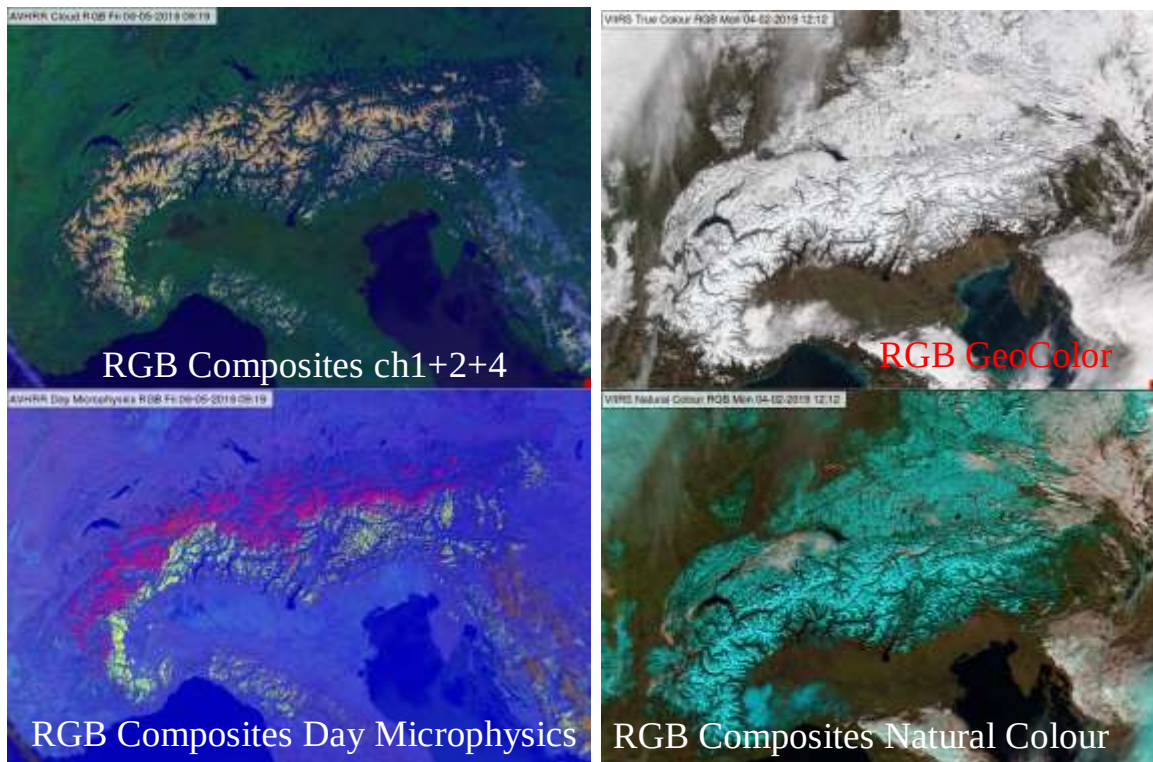


Рис.1.11. Матова текстура різних об'єктів на знімках МШСЗ

Дендритова текстура - характерна для зображення високих, вкритих снігом і розчленованих глибокими долинами гір або рівнин з розгалуженою системою річок. При цьому формується своєрідний рисунок зі світлих елементів, подібний до гілля дерева – рис.1.12.



VIS



Зображення *Альп* на різних комбінованих знімках

Рис.1.12. Дендритова текстура гірських масивів Європи на знімках МШСЗ

Мезоструктура зображення - рисунок, утворений елементами хмарності розміром від десятків до кількох сотень кілометрів які можуть мати свою текстуру. Існує ряд різновидів мезоструктурних зображень хмарності: лінії, смуги, гряди, осередки, мезовихори, конвективні комплекси. Формування кожного з цих типів визначається термодинамічними умовами тропосфери. Ці зображення легко визначаються на ТВ-знімках як яскраві об'єкти зернистої, смугової або матової текстури. На ІЧ-знімках вони мають сірий і темно сірий тон і тільки при значній висоті хмарності яскравість збільшується.

Макроструктура зображення - це найбільші за розмірами хмарні системи синоптичного масштабу, кожна з яких має свою текстуру і мезоструктуру. Розміри об'єктів макромасштабу складають тисячі кілометрів, це - хмарні вихори циклонів, фронтальні смуги, хмарність СТ, хмарні вихори тропічних циклонів, хмарність внутрішньотропічної зони конвергенції, хмарність холодних вторгнень у тропічній зоні.

Крім основних типів хмарності, при дешифруванні визначаються **граници однорідних хмарних полів і кількість хмарності.**

Границею (контуром) називається лінія розділу між полями з різними характеристиками. Контурами окреслюються райони (поля), однорідні за яскравістю і структурою зображення хмарності.

Кількість хмарності характеризує ступінь покриття хмарами тієї або іншої ділянки земної поверхні і визначається відношенням (у відсотках) площі, зайнятої хмарними елементами усередині контуру, до всієї площі, обмеженої контуром.

Апаратура, встановлена на метеосупутниках, **нездатна розрізняти предмети менші 1 км у видимій частині спектра і менші за 5-6 км в інфрачервоній**, в результаті хмарність на знімках МШСЗ виглядає інакше, ніж при спостереженні її з поверхні землі.

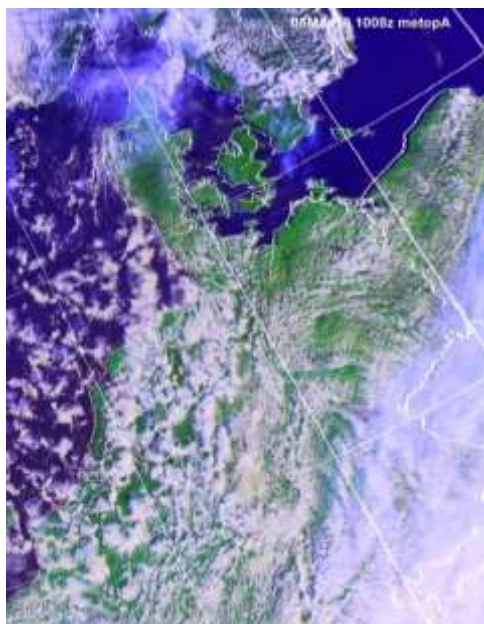
1.3 Класифікація хмарності за структурою на знімках МШСЗ

При дешифруванні знімків хмарності не завжди є можливість точно визначити форми морфологічної класифікації хмар через фотографічну схожість більшості з них. В результаті, при ідентифікації об'єктів на знімках МШСЗ використовується класифікація хмар, яка при збереженні основних положень класичної класифікації, враховує зміни у структурі хмарності.

За супутниковими знімками виділяють основні типи хмарності:

- *купчастоподібна,*
- *купчасто-дощова,*
- *шарувата,*
- *шарувато-купчастоподібна,*
- *перистоподібна.*

Купчастоподібна хмарність на знімках утворюється купчастими, високо-купчастими і перисто-купчастими хмарами. Характерна текстура цієї хмарності зерниста. Хмарні елементи різні за формою та розмірами. Їх розвиток залежить від поверхні, над якою вони розвиваються, сезону виникнення, добових коливань температури, впливу неоднорідностей, водних об'єктів та інших ландшафтних особливостей місцевості. Купчастоподібні хмари можуть бути безсистемно розкидані по території або організовані в лінії, пасма, осередки – рис.1.13.

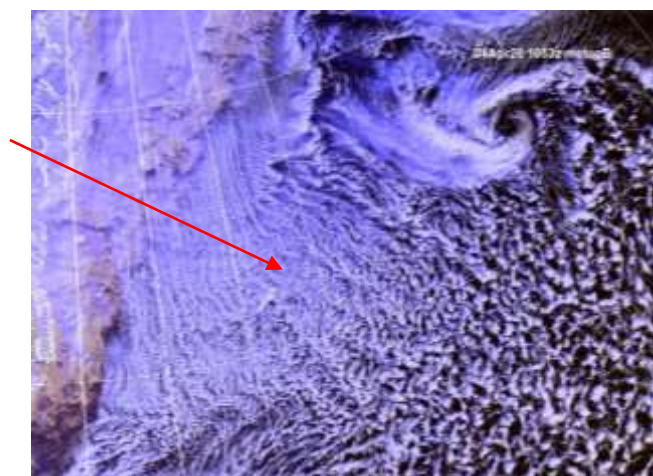


RGB ch1+2+4



ch2+4

неструктуровані масиви купчастоподібних хмар



RGB ch1+2+4



ch2+4

мезомасштабні гряди купчастої хмарності

Рис.1.13. Купчастоподібна хмарність на знімках МШСЗ

Тон зображення на ТВ-знімках світло-сірий або білий, неоднорідний. Купчастоподібна хмарність частіше постерігається **в зонах холодних та оклюдованих фронтів, в тилкових частинах циклонів** (рис.1.14), а також над водною поверхнею чи сушею при наявності умов розвитку конвекції.

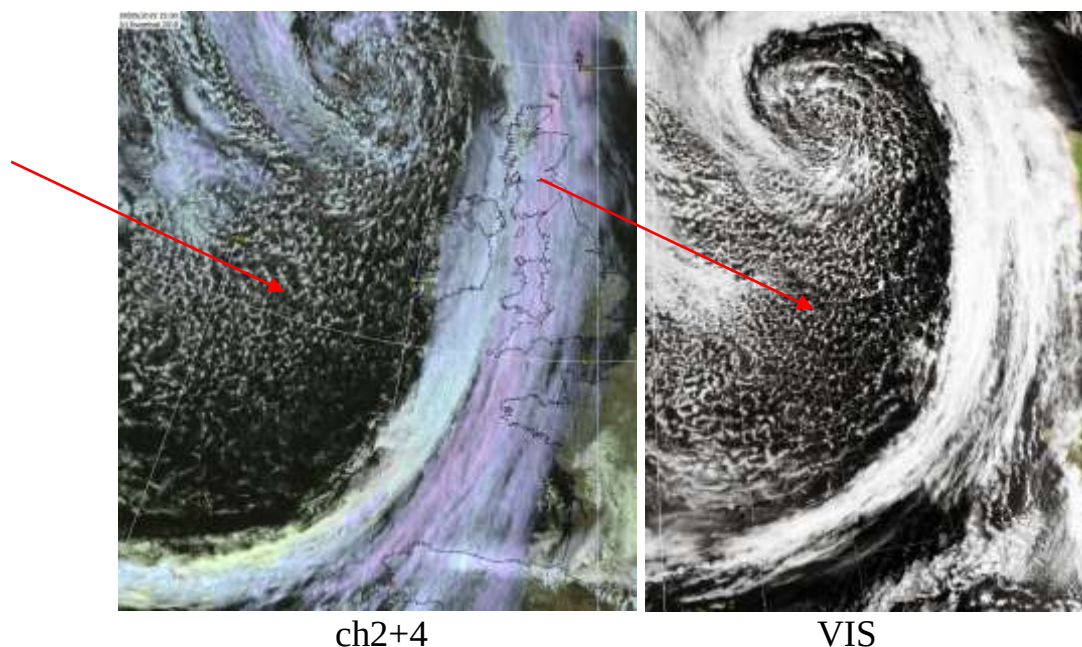


Рис.1.14. Купчастоподібна хмарність у тилу циклона (відкриті мезомасштабні осередки) на знімках МШСЗ, 09.05.2018

На знімках в ІЧ діапазоні купчастоподібні хмари мають відносно рівний світло-сірий або сірий тон зображення – рис.1.15.

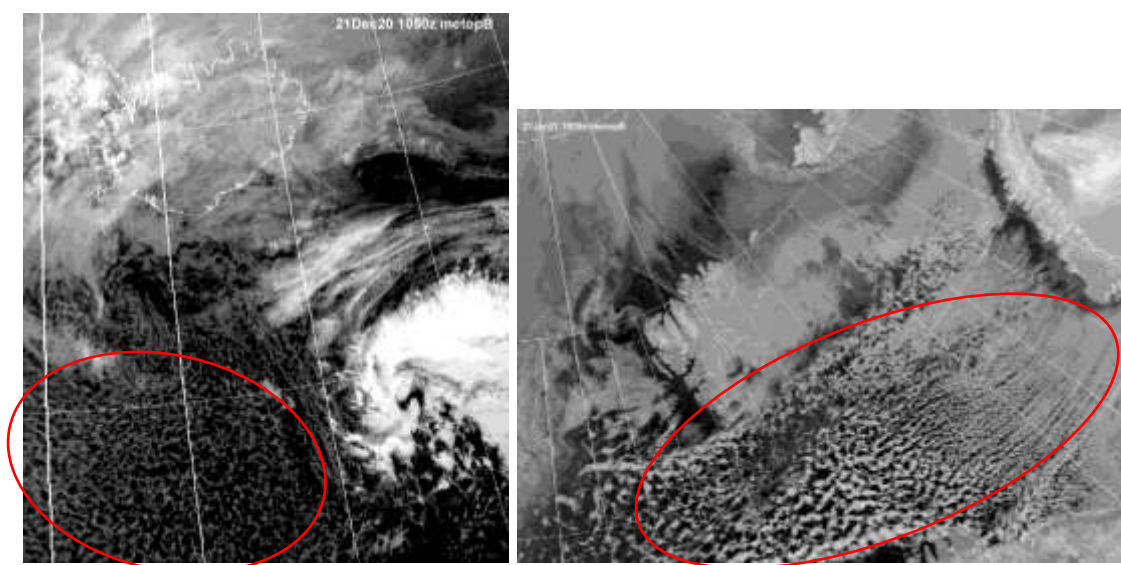


Рис.1.15. Купчастоподібна хмарність на ІЧ-знімках МШСЗ

Яскравість зображення купчастоподібних хмар прямо пропорційна їх горизонтальним і вертикальним розмірам. Невеликі скупчення хмар з розмірами, менше роздільної здатності системи, виглядають як суцільний сірий серпанок і можуть бути помилково визначені як тонкі шаруватоподібні. До таких хмар відносяться купчасті гарної погоди (Cu hum), Ac, деякі форми Sc і Cc.

Купчастоподібні хмари можуть сполучитися з іншими формами хмар усіх ярусів. Виділятися на фоні інших хмар вони будуть у тому випадку, якщо мають велику яскравість зображення на знімку, або по характерній тіні, що відкидається ними на нижче розташовані хмари.

Купчасто-дощові хмари значно відрізняються розмірами в залежності від умов розвитку конвекції. Невеликого розміру хмари, діаметром кілька кілометрів, часто організовані в осередки. На знімках мають вигляд великих яскравих білих плям, розмірами $\geq 10-40$ км. При злитті окремих хмар в осередках утворюються хмарні об'єкти розміром від десятків до ≥ 100 км. **Купчасто-дощові хмари мають зернисту або характерну куполоподібну текстуру зображення** – рис.1.16.

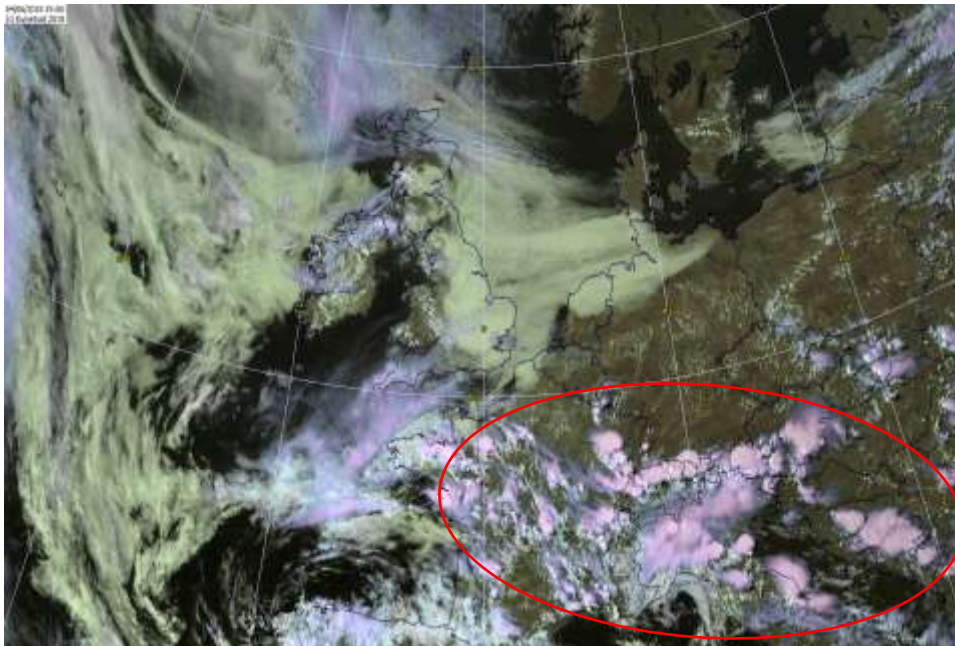
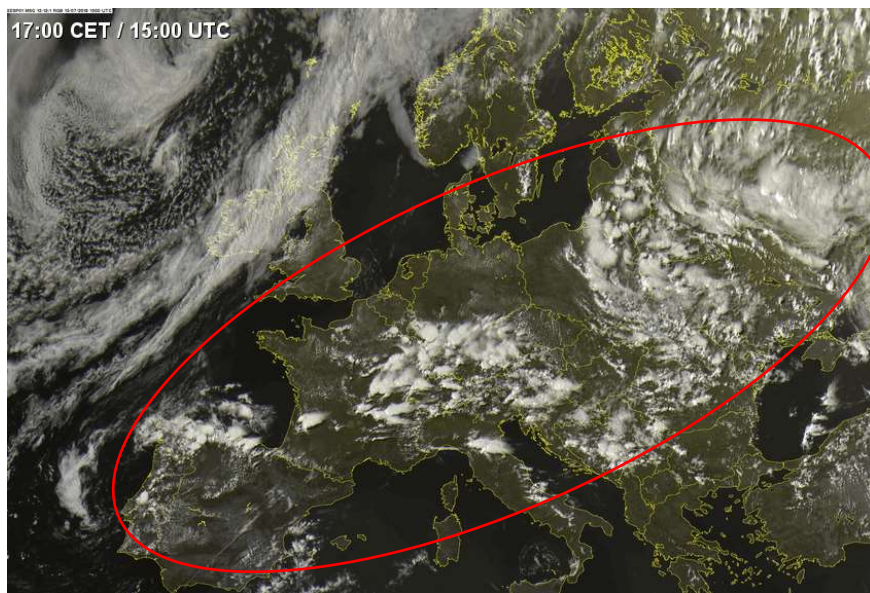


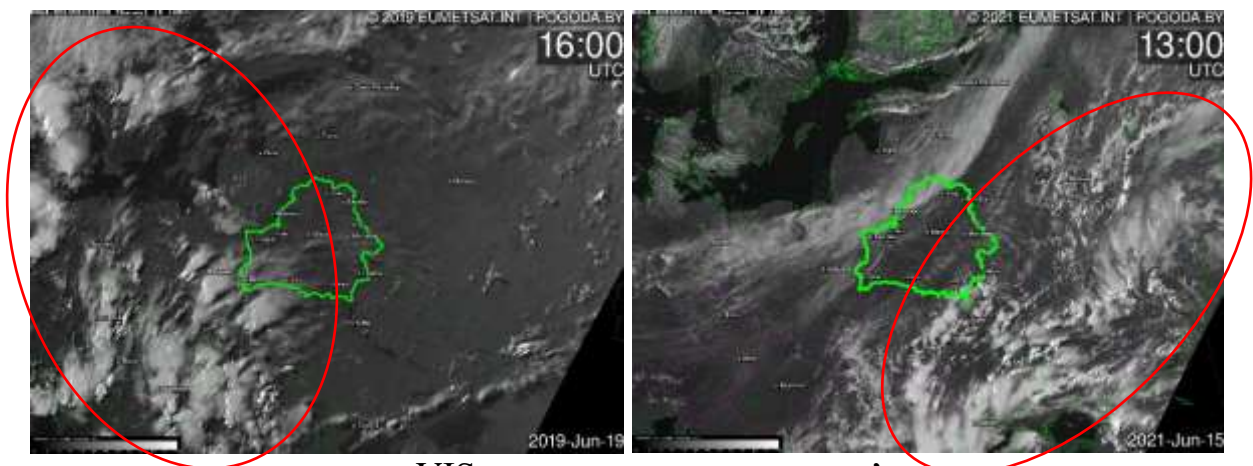
Рис.1.16. Купчасто-дощова хмарність на знімку МШСЗ, ch2+4

Основними ознаками для дешифрування зображень на **ТВ-знімках Св** є: найбільш яскраві тони – яскраво-білі, чітко окреслені контури хмарності, які добре розрізняються на фоні підстильної поверхні та хмарності інших типів, коливання горизонтальних розмірів, характерні викиди – шлейфи ковадел перистої хмарності. Шлейф перистих хмар спостерігається при наявності вертикального зсуву вітру. У цьому випадку навітряний край Св хмари різкий, а підвітряний, куди відбувається знесення

перистих хмар, розмитий. Шлейф простирається за напрямом вітру на рівні хмар, в результаті за зображенням Сб можна визначати напрямок повітряних потоків у верхній тропосфері – рис.1.17.



VIS



VIS, висока просторова розв'язка

Рис.1.17. Зображення купчасто-дощової хмарності зі шлейфами перистих хмар на знімках МШСЗ

На ІЧ-знімках Сб утворюють яскраві білі плями з чіткими межами. Сб зустрічаються як ізольовані, так і в сполученні з іншими формами. У випадку сполучення границя їх виражена різко: вони виявляються по тінях, створюваних вершинами, яскраво-білі куполи яких виступають на більш темному фоні. У випадку відсутності тіней Сб орієнтуються по яскравості їхнього зображення на знімках – рис.1.19. Вони можуть спостерігатися в тилу циклона в нестійкому холодному повітрі, а також в антициклоні і розмитому баричному полі влітку.

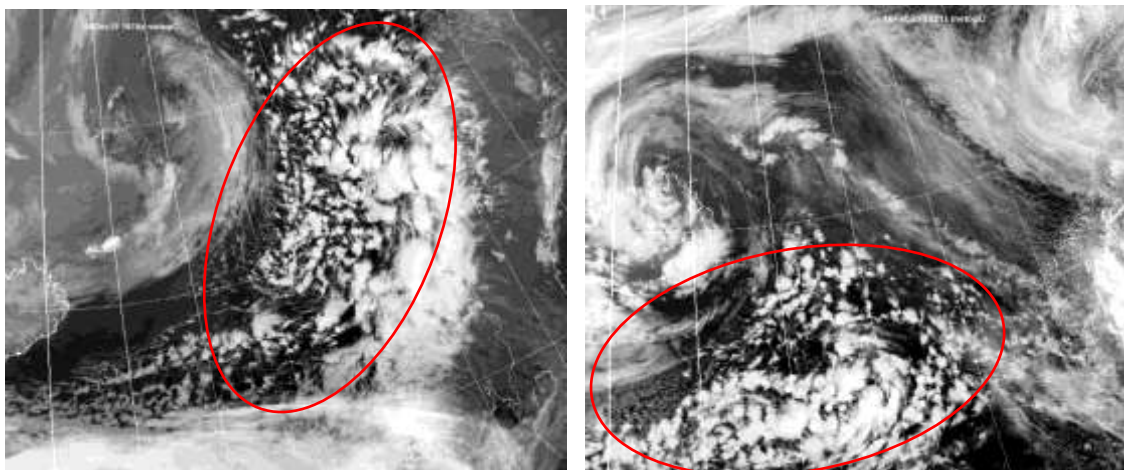


Рис.1.19. Зображення купчасто-дощової хмарності на ІЧ-німках МШСЗ

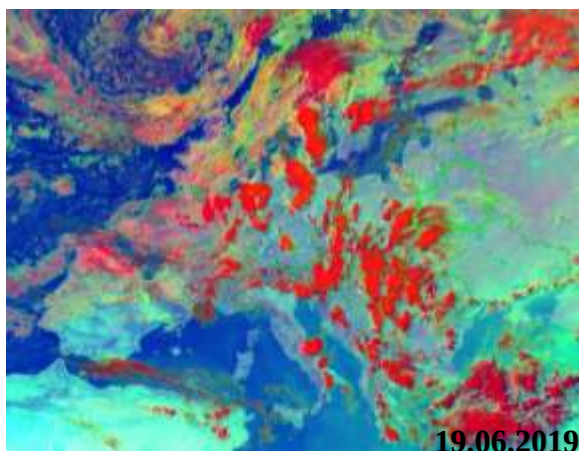
На знімках RGB різних комбінацій Сб виразно простежуються за кольоровим позначенням відносно хмар інших типів з чітким виділенням зернистої та куполоподібної текстури і викидами Сі - рис.1.20.



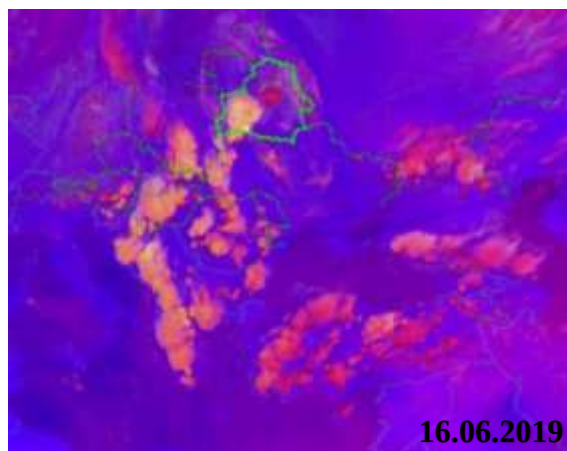
RGB ch1+2+4



RGB Natural Colour



RGB Day Microphysics



RGB Convective Storms

Рис.1.20. Зображення Сб хмарності на комбінованих знімках МШСЗ

Шаруватоподібна хмарність на знімках утворюється шарувато дощовими, шаруватими, високо-шаруватими і перисто-шаруватими хмарами. Поля шаруватоподібної хмарності мають здебільшого значні горизонтальні розміри, **матову текстуру і тон від білого до сірого** в залежності від вертикальної протяжності і висоти Сонця.

На знімках ІЧ тон шаруватоподібної хмарності змінюється від білого до темно сірого. Білий тон має шарувато-дощова фронтальна хмарність, а світло-сірий тон спостерігається в Ас. Низькі шаруваті хмари на ТВ зображуються рівним білим або світло-сірим тоном, а на ІЧ – сірим або темно- сірим («чорні хмари») – рис.1.21.

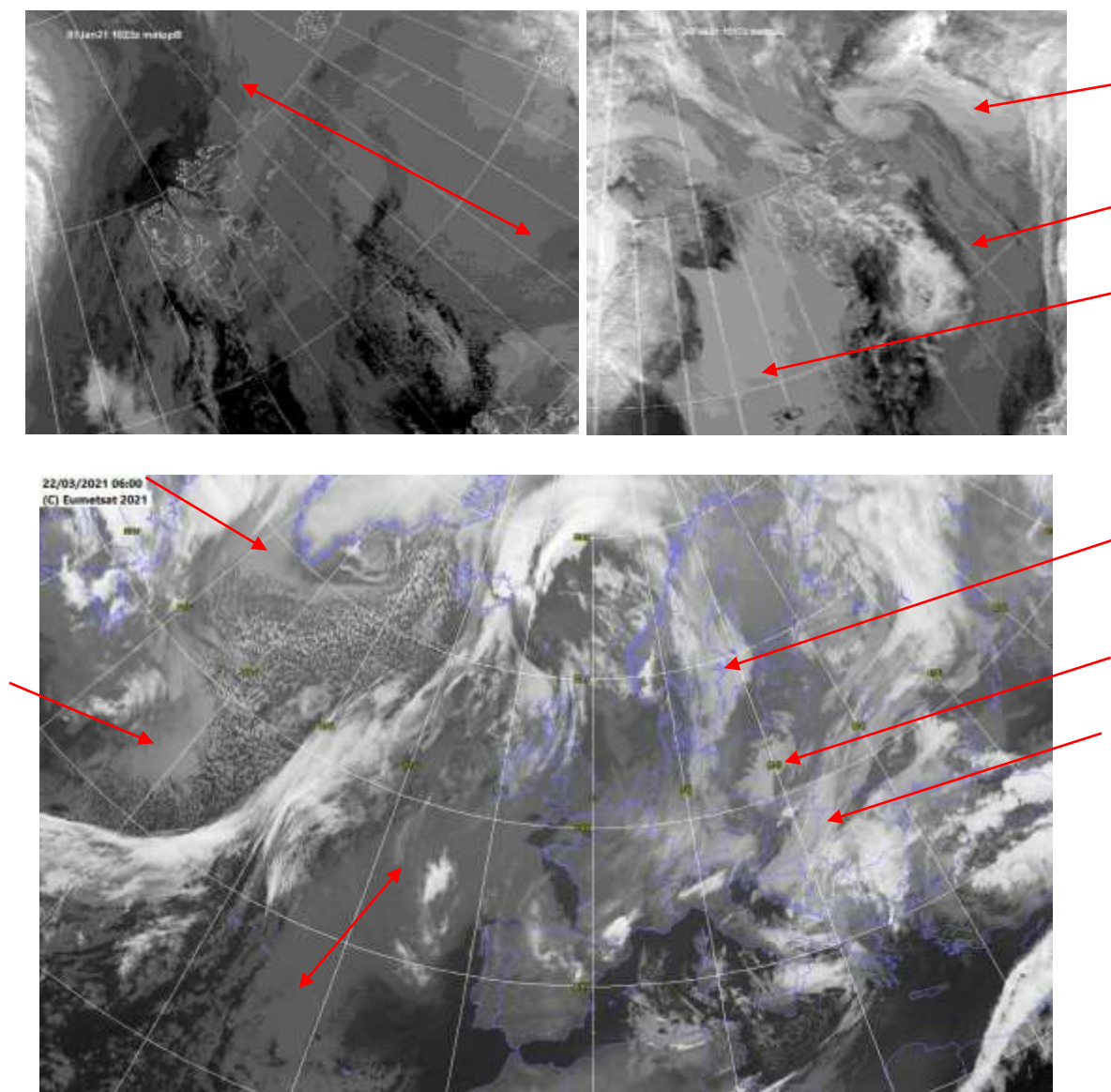


Рис.1.21. Поля шаруватоподібної хмарності на ІЧ-знімках МШСЗ

Найчастіше шаруватоподібна хмарність спостерігається в області теплих і оклюдованих фронтів, а також в антициклонах у холодну половину

року. Межі поля шаруватих хмар значною мірою визначаються характером підстильної поверхні, її рельєфом.

Найбільшу яскравість на ТВ-знімках мають N_s , меншу - A_s (рис.1.22).

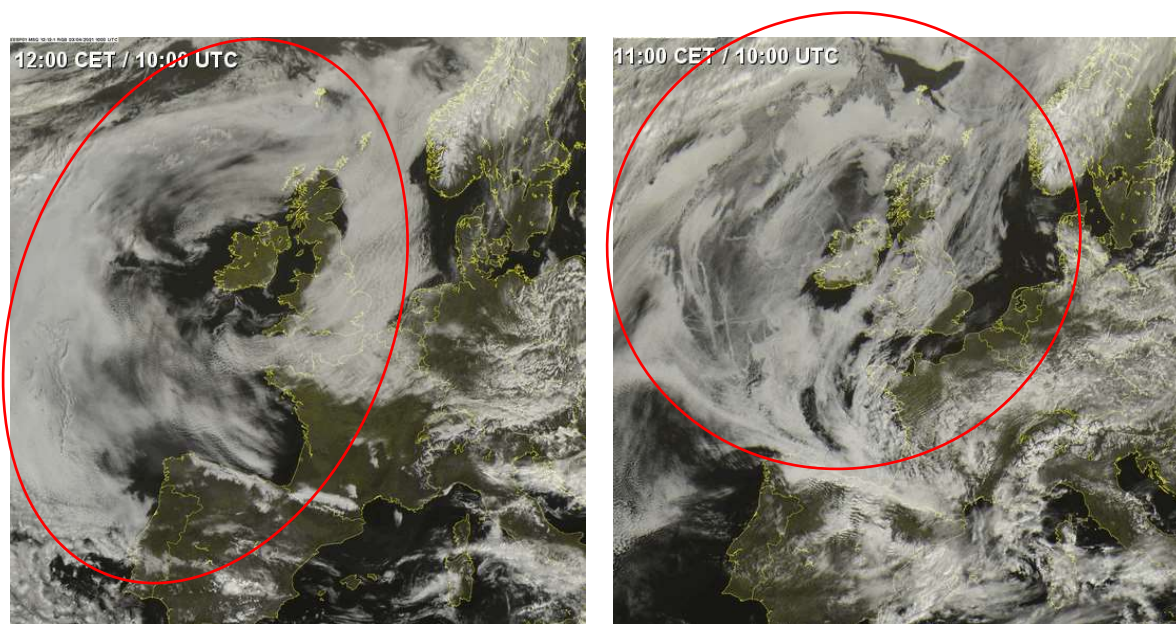


Рис.1.22. Поля шаруватоподібної хмарності на ТВ-знімках МШСЗ

Шаруватоподібна хмарність часто спостерігається у сполученні з купчастою. У цьому випадку матовий тон зображення, характерний для шаруватої хмарності, буде дещо викривлений *вкрапленнями зернистих або більш великих хмарних елементів округлих форм*. Приклад на рис.1.23 ілюструє у відтінках жовтого кольору масштабні поля шаруватоподібної хмарності в поєднанні з купчастою зернистою текстурою.

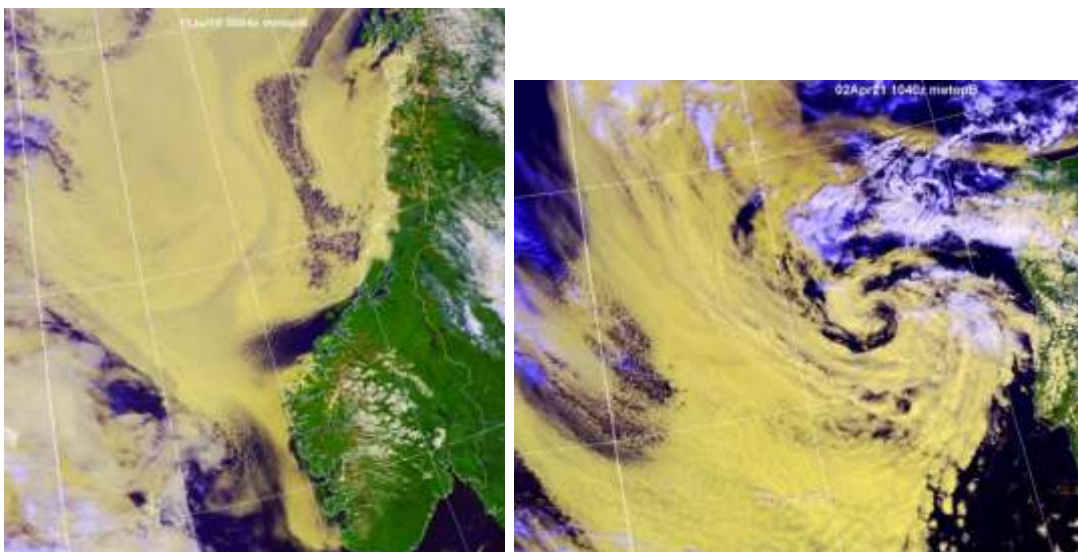
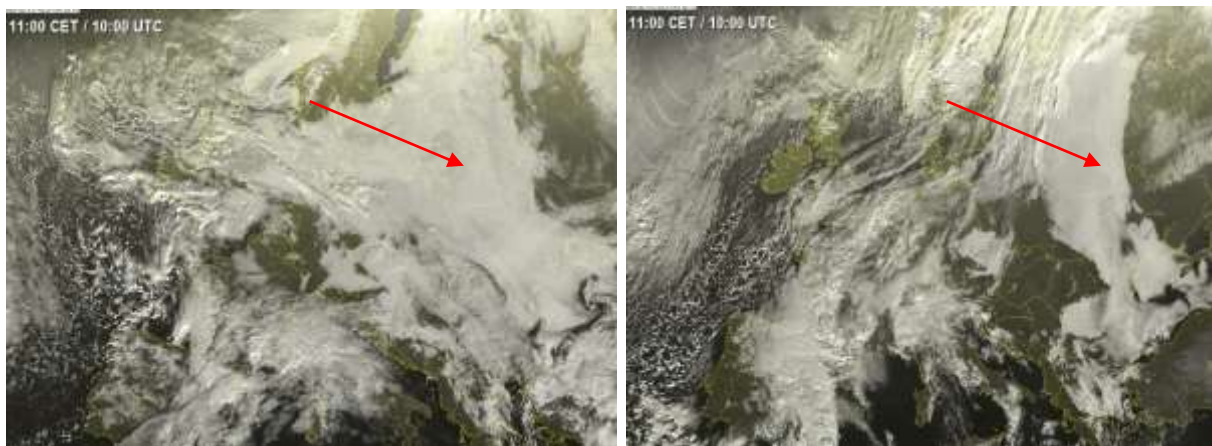


Рис.1.23. Шаруватоподібна та купчастоюібна хмарність на знімках RGB ch1+2+4

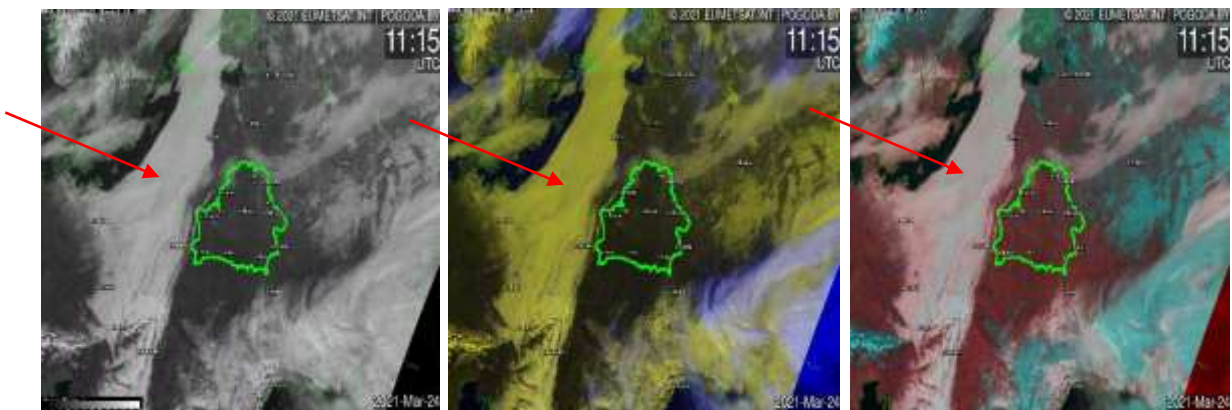
Туман на ТВ знімках має матову текстуру і однорідний тон, який змінюється від світло-сірого до білого – рис.1.24. Таким чином, за своїми характеристиками туман подібний до шаруватої хмарності.

Відрізнити туман від хмарності можна за такими ознаками:

- а) чіткі межі без волокнистої текстури;
- б) межі туману, який виник біля берегів річок, озер, морів, повторюють контури берегових ліній;
- в) навіть незначні орографічні підвищення можуть знаходитись вище поверхні туману і на ТВ-знімку мати вид темних об'єктів.



VIS



VIS, висока просторова розв'язка

RGB ch1+2+4

RGB fog

Рис.1.24. Зображення туману на знімках МШСЗ

На ІЧ-знімках туман практично не розпізнається. Тільки при значних приземних інверсіях, коли температура на поверхні туману вища від температури підстильної поверхні, туман має більш темний тон, це, так званий, «чорний туман» - рис.1.25.

Відрізнити туман від шаруватої хмарності допомагає сумісне дешифрування ТВ та ІЧ-знімків.

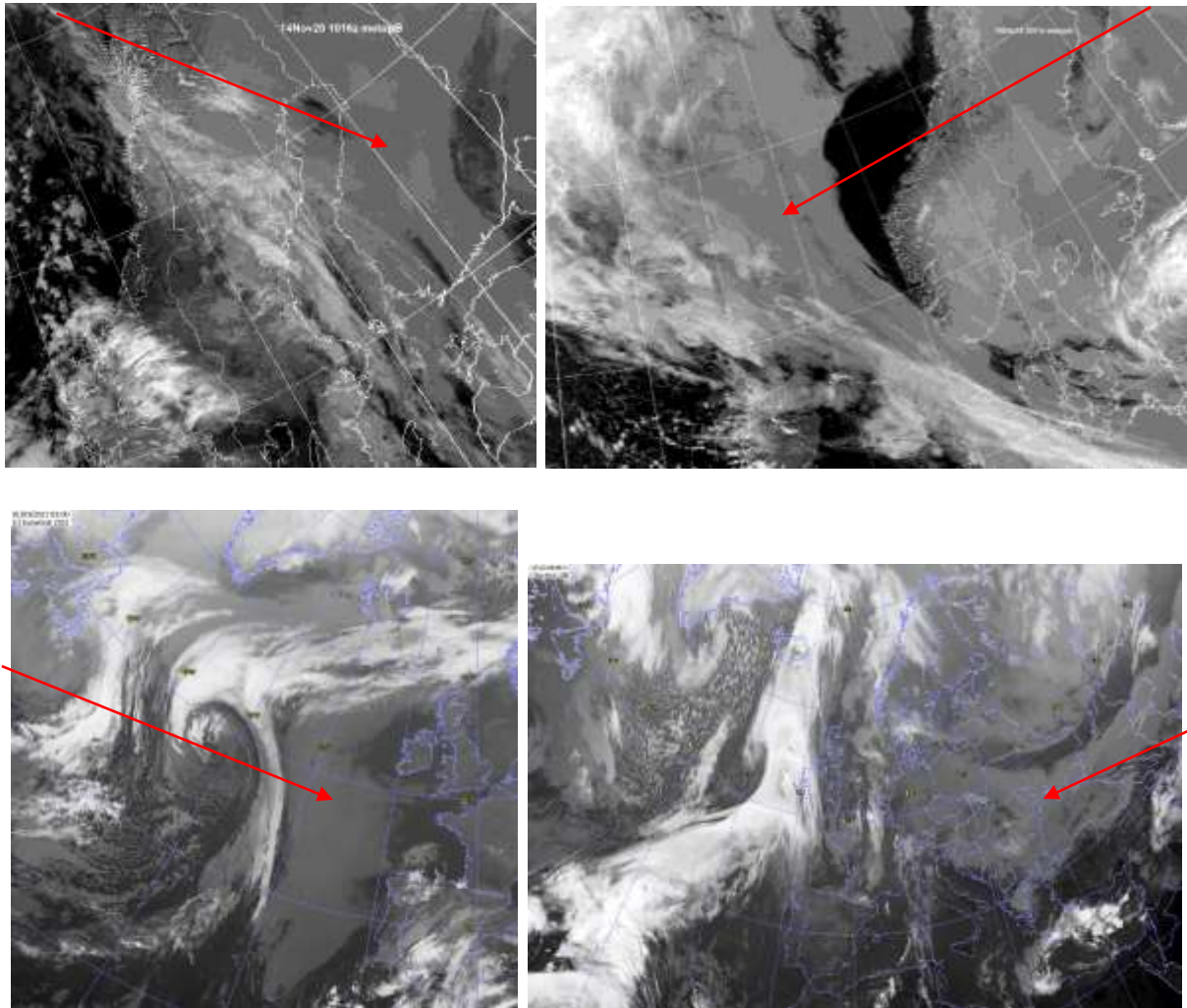


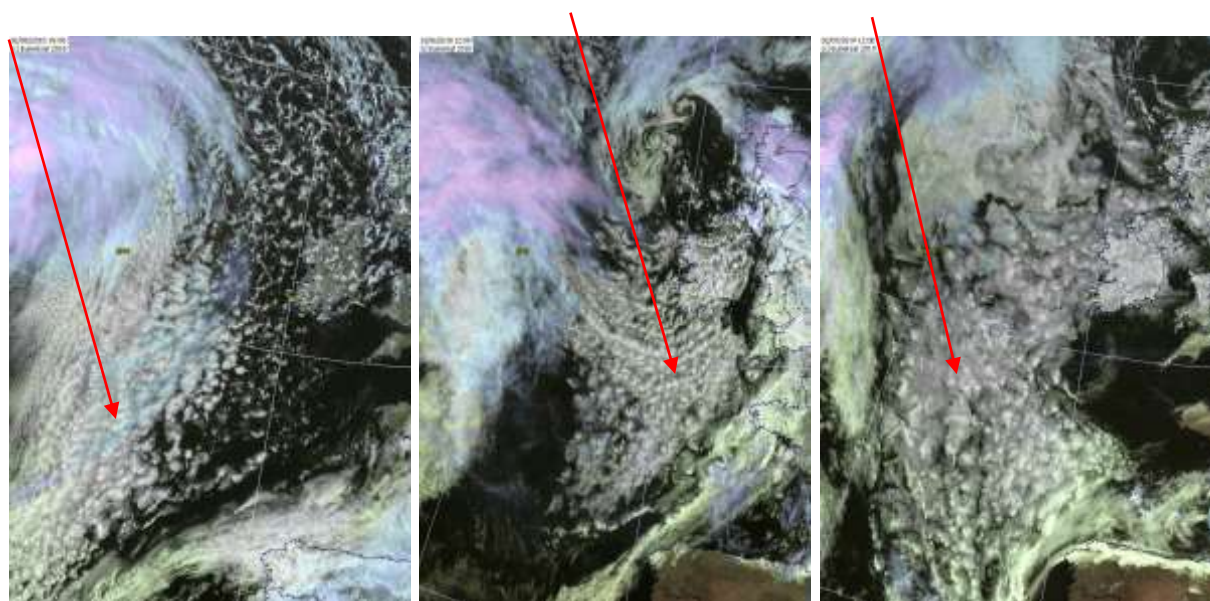
Рис.1.25. Зображення туману на ІЧ-знімках МШСЗ

Адвективний туман над океанами може мати також смугову структуру, що нагадує перисту хмарність. Щільний туман легко розпізнається навіть на фоні снігу, оскільки закриває контури підстильної поверхні, і може проглядатися крізь тонку хмарність. Слабкий (просвічуваний) туман виявляється на знімках тільки за відсутності снігу та хмарності. Світло-сіра завіса туману над невеликими водними басейнами створює іноді враження світіння води на зразок сонячного відблиску.

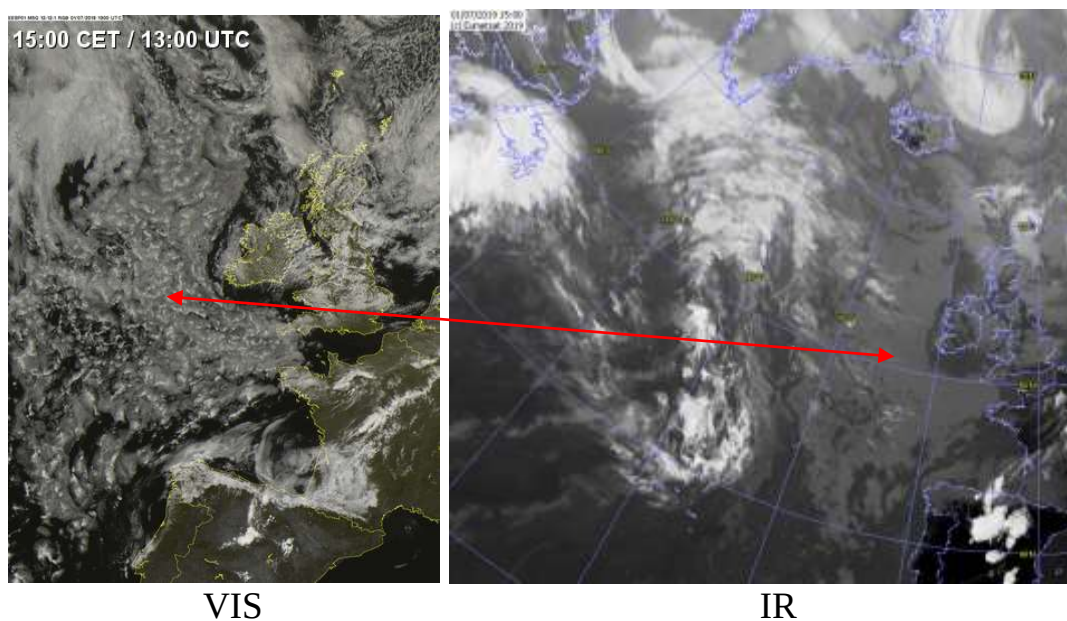
Шарувато-купчастоподібна хмарність утворюється тільки шарувато-купчастими хмарами *Sc*, організованими у **закриті осередки**.

На ТВ-знімках тон шарувато-купчастої хмарності змінюється від білого до світло-сірого, а на ІЧ-знімках – від світло-сірого до темно-сірого, причому часто окремі елементи не розрізняються і тому хмарність має вид суцільного сірого покривала. **Текстура зображення *Sc* зерниста**, хмари мають вигляд великих або дрібних гранул. Розміри окремих елементів хмарності коливаються від 10 до 100 км і залежать від інтенсивності розвитку турбулентності. Шарувато-купчаста хмарність є однією з

найбільш поширених різновидів як над водною поверхнею, так і сушею. Іноді ця хмарність на знімку виглядає у виді поля ізольованих плям, що розпливлися, у центрі яких, як правило, простежується відносно яскраве утворення з більш потужних хмар – рис.1.26.



ch2+4



VIS

IR

Рис.1.26. Зображення шарувато-купчастої хмарності на знімках МШСЗ

Перистоподібна хмарність утворюється всіма видами **перистих хмар**. Тон хмарності на ТВ-знімку – від світло-сірого до сірого, на ІЧ-знімках від сірого до білого, що залежить від вертикальної протяжності хмарності. Через низьке альbedo периста хмарність незадовільно простежується на ТВ-знімках. Текстура зображення переважно

волокниста, рідше матова для більш щільної хмарності – рис.1.27. Смуги щільних перистих хмар часто дають тінь на хмари нижнього і середнього ярусів або засніжену поверхню землі. На знімках комбінації ТВ+ІЧ (ch2+4) викиди (вимети) перистих хмар задовільно простежуються у відтінках фіолетового кольору, як правило, це складова фронтальних хмарних систем.

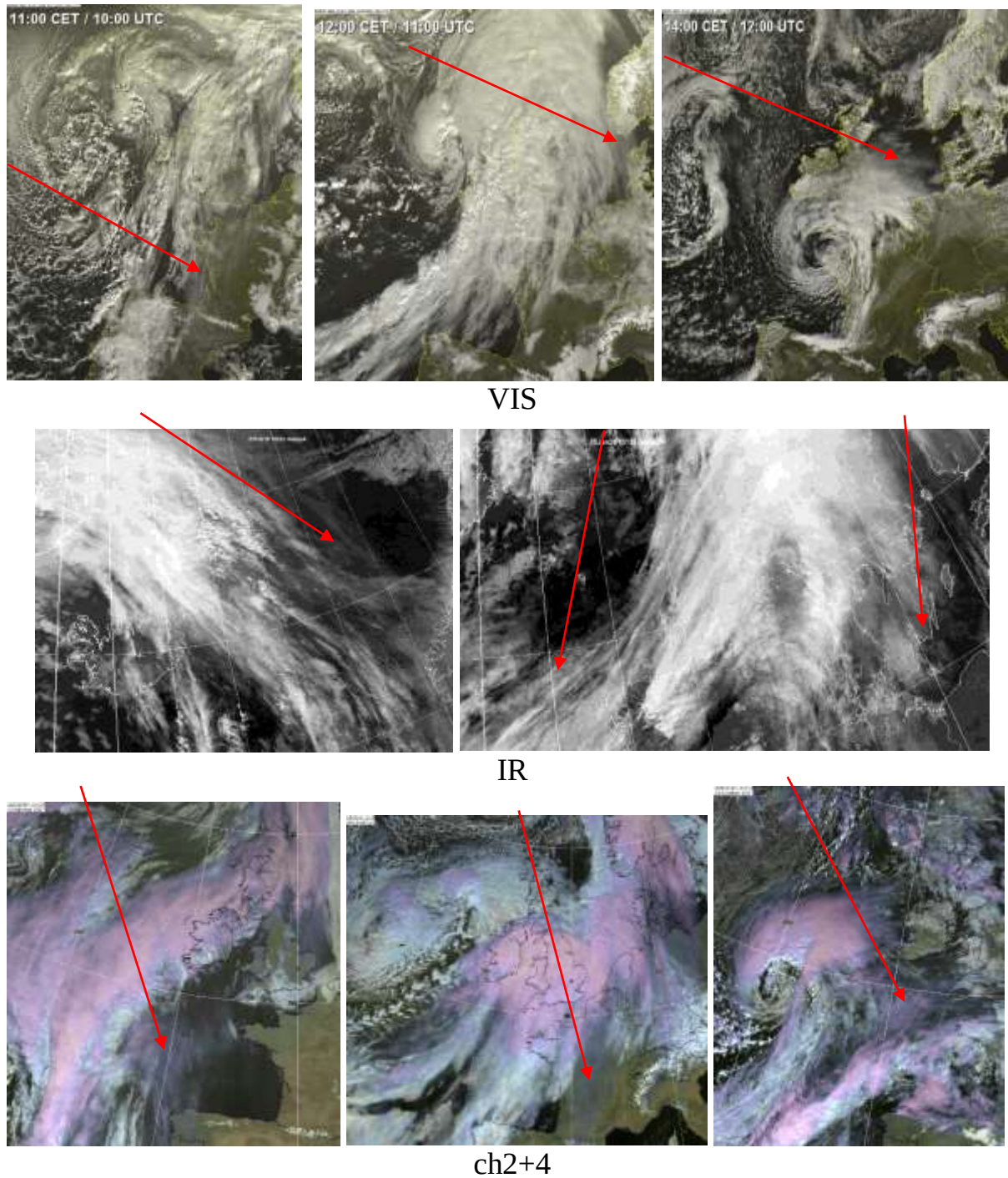


Рис.1.27. Зображення перистоподібної хмарності на знімках МШСЗ

Чітко виділяється волокниста текстура тонких перистих хмар на комбінованих знімках RGB ch1+2+4 у відтінках блакитного кольору – рис.1.28.

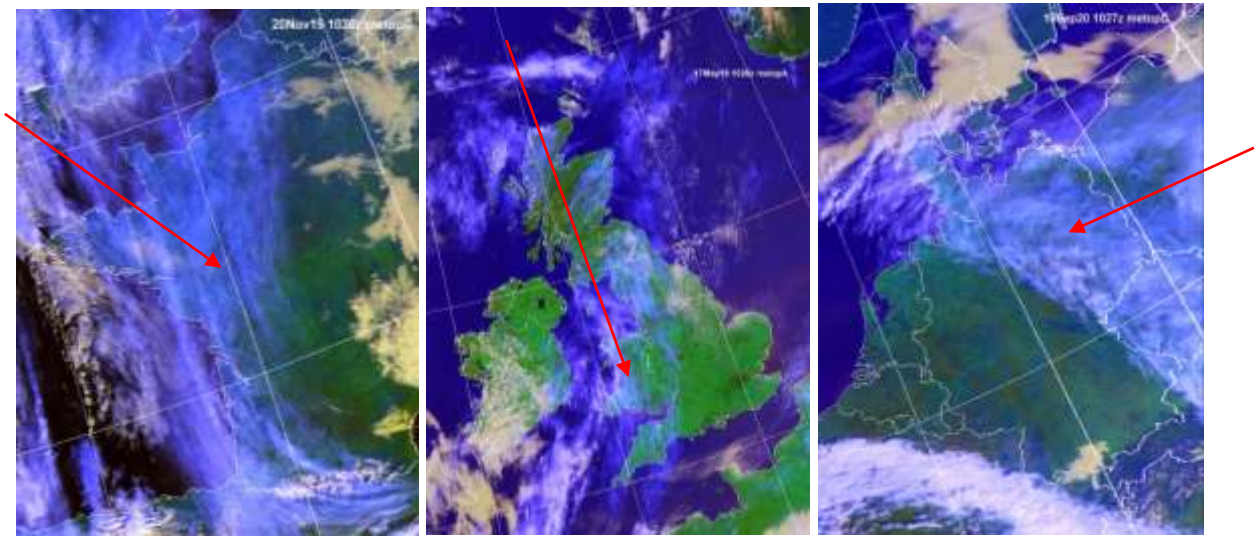


Рис.1.28. Зображення перистоподібної хмарності, RGB ch1+2+4

Помилково до перистоподібних хмар можуть бути віднесені не тільки перисті хмари, але і хмарні поля інших форм, що мають аналогічну структуру. Істотну допомогу в розпізнаванні хмар відіграє знання географії місцевості.

1.4 Зображення підстильної поверхні на космічних знімках

Підстильна поверхня є одним із факторів, які тією або іншою мірою впливають на дешифрування хмарності. **Основні ознаки розпізнавання об'єктів суші - сталість контурів цих об'єктів на всіх знімках**, а також їхній збіг з відповідними контурами на географічній карті.

Важлива роль зображення деталей підстильної поверхні полягає в тому, що вони допомагають найбільш точній орієнтації при географічній прив'язці хмарних систем на знімку. При відсутності хмарності об'єкти суші на знімку можна виділити, якщо розміри перевищують роздільну здатність знімка, за контуром між ними і фоном, а також за характерною структурою зображення (подробиці зображення берегової лінії, елементів рельєфу).

Космічні знімки в ТВ-діапазоні дозволяють розпізнавати основні типи земної поверхні, які чітко відрізняються один від одного за відбивною здатністю: вода (альbedo 10-15%); пустелі (альbedo 28-35%); засніжені ділянки (альbedo 50-70%).

Для зображення підстильної поверхні на ІЧ-знімках зазвичай характерні темні плями (ділянки). Контрастність таких зображень

варіюється в межах 2-3 градації яскравості, що дозволяє при відповідних перепадах температур відрізнити гірські райони від рівнин, виділити берегову лінію, долин великих річок, межі щільного морського льоду. Деякі об'єкти внаслідок добового ходу температури виглядають темними вдень і світлими – вночі.

Картина залягання снігового покриву добре простежується на космічних знімках. Про наявність або відсутність снігового покриву свідчать контрасти тону, текстури, структури зображення, відображення на знімках фізико-географічних деталей району. Межа снігового покриву більш контрастна на рівнинній території.

На ТВ-знімках підстильна поверхня, вкрита снігом має світліший тон, що практично не відрізняється яскравістю від хмар – рис.1.29.

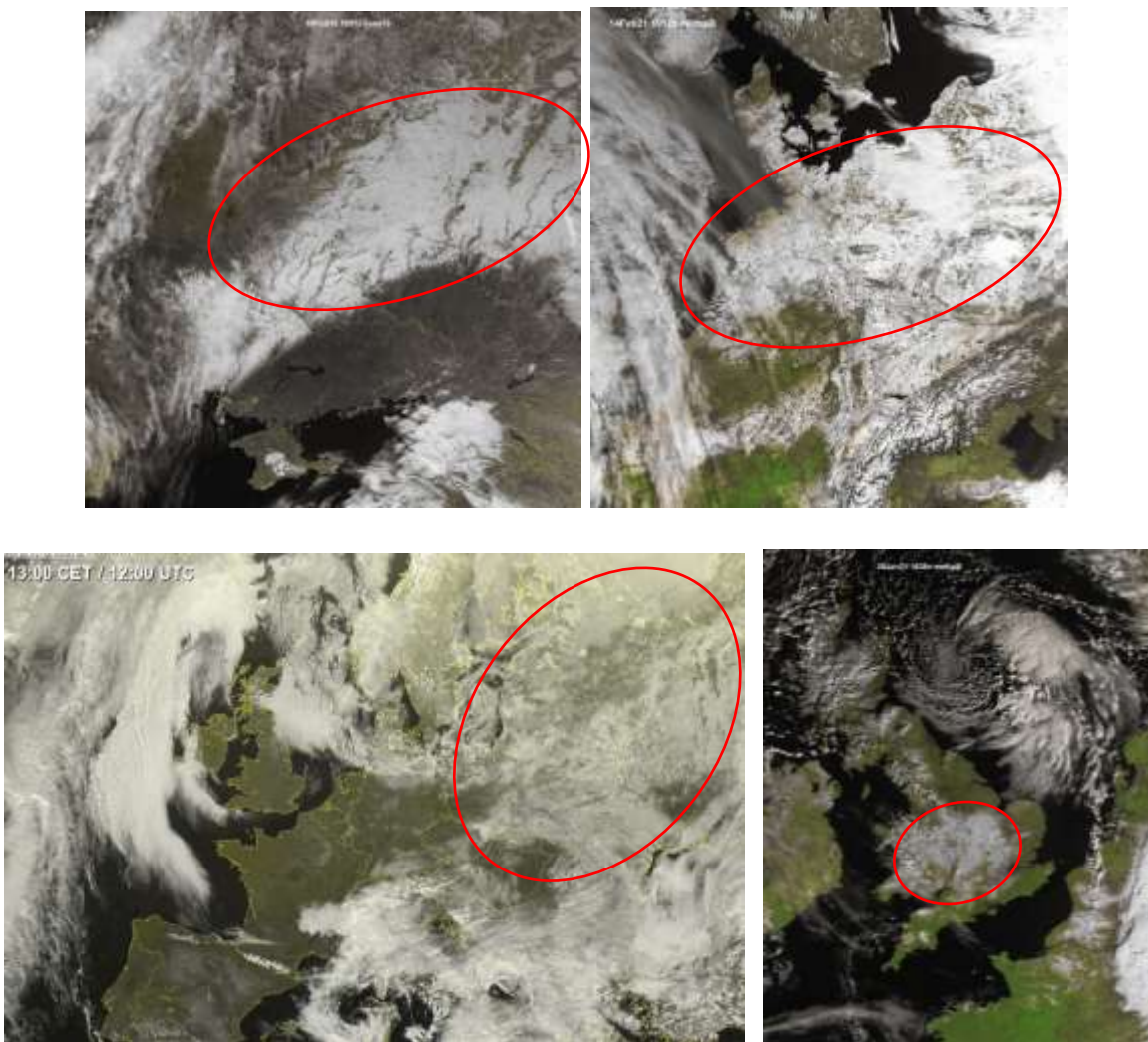


Рис.1.29. Зображення снігового покриву суші на ТВ-знімках МШСЗ

В залежності від ландшафтних особливостей місцевості, вкритої снігом, можна виділити кілька структур зображення: розгалужену (розчленований гірський рельєф; сітчасту (заболочена місцевість);

плямисту (райони з великою кількістю озер та щільною але слабо розгалуженою річковою мережею); полігональна (мало розчленовані гірські системи); тріщиноподібна (рівнини зі слабо розвиненою річковою мережею). **Границі залягання снігового покриву на знімках проглядаються у виді безперервної лінії, тоді як границі хмарності, як правило, розірвані.** Різний ступінь метаморфізму снігового покриву сприяє зміні рівня відбивної здатності: мінімум відображення відповідає довжині хвилі 1,45 мкм; свіжий і дрібнозернистий сніг має локальні піки відображення 1,8 і 2,25 мкм.

Інтенсивність власного випромінювання снігового покриву на ІЧ знімках залежить від його яскравісної температури - рис.1.30.

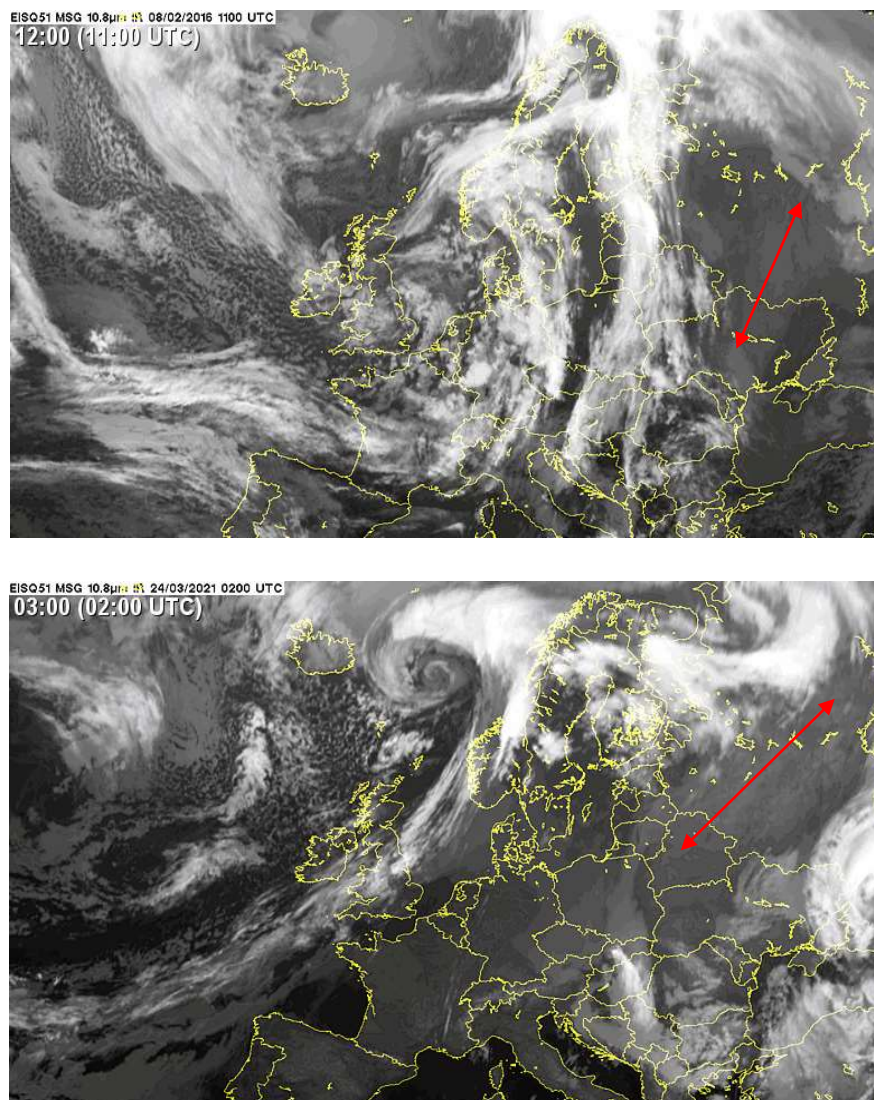


Рис.1.30. Зображення снігового покриву суші на ІЧ-знімках МШСЗ

Значно виразніше і безпомилково сніговий покрив суші простежується на різних типах комбінованих знімків RGB в результаті своєрідного колірного відтворення. Наприклад, на знімках RGB ch1+2+4 це

відтінки жовтого, на RGB Natural Colour, Fog - яскраво-бірюзовий тон зображення, на RGB Day Microphysics – яскраво-малиновий (рис.1.31).

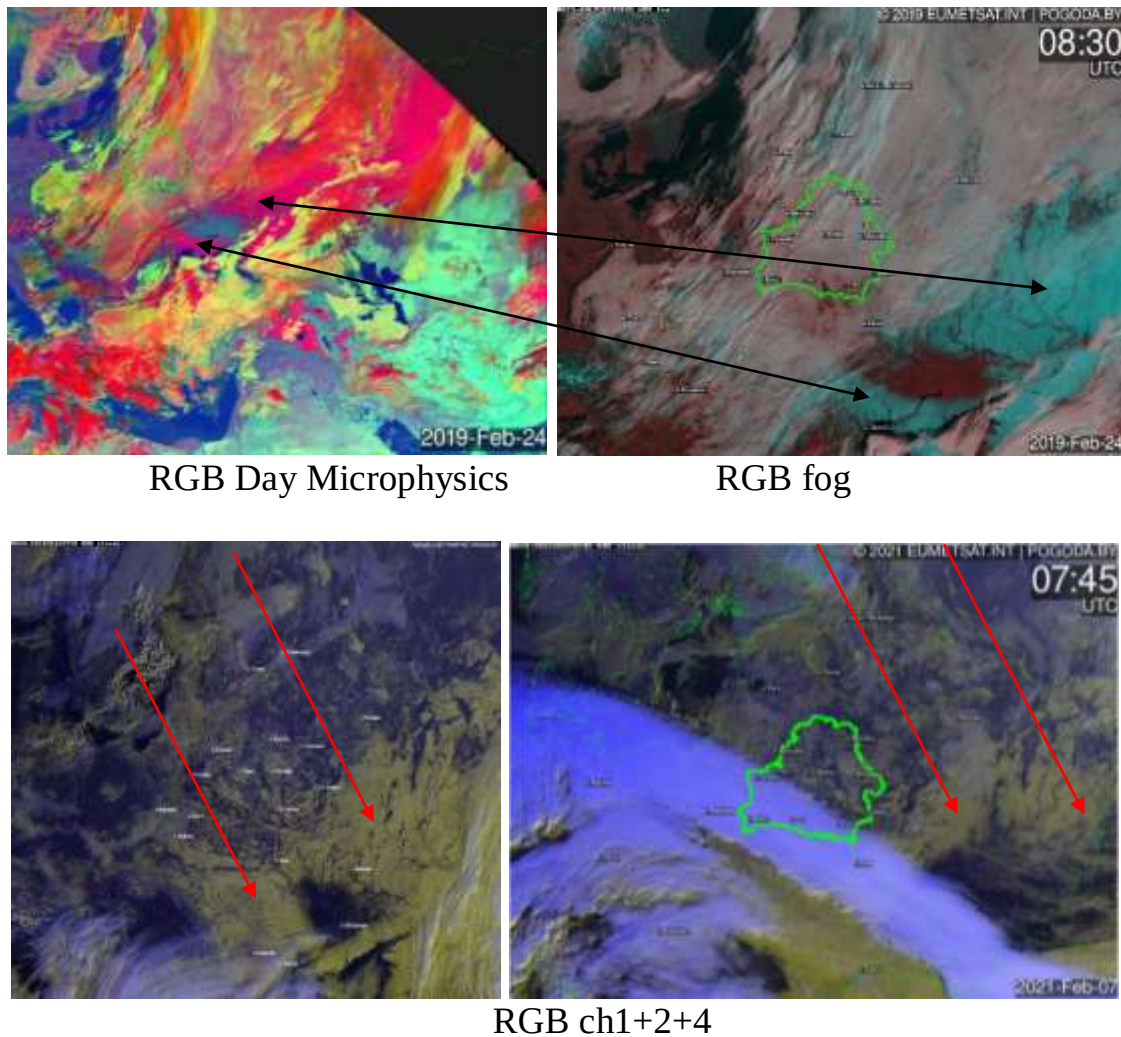


Рис.1.31. Зображення снігового покриву на комбінованих знімках

Значні труднощі виникають при дешифруванні хмарності, коли підстильна поверхня покрита снігом і льодом. Тон засніжених берегів завжди світлий і різко контрастує з темним зображенням незамерзлих заток і морів. Обриси засніженого берега на фоні припаю практично не відрізняються на знімках. На світлому засніженому фоні значно складніше розпізнавати хмарність, особливо з матовою текстурою і білим тоном – рис.1.32. При цьому тон зображення засніжених об'єктів може змінюватися в досить широких межах - від білого до темно-сірого, у залежності від потужності і стану покриву (сухий, талий), рельєфу місцевості, наявності і видового складу рослинності, умов зйомки. В результаті, **при існуванні снігового покриву основним видом супутникової інформації є ІЧ-знімки.**

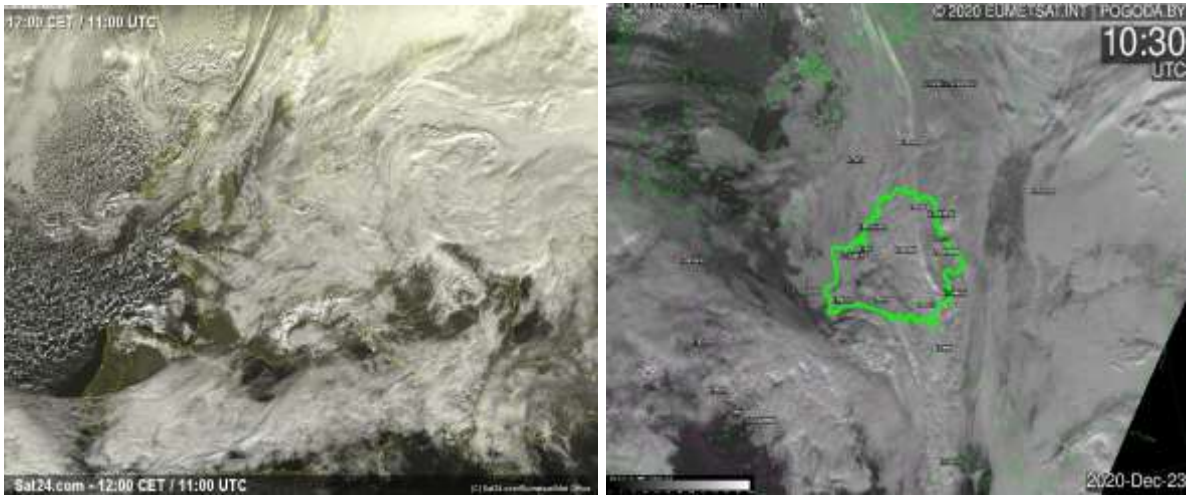


Рис.1.32. Супутникові знімки хмарності МШСЗ, ТВ-діапазон

Лід на річках і водосховищах характеризується відносною однорідністю, більшою прозорістю і більш гладкою поверхнею. Альbedo такого покриття 36-40%, а наявність на ньому води шаром 15-20 см знижує альbedo до 26%.

Льовий покрив на морях має практично таку ж яскравісну характеристику як і сніговий покрив у БІЧ-діапазоні внаслідок сильного поглинання світлових хвиль, тобто його відбивні характеристики залежать від віку льоду, вологості, фактури та форми поверхні, висоти Сонця.

За знімками МШСЗ можна розпізнати припай, дрейфуючий лід, окремі скупчення дрейфуючого льоду, багаторічний лід – рис.1.33-1.34.

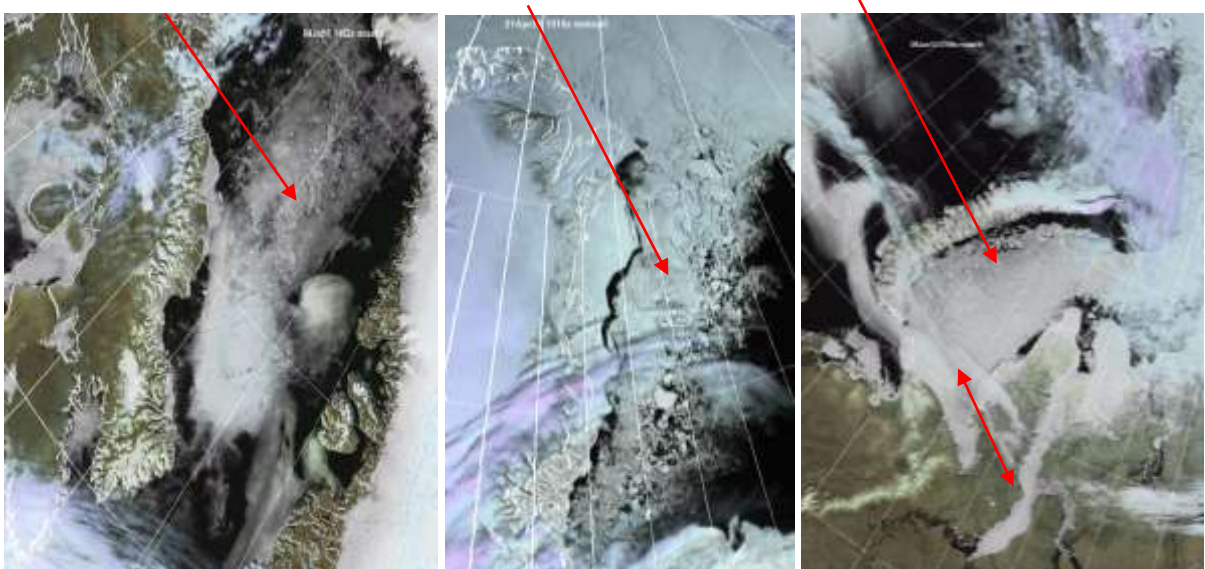


Рис.1.33. Зображення льодового покриття на знімках МШСЗ, ch2+4

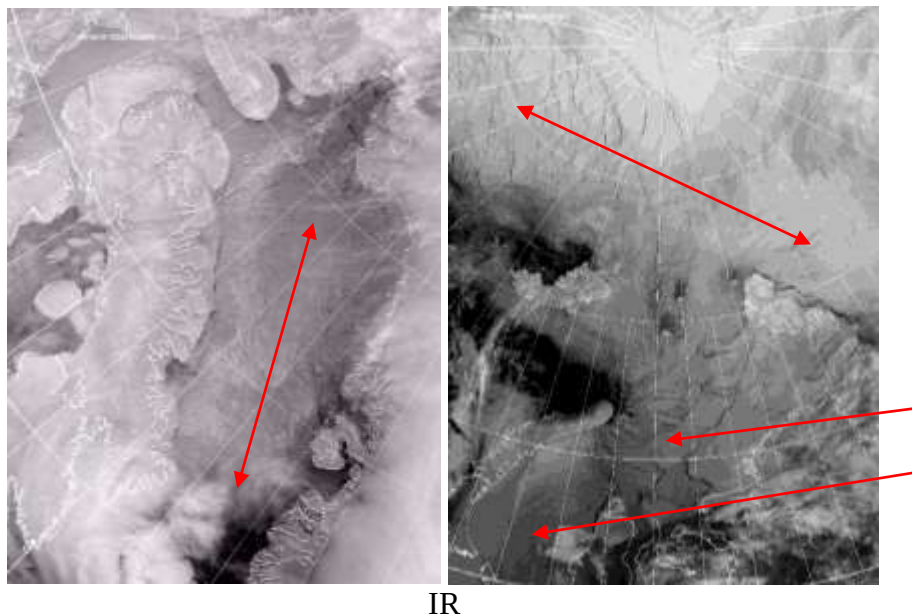
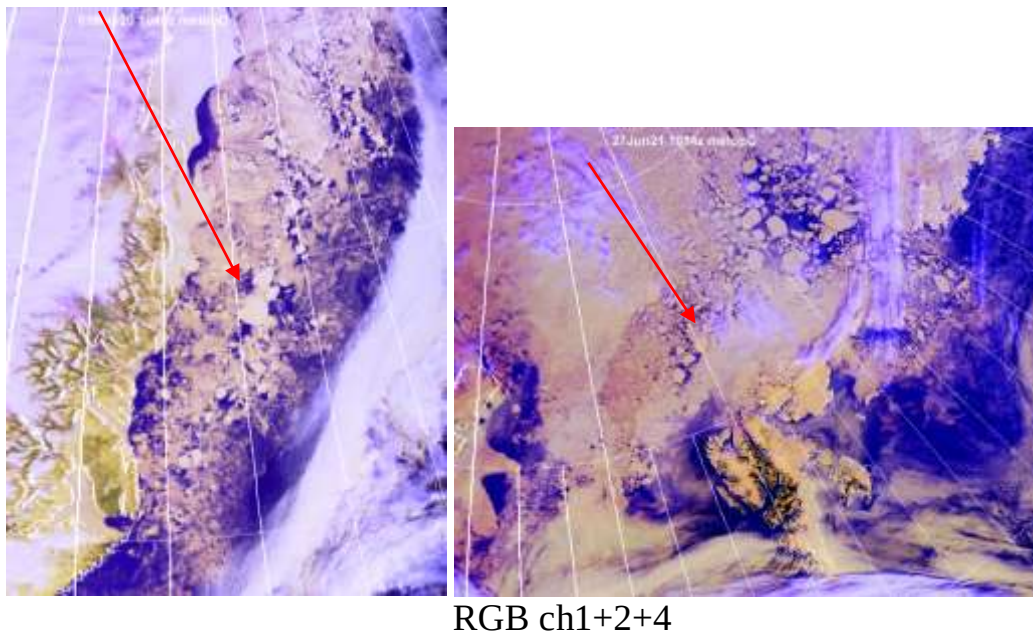


Рис.1.34. Зображення льодового покриву на знімках МШСЗ

Про вік льоду можна свідчити тільки за тоном зображення, який варіюється від темного до темно-сірого у випадку первинних форм льоду та до світло-сірого, білого для старого льоду. Так, зображення льоду товщиною 5 см має майже чорний колір, як і вода, 5–15 см – сірий, 5–30 см – світло-сірий, 30–70 см – майже білий, 70 см і більше – яскраво білий фототон.

2 ПОМИЛКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХМАРНОСТІ

Виділяють ряд об'єктів, які за зображенням на супутникових знімках МШСЗ, як базових, так і комбінованих каналів, подібні до різних форм хмарності, насамперед – перистоподібної.

2.1 Зображення гідро- та літометеорів

На супутникових знімках високої роздільної здатності в ТВ-діапазоні можна виявляти гідро- та літометеори - **завислі у повітрі частки піску та пилу**, які переносяться вітром, у разі, якщо шар цих часток щільний та потужний, а їх альbedo значно відрізняється від альbedo підстильної поверхні. Пилові та піщані потоки (вихори) на знімках МШСЗ виглядають сірим покривалом на фоні темної водної поверхні і яскраво білого чи білого тону хмарності на ІЧ знімках; контури пилових (піщаних) потоків є нечіткими, характерною ознакою зображення є шлейфи пилу світло-сірого тону, орієнтовані за напрямком вітру – рис.2.1 – 2.2.

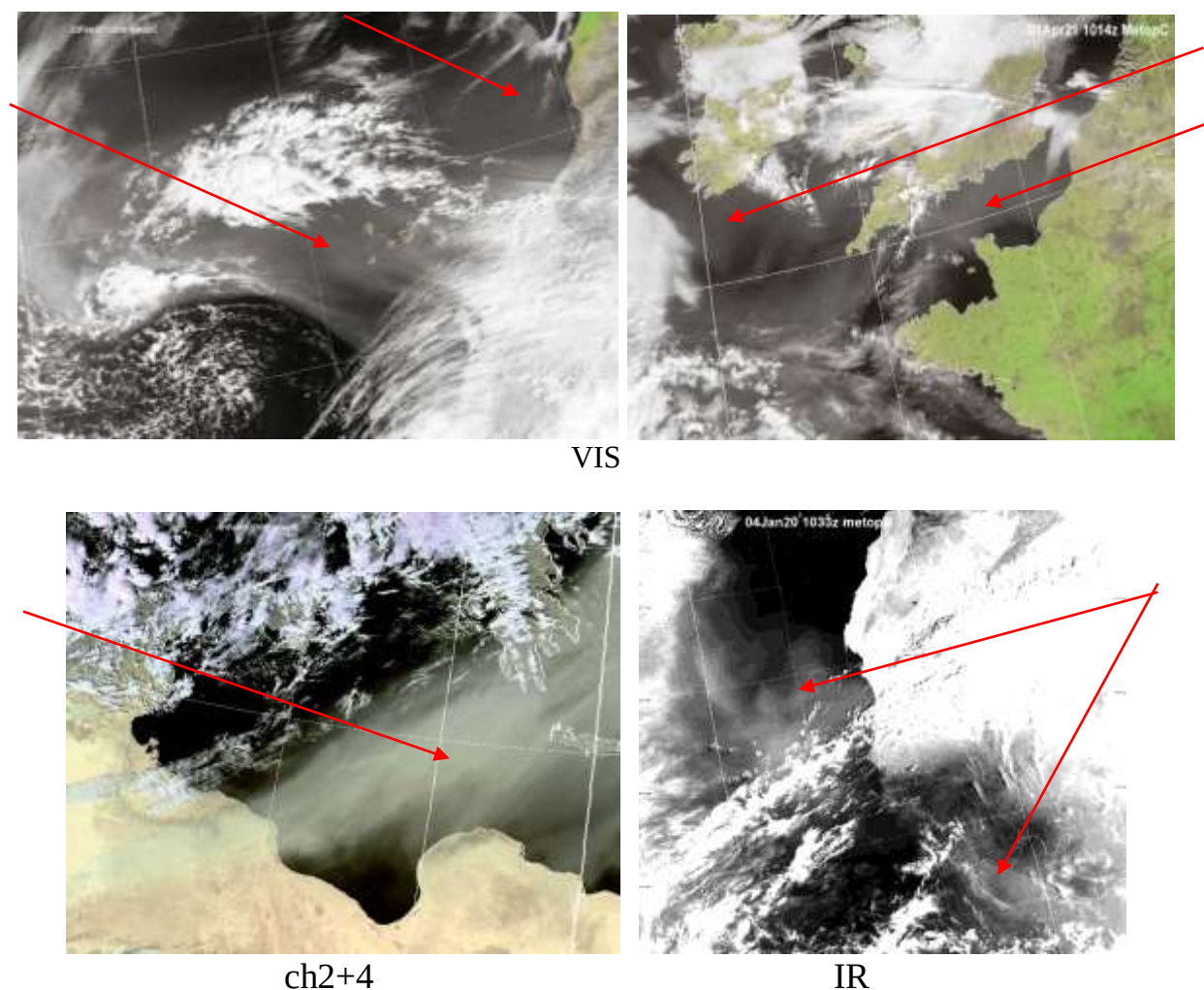


Рис.2.1. Зображення пилових потоків на знімках МШСЗ

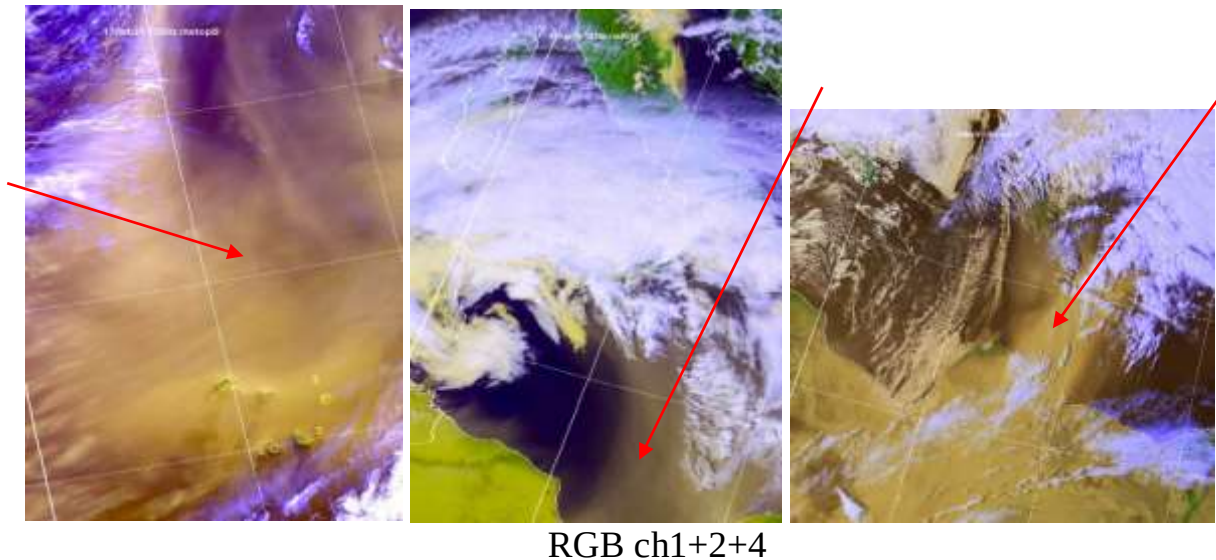


Рис.2.2. Зображення пилових потоків на комбінованих знімках МШСЗ

2.2 Конденсаційні сліди літаків та трасові доріжки кораблів

Конденсаційні сліди літаків (Contrail). *Конденсаційні доріжки є штучними крижаними хмарами, сформованими літаками на висоті близько 10-13 км в атмосфері. Їх можна відрізнити від природних хмар, у першу чергу через їхню лінійну орієнтацію паралельно траєкторіям польоту.*

В міру зниження температури максимальна кількість водяної пари в повітрі, стає значно меншою - будь-який надлишок водяної пари конденсується і утворюються хмари. Спалювання 1 кг гасу в двигуні літака утворює 1,25 кг водяної пари і 3 кг CO₂, а також певну кількість оксиду азоту і сажі. У той час як ця додаткова водяна пара буде незначною у порівнянні з фоновою кількістю на рівні землі, поблизу тропопаузи вона часто приводить до конденсації за літаком.

Формування цих слідів стає більш ймовірним, чим холодніше навколишнє повітря. Вони часто видні на супутникових знімках, як природні крижані хмари, у результаті їхньої яскравості і низьких температур. За 30 хвилин або менше, конденсаційні сліди трансформуються в тонкі утворення, що поєднуються, утворюючи тонку білу вуаль або «підроблені хмари», що зберігаються протягом декількох годин. Температура і вологість повітря впливають на довжину слідів, - коли повітря сухе, вони залишаються видимими всього лічені секунди або хвилини. Але коли повітря вологе, сліди зберігаються тривалий час - від 4-6 до 14 годин, розширюються, поки їх стане важко відрізнити від природних хмар. У залежності від висоти літака, а також температури і вологості атмосфери, доріжки можуть сильно варіюватися в їхній товщині і тривалості, і, отже, у відбивній здатності і випромінюванні. «Пухнаті ряди хмар», створювані

кількістю слідів, що збільшуються, іноді можуть заповнювати половину неба – рис.2.3.



11.04.2010, UK



01.03.2013, Portugal and Spain



14.12.2017, Florida



26.01.2020, Yellow Sea

Рис.2.3. Зображення конденсаційних слідів за літаками, RGB ch1+2+4

Сліди кораблів. Кораблі можуть залишати сліди в небі, подібно літакам, так звані, «*Ship trails*» - *треки кораблів*.

Трасові доріжки звичайно утворюються при конденсації водяної пари навколо дрібних часток. Кораблі стимулюють цей процес шляхом спалювання палива і викиду дрібних аерозольних часток, що виступають ядрами для формування нових хмар. Оскільки кораблі швидко рухаються через океан, ці хмарні ядра залишаються за ними, як доріжка.

Для формування таких хмарних доріжок необхідні 3 умови:

- 1) судно повинне випромінювати дрібні частки у вихлопі, що забезпечують хмарні ядра конденсації,
- 2) на шляху судна повинне бути дуже вологе повітря,
- 3) повітря, що оточує судно, повинне бути не турбулентним.

Хоча атмосфера над океаном містить природні аерозолі, такі як морська сіль і пил, кораблі викидають дуже концентровані пари. Ці краплі менші, ніж природні атмосферні аерозолі, а менші краплі відбивають більше сонячного світла, ніж великі. Таким чином, сформовані траси кораблів яскравіші природних хмар. Корабельні траси звичайно утворюються в районах, де присутні низькі шаруваті і купчасті хмари – рис.2.4.

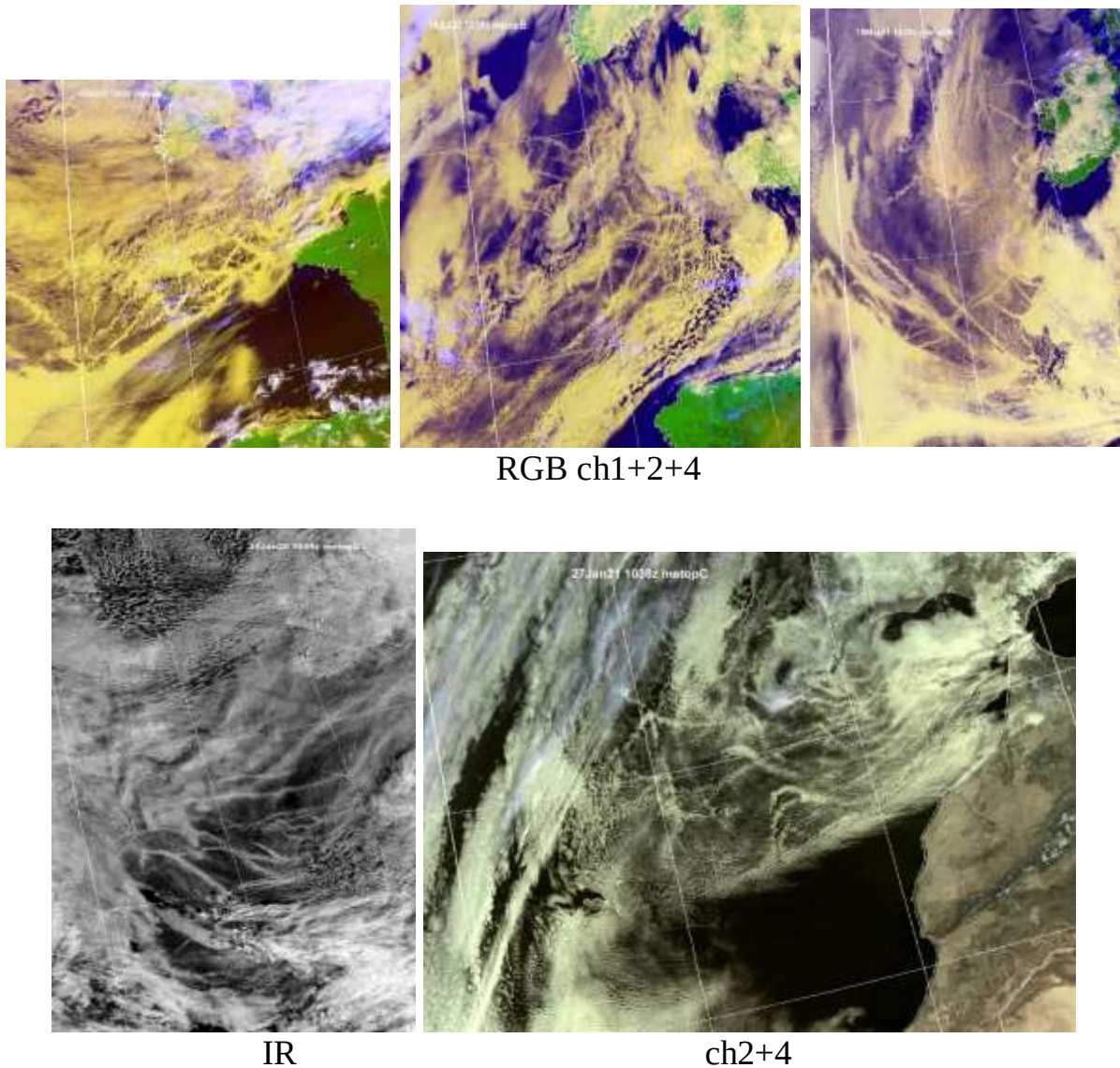


Рис.2.4. Зображення трасових доріжок кораблів на знімках МШСЗ

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Базові і комбіновані супутникові знімки. Дешифрування знімків МШСЗ.

ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ:

Додаток 1, що складається з 10 варіантів завдань, кожен варіант включає 5 знімків у різних спектральних діапазонах - архів викладений на сторінці сайту Е-навчання
<http://dpt17s.odeku.edu.ua/course/view.php?id=46>
<http://dpt17s.odeku.edu.ua/course/view.php?id=21>

ЗАВДАННЯ:

За обраним варіантом з «Додатку 1», скласти характеристику 5 знімків МШСЗ, представлених у різних спектральних діапазонах.

Зміст роботи:

Визначити загальні характеристики зображень об'єктів відповідно до кожного зі спектральних діапазонів:

- Охарактеризувати яскравість (відтінки, тони) зображення об'єктів у відповідності до спектральних каналів.
- Встановити текстуру об'єктів.
- Виділити особливості структури, розмірів, географічного розташування;
- Визначити типи хмарності, наявність зон туманів, стан підстильної поверхні (сніговий/льодовий покрив, замерзлі акваторії морів).

Навчально-методичне забезпечення: [1-6].

Питання для самоперевірки

1. Що визначає процедура дешифрування знімків МШСЗ?
2. Що включають прямі і непрямі дешифрувальні ознаки?
3. Перелічіть типи хмарності, що визначають за супутниковими знімками.
4. Які існують види текстури зображень на знімках МШСЗ?
5. Які особливості зображення купчасто-дощової, купчастоподібної, перистоподібної хмарності на знімках?
6. Як зображується на знімках шаруватоподібна хмарність і туман?
7. Як зображується на знімках шарувато-купчастоподібна хмарність?
8. Як зображується на знімках МШСЗ дендритова текстура об'єктів?
9. Які характеристики підстильної поверхні можливо розрізнити за допомогою МШСЗ?
10. Як зображуються на знімках конденсаційні сліди літаків, треки кораблів?

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. Герман М.А. Космические методы исследования в метеорологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 351 с.
3. Кудрянь О.П. Супутникова метеорологія: практика нефаналізу. Одеса: ОДЕКУ, 2001. 165 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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://terra.nasa.gov/Gallery/>
3. <http://www.eumetrain.org/>
4. <http://www.pogoda.by/eumetsat/>
5. <http://www.woksat.info/wos.html>
6. <https://eumetcal.eu/>
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>
11. <https://www.sat24.com/history.aspx>

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

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

блок «Супутникова метеорологія»
на тему

«Основи дешифрування супутникових знімків»

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