



**Б. В. Перелигін**

# **СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ**

**Конспект лекцій**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Б.В. ПЕРЕЛИГІН

## **СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ**

Конспект лекцій

Одеса  
“Екологія”  
2008

ББК 39.62  
П 27  
УДК (551.501.8+504.064.3)

*Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного екологічного університету ( протокол № 10 від 25.10.2007 р.)*

**Перелигін Б.В.**

Супутниковий моніторинг: Конспект лекцій. –Одеса: Екологія, 2008. – 130 с.

В конспекті лекцій коротко розглянуті питання фізичних і технічних основ одержання гідрометеорологічної інформації космічними методами, наводяться її характеристики, викладаються основи обробки космічних знімків в гідрометеорологічних цілях, розглядаються деякі питання використання даних супутникового моніторингу в інтересах метеорології, гідрології та океанології. Приділяється увага розгляду питань використання сучасних технічних засобів для одержання і обробки космічної гідрометеорологічної інформації.

Конспект лекцій призначений для студентів, магістрів, аспірантів гідрометеорологічного профілю.

© Одеський державний  
екологічний університет, 2008

**ЗМІСТ**

	стор.
ВСТУП.....	5
<b>1 Фізичні і технічні основи одержання гідрометеорологічної інформації космічними методами.....</b>	<b>15</b>
1.1 Основні поняття про рух штучного супутника Землі. Орбіти штучних супутників Землі.....	15
1.2 Фізичні основи одержання інформації про атмосферу і про гідросферу з космосу. Характеристика методів пасивного і активного дистанційного зондування.....	22
1.3 Космічні системи дистанційного зондування Землі.....	26
<b>2 Характеристика космічної гідрометеорологічної інформації.....</b>	<b>35</b>
2.1 Основні види космічної гідрометеорологічної інформації і вимоги, що ставляться до неї.....	35
2.2 Космічні знімки.....	37
2.3 Радіаційні, спектрометричні і мікрохвильові дані.....	43
<b>3 Основи обробки космічних знімків.....</b>	<b>45</b>
3.1 Етапи обробки космічних знімків. Особливості одержання зображень в різних ділянках спектра.....	45
3.2 Основні характеристики зображень.....	51
3.3 Основні методи дешифрування гідрометеорологічних об'єктів на космічних знімках.....	56
3.4 Фотокarti і карти нефаналізу.....	69
<b>4 Використання космічної інформації в метеорології.....</b>	<b>72</b>
4.1 Використання даних про хмарність для оцінки синоптичного положення.....	72
4.2 Оцінка стану рослинного покриву, посівів.....	87
<b>5 Використання космічної інформації в гідрології і океанології.....</b>	<b>96</b>
5.1 Визначення характеристик гідрологічних об'єктів дистанційним методом.....	96
5.2 Визначення поля температур поверхні океану.....	102
<b>6 Використання сучасних технічних засобів для одержання і обробки космічної гідрометеорологічної інформації.....</b>	<b>110</b>
6.1 Призначення, характеристики, склад і принцип роботи станції КОСМЕК.....	110

6.2 Одержання та обробка космічної гідрометеорологічної інформації за допомогою станції прийому супутникової інформації КОСМЕК.....	121
ЛІТЕРАТУРА.....	129

## ВСТУП

**Предмет і задачі супутникового моніторингу атмосфери, гідросфери і підстильної поверхні.** Розвиток авіації і космонавтики дає всі нові і нові відчутні результати. Переконливим підтвердженням цього є перехід від окремих експериментів до повсякденного використання космічної техніки для потреб господарювання. Успіхи в розвитку космічної техніки сприяли створенню і успішному функціонуванню метеорологічних космічних систем в різних країнах. З кожним роком все більше відчувається соціально-економічна роль космічних досліджень і їх значення для науково-технічного прогресу. З розвитком космічних досліджень виникають нові наукові напрями, такі як космічна метеорологія, космічна біологія, космічне землезнавство і ін. На основі досягнень науки створюються нові служби, що виконують важливу роль в господарській діяльності. Не менш важливо суспільне значення космічних досліджень і їх віддзеркалення в свідомості людства. Вони об'єднують і спрямовують зусилля народів багатьох держав на вирішення першочергових задач, важливих для життя населення крупних географічних районів і всієї земної кулі в цілому.

Сучасний *метеорологічний супутник Землі* (МСЗ) – це автоматична космічна обсерваторія, забезпечена складним електротехнічним, оптико-механічним і радіоелектронним обладнанням. Супутник оснащений апаратурою, що забезпечує одночасне вимірювання радіаційних потоків в різних ділянках спектра і отримання зображень хмарного покриву і підстильної поверхні у видимому і інфрачервоному промінні.

Багаторічне функціонування метеорологічних супутників Землі дозволило накопичити значний досвід супутникового моніторингу і практичного використання супутникових спостережень, відпрацювати і удосконалити методи їх обробки і інтерпретації не тільки в гідрометеорології, але і в багатьох інших галузях.

Дані про стан атмосфери, хмарності, поверхні суші і океану, витягванні з супутникових спостережень при моніторингу, вже до теперішнього часу, істотно *доповнили комплекс гідрометеорологічних спостережень*, вироблюваних традиційними методами. Великий внесок вони внесли в поліпшення аналізу і прогнозу погодуутворюючих процесів над океанами і важкодоступними районами суші, що займають в цілому 4/5 поверхні нашої планети. Проте і в районах з суцільною мережею наземних метеорологічних станцій дані супутникового моніторингу дозволили вносити корективи в аналіз карт погоди.

Широке визнання одержала наукова інформація з МСЗ при практичному *метеорологічному забезпеченні авіації*, зокрема для передпольотних консультацій екіпажів і складання авіаційних прогностичних карт (булетенів) небезпечних явищ погоди, особливо по

трасах, що пролягають над океанами, гірськими, пустинними і полярними районами. Цікавий досвід метеорологічного забезпечення авіації міжконтинентальних польотів, коли наукова інформація на борт літака надходить безпосередньо з геостационарного супутника. Таке оперативне використання супутникових даних сприяє підвищенню безпеки польотів на великі відстані.

При вирішенні задач *судноплавства і рибальства* супутниковий моніторинг над океанами нерідко є єдиним джерелом інформації про положення і інтенсивність розвинених тайфунів і циклонів, активних атмосферних фронтів і зон густих туманів, що значно впливають на морську діяльність. Ці спостереження дозволяють не тільки поліпшити прогнози погоди для мореплавання, але і отримувати деякі відомості про стан морської поверхні. Так, по структурі хмарності на космічних знімках вдається побічно судити як про максимальну швидкість вітру, так і про силу штормового хвилювання морської поверхні при проходженні розвинених тайфунів і циклонів, що досягли великої інтенсивності.

Ефективним засобом для *оцінки льодового стану* на замерзаючих морях є знімки у видимому діапазоні. Існуюча методика їх дешифрування дозволяє складати карти розповсюдження дрейфуючих льодів по згуртованості, детальність та точність яких не поступається картам льодових авіарозвідок. Ця інформація, виявлена при супутниковому моніторингу, надзвичайно важлива для діяльності морських суден транспортного і риболовецького флоту.

Для задоволення спеціалізованих вимог до *агрометеорологічного обслуговування* сільського господарства корисну інформацію дають також знімки у видимому діапазоні спектра. Їх використання спільно з даними звичних спостережень дозволяє точніше визначати межі сніжного покриву і площі з недостатніми, достатніми і надмірними запасами снігу для зимівлі і вологозабезпеченості сільськогосподарських культур, дозволяє краще стежити за появою і сходом сніжного покриву. При оцінці динаміки розвитку атмосферних процесів використання всього обсягу супутникових даних допомагає надійніше визначати тенденцію зміни важливих для сільськогосподарського виробництва агрометеорологічних умов. Певну роль вони виконують, зокрема, при прогнозі заморозків, дозволяючи враховувати повніші і точніші дані про хмарність і сніжний покрив.

Для *лісового господарства* значно цінну інформацію містять знімки, одержані як у видимому, так і в інфрачервоному діапазоні спектра. На основі їх аналізу вдається знаходити і стежити за динамікою розвитку вогнищ крупних лісових пожеж, які достатньо чітко розпізнаються по світло-сірому зображенню димових шлейфів, що витягуються від вогнищ пожежі у напрямі переважаючого вітру, а також виявляти хмарність, перспективну для штучного створення опадів над лісовими пожежами. Спільно з наземними спостереженнями дані супутникового моніторингу в

той же час покращують оцінку можливості виникнення пожежно небезпечного стану. Все це дозволяє підсилити боротьбу з лісовими пожежами, оперативно маневрувати відповідними силами і засобами.

На *користь гідрології* знімки у видимому діапазоні спектра дозволяють проводити аналіз льодових явищ на крупних річках і озерах, а також сніжного покриву в басейнах річок. При аналізі льодових явищ вдається простежувати льодостав і динаміку звільнення від льоду крупних річок і водосховищ, положення крайок крижаного покриву і його скупчення на крупних озерах і водосховищах. Ці дані допомагають своєчасно попереджати річковий флот про розкриття і замерзання річок, правильно орієнтувати його про льодовий стан і строки початку навігації.

При аналізі сніжного покриву виявляється можливим оцінювати його площу і розподіл по водозбірному басейну річок. По висоті залягання може бути виділений сніжний покрив до 5–10 см. Одержані дані про сніжний покрив, хоча і не містять всіх характеристик його стану, виконують важливу роль в оцінці внеску сніжного покриву в утворення талого стоку річок при весняній повені.

Великий обсяг наукової роботи по вдосконаленню супутникової наукової апаратури, методів обробки і аналізу даних дозволяє вже найближчими роками істотно розширити область корисного використання даних для вирішення назрілих задач.

Великі можливості надають *пілотовані космічні кораблі* (ПКК) для проведення гідрометеорологічних досліджень. Наявність на борту ПКК космонавта-дослідника дозволяє вирішувати задачі, які не можуть бути вирішені без участі людини. В зв'язку з цим досвід візуальних спостережень атмосферних утворень з космосу є дуже цікавим.

ПКК дозволяють:

- швидше і економічніше випробовувати апаратуру, яка потім може бути використана на МСЗ;
- проводити спільно з літаками і наземними засобами експерименти щодо відпрацювання нових систем дистанційного зондування Землі;
- виконувати спеціалізовані програми спостережень, пов'язані з охороною навколишнього середовища;
- забезпечувати можливість підтримки ефективного функціонування і ремонту апаратури майбутніх МСЗ.

Однак, не дивлячись на все, утішно сказане про космічні дослідження в гідрометеорології, необхідно відзначити, що досвід використання метеорологічних супутників для спостережень з космосу зі всією переконливістю відкинув необґрунтовані надії на повну заміну системи звичних метеорологічних спостережень методами супутникового дистанційного моніторингу. Саме тому плани Всесвітньої служби погоди передбачають сумісне використання звичних (прямих) і супутникових

(дистанційних) спостережень.

Про економічну ефективність використання супутників в різних областях господарства свідчать хоча б такі дані. Свого часу прогнози Гідрометцентру СРСР, для складання яких широко використовувалися спостереження метеорологічної космічної системи «Метеор», за далеко неповними даними, дозволяли зберігати щорічно матеріальні цінності на суму 500–700 млн. крб.

Особливо важливою є супутникова моніторингова інформація для прогнозу виникнення, еволюції і зсуву тропічних циклонів. Для країн, які потерпають від повеней, тропічних буревіїв, штормів і ураганів (лиха в результаті проходження тропічних циклонів найчастіше спостерігаються в Японії, Індії, у В'єтнамі, США та інших країнах), експлуатація метеорологічних супутників особливо ефективна. У масштабі всієї земної кулі, за оцінками фахівців, використання супутникової інформації забезпечує економію 60 мільярдів доларів на рік. Для порівняння можна зауважити, що запуск метеорологічного супутника обходиться лише в 3 мільйони доларів. З урахуванням науково-технічних можливостей і ресурсів окремих країн обговорюються і аналізуються програми сумісних досліджень у галузі космічної фізики, космічної метеорології, космічного зв'язку, космічної біології і медицини.

У галузі метеорології здійснюється широкий обмін метеорологічною інформацією як звичною, так і одержуваною зі супутників. Передбачається, що всі сторони удосконалюватимуть свої експериментальні метеорологічні супутники, з тим, щоб надалі перейти до узгоджених запусків оперативних метеорологічних супутників з швидким розповсюдженням одержаних даних для подальшого їх використання серед зацікавлених держав.

З року в рік зростає кількість держав, зацікавлених в отриманні інформації, здобутої засобами космонавтики. Міжнародна співпраця покликана надати допомогу тим країнам, які з тих або інших причин ще не долучилися до проведення космічних досліджень. Але, щоб співпраця у галузі освоєння космосу була максимально корисною, між державами повинна існувати домовленість про принципи використання космічного простору.

Основи правопорядку в космосі вже визначені рядом міжнародних угод. Головна з них – Договір про принципи діяльності держав по дослідженню і використанню космічного простору, включаючи Місяць і інші небесні тіла. Цей договір, розроблений в Організації Об'єднаних Націй і ратифікований парламентами більше 70 держав – членів ООН, іноді називають конституцією міжнародного космічного права.

Договір проголошує свободу в дослідженні космічного простору всіма державами. Але щоб свобода не перетворилася на свавілля, договір забороняє запуски космічних апаратів із зброєю масового знищення.

Заборонене також національне привласнення окремих частин космічного простору і небесних тіл.

**Структура дисципліни, порядок її вивчення, практична значущість дисципліни і її зв'язок з іншими дисциплінами.** Методи супутникового моніторингу земних процесів істотно змінили підхід до вирішення багатьох задач господарювання. Зокрема, дані, отримані з метеорологічних супутників Землі, пілотованих орбітальних кораблів і літаків, дозволяють більш глибоко вникнути в особливості гідрометеорологічних процесів і явищ. Поява якісно нових даних вимагає об'єктивної оцінки інформативності дистанційних спостережень і їх грамотної інтерпретації при аналізі і складанні прогнозів. Все це зумовило введення в процес навчання дисципліни "Супутниковий моніторинг".

Дисципліна "Супутниковий моніторинг" належить до циклу вибіркової дисципліни підготовки фахівців з напрямку 0706 "Гідрометеорологія" спеціальності 7.070601 "Метеорологія" спеціалізації "Радіометеорологія і радіолокація".

Мета дисципліни – підготовка фахівців – радіометеорологів у галузі супутникового моніторингу навколишнього середовища.

Завдання дисципліни полягає у вивченні студентами теоретичних і методичних основ одержання, обробки, інтерпретації та практичного використання космічної інформації, яка отримана з метеорологічних супутників Землі.

Кількість навчальних годин на вивчення дисципліни визначається освітньо-професійною програмою і освітньо-кваліфікаційною характеристикою.

Дисципліна "Супутниковий моніторинг" є однією з основних дисциплін в підготовці фахівців, що знайомить їх з методами супутникового моніторингу навколишнього середовища.

Після вивчення дисципліни студенти повинні мати *базові*

*Знання:*

- основних розумінь про рух штучних супутників Землі,
- видів і основних характеристик орбіт космічних систем дистанційного зондування,
- методів активного і пасивного зондування Землі із космосу в гідрометеорологічних цілях,
- типового складу апаратури космічних систем дистанційного зондування,
- принципів дії сканерів різного діапазону хвиль,
- основних технічних характеристик оглядової апаратури космічних систем дистанційного зондування,
- основних видів космічної гідрометеорологічної інформації і вимог до неї,

- основ часової і просторової прив'язки космічних зображень,
- порядку складання діаграми стеження за рухом супутника,
- основних етапів обробки космічної гідрометеорологічної інформації,
- особливостей обробки космічної гідрометеорологічної інформації, одержаної в різних ділянках спектра електромагнітних коливань,
- основних дешифровних ознак космічних знімків,
- призначення і принципів складання фотокарт і карт нефаналізу,
- основ використання космічної гідрометеорологічної інформації в різних цілях,
- сучасних технічних засобів прийому і обробки космічної гідрометеорологічної інформації.

*Уміння:*

- розрахунку цілевказівок для стеження за штучними супутниками Землі,
- дешифрування космічних знімків,
- проведення нефаналізу космічних знімків,
- забезпечення безперебійної роботи приладів і обладнання прийому космічної інформації.

Дисципліна "Супутниковий моніторинг" базується на вивченні таких дисциплін, як "Фізика", "Математика", "Астрономія", "Фізика атмосфери", "Обчислювальна техніка та програмування", "Методи гідрометеорологічних вимірювань".

В свою чергу вона є основою для вивчення дисциплін "Автоматичні системи моніторингу", "Синоптична метеорологія".

Основне вивчення дисципліни здійснюється на лекційних і практичних заняттях.

Закріплення навчального матеріалу здійснюється студентами самостійно відповідно до завдань на самостійну роботу студентів (СРС), на практичних заняттях, а також в процесі проведення навчального чергування і практики.

Під час вивчення дисципліни проводиться модульний контроль.

Модуль навчальної дисципліни – логічний розділ програми навчальної дисципліни, що формує певні знання та вміння.

Головною метою модульного контролю є підвищення якості навчання студентів шляхом активізації навчальної діяльності (насамперед, самостійної роботи студентів – СРС), стимулювання ритмічної СРС протягом всього семестру та визначення кількісних критеріїв якості засвоєння змісту окремих блоків (модулів) навчальної дисципліни та ритмічного виконання графіка навчального процесу. Метою модульного контролю також є перевірка знань студентів як у процесі навчання (поточний контроль), так і наприкінці семестру (підсумковий контроль).

Модульний контроль з дисципліни "Супутниковий моніторинг" передбачений у 7 семестрі за трьома змістовними модулями:

1. Змістовний модуль-Л1: Фізичні і технічні основи одержання гідрометеорологічної інформації космічними методами та її характеристика.
2. Змістовний модуль-Л2: Основи обробки космічних знімків та використання космічної гідрометеорологічної інформації.
3. Змістовний модуль-Л3: Одержання космічної інформації і робота зі станцією прийому супутникової інформації.

Методично модульний контроль з кожного теоретичного модуля проводиться в формі письмової контрольної роботи. Кожному студенту видається свій варіант контрольного завдання. Результати роботи оформлюються на окремому аркуші відповідно до наступного зразка:

Контрольна робота № \_\_\_\_ (Модуль № \_\_\_\_ )

з дисципліни "Супутниковий моніторинг"

з теми \_\_\_\_\_

студент групи \_\_\_\_\_

Варіант № \_\_\_\_

1. Запитання

- відповідь

2. Задача (завдання)

- результати виконання задачі (завдання)

Дата

Підпис

Час, що виділяється на виконання контрольної роботи, зазначається при видачі завдання (20-40 хвилин) і залежить від складності завдання.

Результати роботи за одну модульну контрольну роботу оцінюються за десятибальною шкалою. Якщо студент має 0 балів, то контрольна робота ним не виконувалася. Якщо студент набрав менше 6 балів, то матеріал модуля вважається незасвоєним, а якщо студент набрав 6-10 балів, то навчальний матеріал модуля вважається засвоєним.

Сума балів, яку одержав студент за всіма модульними контрольними роботами і за виконання практичного модуля, формує підсумкову (інтегральну) оцінку знань цього студента з навчальної дисципліни, яка може досягати 50 балів. Вона є підставою для одержання екзаменаційної оцінки.

Студенти виконують дві модульних контрольних роботи і захищають практичні роботи. Оцінка за дисципліну виставляється в тому випадку, якщо за практичний модуль студент одержав не менше половини кількості балів, відведеної на практичний модуль. Тільки при цій умові, якщо студент має з підсумкового контролю від 45 до 50 балів, то він отримує оцінку за екзамен – "відмінно", якщо має 38-44 балів – "добре", 30-37 балів – "задовільно", а студент, який одержав менше 30 балів, складає



екзамен.

Студенти, які бажають підвищити рейтингову оцінку, складають екзамен або залік.

Чергування з дисципліни є окремою заліковою одиницею. На нього відводиться 100 балів. Якщо студент має з підсумкового контролю з чергування від 60 до 100 балів, то чергування вважається зарахованим, а студент, який одержав менше 60 балів, вважається таким, що не пройшов чергування.

Навчальна практика також є окремою заліковою одиницею. На неї відводиться 100 балів. Якщо студент має з підсумкового контролю з навчальної практики від 90 до 100 балів, то він отримує оцінку за навчальну практику "відмінно", якщо має 75-89 балів – "добре", 60-74 бали – "задовільно", а студент, який одержав менше 60 балів, вважається таким, що не пройшов навчальну практику.

*Лекційний курс включає 7 лекцій:*

- Вступ – 2 години;
- фізичні і технічні основи одержання гідрометеорологічної інформації космічними методами – 6 годин;
- характеристика космічної гідрометеорологічної інформації – 4 години;
- основи обробки космічних знімків – 4 години;
- використання космічної інформації в метеорології – 4 години;
- використання космічної інформації в гідрології і океанології – 4 години;
- використання сучасних технічних засобів для отримання і обробки космічної гідрометеорологічної інформації – 4 години.

*Практична частина включає 7 практичних занять:*

- вивчення основних понять теорії випромінювання і вимірювання гідрометеорологічних величин – 4 години;
- вивчення особливостей часової і географічної прив'язки знімків і стеження за штучними супутниками Землі – 4 години;
- вивчення методики дешифрування супутникових знімків – 4 години;
- вивчення основ нефаналізу космічних знімків – 4 години;
- вивчення складу і принципу роботи наземного обладнання для прийому супутникової інформації – 2 години;
- вивчення програмного забезпечення наземного обладнання для прийому супутникової інформації – 4 години;
- практичне одержання і первинна обробка супутникової інформації за допомогою станції КОСМЕК – 6 годин.

*Чергування (28 годин)* проводиться на протязі семестру паралельно з заняттями з метою вивчення і закріплення практичних навичок роботи на станції КОСМЕК. Під час самостійної роботи при проведенні чергування

кожен студент повинен написати реферат на тему "Сучасні супутникові і наземні засоби отримання космічної моніторингової інформації".

*Навчальна практика (72 години)* проводиться в міжсеместровий період з метою закріплення практичних навичок роботи на станції КОСМЕК і накопичення супутникової інформації для поповнення бази космічних знімків університету. Після проходження практики проводиться її захист і оцінка викладачем.

#### **Методичне забезпечення дисципліни**

##### **Основна література**

1. Герман М.А. Космические методы исследования в метеорологии. –Л.: Гидрометеоздат, 1985.
2. Кондратьев К.Я., Покровский О.М. Космическая метеорология. –Л.: Недра, 1989.
3. Лазерное зондирование атмосферы из космоса – Л.: Гидрометеоздат, 1988.
4. Радиолокация поверхности Земли из космоса – Л.: Гидрометеоздат, 1990.
5. Герман М.А., Белов П.И., Назиров М. Лабораторный практикум по курсу: Космические методы исследования в метеорологии. – Л.: Изд. ЛПИ (ЛГМИ), 1981.
6. Перелигін Б.В. Одержання, передача, прийом і надання локаційної космічної інформації. – Одеса: "Екологія", 2006.

##### **Додаткова література**

1. Герман М.А. Спутниковая метеорология. Основы космических методов исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1975.
2. Кондратьев К.Я. Космическая дистанционная индикация облаков и осадков. – Л.: Гидрометеоздат, 1987.
3. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии. Под ред. А. Крэкнела – М.: Мир, 1987.
4. Копрова Л.И., Соловьёв В.И. Вопросы спутниковой метеорологии: определение температуры водной поверхности по ИК измерениям с ИСЗ Метеор. Методические рекомендации / Под ред. И.А. Четверикова. – М.: Гидрометеоздат, Московское отделение, 1983.
5. Кривобок А.А. Использование многоспектральной спутниковой информации для идентификации посевов сельскохозяйственных культур // Труды УкрНИГМИ, вып. 248, 2000.

##### **Методичні посібники**

1. Перелигін Б.В., Конкіна Л.В. Дешифрування знімків з метеорологічних супутників Землі. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів. – Дніпропетровськ: Економіка, 2002. – 25 с. (інвентарний № кафедри – 423).
2. Перелигін Б.В., Конкін В.В., Конкіна Л.В. Обробка даних з космічних



- систем дистанційного зондування. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів. – Одеса: ТЕС, 2003. – 27 с. (інвентарний № кафедри – 425).
3. Перелигін Б.В., Гавриш В.О. Станція прийому супутникової інформації КОСМЕК. Будова, характеристики. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів. – Одеса: ТЕС, 2004. – 27 с. (інвентарний № кафедри – 426).
4. Програмне забезпечення станції прийому супутникової інформації КОСМЕК.

## 1 Фізичні і технічні основи одержання гідрометеорологічної інформації космічними методами

### 1.1 Основні поняття про рух штучного супутника Землі. Орбіти штучних супутників Землі

Використання штучного супутника Землі (ШСЗ) для наукових і прикладних цілей потребує знання закономірностей його руху. Вибір параметрів орбіти дозволяє наперед розрахувати тривалість існування супутника, а також спрогнозувати можливість спостереження за ШСЗ із Землі і огляду Землі з супутника. Врешті-решт, для географічної прив'язки всіх спостережень бажано складати каталоги координат супутника для послідовних моментів часу (його ефемериди), причому важливо мати ці каталоги вперед на довгий час.

Шлях, описуваний супутником в просторі, називається *траєкторією*. Траєкторію супутника прийнято ділити на характерні ділянки (рис.1.1):  $A_0M_0$  – ділянка виведення на орбіту;  $M_0M_K$  – ділянка орбітального польоту;  $M_KM_{\Pi}$  – ділянка входу в атмосферу, зниження і посадки. За допомогою ракети-носія на *ділянці виведення* супутник розганяється до заданої швидкості (вектор якої направлений під заданим кутом до горизонту і до місцевого меридіана) і виводиться в задану точку простору. Параметри заданої точки є початковими умовами для подальшої орбітальної ділянки польоту і однозначно визначають орбіту супутника. Ділянка траєкторії, на якій політ здійснюється з працюючим ракетним двигуном, називається *активною ділянкою*. Рух супутника на *ділянці зниження і посадки* здійснюється при закінченні його експлуатації.

Рух супутника по відношенню до Землі відбувається на *ділянці орбітального польоту в орбітальній площині*. Цей рух описується законом Кеплера.

*Незбуреним кеплеровим рухом* називають такий рух матеріальної точки, який відбувається під дією тільки однієї центральної сили гравітаційного тяжіння, величина якої обернено пропорційна квадрату відстані до притягувального центра О. Центральне притягувальне тіло розглядається як тіло сферичної структури. В цьому випадку його гравітаційне поле співпадає з центральним полем притягувальної точки.

Однак на політ супутника впливають збурювальні фактори, які відхиляють рух від Кеплерова. До цих факторів можна віднести додаткові сили тяжіння Землі, обумовлені її несферичністю, сили тяжіння Місяця, Сонця та інших планет, аеродинамічні і електромагнітні сили, світловий тиск і ін. Дія цих сил або постійна, або змінюється у міру переміщення супутника по орбіті. Перераховані сили називаються *постійно діючими збурювальними силами*.

Крім того, в орбітальному польоті ШСЗ може зазнавати ударів

метеоритних тіл, тяжіння інших ШСЗ, короткочасних гальмуючих або прискорювальних імпульсів при включенні бортових реактивних двигунів і т.п. Такі збурювальні сили називаються *миттєвим, або імпульсними*.

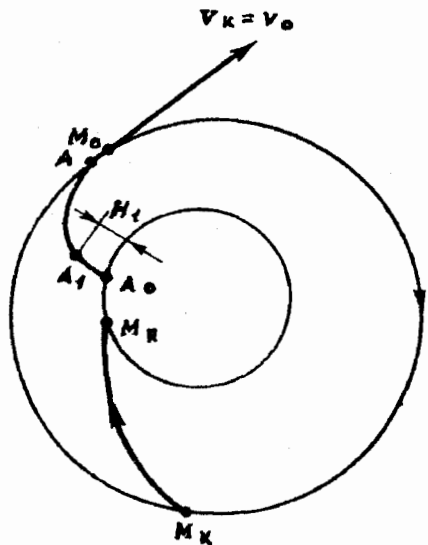


Рис.1.1 – Траєкторія космічного польоту

Постійно діючі і імпульсні збурювальні сили призводять до того, що справжні параметри руху ШСЗ по орбіті відрізняються від параметрів, розрахованих за формулами Кеплера руху. Різницю дійсних параметрів від розрахованих прийнято називати збуренням, а сам рух ШСЗ під дією хоча б однієї збурювальної сили – *збуренням*.

Всі збурення поділяються на *вікові та періодичні*. Вікові збурення безперервно змінюють елементи орбіти супутника пропорційно часу. Періодичними називаються такі збурення, значення яких повторюються через певний інтервал часу. Вони поділяються на *короткоперіодичні і довгоперіодичні*.

*Елементи орбіти ШСЗ*. Рух матеріальної точки по незбуреній кеплеровій орбіті буде однозначно визначений, якщо будуть задані *елементи орбіти*, а саме:

- ✓ параметри, що визначають розміри і форму орбіти;
- ✓ площина, в якій розташовується орбіта;
- ✓ параметри, що характеризують орієнтацію орбіти в цій площині;

- ✓ а також момент часу проходження рухомої точки через певну точку орбіти (або положення рухомої точки на орбіті в заданий момент часу).

Елементи вводяться для деякої системи координат, початок якої співпадає з притягувальним центром, а осі зберігають незмінні напрямки в просторі так, щоб добове і річне обертання Землі спричиняли якнайменшу зміну координат цієї площини. За основну площину беруть звичайно або площину екліптики певної епохи, або площину земного екватора, а вісь абсцис спрямовують в точку весняного рівнодення. Як точку відліку вибирають на екваторі точку Овна  $\gamma$ .

Нехай  $P_N P_S$  – вісь всесвіту, відносно якої побудована небесна сфера, де показані екватор і точка Овна (рис.1.2). Проведемо через центр  $O$  сфери площину орбіти і в цій площині побудуємо еліптичну орбіту ШСЗ так, щоб один з її фокусів потрапив в точку  $O$ . Тоді точки  $A_0$  та  $P_0$  будуть відповідно апогеєм і перигеєм орбіти. Проекцією орбіти на небесну сферу буде великий круг  $A_0 P_0 \omega$ , по якому площина орбіти січе сферу. Точки перетину цього круга з екватором  $\omega$  і  $\omega'$  називаються вузлами орбіти – висхідним і низхідним, а лінія  $\omega \omega'$  – лінією вузлів. Апогей і перигей проєктуються на сферу в точках  $A$  та  $P$  (апоцентр і перицентр), лінія  $AP$  носить назву лінії апсид.

*Положення орбіти в просторі* задається двома елементами:

1. Нахильність (нахил) площини орбіти до основної площини – двограний кут між площиною орбіти та площиною екватора, відлічуваний від площини екватора проти ходу годинникової стрілки для спостерігача, що знаходиться в точці висхідного вузла. Позначається звичайно через  $i$ , змінюється від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

2. Довгота висхідного вузла  $\Omega$  – кут, розташований в екваторіальній площині і відлічуваний від напрямку на точку весняного рівнодення  $\gamma$  до лінії вузлів, тобто лінії перетину площини орбіти з площиною екватора; висхідним вузлом орбіти називають точку, в якій тіло переходить з південної півкулі в північну; протилежна точка називається низхідним вузлом. Довгота висхідного вузла змінюється від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

*Орієнтація еліпса в площині орбіти* визначається одним елементом:

3. Аргумент перигею або кутова відстань від вузла – це кутова відстань перицентра, що позначається через  $\omega$ , є кут між лінією вузлів і лінією апсид; інакше кажучи, кут з вершиною в притягувальному центрі між напрямками на висхідний вузол та перицентр орбіти. Аргумент перигею змінюється в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

*Характеристики еліпсу орбіти* задаються двома елементами.

4. Велика піввісь орбіти  $a$ :

Розміри орбіти задаються значенням півосі еліпса, наприклад значенням його великої півосі  $a$ :  $a = 1/2 A_0 P_0$ .

5. Ексцентриситет орбіти  $e$ :  $e = c/a$ .

Часовий параметр орбіти – один часовий параметр:  
 6. Момент  $t(t_0)$  проходження рухомої точки через перигей (перигей) орбіти або через висхідний вузол.

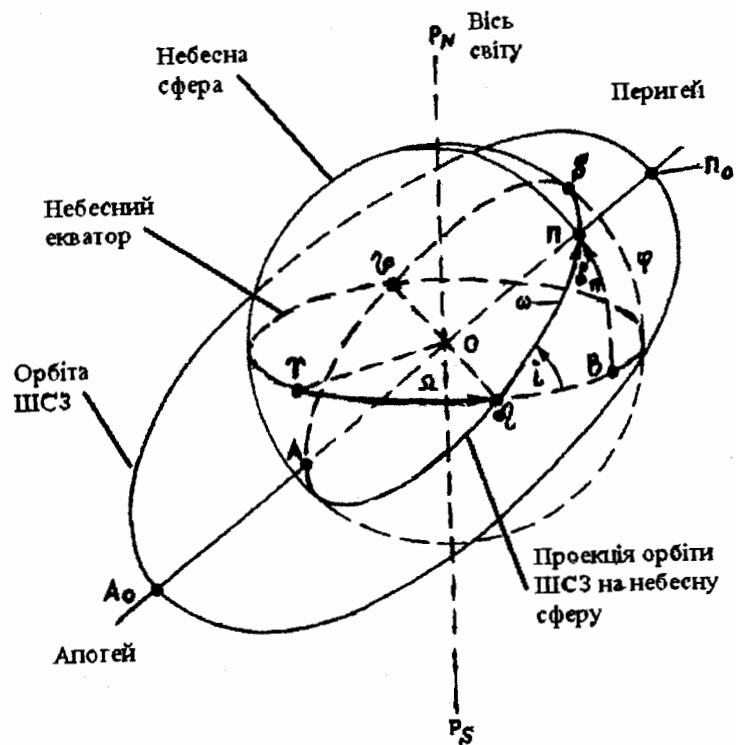


Рис.1.2 – Елементи орбіти супутника

Наведена система елементів орбіти – одна з можливих. Іноді замість моменту проходження через перигей задають інший елемент – середню аномалію  $M_0$  в епоху  $t_0$  (звичайно  $t_0$  – початковий момент часу), замість великої півосі користуються фокальним параметром  $P$  і т.д.

**Орбіти ШСЗ.** Орбіти ШСЗ залежно від значення їх параметрів можуть дуже розрізнятися між собою. Проте, існує декілька основних ознак, за якими орбіти розділяються на характерні типи. Як ознаки беруть наступні параметри:

ексцентриситет  $e$ ,  
 нахил орбіти  $i$ ,

період обертання  $T$ ,  
 висота  $H$ .

Ексцентриситет  $e$  визначає форму орбіти:  $e = 0$  – кругова орбіта,  $e < 1$  – еліптична,  $e = 1$  – параболічна,  $e > 1$  – гіперболічна орбіта. Найбільший інтерес для космічних методів дослідження представляють кругові і еліптичні орбіти. Перші з них переважні при запуску метеорологічних супутників.

Відповідно до значення нахилу орбіти супутники поділяються на екваторіальні ( $i = 0^\circ$ ), похилі ( $0^\circ < i < 90^\circ$ ) і полюсні або полярні ( $i = 90^\circ$ ) (рис.1.3).

Екваторіальний супутник завжди пролітатиме над екватором. При висоті орбіти 35810 км період обертання ШСЗ дорівнює зоряному періодові обертання Землі. Супутник обертатиметься з такою ж кутовою швидкістю, що і Земля, і, переміщаючись по орбіті в напрямі, співпадаючому з напрямом обертання Землі, весь час знаходитиметься над одним і тим же наземним пунктом. Такий ШСЗ називається стаціонарним. Екваторіальні супутники спостерігаються в смугі, що прилягає до екватора, причому, чим вище орбіта, тим ширше ця смуга.

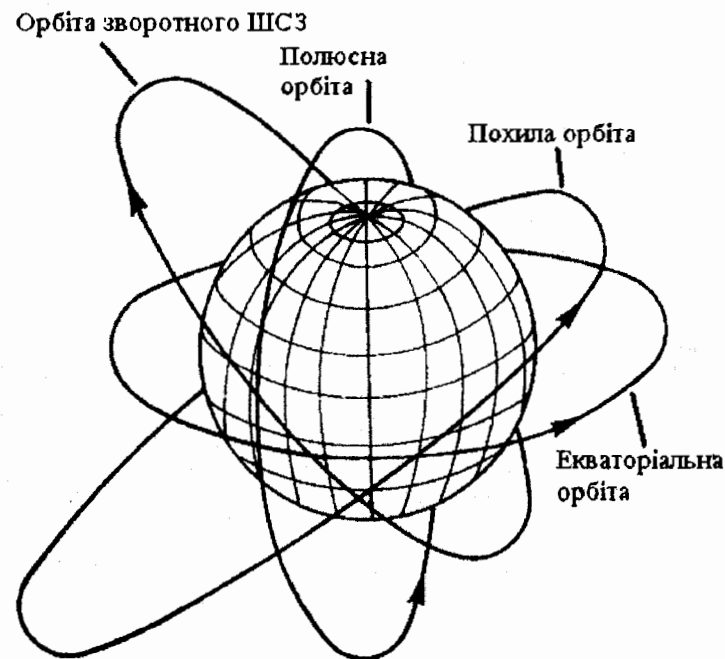


Рис.1.3 – Основні типи орбіт ШСЗ

Витки полюсного ШСЗ при кожному новому обороті, зважаючи на обертання Землі навколо Сонця, *зміщуватимуться до заходу*. Такі супутники спостерігатимуться в будь-якому пункті земної поверхні в той або інший час.

Похили ШСЗ проектуються на поверхню Землі тільки в межах широт  $\Delta\varphi = \pm i$ .

Всі ШСЗ можуть розділитися на *прямі* і *зворотні*. Прямі рухаються у напрямі обертання Землі із заходу на схід, для них  $0^\circ \leq i \leq 90^\circ$ ; зворотні – зі сходу на захід і для них  $90^\circ < i < 180^\circ$ .

Прямі супутники запускати легше, оскільки при їх виводі на орбіту до швидкості ракети додається лінійна швидкість обертання Землі.

При запуску зворотних супутників лінійна швидкість обертання Землі віднімається від швидкості ракети.

Штучні супутники Землі розділяються також на *періодичні* і *неперіодичні*. Період обертання перших кратний періоду обертання Землі. Тому положення супутника щодо поверхні Землі кожен добу повторюється. Неперіодичні супутники цієї властивості не мають.

По висоті орбіти ШСЗ можна їх розділити на три групи: *низькоорбітальні*, *середньоорбітальні* та *високоорбітальні*. В першу групу включені супутники, що запускаються на висоті 200–500 км. До них відносяться пілотовані космічні кораблі, орбітальні космічні станції, окремі супутники серії «Космос» та інші літальні апарати. Друга група представлена супутниками, що запускаються на висоті від 500 до декількох тисяч кілометрів. На цих висотах літають супутники метеорологічного, геодезичного, астрономічного призначення, а також інші ШСЗ. До третьої групи відносяться супутники з висотою польоту в десятки тисяч кілометрів. Ці висоти використовуються для запуску метеорологічних стаціонарних супутників, технологічних ШСЗ, місячних автоматичних і пілотованих космічних кораблів та інших апаратів.

*Орбіти метеорологічних ШСЗ.* Основна перевага метеорологічних спостережень з супутників полягає в можливості отримувати інформацію про стан атмосфери для всієї (або майже всієї) території земної кулі, а також здійснювати безперервне дослідження процесів на певних великих ділянках Землі.

Для метеорологічних супутників Землі (МСЗ) вибір орбіти має велике значення. У зв'язку з цим до орбіт МСЗ ставляться певні вимоги, основні з яких можуть бути зведені до наступного:

- ✓ забезпечення широкої смуги огляду з супутника;
- ✓ надання можливості отримання космічних знімків високої відрізняльної здатності;
- ✓ забезпечення періодичності, що вимагається для метеорологічних спостережень;
- ✓ отримання метеорологічних даних над конкретним географічним

районом в певний час.

Ці достатньо жорсткі вимоги можуть бути виконані шляхом вибору висоти, форми і нахилу орбіти, а також шляхом визначення оптимального часу запуску МСЗ.

- Для максимального обхвату земної поверхні спостереженнями оглядовою апаратурою застосовуються *полярні орбіти*.
- Для отримання зображень над певним районом Землі в один і той же місцевий час, який залежить від часу запуску МСЗ, використовують так звані сонячно-синхронні орбіти, площина яких повертається (прецесує) синхронно з обертанням Землі навколо Сонця в східному напрямку із швидкістю 0,986 градуси за добу. Орбітальна площина супутника повинна бути компланарною з напрямом Земля – Сонце. Необхідна швидкість прецесії забезпечується при запуску вибором відповідного кута нахилу орбіти до екватору. Ці міркування лежать в основі вибору орбіт ряду метеорологічних супутників. Супутники, що знаходяться на зворотних похилих сонячно-синхронних орбітах, знаходяться над певною точкою земної поверхні в один і той же місцевий час, значення якого залежить від часу запуску. Ці переваги є важливими при рішенні ряду метеорологічних задач за матеріалами супутникових спостережень.
- Велике значення при метеорологічних спостереженнях зі МСЗ має детальність спостережень, тобто відрізнення необхідних деталей при заданій смузі огляду. Ця обставина визначає вибір висоти орбіти МСЗ. Зі збільшенням висоти польоту смуга огляду збільшується, а детальність спостережень погіршується. Тому при необхідності отримання підвищеної детальності спостережень (зображень) частіше використовуються середньоорбітальні МСЗ з висотою польоту 600–1500 км, для збору узагальненої інформації з великої площини звичайно використовуються супутники, що мають висоту орбіти  $H \approx 36000$  км.
- Для метеорологічних спостережень використовуються кругові або близькі до них орбіти. Вони забезпечують спрощення географічної прив'язки, обробки та аналізу супутникової інформації.
- При виборі орбіт супутників враховується, що глобальні метеорологічні спостереження повинні виконуватися, принаймні, 2 рази на добу. Час запуску визначається так, щоб забезпечити збір максимальної інформації над тим або іншим районом, при цьому час намагаються зістикувати зі строком наземних спостережень з метою синхронного *сумісного аналізу* даних.
- При запуску декількох супутників дуже важливо, щоб їх орбіти були взаємозв'язані. Ця вимога дозволяє вирішити комплекс задач, пов'язаних з глобальними метеорологічними спостереженнями.

1.2 Фізичні основи одержання інформації про атмосферу і про гідросферу з космосу. Характеристика методів пасивного і активного дистанційного зондування

Дистанційне зондування навколишнього середовища є сукупність методів вимірювання параметрів фізичного стану підстильної поверхні і атмосфери за допомогою приладів, розташованих на деякій відстані від об'єктів дослідження. Дистанційні дослідження проводяться з різних вимірювальних платформ: МСЗ, літаків, аеростатів, суден, а також з поверхні Землі. На відміну від контактних (прямих) вимірювань, коли вимірювальний пристрій знаходиться в безпосередньому зіткненні з досліджуванним об'єктом середовища, прилади дистанційного (непрямого) зондування одержують інформацію про середовище шляхом вимірювання ефектів взаємодії з нею різних випромінювань. Стосовно моніторингу найважливішою є взаємодія з середовищем електромагнітного випромінювання.

Джерелом метеорологічної інформації при спостереженні Землі з космосу є просторові, тимчасові та кутові варіації інтенсивності електромагнітних хвиль, що відображуються або випромінюються системою підстильна поверхня – атмосфера (СППА). Вимірювання характеристик поля електромагнітного випромінювання на різних довжинах хвиль  $\lambda$  є основою для оцінки параметрів фізичного стану атмосфери, океану, материкових покривів.

Для проведення спостережень за допомогою МСЗ можуть бути застосовані пристрої, які реєструють випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 0,3 мкм до 1 м.

Цю широку ділянку спектру прийнято підрозділяти на ряд піддіапазонів:

- 0,3 – 0,4 мкм – ближній ультрафіолетовий (УФ),
- 0,4 – 0,76 мкм – видимий,
- 0,76 – 1,5 мкм – ближній інфрачервоний (ІЧ),
- 1,5 – 1000 мкм – середній і дальній ІЧ,
- 1 мм – 1 м – надвисокочастотний (НВЧ), званий також мікрохвильовим (рис.1.4).

Залежно від природи реєстрованого електромагнітного випромінювання дистанційне зондування Землі може здійснюватися пасивними і активними методами.

Пасивні методи засновані на вимірюванні характеристик поля власного теплового випромінювання досліджуваних, об'єктів і (або) відбитого ними сонячного випромінювання. Інтенсивність (яскравість) цього випромінювання є в загальному випадку функціоналом полів температури, вологості, тиску, концентрації озону та інших малих газових складових атмосфери, водності та фазового складу хмар, параметрів

опадів, вологості підстильної поверхні, характеристик рослинного, сніжного і крижаного покривів і т.д. та залежить від частоти, поляризації і кута візування.

За допомогою МСЗ можуть бути реалізовані три методи пасивного дистанційного зондування, засновані на вимірюваннях:

- відбитої і розсіяної СППА сонячної радіації;
- власного теплового випромінювання СППА;
- прозорості атмосфери за природними джерелами випромінювання.

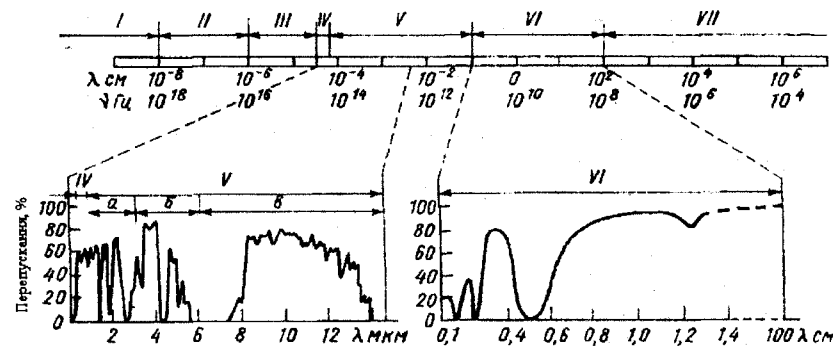


Рис.1.4 – Спектр електромагнітного випромінювання і спектр перепускання безхмарної стандартної атмосфери  
Випромінювання: I – гамма, II – рентгенівське, III – УФ, IV – видиме, V – ІЧ (зони: а – ближня, б – середня, в – дальня), VI – НВЧ, VII – радіо

Фізичною основою першого методу є залежність відбитого і розсіяного сонячного випромінювання від безлічі фізичних параметрів атмосфери і підстильної поверхні (геометричні розміри, водність і фазовий склад хмар, характеристики аерозолу, стан поверхні акваторій, рослинного, крижаного і сніжного покривів і т.д.).

Фізична основа другого методу пасивного зондування аналогічна першому, але тільки тут йдеться про залежність від гідрометеорологічних параметрів власного теплового випромінювання СППА. До перерахованих вище параметрів ще слід додати температуру – верхньої межі хмар, поверхні океану і материкових покривів, температуру повітря на різних висотах. Залежність оптичної густини атмосфери від частоти призводить до того, що з частотою міняється відносний внесок різних шарів атмосфери (при зондуванні лімба – різних ділянок на трасі зондування) в інтенсивність реєстрованого на супутнику власного випромінювання, що служить основою для оцінки висотних профілів метеорологічних елементів.

*Третій метод* базується на використанні принципів спектроскопії абсорбції і пов'язаний зі спектральними вимірюваннями електромагнітного випромінювання від зовнішнього (природного або штучного) джерела. Такі вимірювання дозволяють визначити усереднену оптичну характеристику атмосфери на трасі джерело випромінювання – прилад – її спектральну прозорість. Залежність спектральної прозорості атмосфери від параметрів атмосфери і складає фізичну основу цього методу.

При *активному зондуванні* (радіолокація та лазерна локація) джерело випромінювання (передавач) розташовано на супутнику. Потужність, фаза, частота та інші характеристики відбитого (розсіяного) випромінювання, що генерується цим джерелом, також визначаються перерахованими вище параметрами атмосфери і підстильної поверхні. Власне випромінювання Землі і відображене сонячне випромінювання в цьому випадку стоять на заваді.

*Активне зондування* за допомогою МСЗ може здійснюватися з використанням двох методів, заснованих на вимірюваннях:

- відображеного і розсіяного СППА випромінювання від активного джерела;
- прозорості атмосфери.

В даний час більшість пристроїв для зондування Землі з космосу є чутливими приймачами випромінювання (пасивне зондування). Активні методи дистанційного зондування поки що не знайшли широкого практичного застосування, що обумовлене головним чином великим енергоспоживанням радіолокаційних станцій (РЛС) і лідарів. Проте зі зростанням потужності бортових джерел живлення роль активних методів зондування СППА з космосу істотно зростає.

Можливості і фізико-технічні особливості дистанційного зондування Землі залежать від використовуваного діапазону довжин хвиль.

У видимому і ближньому ІЧ діапазонах джерелом інформації про параметри СППА є відбите сонячне випромінювання. Тому спостереження можуть здійснюватися на освітленій стороні планети. Проте активне лазерне зондування на цих довжинах хвиль передбачається виконувати переважно вночі, оскільки в цьому випадку відбите сонячне випромінювання є чинником, що заважає.

У ІЧ та НВЧ діапазонах довжин хвиль вимірювання можуть проводитися незалежно від часу доби.

Характеристика перешкоджає вивченню характеристик підхмарних шарів атмосфери і підстильної поверхні у видимому і ІЧ ділянках спектру. У НВЧ діапазоні хмарність – напівпрозоре середовище, що дозволяє за даними дистанційних вимірювань оцінювати як властивості земної поверхні, так і параметри самої хмарності.

Залежно від використовуваного діапазону змінюється і *просторове відрізнення* приладів дистанційного зондування. При інших рівних умовах найвище відрізнення досягнуте у видимому діапазоні довжин хвиль (десятки метрів – одиниці кілометрів), а найнижче – в НВЧ (десятки – сотні кілометрів). У ІЧ діапазоні відрізнення складає сотні метрів – кілометри.

При роботі в активному режимі високе відрізнення досягається в радіолокаційних станціях з синтезованою апертурою (РСА). РСА випромінює сигнали, частота яких підтримується з високою точністю (когерентні сигнали). Спеціальна обробка відбитих радіолокаційних сигналів дозволяє реалізувати при вимірюваннях з супутників відрізнення в декілька десятків метрів.

При рішенні різних задач дистанційного зондування велике значення придбаває *ступінь ослаблення електромагнітного випромінювання середовищем*. Навіть у відсутність хмарності і опадів атмосферні гази (перш за все, водяна пара, вуглекислий газ і озон) ослаблюють електромагнітне випромінювання, що розповсюджується в атмосфері. Це значно утрудняє зондування підстильної поверхні і нижніх шарів атмосфери з космосу. Ослаблення електромагнітного випромінювання атмосферою міняється по спектру в дуже широких межах. Мінімальних значень воно досягає у видимому діапазоні довжин хвиль, в декількох вікнах прозорості атмосфери, розташованих в ближній і середній ІЧ ділянках спектру, а також в НВЧ діапазоні, за винятком областей резонансного поглинання водяної пари ( $\lambda \approx 1,64$  мм) і кисню ( $\lambda \approx 2,53$  мм і  $\lambda = 5...6$  мм).

Можливість отримання інформації не тільки про властивості підстильної поверхні, але і про те, як вони змінюються в ній з глибиною, залежить від *глибини проникнення  $L$*  електромагнітної хвилі в середовище. Глибиною проникнення називається така глибина, на якій потужність сигналу слабшає в  $e$  разів. Глибина проникнення визначається оптичними константами середовища, в якій розповсюджується хвиля. За наявності в середовищі часток, що розсіюють, значення  $L$  також залежатиме від властивостей цих часток.

Для хвиль видимого діапазону найбільші значення глибини проникнення характерні для льоду і води, де вони складають десятки сантиметрів – десятки метрів залежно від  $\lambda$ . Величина  $L$  в сильному ступені залежить від наявності у воді фітопланктону, суспензій, різного виду забруднень. Глибина проникнення видимого світла в материкові покриви дуже мала.

У ІЧ діапазоні все випромінювання формується в дуже тонкому поверхневому шарі.

Електромагнітні хвилі НВЧ діапазону сильно поглинаються водною поверхнею; тут значення  $L$  варіюють від сотих часток до одиниць міліметра. В той же час в сухих ґрунтах, в материкових льодах, сухому

снігу значення  $L$  можуть досягати декількох десятків значень  $\lambda$ , що, наприклад, для хвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів складає одиниці – десятки метрів. Така велика глибина проникнення НВЧ випромінювання служить основою для дистанційного вивчення властивостей ґрунтів, гірських порід, крижаного і сніжного покривів до значної глибини.

### 1.3 Космічні системи дистанційного зондування Землі

Супутник, призначений для моніторингу – це космічна автоматична обсерваторія або космічна система дистанційного зондування Землі (КСДЗ), оснащена складним електротехнічним, оптико-механічним і радіоелектронним устаткуванням вимірювання, запам'ятовування і передачі інформації. Його комплекс бортової апаратури може бути умовно розділений на дві групи:

- комплекс наукової апаратури;
- комплекс службової апаратури.

*Комплекс наукової апаратури* призначений для одержання моніторингової інформації.

*Комплекс службової апаратури* призначений для підтримки нормального функціонування наукової апаратури і всього супутника в цілому.

Залежно від задач, поставлених перед вимірюваннями, комплекс наукової апаратури може включати системи вимірювань, що працюють в різних діапазонах електромагнітного спектру. Для супутників, що забезпечують одержання регулярної інформації, найбільше застосування одержали вимірювання у видимому, інфрачервоному і мікрохвильовому (НВЧ) діапазонах електромагнітного спектру. Комплекти наукової апаратури окремих МСЗ можуть відрізнятися один від одного.

*Принцип сканування.* На сучасних супутниках встановлюється апаратура, що працює за принципом механічного сканування. Це забезпечує поелементний перегляд підстильної поверхні в достатньо вузькому тілесному куті. Такий кут називають кутом поля зору приладу. Кут зору приладу утворює конус, перетин якого поверхнею земного еліпсоїда визначає елементарний майданчик земної поверхні, званий відрізненням приладу. Відрізнення є найважливішою характеристикою приладу. Іншою не менш важливою характеристикою є смуга огляду (перегляду) земної поверхні. Переглядання смуги підстильної поверхні здійснюється за рахунок переміщення елементарного поля зору в площині, перпендикулярній площині орбіти. Принцип сканування проілюстрований на рис. 1.5.

Поєднання переміщення елементарної площини по ряду сканування

з поступальним її переміщенням по поверхні Землі (в результаті руху супутника по орбіті) дозволяє одержати картину двовимірного розподілу інтенсивності відбитої, випроміненої і розсіяної радіації в тому або іншому діапазоні спектра електромагнітних хвиль.

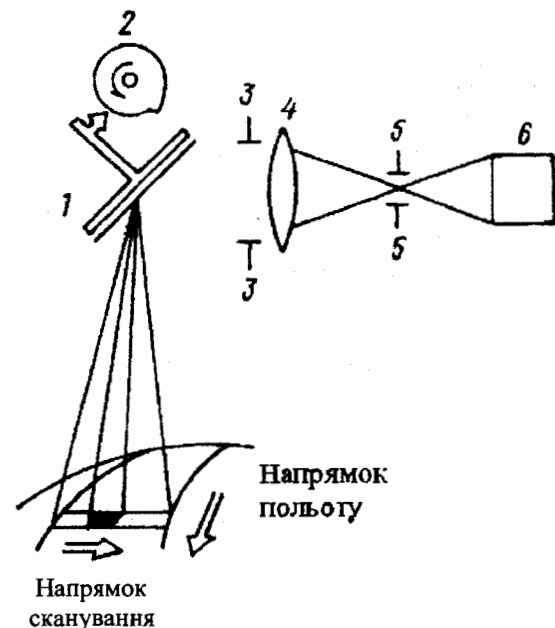


Рис.1.5 – Принцип сканування

1 – дзеркало, що сканує, 2 – кулачок приводу дзеркала, 3 – діафрагма об'єктива, 4 – об'єктив, 5 – діафрагма приймача, 6 – приймач випромінювання

*Наукова апаратура, що працює у видимому діапазоні електромагнітних хвиль.* Найбільше застосування в наш час знайшли знімки, виконані за допомогою телевізійних систем, встановлюваних на супутниках. Для одержання зображень у видимій ділянці спектра (0,5–0,7 мкм) на супутниках встановлюється апаратура, за допомогою якої може бути виконана зйомка хмарності, крижаних і сніжних полів і інших видів підстильної поверхні. Ці об'єкти мають різні коефіцієнти відбиття, що дозволяє одержувати зображення з широким діапазоном півтонів.

При поелементній зйомці приймальний пристрій має малий кут зору. У кожен момент часу *телефотометр* реагує на середню інтенсивність радіації в межах куту зору оптичної головки. Зображення ж всієї



спостережуваної ділянки об'єкта формується шляхом послідовного перегляду його в процесі сканування.

Як приймачі променевої енергії застосовуються пристрої, засновані на використанні явища *фотоелектронного ефекту*. Такі пристрої придатні для телевізійного спостереження об'єктів в інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому діапазонах хвиль.

*Телевізійна система* відтворює розподіл яскравості, функціонально пов'язаної із загальною потужністю сприйманого променевого потоку в межах області спектральної чутливості перетворювача.

На виході первинного телевізійного перетворювача утворюється електричний сигнал, залежний від потужності променевого вхідного потоку. Сигнал, який називається телевізійним відеосигналом, передається по каналу зв'язку до приймального пристрою.

Для одержання зображень одночасно в декількох вузьких ділянках спектру використовується *багатозональна або багатоспектральна апаратура*.

Звичайно робочі спектральні ділянки зйомки розташовуються в межах видимої і інфрачервоної ближньої області спектру (0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8; 0,8–1,1 мкм).

*Інфрачервона наукова апаратура*. У інфрачервоному діапазоні спектра працюють системи, які проводять вимірювання в певних ділянках спектра або в смугах поглинання окремих газів.

Для виявлення і дослідження хмарності на тіншовій стороні Землі (а також на освітленій стороні) широке застосування одержали системи, що працюють в ділянці спектра 8–12 мкм.

Яскравість (тон) зображення якого-небудь об'єкта на ІЧ знімку визначається головним чином температурою випромінюючої поверхні. У цій ділянці спектра теплова радіація, що йде, найбільш близька до власного теплового випромінювання земної поверхні і хмар.

При отриманні космічних зображень в цій області спектра, використовується інфрачервона система, аналогічна системі, що працює у видимому діапазоні та називана *інфрачервоним радіометром*.

*Наукова апаратура, що працює в мікрохвильовому діапазоні спектра*. Наукова апаратура, що проводить вимірювання в мікрохвильовій області спектра, охоплює міліметрову і сантиметрову ділянки радіодіапазону. Мікрохвильові вимірювання дозволяють одержувати інформацію про хмарність і опади, кількісно визначати вміст водяної пари і рідиннокрапельної води в атмосфері. Дані цих вимірювань можуть бути представлені у вигляді окремих регістрограм, просторово-часових графіків або в окремих діапазонах, наприклад на довжині 0,8 см, у вигляді напівтонового зображення. Вимірювання на супутниках найчастіше проводяться в чотирьох каналах: 0,8; 1,35; 3,4 і 8,5 см.

*Характеристика наукової апаратури космічного апарату «Січ»*. Космічний апарат (КА) «Січ» (рис.1.6) призначений для отримання оперативної інформації про Землю в оптичному, інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах спектра. Він оснащений комплексом апаратури малого відрізнєння (оптичної – багатозональний скануючий пристрій малого відрізнєння МСУ-М, радіолокаційною станцією бічного огляду – РЛСБО і скануючим НВЧ – радіометром – РМ-0,8), що працює в режимі сумісного кадру і забезпечує глобальні всепогодні спостереження морських і материкових льодів, приводного вітру, атмосферних фронтів, крупних нафтових забруднень та ін. (табл.1.1, 1.2, 1.3).

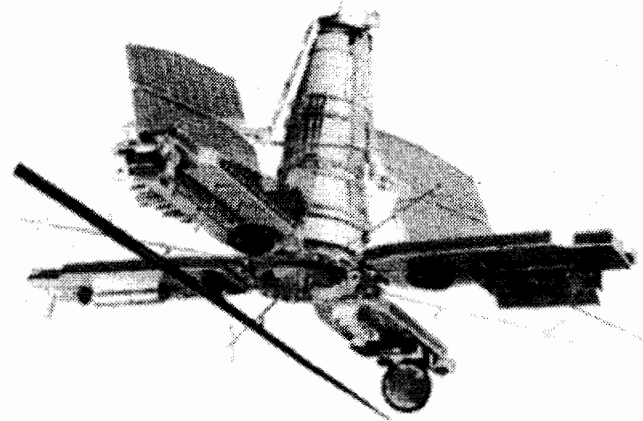


Рис.1.6 – Зовнішній вигляд космічного апарату «Січ»

Крім того, на супутнику встановлена апаратура МТВЗА-ОК для комплексного огляду у видимому, інфрачервоному і НВЧ діапазонах спектра з широкою смугою огляду 2000 км, що забезпечує глобальний характер спостережень. На супутнику встановлені також два вдосконалені комплекти багатозональної оптичної апаратури високого відрізнєння МСУ-ЭУ1 та МСУ-ЭУ2.

Таблиця 1.1 – Характеристики багатозонального скануючого пристрою малого відрізнєння МСУ-М

Характеристика	Величина
Лінійне відрізнєння (упоперек і уздовж напрямку польоту відповідно) в центрі рядка, не гірше, км x км	2 x 2
Смуга огляду, не менше, км	1900
Спектральні характеристики каналів, мкм	
1 канал	0,5 - 0,6
2 канал	0,6 - 0,7
3 канал	0,7 - 0,8
4 канал	0,8 - 1,1
Геометрія огляду	Сканування здійснюється в площині, перпендикулярній до напрямку польоту КА
Мінімально допустима висота Сонця, град.	5
Загальний ресурс роботи, годин	1500
Максимальна тривалість роботи у режимі безпосередньої передачі (БП)	12 хв
у режимі запам'ятовування інформації (ЗІ)	6 хв
Режим настройки: вибір коефіцієнтів посилення сигналу	Врахування типу підстильної поверхні і висоти Сонця
Режими роботи: режим передачі даних (на 137 МГц) формат передачі кадру	БП або ЗІ автономний МСУ-М або суміщений кадр з РФА

Таблиця 1.2 – Характеристики радіолокаційної станції бічного огляду РЛСБО

Характеристика	Величина
Лінійне відрізнєння (упоперек і уздовж напрямку польоту), км x км: у смузі огляду 450 км	2,5 x 1,3
у смузі огляду 700 км (АР РЛСБО): цифровий вихід	2,8 x 1,3
аналоговий вихід	4,6 x 2,6

Продовження табл. 1.2

Характеристика	Величина
Смуга огляду, не менше, км	450 або 700
Робоча довжина хвилі, см	3
Гранична чутливість приймального пристрою, дБ Вт	-144
Відстань від підсупутникової траси до границі смуги огляду, км ближньої зони для смуг огляду 450 і 700 км	238
дальньої зони для смуги огляду 450 км	688
для смуги огляду 700 км	938

Таблиця 1.3 – Характеристики скануючого НВЧ – радіометра (РМ-0,8)

Характеристика	Величина
Лінійне відрізнєння (упоперек і уздовж напрямку польоту відповідно), км x км	25 x 25
Смуга огляду, не менше, км	550
Робоча довжина хвилі, см	0,8
Флуктуаційна чутливість, К	1,8
Робоча стала часу, мс	9,2
Діапазон вимірюваних температур, К	
перший	110 - 330
другий	150 - 250
Відстань від підсупутникової траси до границі смуги огляду, км ближньої зони	238
дальньої зони	788

Апаратура РЛСБО, РМ-0,8 і МСУ-М може забезпечувати синхронну зйомку території в режимі так званого суміщеного кадру. При формуванні суміщеного кадру результати вимірювань РЛСБО, РМ-0,8 і МСУ-М передаються в одному рядку, що дозволяє розмістити на одному кадрі інформацію, одержувану РЛСБО, РМ-0,8 і МСУ-М.

Одержувану інформацію можна використовувати з метою:

- визначення границі і розмірів хмарних та атмосферних фронтальних зон;
- визначення зони опадів і їх інтенсивності;

- контролю зародження і еволюції циклонів;
- контролю стану моря, виділення зон штормів;
- визначення швидкості і напрямку приводного вітру;
- побудови вертикальних профілів температури і вологості атмосфери, загального вмісту аерозолу та озону;
- визначення вологовмісту хмар;
- визначення радіаційного балансу Землі;
- визначення температури верхнього шару хмар;
- визначення температури морської поверхні та поверхні суші;
- визначення висоти і напрямку хвиль;
- визначення характеристик льодового і сніжного покриву;
- класифікації поверхні по класах: хмарність, земля, вода, сніг, лід;
- визначення вегетаційного індексу;
- визначення положення, розмірів і характеристик хмарних структур;
- контролю тропічних циклонів, штормів, виділення атмосферних фронтів, зон опадів;
- картування теплових аномалій на поверхні суші;
- класифікації по видах лісової і сільськогосподарської рослинності і динаміки їх зміни;
- класифікації поверхневих вод і динаміки їх зміни.

*Характеристика наукової апаратури космічного апарату «NOAA».*  
 Дані метеорологічної системи на базі полярно-орбітальних космічних апаратів серії NOAA (Національна адміністрація з дослідження океану і атмосфери) використовуються при вирішенні задач, що пов'язані з прогнозуванням погоди, з моніторингом хмарного покриву Землі та інших погодних явищ у видимому і інфрачервоному діапазонах спектра, з вимірюванням вертикального профілю температури атмосфери, з визначенням характеристик приповерхневого вітру, з визначенням температури поверхні моря і суші, із збором інформації з платформ геофізичного моніторингу навколишнього середовища, з вивченням навколосемного космічного простору, з вивченням озонового шару і вмісту аерозолів в атмосфері, з моніторингом стану навколишнього середовища, із зйомкою сніжного і льодового покривів Землі, з отриманням інформації дистанційного зондування на користь сільського і лісового господарства, з виявленням лісових пожеж, з розрахунком вегетаційних індексів, з прогнозом пожежної небезпеки лісів, кліматології, океанографії (рис.1.7).

Крім того, на супутниках цієї серії встановлюється апаратура збору даних з наземних метеорологічних платформ, а також обладнання прийому сигналів лиха в рамках системи «КОСПАС»/SARSAT.

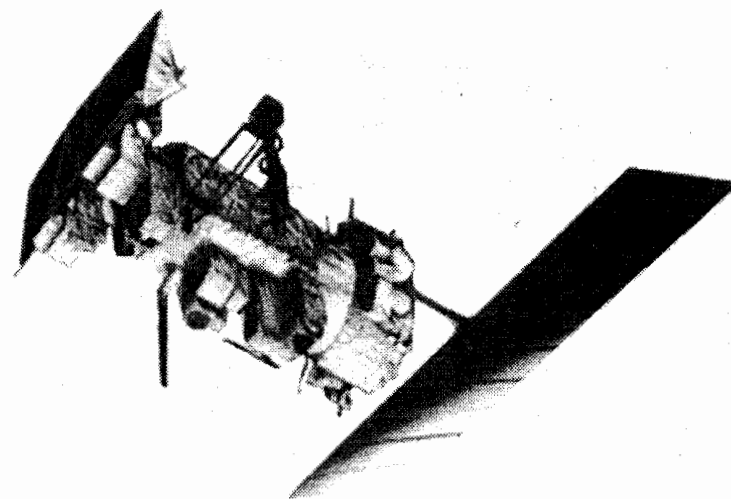


Рис.1.7 – Зовнішній вигляд космічного апарату «NOAA»

На космічному апараті NOAA встановлений радіометр AVHRR – прилад для вимірювання параметрів випромінювання (отримання цифрового зображення) з поверхні Землі і інформації про нижні шари атмосфери. Даний прилад фіксує відбитий сигнал в п'яти спектральних діапазонах, що включає:

- Канал 1 – видимий (0,53 мкм – 0,73 мкм);
- Канал 2 – ближній інфрачервоний (0,73 мкм – 1,1 мкм);
- Канал 3 – середній інфрачервоний (3,5 мкм – 3,9 мкм);
- Канал 4 – термальний інфрачервоний (10,3 мкм – 11,3 мкм);
- Канал 5 – термальний інфрачервоний (11,5 мкм – 12,5 мкм).

Канал 1 радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал у видимій частині спектрального діапазону. Одержуване цифрове зображення можна використати для:

- спостереження за різними типами земної поверхні;
- аналізу альbedo хмарного покриву і поверхні Землі;
- детектування димів і туманів;
- визначення відмінностей між сніговими і вологонасиченими хмарами (снігові хмари, як правило, погані відбивачі у видимому діапазоні, а вологонасичені хмари, як правило, добрі відбивачі видимого світла).

Канал 2 радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал в ближній інфрачервоній частині спектрального діапазону. Одержуване цифрове

зображення можна використовувати для:

- спостереження за водною оболонкою Землі (вода, як правило, має менший рівень відбитого сигналу у діапазоні 1-го каналу);
- визначення відношення каналу 2 і каналу 1 для розрахунку вегетаційного індексу;
- спостереження земної поверхні через атмосферний серпанок (останній пропускає ближнє інфрачервоне випромінювання);
- визначення відмінностей між сніговими і вологонасиченими хмарами.

Канал 3 радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал в тій частині спектрального діапазону, в якій випромінювання, що випускається в нічний час, близьке за внеском до сонячної радіації, що випускається і відбивається, в денний час. Одержуване цифрове зображення можна використовувати для обробки інформації, одержаної в нічний час, для:

- визначення типів хмарності (для визначення типів хмарності також використовуються канали 4 і 5);
- використання відмінностей між каналами 3 і 4 для визначення розподілу температур усередині хмарності;
- детектування пожеж і вулканічних вивержень.

Канал 4 радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал в тій частині спектрального діапазону, в якій теплове випромінювання Землі домінує весь час (включаючи день і ніч). Одержуване цифрове зображення можна використовувати для обробки інформації, одержуваної у будь-який час доби для:

- оцінки температурної «яскравості» земної і водної поверхні, а також верхніх шарів хмарного покриву;
- детектування типів хмарності (завжди порівняно з інформацією по інших каналах);
- використання відмінностей між каналами 3 і 4 для визначення температурного розподілу усередині хмарності (у нічний час);
- порівняння з каналом 5 для визначення нижнього рівня вологості;
- порівняння з каналом 5 для детектування розподілу викидів вулканічного попелу.

Канал 5 радіометра AVHRR фіксує відображений сигнал в тій частині спектрального діапазону, в якій теплове випромінювання Землі домінує весь час (включаючи день і ніч). Одержуване цифрове зображення можна використовувати для обробки інформації, одержуваної у будь-який час доби для:

- оцінки температурної «яскравості» земної і водної поверхні, а також верхніх шарів хмарного покриву;
- детектування типів хмарності (завжди порівняно з інформацією по інших каналах).

## Контрольні запитання

- 1.1 Елементи орбіти ШСЗ
- 1.2 Типи орбіт ШСЗ
- 1.3 Типи орбіт МСЗ
- 1.4 Вимоги до орбіт МСЗ
- 1.5 Визначення дистанційного зондування навколишнього середовища
- 1.6 Що є джерелом інформації при спостереженні Землі
- 1.7 Пасивні методи супутникового моніторингу
- 1.8 Активні методи супутникового моніторингу
- 1.9 Залежність параметрів зондування від довжини електромагнітних хвиль
- 1.10 Призначення комплексу наукової апаратури КСДЗ
- 1.11 Призначення комплексу службової апаратури КСДЗ
- 1.12 Пояснити принцип сканування
- 1.13 Наукова апаратура, що працює у видимому діапазоні
- 1.14 Інфрачервона наукова апаратура
- 1.15 Наукова апаратура, що працює у мікрохвильовому діапазоні
- 1.16 Характеристика наукової апаратури космічного апарата "Січ"
- 1.17 Характеристика наукової апаратури космічного апарата "NOAA"

## 2 Характеристика космічної гідрометеорологічної інформації

- 2.1 Основні види космічної гідрометеорологічної інформації і вимоги, що ставляться до неї

Основними видами космічної гідрометеорологічної інформації (КГМІ), яка поступає з метеорологічних супутників, є космічні зображення Землі і дані радіаційних вимірювань.

*Основні вимоги до КГМІ.* В теперішній час в основу прогнозу погоди покладена значна гідрометеорологічна (ГМ) інформація, одержувана за допомогою численних методів спостережень і вимірювань на різних висотах над Землею. Особливе місце в сукупності гідрометеорологічної інформації (ГМІ), що поступає для аналізу в гідрометцентри, займає наукова інформація, що передається з супутників. Знімки, одержувані в різних ділянках спектру електромагнітних хвиль, і радіаційні карти істотно доповнюють відомості про погоду, особливо в районах, що мало освітлені в метеорологічному відношенні. Внесок космічної інформації стає істотним при аналізі синоптичного положення, особливо при сумісному використанні даних наземних і аерологічних спостережень, які одержані в єдиний момент часу для великого географічного району.

Комплексний аналіз всієї КГМІ обумовлений певними вимогами до неї, що забезпечують можливість подальшого використання:

- глобальність,
- тривимірність,
- комплексність,
- синхронність,
- регулярність,
- оперативність.
- відрізнення даних на місцевості,
- смуга огляду наукової апаратури,
- точність, з якою може бути визначений відповідний метеорологічний елемент.

Всі вимоги до метеорологічних даних повинні виконуватися в сукупності, бо порушення хоча б одного з них значно знецінює всю інформацію, що поступила.

Вимога *глобальності* наукової КГМІ може бути задоволена декількома шляхами:

- 1) збором даних за допомогою системи геостационарних супутників;
- 2) спостереженням та збором даних метеорологічною космічною системою;
- 3) використанням запам'ятовуючих пристроїв, що є на борту супутника, і скиданням інформації на пункті прийому інформації (ППІ), тобто роботою наукової апаратури в режимі запам'ятання інформації (ЗІ).

Просторове уявлення про розподіл ГМ даних дуже важливо при аналізі синоптичного положення. Питання *тривимірності* вимірювань не повністю задовольняють сучасні вимоги. Якщо за площею вимірювання з супутників мають певні успіхи, то рішення задачі відновлення вертикальних профілів різних метеорологічних величин вимагає вдосконалення методик відновлення цих даних.

*Комплексність* супутникових вимірювань забезпечується установкою на борту супутників різних видів наукової апаратури, а також використанням сукупності засобів спостережень та збору даних сучасними авіаційними, наземними і космічними системами.

Знімання інформації в єдиний фізичний момент часу – одна з найважливіших вимог до КГМІ, тому *синхронність* знімання інформації забезпечується в першу чергу вибором орбіт оперативних метеорологічних супутників. Велике значення для задоволення цієї вимоги має визначення кута нахилу орбіти супутника, зокрема, використання сонячно-синхронної орбіти. Використання у складі метеорологічних космічних систем декількох супутників, що передають інформацію в режимі безпосередньої передачі, спрощує рішення питання синхронності спостережень в строки, прийняті на синоптичній мережі.

Дослідження показують, що невеликі відхилення в часі, пов'язані з використанням даних навіть тільки з одного супутника Землі, виявляються порівнянними з часом старіння даних наземних і аерологічних спостережень.

*Регулярність* спостережень з супутника забезпечується бортовою системою управління роботою наукової апаратури. Вона визначається заданою програмою вимірювань і контролюється різними наземними пристроями. Режими роботи супутникової апаратури (безпосередньої передачі – БП і запам'ятання інформації – ЗІ) повністю забезпечують цю вимогу.

*Оперативність* отримання КГМІ пов'язана з особливістю вимірювань і розповсюдженням супутникових даних. Враховуючи широке використання бортових і наземних електронно-обчислювальних комплексів для початкової обробки метеорологічних космічних даних, можна розраховувати на певні перспективи підвищення оперативності доведення наукової інформації до споживача.

Вимоги до *відрізнення* КГМІ визначаються задачами, які ставляться перед аналізом знімка або даних радіаційних вимірювань. В окремих випадках для прогнозу достатньо мати оглядові зображення з малим відрізненням, а в деяких випадках вимогам, що пред'являються, відповідатимуть тільки детальні знімки з великим відрізненням.

Вимоги до *смуги огляду* супутникової апаратури визначаються вибором оптимальної висоти орбіти, її типом і технічними характеристиками знімальної апаратури супутника. В цілому сучасна апаратура супутника забезпечує виконання цієї вимоги.

*Точність вимірювань* ГМ величин в значній мірі залежить від технічних можливостей бортової апаратури, від досконалості методів розрахунку цих величин по методикам рішення зворотних задач. Ця вимога тісно пов'язана з практичним вирішенням питання про тривимірність вимірювань. Для більшості гідрометеорологічних величин досягнута точність вимірювання і відрізняльна здатність не завжди відповідають основним вимогам. Розв'язання даної проблеми в першу чергу пов'язано з удосконаленням апаратури, а також з подальшим розвитком космічних систем.

## 2.2 Космічні знімки

Космічна зйомка Землі охоплює широкий спектр її електромагнітного випромінювання. Знімки, одержані в різних діапазонах хвиль (видимому, інфрачервоному і мікрохвильовому), є одним з основних видів наукової інформації про стан підстильної поверхні, про атмосферу Землі та її об'єкти.

Масштаб зображення знімка залежить від ряду характеристик,



зокрема, від параметрів орбіти, висоти польоту супутника, кута сканування, виду траєкторії носія, закону зміни швидкості переміщення візирного променя по рядку і кутових елементів орієнтування скануючого пристрою.

Масштаб космічного знімка по рядку сканування внаслідок кривизни Землі непостійний. Так, наприклад, на знімку, одержаному у видимому діапазоні з супутника «Метеор» ( $H = 900$  км), він змінюється від 1:10345000 в районі підсупутникової точки до 1:11427000 на краю знімка. Масштаб знімка в подовжньому напрямку, на відміну від масштабу по рядку сканування, порівняно постійний.

Розглянуті залежності характерні тільки для неспотвореного знімку. При космічній зйомці з супутника завжди мають місце спотворення. Вони обумовлені недосконалістю оптичної і електронної частин приймально-передаючого тракту і випадковими змінами елементів зовнішнього орієнтування.

*Зображення, одержані у видимій ділянці спектра.* Вони є одним з найважливіших видів інформації. Зйомка здійснюється оптико-механічною скануючою апаратурою над освітленою територією Землі і має підвищену інформативність (рис.2.1). Для збору і розповсюдження використовуються дві схеми: централізована і автономна.

У режимі безпосередньої передачі (БП) скануючий телефотометр, встановлений на супутнику «Метеор», забезпечує отримання знімку у смугі на місцевості 2100 км і відрізненням 2 км в надирі. Масштаби зображень по рядку  $1:11 \cdot 10^6$ , по кадру  $1:12 \cdot 10^6$ .

Знімки, одержані за допомогою п'ятиканального скануючого радіометра високого відрізнення, встановленого на супутнику NOAA, мають смугу на місцевості 3000 км і відрізнення 4 км по всьому полю знімка. Масштаби зображень складають по рядку  $1:30 \cdot 10^6$ , по кадру  $1:25 \cdot 10^6$ .

Зображення, які одержані з геостационарних супутників серії ГОЕС в режимі безпосередньої передачі, мають відрізнення на місцевості близько  $9 \times 9$  км. Знімок з одного супутника забезпечує зображення 30 % площини Землі.

Характеристики знімків, одержаних з супутників в режимі запам'ятання інформації (ЗІ), декілька несхожі зі знімками, одержаними в режимі безпосередньої передачі. Так, знімки, виконані з супутника «Метеор-2», мають смугу огляду на місцевості 2400 км і відрізнення 1 км в надирі. Особливістю цих знімків є наявність на них координатної сітки.

Знімки супутників NOAA, що надходять в централізованому режимі збору інформації, мають кращу відрізняльну здатність, ніж знімки, одержані в режимі безпосередньої передачі. Відрізнення на місцевості при плановій зйомці з супутників серії NOAA дорівнює  $1,1 \times 1,1$  км, загальна

ширина смуги захоплення на місцевості в цьому випадку рівна 3300 км.



Рис.2.1 – Зображення, одержане у видимому діапазоні хвиль з супутника «Метеор»

*Зображення, одержувані в ІЧ ділянці спектра.* Інфрачервоні знімки є візуалізованою формою теплових контрастів об'єкта. При реєстрації ІЧ інформації перетворення відеосигналу в зображенні проводиться так, щоб світліші ділянки знімку відповідали об'єктам з нижчою радіаційною температурою, а темніші ділянки – об'єктам з вищою температурою (рис.2.2).

Чутливість інфрачервоних систем до теплових контрастів і визначає ряд характеристик інфрачервоних зображень. Одержані ІЧ знімки, як

правило, мають меншу відрізняльну здатність на місцевості в порівнянні з зображеннями видимого діапазону, а, отже, мають і меншу інформативність. Втім можливість отримання знімків в світлий і темний час доби робить цю інформацію основною при використанні її в синоптичному аналізі. Знімки поступають в централізованому або автономному режимі. Зйомка здійснюється за допомогою скануючої апаратури, тобто поелементно.

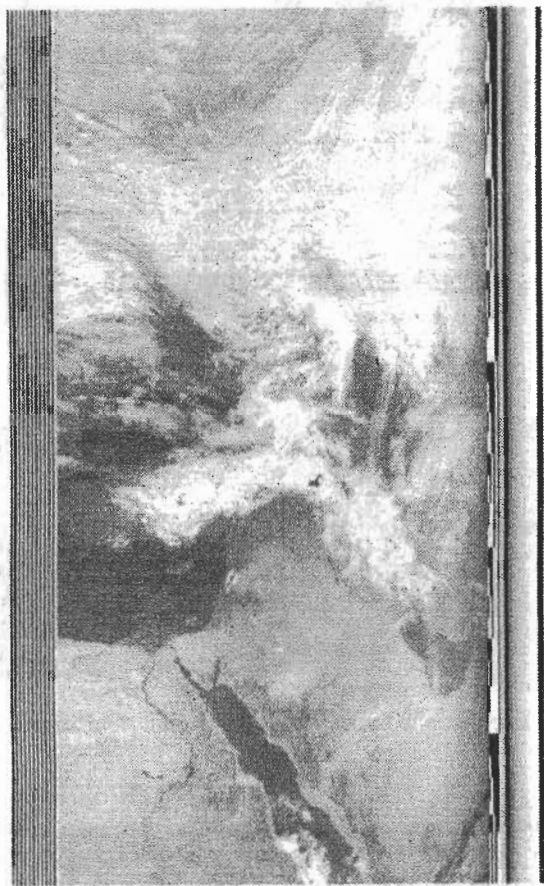


Рис.2.2 – Зображення, одержане в ІЧ діапазоні хвиль з супутника «Ресурс»

Отримання безперервного зображення упродовж всього витку істотно полегшує процес подальшої обробки знімків. На полях фотоплівки поруч з зображенням у вигляді темних і світлих рисок, які паралельні рядкам

сканування, фіксуються в двійковому коді хвилини мітки часу. У режимі безпосередньої передачі локалізація знімку здійснюється за часом прийому зображення і відомостями, які отримуються за спеціальними телеграммами, що передаються національними службами погоди.

Скануючий інфрачервоний радіометр супутника «Метеор» забезпечує отримання знімку, який захоплює на місцевості 2600 км та з відрізненням 8 км в надирі. Масштаби реєстрованих зображень по рядку від  $1:11,5 \cdot 10^6$  в центрі до  $1:48 \cdot 10^6$  на краях, по кадру  $1:19,5 \cdot 10^6$ .

Інфрачервоні знімки, одержані з супутника NOAA, мають такі ж характеристики, як і оптичні знімки, отримані з цього супутника в режимі БП, тобто захоплення на місцевості 3000 км і відрізнення 4 км по всьому полю. Масштаби зображень по рядку  $1:15 \cdot 10^6$ , по кадру  $1:12,5 \cdot 10^6$ .

Космічні ІЧ знімки, що одержані з геостационарних супутників серії ГОЕС, мають відрізнення 9,0x9,0 км і передаються в режимі безпосередньої передачі.

У основі багатоспектральної (багатозональної) зйомки лежить отримання ряду роздільних зображень одного і того ж об'єкта у вузьких ділянках електромагнітного спектру (рис.2.3). Багатоспектральна зйомка є на цей час найперспективнішим методом у вивченні Землі і надзвичайних ситуацій з космосу. Особливістю зображень, одержуваних в декількох спектральних інтервалах, є повнота інформації і достовірність, що забезпечується вибором спектральних ділянок і високою відрізняльною здатністю знімальної апаратури.

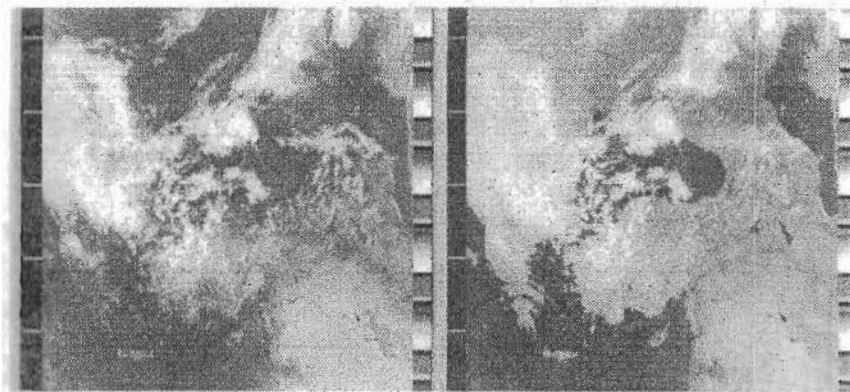


Рис.2.3 – ІЧ знімок з супутника NOAA-17 однієї і тієї ж ділянки земної поверхні в двох спектральних діапазонах

Чотириканальний оптико-механічний скануючий пристрій малого відрізнення МСЗ «Метеор» дає можливість отримати знімок із



захопленням на місцевості 2000 км і з відрізненням в надирі 1,0x1,7 км. Двоканальний оптико-механічний пристрій середнього відрізнення, встановлений на цьому ж супутнику, забезпечує менше захоплення на місцевості – 1400 км при відрізненні знімку в надирі 0,28x0,28 км.

Масштаб зображень чотириканального пристрою малого відрізнення супутника «Метеор» 1:11·10<sup>6</sup> по рядку і 1:13·10<sup>6</sup> по кадру. Пристрій середнього відрізнення цього супутника забезпечує отримання знімка в масштабі 1:3·10<sup>6</sup>.

Багатоспектральна скануюча система, що використана на супутниках «Лендсат», має просторове відрізнення 70–100 м і ширину огляду близько 185 км.

*Зображення, які одержані в мікрохвильовій ділянці спектра.* Півтонові або псевдокольорові зображення, сформовані з поля температур радіояскравості, є візуалізованою формою теплових контрастів об'єкта (рис.2.4). Вимірювання мікрохвильового випромінювання можуть вироблятися в різних режимах: вимірювання в надир та вимірювання в режимі сканування. На супутнику «Метеор» вимірювання поля температур радіояскравості здійснюються в діапазоні 0,8 см. Реєстрація здійснюється в режимі сканування по дузі під кутом 40° до надир.

На зовнішній вигляд мікрохвильові зображення схожі на інфрачервоні знімки з малим відрізненням. Вони також є безперервною смугою огляду уздовж проекції орбіти супутника. Ширина смуги огляду 700 км, відрізнення знімка на місцевості 15x20 км. Важливою рисою, що відрізняє мікрохвильові зображення, є зображення материків (суші) яскраво-білим тоном без напівтонів (за винятком Антарктиди) з чітко обрисленою береговою лінією, добре видимою крізь хмари.

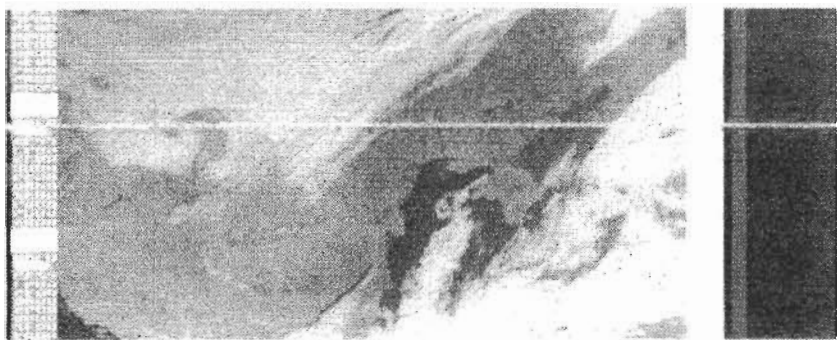


Рис.2.4 – Зображення, одержане в мікрохвильовій ділянці спектру (0,8см) з супутника «Січ»

### 2.3 Радіаційні, спектрометричні і мікрохвильові дані

*Радіаційні дані.* Радіаційні вимірювання виконуються в довгохвильовому вікні прозорості 8–12 мкм. Вимірювання інфрачервоного випромінювання за допомогою скануючого ІЧ радіометра, встановлюваного на супутнику «Метеор», дозволяють отримати поле радіаційних температур підстильної поверхні та дані, необхідні для розрахунку верхньої межі хмар.

Ширина смуги огляду отриманих радіаційних карт та відрізнення на місцевості такі ж, як і у інфрачервоних зображень. Це пояснюється використанням однієї і тієї ж апаратури – ІЧ радіометру для зйомки.

Цифрові карти радіаційної температури підстильної поверхні та висоти верхньої межі хмар випускаються в масштабі 1:3·10<sup>7</sup>. Дані на цих картах нанесені у вузлах регулярної сітки з кроком 250 км. Для північної і південної півкулі використовується стереографічна проекція, а для тропічної зони – меркаторська проекція карти.

*Спектрометричні дані.* Спектрометричні вимірювання дозволяють одержати в глобальному масштабі дані про вертикальний розподіл температури і вологості повітря, озону та ін. Найширшого застосування набули вимірювання в смугах поглинання вуглекислого газу 4,3 та 15,0 мкм. Дифракційні спектрометри, що працюють в смугах поглинання CO<sub>2</sub>, можуть мати від 4 до 30 каналів вимірювань, що практично забезпечує відновлення вертикального профілю температури до достатньо великих висот. Для отримання даних про розподіл вологості в атмосфері використовуються спектрометричні вимірювання в смугах 6,5–7,0 і 20–23 мкм. Спектральні вимірювання випромінювання, що уходить, в діапазоні хвиль 6–20 мкм дозволяють відновити вертикальний профіль озону (до висоти 25 км) і водяної пари (до висоти 9 км). Результати спектрометричних вимірювань в різних смугах поглинання (ділянках спектру) можуть бути представлені у вигляді таблиці або карт. Спектрометричні вимірювання з супутника забезпечують точність вимірювання випромінювання, що йде, до 0,5–1,0%. При проведенні спектрометричних вимірювань апаратура звичайно має еталонне каліброване джерело випромінювання. Калібрування вимірювальної апаратури дає можливість встановити зв'язок між інтенсивністю радіації і вихідним сигналом радіометра і визначити середню квадратичну помилку вимірювань. Значення середньої квадратичної помилки для подібних вимірювань за відсутності хмарності досягає 2°C, за наявності ж хмар вона дещо більше.

Методи обробки спектрометричних даних передбачають широке використання електронно-обчислювальної техніки. Первинна обробка, географічна і часова прив'язка інформації виконуються за заздалегідь розробленими схемами.

На супутниках серії «Метеор» може встановлюватися спектрометр-інтерферометр (СІ апаратура). Апаратура має декілька каналів вимірювань в діапазоні 6,25–25,0 мкм. Відрізняльна здатність її 36х40 км. Дані, отримані в цьому діапазоні хвиль, використовуються для побудови вертикальних профілів температури і визначення вмісту водяної пари і озону в атмосфері.

*Мікрохвильові дані.* Для проведення вимірювань на супутниках встановлюються трьохканальні мікрохвильові радіометри (НВЧ апаратура). Багатоканальні вимірювання в надирі ( $\lambda = 0,8; 1,35; 8,5$  см) можуть вироблятися окремо або одночасно з вимірюваннями інфрачервоного випромінювання у вікні прозорості атмосфери 8–12 мкм.

Мікрохвильова інформація може бути представлена для аналізу у вигляді реєстрограми (профілю), просторово-часового графіка і цифрової карти поля температур радіояскравості. Характеристики цієї інформації залежать від засобів вимірювання, які використовуються на конкретному супутнику. Так, при вимірюванні в режимі сканування інтенсивності мікрохвильового випромінювання системи Земля – атмосфера на  $\lambda = 0,8$  см при висоті польоту супутника  $H = 600$  км ширина смуги огляду близько 700 км при відрізняльній здатності радіометра на місцевості 15х20 км. При поляризаційних вимірюваннях в каналі випромінювання  $\lambda = 0,8$  см смуга огляду на місцевості близько 1000 км і відрізнення даних 24х30 км.

Якщо вимірювання виробляються в надир для каналів  $\lambda = 1,35$  і 8,5 см, то їх відрізнення відповідно 90х90 і 100х100 км. Отримана в мікрохвильовому діапазоні інформація дозволяє одержати відомості про кількість вологи в атмосфері, про просторовий розподіл зон опадів і їх інтенсивність, про інтегральну водність хмар, положення меж крижаного покриву та його згуртованості.

#### Контрольні запитання

- 2.1 Основні вимоги до космічної гідрометеорологічної інформації
- 2.2 Розкрити поняття глобальності космічної гідрометеорологічної інформації
- 2.3 Розкрити поняття тривимірності космічної гідрометеорологічної інформації
- 2.4 Розкрити поняття комплексності космічної гідрометеорологічної інформації
- 2.5 Розкрити поняття синхронності космічної гідрометеорологічної інформації
- 2.6 Розкрити поняття регулярності космічної гідрометеорологічної інформації

- 2.7 Розкрити поняття оперативності космічної гідрометеорологічної інформації
- 2.8 Розкрити поняття відрізнення даних на місцевості для космічної гідрометеорологічної інформації
- 2.9 Розкрити поняття смуги огляду наукової апаратури
- 2.10 Розкрити поняття точності космічної гідрометеорологічної інформації
- 2.11 Пояснити, що є зображення, одержані у видимій ділянці спектра
- 2.12 Пояснити, що є зображення, одержані у інфрачервоній ділянці спектра
- 2.13 Пояснити, що є зображення, одержані у мікрохвильовій ділянці спектра
- 2.14 Пояснити, що є багатоспектральні зображення
- 2.15 Пояснити режим безпосередньої передачі моніторингових даних
- 2.16 Пояснити режим запам'ятання моніторингових даних
- 2.17 Радіаційні дані
- 2.18 Спектрометричні дані
- 2.19 Мікрохвильові дані

### 3 Основи обробки космічних знімків

#### 3.1 Етапи обробки космічних знімків.

Особливості одержання зображень в різних ділянках спектра

У задачах вивчення Землі з космосу істотна роль відводиться багатозональним космічним зйомкам. Великий обсяг інформації, що надходить з ШСЗ, приводить до необхідності створення і розвитку раціональних методів та засобів її обробки. За сучасними уявленнями така обробка повинна складатись, хоча б, з *чотирьох етапів*:

- службової обробки,
- просторової прив'язки,
- радіаційної корекції,
- тематичної інтерпретації.

*Службова обробка* повинна полягати у введенні первинної інформації в ЕОМ, її анутованні і проведенні апаратурних корекцій. Початковими даними для останніх служать матеріали геометричних і радіометричних калібрувань знімальної апаратури.

В результаті *просторової прив'язки* повинні бути отримані трансформовані в проекцію карти зображення з удрукованою в них координатною сіткою. Для вивчення динаміки природних утворень

необхідні матеріали повторних зйомок з високою точністю просторової прив'язки (порядку декількох елементів відрізнення). Одержати таку точність можливо лише на основі сумісного використання апріорних даних про траєкторію і орієнтацію ШСЗ та апостеріорних даних про геодезичні координати контурних точок знімків.

*Радіаційна корекція* полягає в трансформації реєстрованого на борту ШСЗ потоку випромінювання до деяких стандартних умов вимірювань (наприклад, до однакових умов освітленості на нижній межі атмосфери).

Метою *тематичної обробки* є розпізнавання на зображеннях природних об'єктів або явищ. Тематична обробка в свою чергу може включати рішення задач конструювання нових зображень і їх інтерпретацію. При конструюванні нових зображень доцільні такі операції, як перетворення Фур'є, підкреслення контурів, складання зображень, які являються комбінацією початкових багатозональних зображень, і т.п. Основною метою таких операцій є підвищення образотворчих властивостей знімків.

*Методи інтерпретації* зображень прийнято підрозділяти на:

- візуальні,
- візуально-інструментальні,
- машинні.

У будь-якому випадку розробка методів інтерпретації починається з вибору та вивчення *дешифровних ознак* природних утворень. Такими ознаками можуть бути: вимірні радіаційні характеристики (або їх функції), рисункові зображення, непрямі ознаки, що витікають з ландшафтних особливостей зображеної території. Вибір дешифровних ознак здійснюється на основі відбивних характеристик систем природних утворень та умов трансформації цих характеристик атмосферою.

Безпосередньо інтерпретація включає так звану *задачу прийняття рішення*. При візуальному дешифруванні прийняття рішення ґрунтується головним чином на знаннях і досвіді фахівця. При інтерпретації за допомогою ЕОМ звичайно використовуються критерії, що витікають з теорії оптимальних статистичних рішень. Для визначення параметрів (метеорологічних, біометричних показників, швидкості стоку і т.п.) результати дешифрування повинні бути піддані спеціальній обробці.

Успіх інтерпретації багатозональних знімків істотно залежить від оптимального вибору спектральних діапазонів зйомки відповідно до відбивних властивостей шуканих природних об'єктів і явищ. В той же час вибір цих діапазонів повинен базуватися на рішенні задач інтерпретації.

*Дешифруванням* називається процес розпізнавання хмарності, снігу, льоду та об'єктів земної поверхні по космічних знімках. При дешифруванні необхідно, по можливості, отримати оптимальне число різноманітних характеристик, що дозволяють дати правильну якісну та

кількісну оцінку об'єкта, зображеного на знімку.

*Особливості отримання зображень в різних ділянках спектра.* Метеорологічне дешифрування космічних знімків, одержаних в різних діапазонах, відрізняються один від одного, як за формою, так і за змістом. Різний підхід до дешифрування знімків, в першу чергу, визначається відмінністю фізичних основ їх отримання.

*Видима ділянка спектра.* Основними об'єктами дослідження з супутників у видимій ділянці спектра є хмари і відкриті ділянки земної поверхні на освітленій стороні Землі.

Можливість виявлення хмарності на фоні підстильної поверхні полягає в їх різній здатності відображати падаючу на них пряму і розсіяну радіацію, завдяки чому на знімках, одержаних у видимій ділянці спектра, вони характеризуються різною яскравістю.

У свою чергу, яскравість поверхні об'єкта визначається інтенсивністю відбитого світлового потоку і залежить від його освітленості і коефіцієнта відбивання. Яскравість поверхні об'єктів, що мають однакові відбивні властивості, зростає при збільшенні освітленості і слабшає при її зменшенні. Природно, що яскравість об'єктів з різними відбивними властивостями різна при одній і тій же освітленості. Найважливішим фактором, що визначає освітленість поверхні об'єкта, є висота Сонця. Залежно від зміни висоти Сонця істотно міняється і освітленість поверхні. Серед інших не менш важливих факторів, що впливають на освітленість, необхідно вказати на прозорість атмосфери, на нахил поверхні, її шорсткість і ін.

Нааявність в атмосфері аерозолу у вигляді крапель води, кристалів льоду, пилу, димових часток і ін., помітно впливає на прозорість атмосфери. Зі збільшенням вмісту аерозолів зменшується освітленість прямим та зростає освітленість розсіяним світлом. Оскільки атмосфера практично завжди замутнена, то при низькому положенні Сонця відбуваються істотні втрати в загальній освітленості горизонтальної поверхні.

Верхня межа хмар, як це показують результати літакового зондування, дуже рідко буває однорідною по висоті. Тут можуть спостерігатися могутні купчасті та купчасто-дошові хмари, що підіймаються у вигляді величезних утворень, вертикальна протяжність яких декілька кілометрів, а горизонтальні розміри їх 10–15 км та більше. Звернені до Сонця похилі ділянки хмарного покриву і особливо бічні поверхні могутніх купчастих і купчасто-дошових хмар на знімках, отриманих у видимій ділянці спектра, виглядають яскравішими, ніж горизонтальні поверхні з такими ж відбивними властивостями.

Нерівність (шорсткість) верхньої межі суцільного хмарного покриву та відкритих ділянок поверхні приводить до створення великої кількості

тіней. Кількість тіней визначається шорсткістю поверхні і кутом падіння сонячного проміння. Чим більше шорсткість поверхні і менше кут падіння сонячного проміння, тим більшу кількість тіней може бути знайдено на знімку. Як параметр, що характеризує здатність об'єкта відбивати падаючу на нього радіацію, використовується коефіцієнт відбивання або *альbedo*. Відомо, що альbedo різне для різних довжин хвиль падаючої радіації.

Встановлено, що відбивні властивості хмар тісно пов'язані з їх поглинаючою здатністю і пропусканням прямої і розсіяної сонячної радіації, а також з відбивною здатністю підстильної поверхні, що знаходиться під хмарами. Альbedo хмар в основному визначається їх вертикальною потужністю, водністю, фазовим станом, висотою Сонця. У табл. 3.1 приведені середні значення альbedo різних хмар, які виміряні по зображенням, що отримані у видимій ділянці спектру.

Таблиця 3.1 – Середні значення альbedo різних хмар, які виміряні по зображенням, що отримані у видимій ділянці спектру (хмарами закрито більше 80% виділеної площі)

Форма хмар	A, %
Купчасті гарної погоди над сушею	29
Перисто-шаруваті над сушею	32
Перисті над сушею	36
Шаруваті (тонкі)	42
Масиви шарувато-купчастих (усередині суцільного хмарного покриву над океаном)	60
Шаруваті (могутні)	64
Шарувато-купчасті (значні над сушею)	68
Купчасті і шарувато-купчасті (значні над сушею)	69
Перисто-шаруваті (могутні, з хмарністю та опадами, що знаходяться нижче)	74
Купчasto-дошові (дрібні, вершини на висоті 6 км)	86
Купчasto-дошові (крупні та могутні)	92

Таким чином, відповідно до середніх значень альbedo (та із зростаючими значеннями водності), по відбивних характеристиках хмари можна розташувати в наступному порядку:

- перисті,
- шаруваті,
- шарувато-купчасті і купчасті,
- купчasto-дошові.

На відміну від хмар об'єкти земної поверхні звичайно не відбивають помітної кількості радіації з своїх внутрішніх областей у вигляді

розсіяного світла.

Порівняльний аналіз альbedo хмар (табл.3.1) і підстильної поверхні (табл.3.2) показує, що розбіжності між ними коливаються в широких межах. Якщо альbedo хмар нижнього ярусу в середньому перевищує альbedo підстильної поверхні на 50–60 %, то значення цього параметру у хмар верхнього ярусу в середньому відрізняється від альbedo підстильної поверхні порівняно мало, на 19–20 %. Найменша різниця (2–8 %) між альbedo хмар верхнього ярусу та підстильною поверхнею при великих висотах Сонця.

Таблиця 3.2 – Альbedo різних видів підстильної поверхні

Вид підстильної поверхні	A, %
Водна поверхня	2 – 6
Чорнозем	11
Деревна рослинність	10 – 18
Хвойний ліс	12
Трав'яний покрив	18 – 20
Забруднений вологий сніг	20 – 30
Поверхня глинистої пустелі	29 – 31
Пісок білий	34 – 40
Лід (залежно від згуртованості і засніженості)	30 – 70
Сніг, який тільки випав	80 ( в умовах Арктики 96 – 98 )
Сніжна поверхня Антарктиди (середнє значення за рік)	83 – 84

У зв'язку з цим можуть виникати великі труднощі у виявленні хмар верхнього ярусу над відкритими ділянками поверхні Землі по знімках, отриманих у видимому діапазоні спектру. У тому випадку, коли в хмарному покриві спостерігаються просвіти або розриви, загальне альbedo видимого з МСЗ хмарного покриву зменшується. Якщо хмарний покрив складається з дрібних хмарних елементів, розділених такими ж невеликими просвітами, то при загальному зниженні яскравості просвіти на знімку видимого діапазону не виявляються.

*Інфрачервона ділянка спектра.* Поглинання ІЧ радіації водяною паром, вуглекислим газом, озоном та іншими компонентами атмосфери відомо. Встановлено, що найбільша прозорість атмосфери спостерігається у вікнах прозорості. На сучасних МСЗ інфрачервона зйомка проводиться в довгохвильовому вікні прозорості 8–12 мкм. Відомо, що хмари (за винятком тонких *Сi*) непрозорі для ІЧ проміння з довжиною хвилі 8–

12мкм, тому радіометром вимірюється енергія, випромінювана поверхнею Землі в районах, вільних від хмар, або верхньою межею хмарного покриву. Інтенсивність радіації, що потрапляє на супутник вимірюється в межах елементарного кута зору супутника.

Отримані сигнали можуть перераховуватися в значення *еквівалентної температури* для кожного елемента відрізнєння або за допомогою особливих пристроїв перетворюватися в зображення випромінюючих поверхонь.

Інфрачервоні зображення виходять завдяки наявності *енергетичних контрастів* між підстильною поверхнею і хмарами, тому ці знімки називаються *тепловими*. На таких теплових інфрачервоних знімках об'єкти, що мають вищу температуру, коли випромінюють більшу кількість променистої енергії, мають яскравіший тон зображення, ніж об'єкти з меншою температурою.

Хмари в більшості випадків мають температуру нижче, ніж підстильна поверхня, і на стандартних теплових знімках хмарність мала б темніший тон зображення, ніж підстильна поверхня. Для того, щоб наблизити зорове сприйняття теплових знімків до знімків у видимій ділянці спектра, в практиці використовують негативні відбитки інфрачервоних знімків. На цих знімках холодніша хмарність має світлий тон зображення, а тепла підстильна поверхня – темний тон зображення. Найяскравіші ділянки на ІЧ знімках відповідають хмарам, що досягли найбільших висот і мають найнижчу температуру верхньої межі. Менш яскраві ділянки – відповідають хмарам з вищою температурою верхньої межі або тонким хмарам верхнього і середнього ярусів та хмарним масивам з просвітами, випромінювання від яких зміщується з випромінюванням від земної поверхні.

При могутніх приземних інверсіях, що виникають вночі, в холодну пору року унаслідок сильного вихолодження, верхня межа шаруватої хмарності може мати вищу температуру, ніж підстильна поверхня. В цьому випадку хмари на ІЧ знімках виглядають темніше за безхмарний простір, їх прийнято називати чорними шаруватими хмарами.

На ІЧ зображеннях поверхня суші в основному має темно-сірий тон, але унаслідок її температурної неоднорідності виражена різними півтонами. Так, низовинні ділянки місцевості по тону зображення відрізняються від ділянок, які розташовані більш високо над рівнем моря. Наявність великого теплового контрасту між сушею і водною поверхнею дозволяє на знімках розрізнати берегові лінії морів, контури озер і крупних рік, зміну тону водної поверхні залежно від зміни дня і ночі.

*Мікрохвильова ділянка спектра.* Можливість виявлення хмарності на НВЧ знімках, так само як і в ІЧ діапазоні, заснована на наявності контрастів, тобто різниці в потоках випромінювання різних об'єктів. Проте наявність цих контрастів на НВЧ зображеннях обумовлена не однією

температурою випромінюючих поверхонь, як на ІЧ знімках, а сукупністю багатьох факторів, і, зокрема, коефіцієнту випромінювання.

У зв'язку з тим, що спектральний коефіцієнт випромінювання суші в 2,0–2,5 рази більше коефіцієнта випромінювання морської поверхні, на НВЧ знімках завжди виразно видно межу вода–суша, тобто контури материків і островів. Суша характеризується яскраво-білим тоном зображення, морська вода (поверхня океану) – темно-сірим. Чітко на знімках видно і межу вода – лід, оскільки коефіцієнт випромінювання льоду також значно більше коефіцієнта випромінювання води. У мікрохвильовому діапазоні випромінювання підстильної поверхні поглинається хмарністю лише частково, а власне випромінювання хмар формується у всій їх товщі і залежить, крім середньої температури хмарного шару, від його фізичного стану, зокрема від вмісту в ньому рідиннокрапельної води і її хімічних властивостей. Цей факт має велике значення. Енергетичні контрасти між хмарами і сушею або негативні, або (у разі могутньої хмарності і опадів) близькі до нуля, а між морською поверхнею і хмарами завжди позитивні. Тому хмарні утворення виявляються невидимими на фоні «гарячої» суші і відмінно є видимими над «холодною» морською поверхнею (за наявності певних енергетичних контрастів).

Оскільки кристалічні хмари прозорі для мікрохвильового випромінювання підстильної поверхні та самі не випромінюють електромагнітну енергію в цьому діапазоні, то на НВЧ знімках їх не видно, яким би щільним і могутнім ні був їх шар. Інтенсивність випромінювання (радіояскраві температури) атмосфери і хмар, від якої залежить тон їх зображення на НВЧ знімках, на довжині хвилі 0,8 см пропорційна кількості водяної пари та рідиннокрапельної води в атмосфері. Зі збільшенням вмісту води в атмосфері росте інтенсивність випромінювання. Тому, чим більше вертикальна потужність рідиннокрапельної частини хмари, тим світліше тон її зображення на НВЧ знімку. Найяскравіший тон зображення (за винятком материків) мають хмари, з яких випадають помірні і сильні опади. Зростання радіояскравих температур зі збільшенням вмісту рідиннокрапельної води в атмосфері відбувається лише до певної межі, після якого, як би ні збільшувався вміст води в атмосфері, зростання радіояскравих температур припиняється. На довжині хвилі 0,8 см такою межею є значення радіояскравої температури 255–260 К, яка спостерігається при інтенсивності випадання опадів близько 10 мм за годину.

### 3.2 Основні характеристики зображень

Для правильного і повнішого дешифрування знімків необхідно знати основні закономірності процесів відбивання та ослаблення у видимій

ділянці спектру, випромінювання і послаблення в інфрачервоному і мікрохвильовому діапазонах, відбивні і випромінювальні властивості різних підстильних поверхонь, а також характерні структурні особливості метеорологічних об'єктів і підстильної поверхні.

При метеорологічному дешифруванні космічних знімків використовуються дешифровні ознаки. Основними дешифровними ознаками, що дозволяють розрізнити зображення хмар різного типу і земної поверхні, є *яскравість* (тон) і *малюнок* (структура) зображення.

*Основні дешифровні ознаки.* Яскравість (тон) зображення на космічних знімках залежить від ряду фізичних характеристик об'єкта. На знімках, отриманих у видимій ділянці спектру, яскравість визначається відбивними властивостями об'єкта і його освітленістю. На інфрачервоних знімках яскравість зображення залежить від теплового фону (температури поверхні) об'єкта.

На знімках, одержаних у видимій ділянці спектра, розрізняють 10–12 градацій відносної яскравості. Кількість градацій яскравості визначається досконалістю знімальної апаратури.

На відміну від знімків видимої ділянки спектра визначальним фактором тону інфрачервоного зображення є температура об'єкта. В цьому випадку тепловий фон, на якому ведеться зйомка, більш мінливий, ніж фон яскравості при зйомці у видимому промінні. Природно, що тон зображення залежить від висоти об'єкта, наприклад від висоти вершин хмар, а також від кількості хмарності на площі, яка відповідає елементу відрізнення. Тон зображення при інших рівних умовах тим світліше, чим більше кількість хмар і чим вища їх верхня межа на відповідній ділянці спостережуваної поверхні; зміна тону для сусідніх елементів відрізнення пов'язана зі збільшенням кількості, або із зростанням висоти хмар, або з обома факторами відразу.

Яскравість космічних зображень не є сама по собі достатньою дешифровою ознакою, по якій можна відрізнити на знімку хмари від підстильної поверхні суші та моря. Найбільш інформативними є різкі зміни тону по полю знімку, які формують рисунок (структуру) зображення.

*Рисунок (структура) зображення* створюється завдяки просторовій неоднорідності поля випромінювання і в основному обумовлений формою і розміром спостережуваних об'єктів, енергетичним контрастом між ними. Рисунок зображення за іншими рівними умовами істотно залежить також від технічних параметрів оглядової апаратури: відрізняльної здатності апаратури, числа відтворних градацій яскравості і т.д.

Зміна умов зйомки (освітленості або загального теплового фону, експозицій, автоматичного регулювання посилення і ін.) впливає на відтворність за шкалою півтонів і тим самим на структуру зображення. Зникають одні деталі, з'являються інші. Але в цілому *структура*

*зображення більш стійка до зовнішніх факторів зйомки, ніж тон зображення.*

Неоднорідність в просторовому розподілі тону (яскравості) приводить до виникнення на космічних знімках рисунка різних масштабів. Виходячи з масштабів яскравості неоднорідностей і відрізняльної здатності апаратури, виділяють три основні типи структури:

- текстуру,
- мезоструктуру,
- макроструктуру.

*Текстура зображення.* Під текстурою розуміють рисунок дрібних деталей зображення, який створюється відмінністю яскравості окремих елементів, розміри яких порівнянні з відрізняльною здатністю апаратури. Розрізняють чотири основні типи текстури: матову, зернисту, волоконну і дендритову.

*Матова текстура* характеризується однорідним тоном зображення. Космічні знімки, що мають таку текстуру, відрізняються між собою тільки за яскравістю. Матова текстура властива зображенням відкритих ділянок водної поверхні, однорідних ділянок суші, суцільних льодів і сніжного покриву, туману та шаруватоподібної хмарності (рис.3.1). На ІЧ знімках матову текстуру можуть мати купчасті і шарувато-купчасті хмари у тому випадку, коли просвіти між хмарними елементами менше елементів відрізнення або порівнянні з ними.

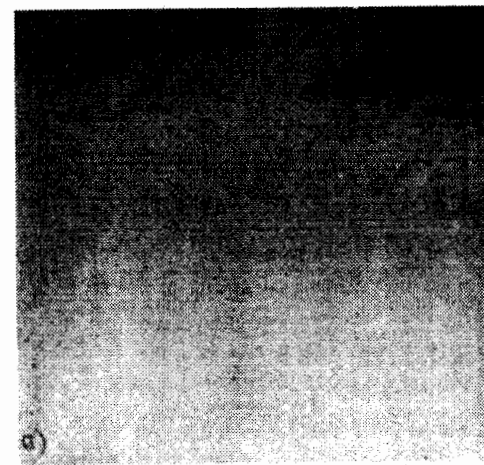


Рис.3.1 – Матова текстура зображення (шаруватоподібна хмарність)



*Зерниста текстура* – скупчення плям (зерен) світлого тону на відповідному фоні. Дрібні зерна звичайно характерні для зображень купчастої хмарності (рис.3.2), причому розміри зерен в цьому випадку настільки малі, що деталі форми окремих хмар повністю скрадаються.

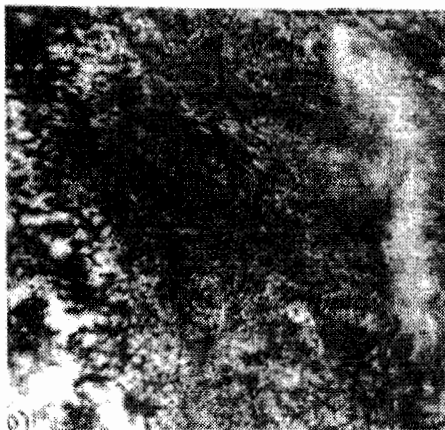


Рис.3.2 – Зерниста дрібна і крупна текстура зображення (купчастої хмарності)

Іноді зернисту текстуру має на знімках морський лід, який є мілко роздрібненим; для таких зображень характерною ознакою є деяка різкість контурів. Зерниста текстура, як правило, на ІЧ знімках розглядається дуже погано.

*Волоконна текстура* – волокна, нитки, смуги незначної товщини, але витягнуті в довжину на десятки і сотні кілометрів, з розмитими нечіткими краями (рис.3.3). Така текстура характерна для хмар верхнього і середнього ярусів.

Особливий тип текстури властивий зображенню рельєфу суші – *дендритова текстура* (рис.3.4). Вона характерна для зображення покритих снігом гір і рівнин з розгалуженою системою рік. Найчіткіше дендритова текстура є видимою на знімках, отриманих у видимій ділянці спектра. На ІЧ зображеннях не завжди вдається прослідити дендритовий вид текстури.

*Мезоструктура і макроструктура зображення.* Мезоструктура зображення – рисунок, обумовлений орієнтуванням і розташуванням на знімку пізнаваних деталей середніх розмірів, які можуть мати свою текстуру. Мезомасштабні утворення окрім безпосередніх даних про

кількість, типі хмарності дають деяку інформацію про розподіл повітряних потоків і стратифікацію атмосфери.



Рис.3.3 – Волоконна текстура зображення (перистоподібна хмарність)

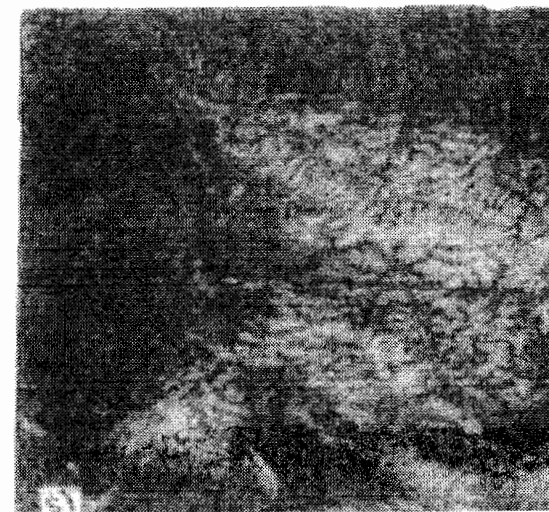


Рис.3.4 – Дендритова текстура зображення (покриті снігом Альпи)



Аналіз супутникових знімків дозволяє виділити наступні основні типи мезоструктури:

- хмарні лінії (подовжні та поперечні),
- хмарні гряди,
- хмарні осередки (відкриті та закриті),
- хвилясті хмари,
- аномальні лінії хмарності,
- мезомасштабні вихори (орографічні і конвективні),
- вторинні хмарні вихори.

Формування кожного з цих типів мезоструктури пов'язане з певними термодинамічними умовами і формами хмар.

*Макроструктура* характеризує хмарні системи синоптичного масштабу, окремі ділянки якої можуть мати мезомасштабні і мікромасштабні характеристики (мезоструктуру і текстуру). Макроструктура характеризує геометричні особливості великих ділянок зображення, створених сотнями елементів, розміри яких приблизно на два-три порядки більше відрізняльної здатності системи.

До макромасштабних хмарних систем відносяться:

- хмарні смуги;
- хмарні вихори (нетропічні і тропічні);
- хмарність внутрішньотропічної зони конвергенції;
- хмарність струменевих течій.

Структурні характеристики хмарних систем дозволяють виявити загальну синоптичну обстановку, в якій спостерігаються ті або інші хмарні утворення.

Приведений комплекс основних характеристик лежить в основі розпізнавання хмар і підстильної поверхні на космічних знімках. Але все таки за наявності у розпорядженні фахівця цих хмарних характеристик задача дешифрування залишається складною.

### 3.3 Основи методики дешифрування гідрометеорологічних об'єктів на космічних знімках

*Дешифрування знімків хмарності.* Зображення хмарності, отримані з супутників, вигідно відрізняються від наземних спостережень тим, що дають цілісну картину розподілу хмар над великими територіями, сумірними з основними синоптичними об'єктами. Це дозволяє по характеру рисунка зображення на знімках вивчати неоднорідності хмарного покриву різного масштабу, багато яких для дискретних наземних спостережень практично невлітими. Разом з цим слід мати на увазі і труднощі, пов'язані з визначенням форм хмарності на космічних

знімках, які однозначно ідентифікувати не завжди вдається.

Відомо, що чим менше розміри відрізненого елемента на місцевості, тим з більшими подробицями видно зняті об'єкти і точніше їх дешифрування. Окремі хмари меншого розміру, ніж елемент відрізнення на місцевості, не відрізняються, а хмарні поля, що складаються з хмар такого розміру, виглядають на космічних знімках у вигляді однорідної світлої пелени, подібно тонким хмарам тієї або іншої яскравості.

При дешифруванні космічних знімків не завжди вдається точно визначити форми морфологічної класифікації хмар через фотографічну схожість більшості з них між собою. Тому в супутниковій метеорології користуються умовною класифікацією (типізацією), рекомендованою Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО). Класифікація хмарності складена з урахуванням інформативної можливості космічних знімків. Згідно рекомендації ВМО, виділяють наступні основні типи хмарності, кожний з яких може включати не тільки відповідні форми морфологічної класифікації: купчасті, шаруваті, перисті і ін., але і всілякі різновиди хмар всіх ярусів, що створюють на знімках схожий зоровий ефект: купчастоподібні, шароподібні, шарувато-купчастоподібні, купчасто-дощові, перистоподібні, різні поєднання вказаних типів – хмарні асоціації.

*Купчастоподібна хмарність.* Зображення купчастоподібної хмарності на знімках створюється купчастими, могутніми купчастими, висококупчастими, перисто-купчастими хмарами. Кількість хмарності може бути різною, але, як правило, хмарність не суцільна. Тон зображення купчастоподібної хмарності на знімках відрізняється великою неоднорідністю яскравості (рис.3.5).

Купчастоподібна хмарність найчастіше спостерігається в областях холодних і оклюдованих фронтів, в тилкових частинах циклонів, а також над водною поверхнею і сушею при наявності розвиненої конвекції.

*Шаруватоподібна хмарність.* Зображення шаруватоподібної хмарності на знімках створюється шарувато-дощовими, шаруватими, високо шаруватими і щільними перисто-шаруватими хмарами. Крім цього деякі хмари (наприклад, висококупчасті і шарувато-купчасті), що складаються з дрібних хмарних елементів, розділених ділянками, які менше елементів відрізнення апаратури, можуть виглядати так само, як шаруватоподібні.

Як правило, поля шаруватоподібної хмарності мають великі горизонтальні розміри. На знімках, що одержані у видимій ділянці спектра (область А на рис.3.6), шаруватоподібна хмарність має матову текстуру, тон зображення від білого до сірого залежно від потужності хмар і висоти Сонця. Тон зображення щільних шаруватоподібних хмар звично білий, іноді – яскраво-білий, а тонких – світло-сірий.

Шаруватоподібна хмарність часто спостерігається в поєднанні з

купчастоподібною. В цьому випадку матовий тон зображення, характерний для шаруватоподібної хмарності, буде дещо порушений вкрапленнями зерен або крупніших хмарних елементів округлих форм. Нерідко в шаруватоподібну хмарність бувають включені купчато-дощові хмари, які на знімках є видимими у вигляді яскраво-білих плям на менш яскравому однорідному фоні. Іноді присутність купчато-дощових хмар можна знайти по тінях від їх вершин, що виступають над верхньою межею шаруватоподібних хмар. Шаруватоподібна хмарність буває суцільною або значною.

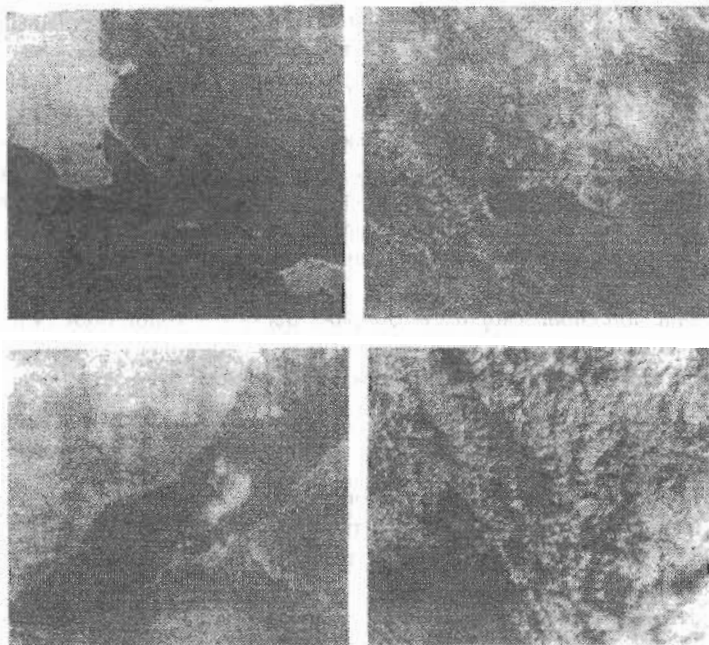


Рис.3.5 – Різновиди купчастоподібної хмарності (купчасті хмари над морем, купчасті хмари над сушею, могутня хмара, що злилася, довжиною близько 100 км над Червоним морем, купчасті і шарувато-купчасті хмари над сушею)

Якщо температурний перепад між верхньою межею хмар і підстильною поверхнею дуже малий, то на ІЧ знімках шаруватоподібну хмарність розпізнати важко. Особливо складно виділити шаруватоподібні хмари по зображеннях на нічних ІЧ знімках, оскільки контраст температури між хмарами і підстильною поверхнею вночі зменшується.

При могутніх приземних інверсіях, що виникають вночі унаслідок ніхолодження, верхня межа шаруватоподібної хмарності має вищу температуру, ніж навколишня місцевість. У цих випадках хмари на ІЧ знімках виглядають темніше за безхмарний простір.

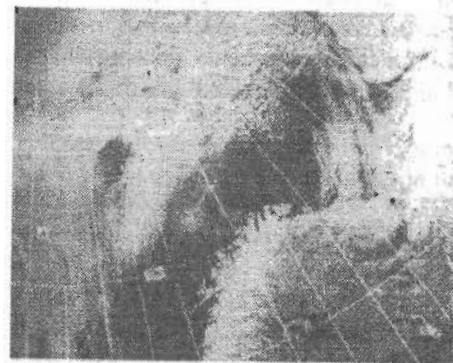


Рис.3.6 – Шаруватоподібна хмарність у видимому діапазоні

*Шарувато-купчастоподібна хмарність.* Зображенню купчато-подібної хмарності відповідають, як правило, шарувато-купчасті хмари (рис.3.7). Дуже часто ця хмарність формується в холодному вологому повітрі в підінверсійному шарі і має невелику вертикальну протяжність.



Рис.3.7 – Шарувато - купчастоподібна хмарність



Хмарні елементи мають округлу форму. Діаметр їх варіює від 10 до 100 км. Розмір безхмарних проміжків у декілька разів менше хмарних елементів. Останні мають вид закритих осередків квазішестикутної форми. Кількість хмарності змінюється від значної до суцільної.

Тон зображення шарувато - купчастоподібної хмарності на знімках, отриманих у видимій ділянці спектру, змінюється від білого в центрі хмарного елемента до світло-сірого на його периферії. Дуже часто на знімках у видимій ділянці спектра хмарність нагадує зовнішнім виглядом гальку.

Тон зображення на ІЧ знімках від світло-сірого до темно-сірого. У тому випадку, коли відстані між хмарними елементами малі, хмарність на знімку має вид суцільної сірої пелени, яка часто зливається з підстильною поверхнею. У тих випадках, коли шарувато-купчасті хмари знаходяться над однорідною поверхнею суші або водною поверхнею, температура якої трохи відрізняється від температури верхньої межі хмар, їх буває дуже важко розпізнати на ІЧ знімках.

*Купчасто-дощові хмари.* Основними дешифровними ознаками зображень купчасто-дощових хмар на знімках, які отримані у видимій ділянці спектру, є:

- яскравий (яскраво-білий) тон зображення;
- виразно обкреслені контури хмарності, добре помітні на фоні підстильної поверхні і легко розпізнавані на фоні будь-якої іншої хмарності;
- значні коливання горизонтальних розмірів;
- характерні викиди (шлейф) ковадел перистих хмар.

На зображеннях видимої ділянки спектра купчасто-дощові хмари представлені яскраво-білими однорідними плямами (рис.3.8).

*Перистоподібна хмарність.* Зображення перистоподібної хмарності на знімках створюється всіма формами перистих хмар (рис.3.9).



Рис.3.8 – Купчасто-дощові (А), могутні купчасті (Б) та дрібні купчасті (В) хмари

До перистоподібних хмар можуть бути віднесені не тільки перисті хмари, але і хмарні поля інших форм, що мають аналогічну структуру. Так, наприклад, за відсутності інших пізнавальних ознак ізолюване поле адвективного туману над відкритим морем створює на знімку такий же фотографічний ефект, що і перисті хмари. Проте знання фізичного механізму і району утворення тих або інших хмарних утворень, урахування історії, а також залучення інших джерел дозволяють правильно ідентифікувати типи хмарності.

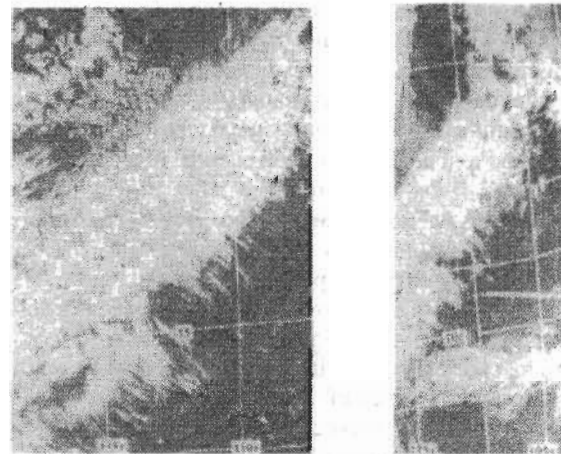


Рис.3.9 – Перистоподібна хмарність у видимому і ІЧ діапазонах

Перистоподібна хмарність може бути пізнана на зображеннях в більшості випадків по волоконній текстурі і по асоціації з іншими хмарами, такими, наприклад, як купчасто-дощові. Істотною допомогою надає також знання географії місцевості. Перисті ниткоподібні хмари на космічних знімках звичайно мають волоконну текстуру, причому чітка текстура спостерігається тільки на знімку у видимому діапазоні. Волоконна текстура перистих хмар на ІЧ знімках не є видимою. Тон зображення перистих ниткоподібних хмар у видимому діапазоні залежно від характеру підстильної поверхні змінюється від сірого до світло-сірого. Ці хмари утворюють смуги шириною 50–100 км і завдовжки до 1000 км. Крізь них ясно є видимим підстильна поверхня і купчасті хмари. Тон ІЧ зображення перистих ниткоподібних хмар змінюється від сірого до світло-сірого.

На знімках видимого діапазону тон зображення щільної перистої хмарності змінюється від світло-сірого до білого. Найяскравіші ділянки на



знімках відповідають щільнішим хмарним елементам, які часто відкидають добре помітні тіні. Елементи хмарного зображення можуть бути округлими або довгастими. Яскравість щільних перистих хмар сильно зменшується від центру їх до периферії.

На інфрачервоних знімках тон зображення щільних перистих хмар, що мають низьку температуру і не пропускають випромінювання підстильної поверхні, білий або яскраво-білий. Причому яскравість, так само як і на знімках, одержаних у видимому діапазоні, убуває від центральної частини хмарного масиву до його периферії.

*Дешифрування хмарності над снігом і льодом.* Відомо, що переважаючі види льодів арктичних морів і хмарність мають приблизно однакову відбивну здатність, тому для пізнання хмар над льодами виникає необхідність вивчення ряду послідовних знімків кожного району, де проводиться космічна зйомка. Такий аналіз дозволяє виявити за даних умов зйомки стійкі риси рисунка зображення підстильної поверхні, які трохи змінюються від дня до дня, і нестійкі в часі його особливості, створювані появою хмарності. Необхідно також враховувати характер фізичних процесів, що приводять до утворення хмар, вважаючи, що над снігом і льодом конвективні рухи, що охоплюють велику товщу атмосфери, звичайно не отримують розвитку і переважаючою формою хмар є хмари шаруватих форм, які займають великі площі.

Хмарність на світлому фоні підстильної поверхні може бути знайдена на знімках, одержаних у видимій ділянці спектра, по зміні рисунка, що виявляється в порушенні чіткості зображення характерних об'єктів підстильної поверхні або повному їх зникненні.

На зображенні засніженої суші такими орієнтирами, в першу чергу, є темні і темно-сірі плями і смуги лісових масивів, темні і темно-сірі звивисті лінії залісених річкових долин, берегові лінії, дендритова текстура зображення гірських хребтів і ін., а на зображенні крижаного покриву – темні смуги і лінії ополонок, каналів, темні плями розріджень в льоді і т.п. За наявності щільної хмарності ці темні стійкі в часі орієнтири не є видимими на знімку, а крізь тонкі хмари вони виглядають нечітко, як крізь сіру або світло-сіру вуаль. Тонкі хмари, що просвічують, хоча і зменшують контрастність зображення підстильної поверхні, але не повністю згладжують її неоднорідність, унаслідок чого створюється враження присутності хмар різних форм. Крім того, хмарність по знімках, отриманих у видимому діапазоні, може бути знайдена по тінях, що відкидають хмари, добре видимі на світлому фоні, і підвищеній яскравості обернених до Сонця опуклостей хмар в порівнянні з яскравістю підстильної поверхні (рис.3.10).

*Дешифрування літометеорів і гідрометеорів на знімках, отриманих у видимій ділянці спектра.* Високе відрізнення сучасних знімків, отриманих у видимому діапазоні з МСЗ, дозволяє знаходити зважені у повітрі і несені

вітром частинки снігу, піску і пилу. Вони виявляються в тих випадках, коли відбивна здатність частинок сильно відрізняється від відбивної здатності підстильної поверхні та коли шар цих частинок є достатньо потужним.

Сірий пісок або пил над темною водною поверхнею або над засніженою поверхнею, сніг над відкритою водною поверхнею, дим над залісеною місцевістю і ін. – це найчастіші явища, які простежуються на знімках видимого діапазону. Зважені частинки пилу або піску, які переносяться вітром, утворюють «хмару», яка іноді погіршує видимість земних орієнтирів або повністю приховує їх зображення на знімках видимого діапазону. Пил виглядає тьмяним серпанком подібним до могутніх перисто-шаруватих хмар. Пил, що переноситься з суші на водну поверхню, маскує берегову лінію. Контури пилових хмар виглядають печіткими (рис.3.11).

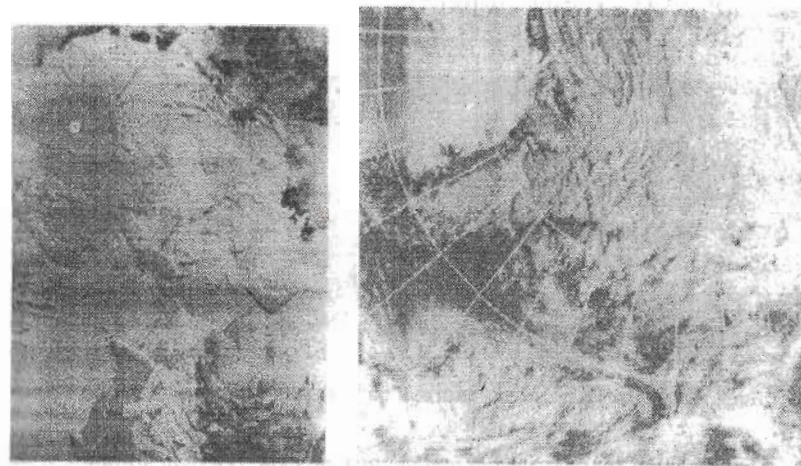


Рис.3.10 – Шаруваті і шарувато-купчасті хмари (А зліва) з рівною однорідною верхньою межею над згуртованим льодом та снігом у видимій ділянці спектра (стрілкою вказано напрям сонячного проміння) і шаруватоподібна хмарність (А, Б справа) з дуже нерівною поверхнею над льодом і снігом у видимій ділянці спектра

На зображеннях, які отримані у видимій ділянці спектра, добре простежується таке явище, як здування снігу, коли в результаті сильних вітрів (до 30–40 м/с) спостерігається руйнування сніжного покриву. На знімках видимого діапазону в цьому районі замість звичного сніжного рисунка спостерігається майже чорна пляма (звільнена від снігу ділянка землі), від якої тягнеться шлейф світлішого тону, вказуючи, в якому



напрямку переноситься сніг, що здувається, разом з верхніми шарами землі (рис.3.12).

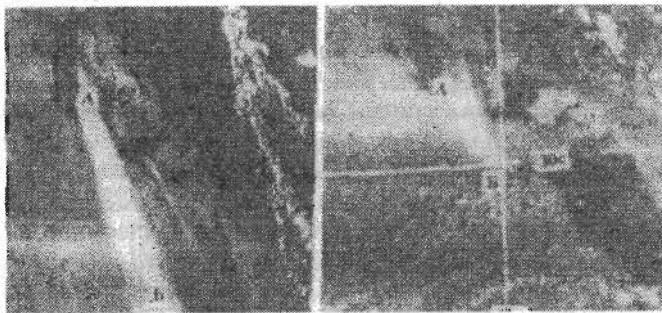


Рис.3.11 – Пилові хмари (АБ – «шлейфи» пилової бурі)

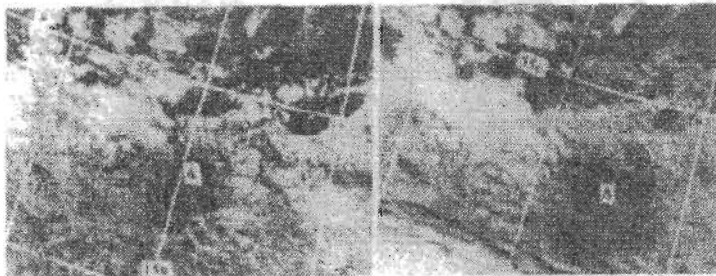


Рис.3.12 – Сніг (А), що здувається разом з верхніми шарами землі

*Особливості сумісного дешифрування знімків, одночасно отриманих в різних діапазонах спектра.* Зображення у видимій ділянці спектра дають уявлення про розподіл хмарності за площею, про тип хмарності і її мезоструктуру, але лише на освітленій частині Землі. У ІЧ - діапазоні виразними є видимі мікроструктура хмарності і відносна висота її верхньої межі, причому однаково добре як вдень, так і вночі.

Сумісне дешифрування знімків дозволяє уточнити важливі деталі зображення того або іншого об'єкта. Порівняння зображень однакових об'єктів показує, що одні і ті ж особливості підстильної поверхні і хмарності можуть виявлятися на знімках по-різному. Так, тон зображення водної поверхні на ІЧ знімках залежить від часу доби і змінюється від світлого до чорного при зміні дня і ночі, тоді як на знімках видимої ділянки спектра водна поверхня постійно темна, окрім зображення

відблиску на воді. Холодна могутня хмарність з високою відбивною здатністю, пов'язана з циклонами, і купчасто-дощові хмари на знімках, отримані у видимому і інфрачервоному діапазонах, мають однакову яскравість.

Тіні від хмар і сонячні відблиски видно тільки на знімках, одержаних у видимому діапазоні. Низькі шаруваті хмари і туман на цих знімках мають білий тон зображення, тоді як на ІЧ знімках через малий контраст температури верхньої межі з підстильною поверхнею можуть зовсім не бути видимим або мають темно-сірий тон.

На знімках, що отримані у видимій ділянці спектра, при ідентифікації хмарності в значній мірі допомагають структура (рисунок) зображення, тіні і яскраві плями, що виникають за рахунок ярусності у вертикальному розподілі хмарності, і характер верхньої межі. На ІЧ знімках ідентифікації хмарності допомагають тільки відмінності яскравості, що виникають унаслідок різної висоти хмар, а, отже, різної температури верхньої межі.

Сумісний аналіз інфрачервоних і НВЧ зображень дозволяє вирішувати наступні задачі:

- уточнити географічну прив'язку;
- виділяти із загальної маси хмар чисто кристалічні хмари;
- встановлювати факт випадання рідиннокрапельних опадів;
- оцінювати відносну вертикальну потужність хмарних масивів, розташованих в одному і тому ж районі;
- визначати межу крижаних полів.

Методика уточнення прив'язки ІЧ знімків по НВЧ зображеннях зводиться до пізнання характерних деталей контурів берегових ліній материків. Дуже часто берегова кромка закрита хмарами і тому на ІЧ знімках її не видно, в той же час на НВЧ зображеннях вона служить хорошим орієнтиром.

На рис.3.13 наведені знімки хмарного вихору, отримані в мікрохвильовому і інфрачервоному діапазонах. Сумісний аналіз зображень дозволяє уточнити зону опадів, яка простежується на НВЧ знімку в центральній частині хмарного вихору (у смузі від 45° до 55° ш.ш.).

*Дешифрування знімків підстильної поверхні.* Різниця у відбивній здатності різних ділянок земної поверхні дає можливість на знімках видимого діапазону відрізнити сушу від водної поверхні, бачити берегові лінії, долини крупних рік, озера та острова, межі суцільних морських льодів, покриті снігом гірські масиви і рівнини і ін.

Особливості підстильної поверхні (контури берегів, гірські масиви, ріки, озера і ін.), що знаходяться на космічних знімках, дозволяють не тільки більш упевнено ідентифікувати райони розташування хмарності, туману, снігу і льоду, але і служать орієнтирами для оцінки і уточнення географічної прив'язки знімків.

*Дешифрування об'єктів суші в теплу пору року.* Основними дешифровними ознаками об'єктів суші є структура і тон зображення. Постійність контурів цих об'єктів на всіх знімках і їх збіг з відповідними контурами на географічних картах істотно спрощують дешифрування. За відсутності хмарності об'єкти суші можна виділити на знімку, якщо їх розміри перевищують розміри елемента відрізнення знімку, по контрасту між ними і фоном, а також по характерному рисунку зображення. Ступінь подробиці зображення берегової лінії, елементів рельєфу та інших географічних об'єктів залежить від відрізняльної здатності апаратури.

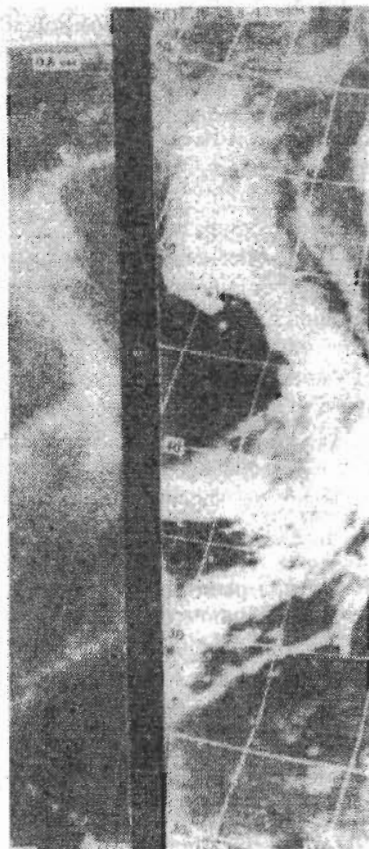


Рис.3.13 – Зображення хмарного вихору над Тихим океаном в мікрохвильовому (ліворуч) і інфрачервоному (праворуч) діапазонах

Зображення на знімках, отриманих у видимому діапазоні, дозволяють розрізнити основні типи підстильної поверхні, які різко відрізняються один від одного по відбивній здатності. Найбільш характерними з них є: пустельні райони, водна поверхня, сніжна поверхня, райони, покриті рослинністю (ліс, степ і т.п.).

Природно, що земля поверхня залежно від типу ландшафту відображається на знімках різними півтонами, що створюють визначений, шпастивий певному ландшафту, малюнок.

Встановлено, що тепловий фон, на якому випромінює хмарність в інфрачервоній області спектра, менш стійкий, ніж фон яскравості у видимій ділянці спектра. Це обумовлено тим, що у зв'язку із зміною притоку сонячної радіації температура підстильної поверхні має не тільки сезонні коливання, але і значний добовий хід, який істотно залежить від характеру підстильної поверхні (суша, вода, пустеля, рослинний покрив і т.п.).

Для зображення підстильної поверхні на ІЧ знімках звичайно характерні темні тони. Контрастність таких зображень коливається в межах 2–3 градацій яскравості. Це дозволяє, за наявності відповідної різниці температур, відрізнити гірські райони від рівнинних, бачити берегові лінії і долини крупних рік, крупні озера і острови, межі штургованих морських льодів.

*Дешифрування об'єктів суші в холодну пору року.* Дослідження показують, що зображення покритих снігом територій суші в зимовий період створюються на знімках, які отримані у видимому діапазоні, головним чином елементами рельєфу місцевості, сумірними з елементами відрізнення знімку. У кожній ландшафтній зоні формується свій індивідуальний рисунок залежно від форми рельєфу, характеру розповсюдження, ступеня зімкнутості і видів рослинності над сніжним покривом. Цей рисунок зберігає свої основні риси в зимовий період навіть при великій висоті сніжного покриву. Причину квазіпостійності рисунка зображення засніженої підстильної поверхні взимку слід бачити у тому, що коливання відбивної здатності снігу на великих площах порівняно невеликі. Однорідність яскравості засніжених територій особливо сильно порушують високі гірські хребти, річкові долини, а також масиви хвойних лесів, які мають низьку відбивну здатність. Характерною стійкою в часі особливістю зображення покритих снігом і льодовиками високих гірських систем є його дендритова текстура, в якій переважаючий світлий тон засніжених і позбавлених рослинності хребтів розчленовується темними смугами і лініями, які відповідають покритим лісами долинам.

У весняний період під час танення снігу зображення сніжного покриву зазнає істотних змін. Так, з початком танення яскравість снігу



швидко знижується, і зображення підстильної поверхні міняє тональність від світлої до темно-сірої. Порушення цілісності сніжного покриву фіксується по появі на зображенні темних плям, смуг і ліній, які вказують місця найбільшого танення снігу. Зображення території, що звільняється від снігу, іноді набуває вигляду світлих і темних плям, смуг і ліній, що підкреслюють багато деталей ландшафту місцевості, які раніше не були видні на знімку.

*Дешифрування берегової лінії.* За відсутності хмарності на супутникових знімках добре простежується берегова лінія материків, контури островів і півостровів.

На рис. 3.14 чітко виділяється берегова лінія континенту (п-ови Кольський, Канін) і о. Колгуєв. Світлий тон зображення суші на цьому знімку пояснюється наявністю сніжного покриву на континенті і острові, а також наявністю припаю льоду біля о. Колгуєв. Припай льоду в останньому випадку повторює контури берега острова.

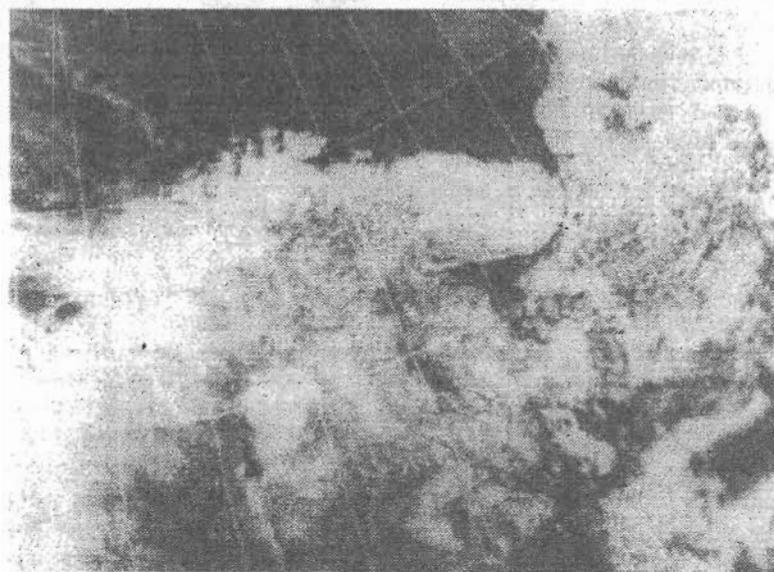


Рис.3.14 – Берегова лінія півночі Європи

*Дешифрування морських льодів.* Чорно-біле зображення на космічних знімках задовільно передає природне забарвлення льодових об'єктів, розміри яких перевищують відрізняння знімків.

Такими об'єктами є припай, згуртовані дрейфуючі льоди, окремі скупчення дрейфуючих льодів (рис.3.15). Контраст між зображенням

льодових утворень і чистої води достатньо великий. За відсутності хмарності області, покриті такими льодами, добре виділяються по сгійкому контуру та тону.

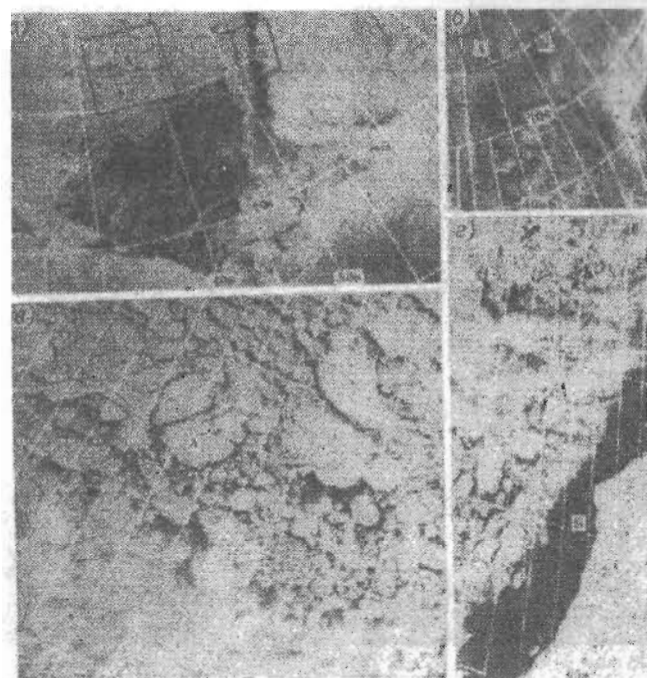


Рис.3.15 – Космічні знімки масивів згуртованого дрейфуючого льоду у видимій (а, в, г) і інфрачервоній (б) ділянках спектра. Виразно видно канали і розводдя у вигляді темних ламаних ліній. Зміна положення і ширини ополонки біля узбережжя та островів дозволяє судити про напрям дрейфу льодів

А – масив згуртованого дрейфуючого льоду (8 балів), Б – ополонка, що утворилася з підвітряної сторони острова; б) у районі А структура льоду не є видимою; в, г) знімки в масштабі 1:3000000 відповідають квадратам А і Б, які виділені на знімку а).

#### 3.4 Фотокарти і карти нефаналізу

Для розповсюдження космічних зображень в мережі служби погоди широкое застосування отримали фотокарти. Вони представляють собою фотомонтажі, складені з окремих знімків на картографічній основі.



Фотомонтажі дозволяють отримувати інформацію про синоптичні процеси в атмосфері для достатньо великих районів (рис.3.16). Такі карти можуть отримуватися кілька разів на добу.

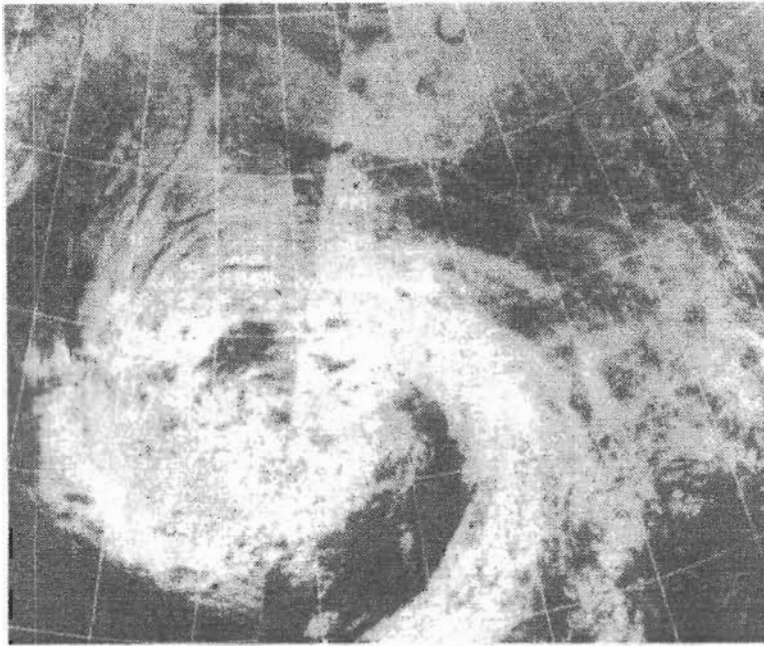


Рис.3.16 – Приклад монтажу знімків, отриманих з супутника «Метеор»

Разом з фотокартами в службі погоди широко використовуються карти нефаналізу. Карта нефаналізу є розшифрованим знімком, всі деталі зображення якого за допомогою спеціальних умовних позначень з урахуванням масштабу перенесені на бланк з географічною основою (рис.3.17).

Фотокарти хмарності і карти нефаналізу можуть бути використані при синоптичному аналізі, як над освітленими метеорологічними даними районами земної кулі, так і над районами, де ці дані відсутні або їх мало. У першому випадку карти дозволяють уточнити положення фронтів і центрів циклонів, межі розповсюдження фронтальної хмарності, виявити райони, зайняті тією або іншою формою хмар, і відкриті ділянки земної поверхні. Карти, побудовані для малоосвітлених ділянок земної поверхні, дають можливість якісно відновити синоптичну ситуацію, виявити місцезнаходження циклонів, фронтів, судити про напрям повітряних потоків, виявити райони, зайняті внутрішньомасовою хмарністю.

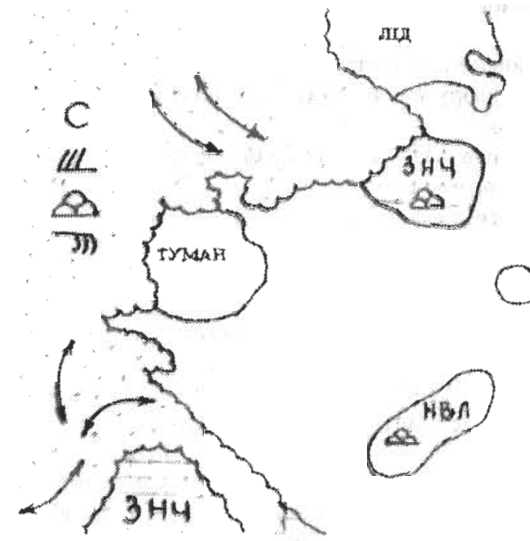
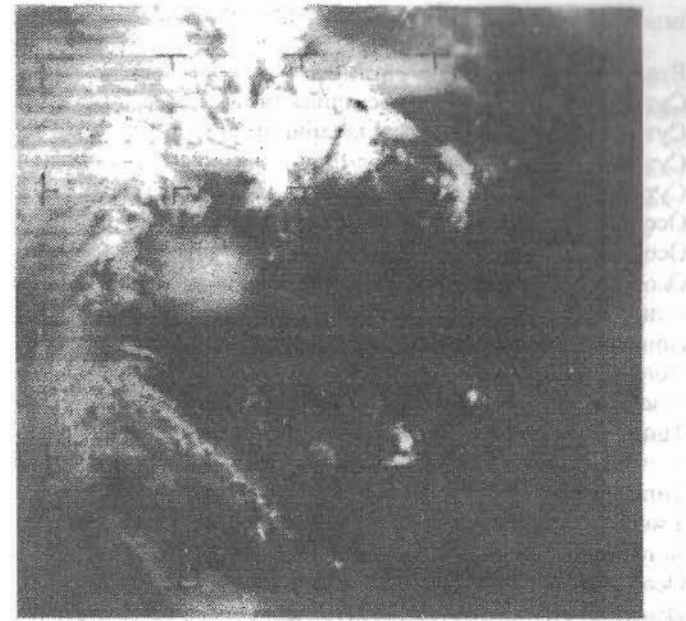


Рис.3.17 – Приклад нефаналізу

## Контрольні запитання

- 3.1 Етапи обробки космічних знімків
- 3.2 Суть службової обробки космічних знімків
- 3.3 Суть просторової прив'язки космічних знімків
- 3.4 Суть радіаційної корекції космічних знімків
- 3.5 Суть тематичної інтерпретації космічних знімків
- 3.6 Особливості одержання зображень у видимій ділянці спектра
- 3.7 Особливості одержання зображень у інфрачервоній ділянці спектра
- 3.8 Особливості одержання зображень у мікрохвильовій ділянці спектра
- 3.9 Основні дешифровані ознаки зображень космічних знімків
- 3.10 Поняття тону зображення
- 3.11 Поняття структури зображення
- 3.12 Масштабні типи структури зображення
- 3.13 Типи текстури зображення і їх коротка характеристика
- 3.14 Типи мезоструктури зображення і їх коротка характеристика
- 3.15 Типи макроструктури зображення і їх коротка характеристика
- 3.16 Умовна типізація хмарності, рекомендована Всесвітньою метеорологічною організацією
- 3.17 Особливості дешифрування знімків хмарності
- 3.18 Особливості дешифрування літометеорів і гідрометеорів на знімках видимого діапазону
- 3.19 Особливості сумісного дешифрування знімків, одночасно отриманих в різних діапазонах електромагнітного спектра
- 3.20 Особливості дешифрування знімків підстильної поверхні в теплу і холодну пору року
- 3.21 Особливості дешифрування знімків морського льоду
- 3.22 Поняття про фотографічні карти
- 3.23 Поняття про карти нефаналізу

## 4 Використання космічної інформації в метеорології

### 4.1 Використання даних про хмарність для оцінки синоптичного положення

Космічні знімки хмарності є істотним доповненням до даних наземних метеорологічних спостережень. Тому карти хмарності нарівні з синоптичними картами погоди служать початковим матеріалом для аналізу стану хмарного покриву. Природно, що ті та інші мають свої переваги і недоліки, але вони добре доповнюють один одного.

### *Основи аналізу синоптичного положення з використанням космічних знімків хмарності*

Хмарні системи синоптичного масштабу характеризують геометричні особливості великих ділянок зображення, які створені сотнями елементів відрізнення, з розмірами приблизно на два-три порядки більше відрізняльної здатності системи, за допомогою якої отримані космічні знімки. Структура хмарних зображень відображає безперервну по горизонталі картину розподілу хмар і має більшу наочність, ніж звичні дані про хмарність, поміщені на синоптичній карті. Для районів з густою мережею станцій космічні знімки хмарних полів допомагають синоптику розумніше провести аналіз атмосферних процесів. При порівнянні не густій метеорологічній мережі станцій, коли окремі ділянки території погано забезпечені спостереженнями, макроструктура хмарних зображень служить основною інформацією при аналізі та складанні прогнозу погоди.

Зображення хмарності може мати різні мезомасштабні та текстурні характеристики, що розширюють обсяг інформації про конкретне поле хмарності.

Інфрачервоні знімки найбільш репрезентативні для генерального процесу, як в денний, так і в нічний час доби. Знімки, отримані у видимій частині спектра, мають підвищену інформативність, дозволяють отримувати інформацію про окремі деталі поля хмарності та підстильної поверхні в світлий час доби.

*Основні структурні особливості хмарних полів і їх зв'язок з синоптичними процесами.* Багаторічний досвід використання космічної інформації показує, що аналіз знімків доцільно виконувати в сукупності з синоптичними даними. Такий аналіз дозволяє пояснити будову та рисунок хмарного покриву, який є результатом фізичних процесів, що відбуваються в атмосфері за їх законами.

Можна сформулювати *основні принципи синоптичного аналізу знімків хмарного покриву:*

- хмарність не з'являється безпричинно, вона виникає при сприятливій для цього синоптичній обстановці в певних гідродинамічних умовах, які сприяють конденсації водяної пари. Тому присутність хмар над якою-небудь ділянкою земної поверхні не слід розглядати як випадкове малозначуще явище;
- тенденція розвитку синоптичного процесу виявляється в полі хмарності раніше, ніж її ознаки з'являються в полі температури та тиску. Тому зміну хмарного покриву слід розглядати як тенденцію в еволюції полів температури та тиску.

З урахуванням основних принципів задачі синоптичного аналізу знімків хмарного покриву можуть бути зведені до наступного:

- знаходити причини, що зумовили появу хмар в даному районі;
- знаходити ознаки на рисунку хмарності, які вказують на тенденцію в розвитку синоптичного процесу.

Найбільш доцільно аналіз знімка хмарного покриву починати з оцінки хмарних утворень крупного масштабу, а потім переходити до деталей хмарного поля.

*Аналіз знімка умовно можна розділити на наступні етапи:*

- знаходження на знімку основних хмарних систем, які відображають рух повітря крупного масштабу (хмарні вихори, смуги);
- розгляд структури та рисунка генеральних хмарних утворень (розміри, характер верхньої поверхні хмарності, різкість меж і т.д.);
- виділення хмарності, яка утворилася всередині повітряної маси і безпосередньо не пов'язана з динамікою генерального синоптичного процесу (купчаста хмарність, тумани, шаруваті хмари і т. д.);
- виявлення хмарності, яка явно не пов'язана з основними системами і не є внутрішньомасовою хмарністю. Вивчення її структури, будови верхньої крайки, розмірів і т.д. На цю хмарність звичайно слід звертати особливу увагу, оскільки вона може бути результатом процесу, що знову зароджується, або ознакою, яка вказує на тенденцію у напрямі перебудови синоптичного процесу.

Відповідно до технічної записки ВМО № 124, *хмарні системи*, помітні на космічних зображеннях, діляться на чотири групи:

- мезомасштабні хмарні системи, які включають гряди, осередки, борозни, хвилясті хмари, мезомасштабні вихори;
- системи субсиноптичного масштабу, до яких відносяться вихори в шаруватій і шарувато-купчастій хмарності, вихори в купчастій і купчасто-дошовій хмарності, лінії шквалів, скупчення купчасто-дошових хмар;
- системи синоптичного масштабу, що включають хмарні смуги і спіралі, а також хмарні вихори; сюди ж слід віднести хмарні поля, що складаються з гряд або осередків, якщо лінійні розміри цих полів більше 500 км;
- планетарні хмарні системи, пов'язані з планетарною циркуляцією в різних частинах земної кулі, – це планетарні хмарні смуги що розташовані в нетропічних широтах, смуги хмарності верхнього ярусу в субтропіках, внутрішньотропічні хмарні смуги.

Кожна з цих груп характеризується певними горизонтальними лінійними розмірами. Часова мінливість цих систем різна і коливається від 0,5 до 100 діб та більше. У таблиці 4.1 наведені зразкові дані про співвідношення горизонтальних і часових масштабів хмарних систем.

З всієї різноманітності видів хмарності:

внутрішньомасової (теплих та холодних повітряних мас), атмосферних фронтів (холодного фронту, теплого фронту,

фронту оклюзії, стаціонарного фронту, вторинного фронту, передфронтальної і зафронтальної лінії шквалів), циклонічних утворень, систем антициклонів і баричних гребенів, систем струменевих течій –

як приклад розглянемо хмарність циклонічних утворень.

Таблиця 4.1 – Співвідношення просторових і часових масштабів хмарних систем

Хмарні системи	Лінійні розміри, км	Час існування системи, діб
Мезомасштабні	10 – 100	0,5 – 1
Субсиноптичні	100 – 500	1 – 2
Синоптичні	500 – 1500	2 – 10
Планетарні	1000 – 10000	10 – 100

#### *Хмарність циклонічних утворень*

Залежно від особливостей виникнення та розвитку позатропічних циклонів розрізняють:

фронтальні циклони,  
нефронтальні (термічні) циклони.

Для виникнення та подальшого розвитку фронтального циклону необхідні певні циркуляційні умови, при яких забезпечується відносно пониження тиску в районі виникнення циклону та поява циклонічної циркуляції. Особливості циркуляції повітря в циклоні добре простежуються і в полі хмарності, про що свідчать космічні знімки різних стадій розвитку циклону (рис.4.1 – 4.7). Хмарні вихори фронтальних розвинених циклонів є великомасштабними спіралеподібними хмарними утвореннями. Центр збігу спіралей є центром вихору. У циклонічному хмарному вихорі збіг смуг до центра в північній півкулі (рис.4.1) відбувається проти годинникової стрілки, в південній півкулі – за годинниковою стрілкою (рис.4.4).

За циклоном вихорова структура хмарності зустрічається рідко і виникає тільки у зв'язку з циклонічною циркуляцією на тому рівні, де розташовуються хмари. Форми та масштаби хмар циклонічних вихорів залежать від характеру циркуляції, контрасту температур у фронтальній зоні, де утворився циклон, а, отже, і від характеру вертикальних рухів в атмосфері.

Великі по площі та добре розвинені циклони можуть супроводжуватися вторинним або частковим циклоном. Він представляє собою невелике циклонічне утворення на периферії (частіше на південній) більш просторого та глибокого циклону. Вторинний циклон є або

молодшим циклоном, порівняно з основним, тобто на тому ж фронті, або утворенням у точці оклюзії основного циклону, або циклоном на підвітряній стороні гір при роздвоєнні циклону.



Рис.4.1 – Хмарність розвинуеного циклону на знімку видимого діапазону  
АБ – ділянка теплого фронту, АВ – ділянка холодного фронту,  
АГ – фронт оклюзії

Хмарний вихор такого циклону має конфігурацію, відповідну положенню фронтів, та має дві або три спіралі залежно від стадії розвитку. Досить часто хмарність має форму коми. В окремих випадках в хмарній системі циклону можна знайти декілька хмарних вихорів. При цьому центр одного з них – основного – розташовується поблизу центру циклону, а вторинні вихори, що є ізольованою від основного вихору хмарною системою, зсунуті на периферію циклону. Розміри вторинних хмарних вихорів звичайно невеликі, вони складають близько 200–300 км в діаметрі. Хмарна система їх сформована з хмар купчастоподібних форм. У тих випадках, коли вторинні вихори з'являються в тилівій частині хмарної системи, пов'язаної з фронтом оклюзії, вони складаються з шаруватоподібних та купчастоподібних хмар.

Кожен хмарний вихор характеризується певним життєвим циклом, протягом якого міняється форма його хмарної спіралі. Середній цикл життя вихору близько 3,5 діб.

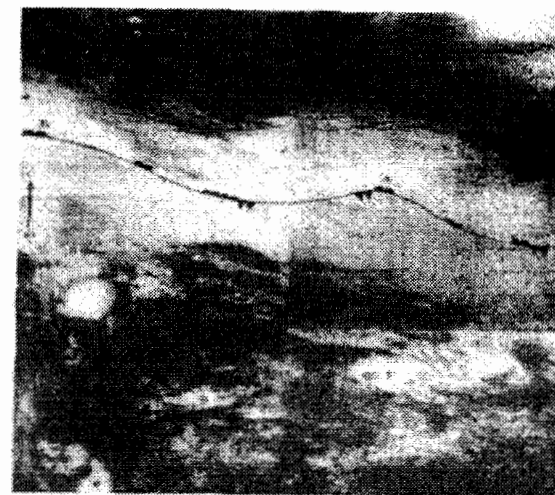


Рис.4.2 – Хмарна смуга стаціонарного фронту з хвилями над  
Європейською територією СНД, червень, 12ч.30м.

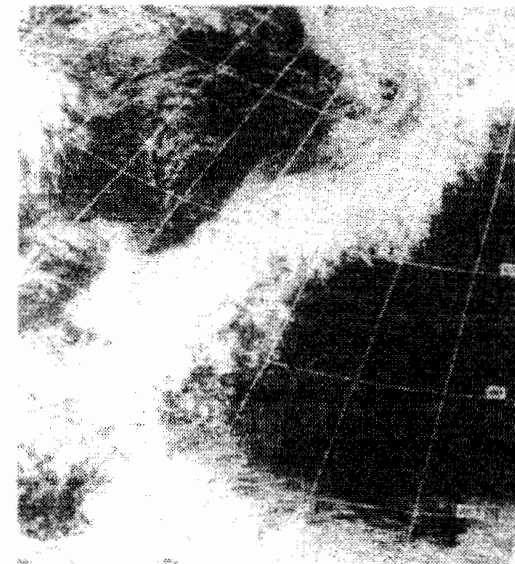


Рис.4.3 – Хмарна смуга (АБ) холодного фронту на знімку  
видимого діапазону



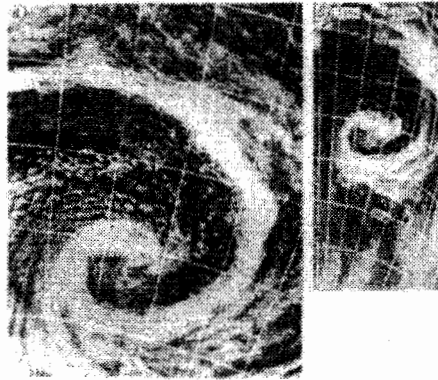


Рис.4.4 – Космічні знімки циклону південної півкулі у видимому (а) і інфрачервоному (б) діапазонах

Найчастіше вдається простежити хмарний вихор протягом 2–3 діб. Після закінчення цього періоду хмарний покрив деформується звичайно настільки, що спіралеподібну його структуру простежити дуже важко. Але в окремих випадках один і той ж хмарний вихор простежується 5–6 діб. З часом змінюється також і хмарність, з якої формується хмарний вихор. У початковій стадії виникнення циклонічного вихору він складається з хмар переважно шаруватих форм, які з часом змінюються хмарністю купчастих форм.

Розглянемо коротку характеристику структури хмарності для різних стадій розвитку фронтального і нефронтального циклонів, які вдається прослідити на космічних знімках.

*Хмарні системи фронтальних циклонів в різній стадії їх розвитку.* Відповідно до фронтальної природи циклонів виділяють наступні стадії:

- 1) фронтальна хвиля – від перших ознак зародження циклону на фронті до появи першої замкнутої ізобари, кратної п'яти;
- 2) молодий циклон – від оформлення циклону до початку оклюдування;
- 3) оклюдований циклон – від початку оклюдування до зникнення циклону.

У кожній стадії циклон не тільки має своєрідну тривимірну структуру, але відрізняється характерним рисунком хмарного поля, який виразно відрізняється на космічних знімках. В процесі розвитку циклону його хмарна система набуває спіралеподібної форми, утворюючи добре оформлений хмарний вихор; такий характерний рисунок хмарного поля дозволяє провести деякі уточнення термодинамічного стану циклону.

*Стадія фронтальної хвилі.* Це одна з швидкоплинних стадій розвитку циклону. У тилу хвилі (рис.4.5 а) з'являється складова вітру, яка направлена від холодного повітря до теплого, ця ділянка фронту стає холодною.

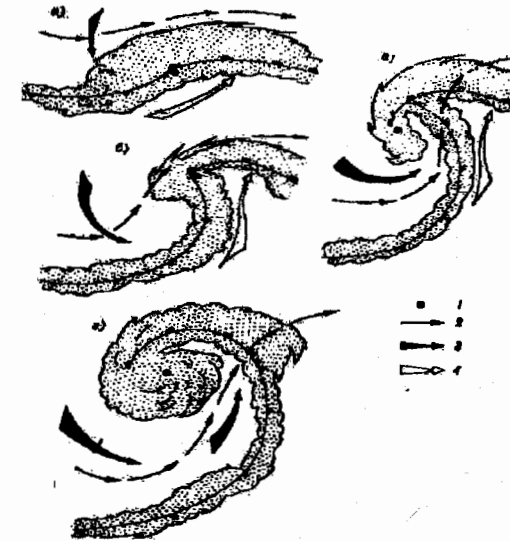


Рис.4.5 – Схема розвитку хмарної системи циклону, що виникає з фронтальної хвилі

- 1 – центр циклону біля поверхні Землі;
- 2 – вісь струменевої течії;
- 3 – траса холодного повітря;
- 4 – траса теплого повітря

Перебудова термобаричного поля супроводжується зміною вертикальних складових руху повітря і, відповідно, перетворенням фронтальної хмарної системи. Хмарна смуга, відповідна фронту, починає деформуватися, що в першу чергу приводить до розширення хмарної зони. Розширення звичайно спостерігається у бік холодного повітря. При подальшому розвитку хвилі виникає вигин хмарної смуги у бік холодного повітря. Викривлення біля вершини хвилі супроводжується ущільненням хмар. Наймогутніша, а на знімках яскравіша, світліша хмарність розташовується безпосередньо над вершиною хвилі (рис.4.2 та 4.5а), де найбільш інтенсивні висхідні рухи повітря. У передній частині хмарного масиву шаруватоподібні хмари набувають смугової структури. Хмарні смуги співпадають з напрямом правого вертикального зсуву вітру в середній атмосфері. У холодному повітрі за порівняно широкою смугою фронтальної хмарності іноді можна спостерігати одну, дві або декілька

дугоподібних хмарних смуг, які ніби повторюють викривлення основної фронтальної смуги. У теплом повітрі біля фронту відносно мало хмар, але при виникненні хвилі іноді з'являються хмарні смуги, витягнуті більш менш по потоку. В тому випадку, якщо хвиля розвинена слабо і лише виражається у викривленні фронту, на знімку звичайно буває видне розширення хмарної смуги, що не супроводжується характерним циклонічним вигином тієї ділянки фронтальної хмарної смуги, яка відповідає холодному фронту тилу хвилі. Коли хвиля розвинена добре, біля поверхні Землі може бути знайдена замкнута ізобара і формується зона опадів. Але таку хвилю не можна називати молодим циклоном, оскільки немає ще чітко вираженого термічного гребеня і улоговини та недостатньо чітко простежується циркуляція в середній тропосфері. В подібних випадках на космічних знімках видно помітне звуження хмарної смуги холодного фронту в області хвилі. При подальшому розвитку фронтальна хвиля перетворюється на молодий циклон.

*Стадія молодого циклону.* Ця стадія розвитку циклонічного утворення характеризується появою вихрової структури в зображенні хмарної системи. Циклонічна циркуляція посилюється і від поверхні Землі поступово розповсюджується вгору. Під впливом вихрового руху повітря, який охоплює нижні шари тропосфери, відбувається подальша деформація фронтальної хмарної смуги, утворюються дві хмарні спіралі, які сходяться у вершині хвилі і відповідають теплій і холодній ділянці фронту (рис.4.5б). Ділянка холодного фронту разом з хмарною системою прогинається у бік теплового сектора, а біля вершини хвилі – у бік холодного повітря.

Хмарність молодого циклону має смугову будову і утворює хмарний вихор. Центр хмарного вихору співпадає з центром циклону в нижніх 3 км і розташовується в передній частині баричної улоговини на рівні 500 гПа.

У стадії молодого циклону найпотужніша хмарність спостерігається біля вершини ще широкого теплового сектора. Іноді перед теплим фронтом можуть з'явитися вузькі гряди яскравіших хмар, орієнтовані паралельно краю фронтальної хмарності. Ці гряди свідчать про наявність нестійкого повітря перед теплим фронтом, в якому влітку можуть розвиватися купчасто-подібні хмари.

В окремих випадках завихреність хмарності в молодому циклоні може простежуватися досить слабо. Оскільки стадія молодого циклону триває недовго, цю хмарну систему не завжди вдається зафіксувати з супутника.

Межа завихреної хмарної зони приблизно співпадає з крайньою замкнутою ізобарою.

Подальший розвиток циклону спричиняє процес його оклюдування, тобто з'єднання хмарних спіралей теплового і холодного фронтів і утворення хмарної системи фронту оклюзії.

*Стадія оклюдованого циклону.* Це найбільш триваліша за часом стадія розвитку циклону, оскільки вона охоплює період від початку оклюдування до зникнення циклону. На цій стадії розвитку циклону відбуваються найістотніші зміни в структурі хмарності, які добре простежуються на космічних зображеннях. Тому доцільно розглянути характерні ознаки хмарності оклюдованого циклону на різних етапах аналізованої стадії.

Звичайно циклон досягає максимального розвитку з початком оклюдування. Відбувається помітне звуження теплового сектора циклону. На цьому етапі розвитку хмарна система циклону набуває різко вираженої спіралеподібної форми. У центральній частині відбувається з'єднання хмарних спіралей, пов'язаних з теплим та холодним фронтами, в єдину спіраль, що закручується до центра висотного циклону (рис.4.5 в, з).

Часто відбувається створення двох хмарних спіралей. Ці спіралі сходяться до центра циклонічної циркуляції на рівні хмар, причому хмарна спіраль, пов'язана з холодним фронтом, стає домінуючою. Починається утворення фронту оклюзії, хмарність якого представляється у вигляді двох хмарних спіралей, що з'єднуються. На космічних зображеннях виразно видно зменшення безхмарного або малохмарного простору між теплим і холодним фронтами. Порівняно малохмарна зона простежується в тилівій частині циклону, тут інтенсивно розвиваються гряди купчасто-подібних хмар.

Характерним індикатором оклюдування циклону є деградуєча хмарна смуга, пов'язана з теплим фронтом; від неї залишається лише невеликий виступ. Широка хмарна смуга – основна хмарна спіраль циклону – відповідає фронту оклюзії. Ця смуга має форму єдиної спіралі з хмарною системою холодного фронту. Поряд з хмарною смугою дуже чітко спостерігається безхмарна зона, що має вигляд спіралі. Така структура хмарності оклюдування циклону залишається стійкою протягом довгого часу (до трьох діб (рис.4.5 в, з)).

Приклад хмарності розвиненого циклону наведений на рис.4.6. Хмарна смуга у вигляді дуги, сформована з купчасто-дощової, купчасто-подібної і перистоподібної хмарності, відповідає холодному фронту. До фронту з боку холодного повітря примикає широка безхмарна зона. Мийже паралельно лежить друга хмарна смуга, сформована в основному купчасто-дощовою та перистоподібною хмарністю – вторинний фронт. У верхній частині знімку – смугова структура шаруватоподібної хмарності характеризує ділянку теплового фронту. Стуляючись, вони утворюють широку смугу, яка складається з суцільної хмарності всіх типів, що відповідає фронту оклюзії. Темний простір між хмарними смугами теплового і холодного фронтів – малохмарний теплий сектор циклону (рис.4.6).



Рис.4.6 – Хмарна система оклюдоного циклону над ЄТ СНД на знімку  
видимого діапазону  
АВ – ділянка теплоного фронту, АВ – ділянка холодного фронту,  
АГ – фронт оклюзії

За холодним фронтом можуть спостерігатися поля конвективних осередків. Осередки складаються з купчастоподібних хмар, які утворюються тоді, коли холодне повітря починає прогріватися від підстильної поверхні. Утворення хмар конвекції свідчить про значну нестійкість холодного повітря. Кількість і потужність конвективної хмарності можуть бути різними і залежать від вологості холодного повітря, ступеня його стійкості і стану підстильної поверхні.

З посиленням вітру поля конвективних осередків формуються в гряди. Гряди орієнтуються уздовж векторів вертикального зрушення вітру (вертикальне зрушення вітру є так званим термічним вітром, направленим уздовж ізотерм).

Центр циклону біля поверхні Землі знаходиться поблизу фокусу хмарної спіралі, але зміщений у напрямку найщільнішої хмарності, розташованої уздовж фронту оклюзії.

У тилівій частині хмарного вихору утворюється замкнута область холоду, в якій положення термічного гребеня зберігається таким же, як у циклоні в стадії максимального розвитку. Область максимального падіння тиску розташовується в передній частині хмарної зони, пов'язаної з

фронтами оклюзії, а область зростання – в зоні прояснення на холодним фронтом.



Рис.4.7 – Схема хмарності оклюдоного циклону  
1 – центр циклону; 2 – центр антициклону; 3 – лінії струменів біля поверхні  
Землі (проведені за напрямком вітру)

Для зображення оклюдоного циклону на космічних знімках характерна наявність вихрової хмарної системи, ізольованої від хмарних смуг, пов'язаних з фронтальними розділами. Хмарні спіралі в цьому випадку чітко відділяються одна від одної проміжками з майже повною відсутністю хмар (рис.4.7). Хмарна система, пов'язана з фронтом оклюзії і холодним фронтом, деградує та відтісняється на периферію циклону. В оклюдованому циклоні можуть спостерігатися хмарні спіралі невеликих розмірів, сформовані з могутніх купчастих і купчасто-дошових хмар. Вони звичайно знаходяться в тилівій частині циклону і найчастіше спостерігаються в літній період (рис.4.8).

При заповненні циклону хмарна система, пов'язана з фронтом оклюзії на холодним фронтом, руйнується (рис.4.9). Навколо центра циклону розташовуються хмарні спіралі невеликих розмірів, що складаються з могутніх купчастих і купчасто-дошових хмар. Область низького тиску, центр якої розташовується поблизу фокусу цього вихору, заповнюється і може зникнути.

Розглянута структура хмарності циклонів, які знаходяться в різній стадії розвитку, є типовою, але не охоплює всього різноманіття форм, що зустрічаються в природі.





Рис.4.8 – Оклюдований циклон

Хмарна зона теплового фронту розмита, видно незначний виступ біля точки оклюзії

Достатньо сказати, що спіралеподібну структуру хмар можна простежувати з супутника далеко не у всіх циклонів. Якщо наявність хмарного вихору в більшості випадків свідчить про присутність циклону, то зовсім не значить, що якщо немає вихору, то відсутній циклон. Над однорідною поверхнею океанів рисунок хмарності в циклоні буває чіткішим, і хмарні вихори простежуються у вигляді правильних фігур. Над порізаним рельєфом суші рисунок хмарності складніший, та правильні геометричні лінії часто слотворюються під впливом хмар, утворення яких обумовлене нерівностями земної поверхні. Нерідко порушення розглянутої схеми розвитку хмарної системи циклону буває пов'язане зі зміною умов циркуляції та термічного режиму в суміжних з циклоном баричних системах.

*Хмарні системи нефронтальних циклонів.* Виділення в окрему групу хмарних систем нефронтальних циклонів пов'язано в першу чергу з особливостями виникнення і еволюцією циклонічних утворень, а разом з ними і хмарної системи.



Рис.4.9 – Циклон, що заповнюється  
(а) – видимий діапазон, (б) – інфрачервоний діапазон  
(А – центр циклону, що заповнюється)

Нефронтальні циклони виникають переважно влітку над сушею, взимку над теплими морями. Вони не пов'язані з атмосферними фронтами, мають невеликі горизонтальні розміри і слабо розвинені по вертикалі. Причиною виникнення термічних циклонів є нерівномірне нагрівання підстильної поверхні та утворення стійких місцевих висхідних рухів повітря над порівняно великими площами. Ці циклони носять назву місцевих або термічних. Іноді нефронтальні циклони виникають в результаті спотворення повітряного потоку в умовах складного рельєфу. Такі циклони носять назву орографічних.

*Хмарні системи орографічних циклонів.* Орографічні циклони звичайно виникають на підвітряних сторонах гірських районів (хребтів). Дуже часто ці циклонічні утворення не мають замкнутої циркуляції, а є баричними улоговинами з невеликими баричними градієнтами.

На території Євразії такі циклони спостерігаються в гірських районах тільки при певному напрямі повітряного потоку. Так, наприклад, за Уралом циклони формуються при західних вітрах, на Північному Кавказі – при південних і південно-західних потоках і т.д. В цих та інших районах при відповідному напрямі вітру створюються сприятливі умови для дивергенції потоків на підвітряній стороні гірських хребтів. Для орографічних циклонів характерна малорухливість. При зміні напрямку

повітряного потоку циклони зникають, а хмарність розвивається. Дуже важливою особливістю циклонів є відсутність в їх системах фронтів і супроводжуючої їх хмарності. Найхарактерніша структура хмарності – хмарні вихори або шарувата хмарність без чіткої структури.

Встановлено, що на структуру і вид хмарної смуги істотний вплив чинить підстильна поверхня. У тих випадках, коли хмарна смуга знаходиться над рівниною місцевістю або поверхнею океану, вона має правильну типову форму. Якщо смуга розташовується над територією зі складним гірським рельєфом, то її форма зазнає значної деформації. Це пояснюється в першу чергу деформацією повітряних потоків, що в свою чергу веде до істотних деформацій і розриву фронтальних хмарних систем. Велика різноманітність структур хмарних систем, пов'язана з різними орографічними районами, не дозволяє систематизувати хмарні смуги по яких-небудь типах.

Дослідження показують, що у ряді районів орографічні циклони перетворюються на фронтальні циклони.

*Хмарні системи місцевих циклонів.* Місцеві, або термічні, циклони є розмитими і неглибокими баричними утвореннями з малими градієнтами. Фронти в них відсутні. Такі циклони виникають під безпосереднім впливом температурного режиму підстильної поверхні. Неоднорідний прогрів земної і водної поверхонь обумовлює райони, в яких виникають місцеві циклони. Взимку це відкриті моря, оточені холодною сушею. Найчастіше це внутрішні моря, такі як Середземне, Чорне, Балтійське і ін. Влітку – це нагріті ділянки земної поверхні (наприклад, райони Середньої Азії).

Для місцевих циклонів найбільш характерна хмарність конвективних форм. Звичайно ці хмари слабо розвинені по вертикалі, але займають великі райони. На космічних знімках скупчення хмар спостерігаються у вигляді невеликих вихорів.

Іноді хмарність місцевих циклонів має яскравий білий тон зображення, що свідчить про достатньо хороший розвиток хмар по вертикалі. На космічних зображеннях він відповідає купчасто-дощовим хмарам, у яких є перисті вершини. У таких випадках над місцевим циклоном розташовується відносно холодне повітря, яке обумовлює нестійкий стан атмосфери.

Іноді місцевий циклон може набути поступального руху і перетворитися на звичний рухомий фронтальний циклон. Така еволюція характерна для циклонів, які на початковому етапі є термічно симетричними, а потім внаслідок зміни циркуляції повітря в даному районі стають асиметричними. Подібні циклони можуть утворюватися в результаті втягування в циркуляцію циклону або мас холоднішого повітря, або мас теплішого повітря, або одночасно того та іншого суміжних з цим циклоном баричних систем, тобто в системі первинного термічного

циклону з'являються теплий і холодний фронти. Це призводить до того, що циклон може набути тенденції до переміщення, змінюється хмарний покрив циклону: з'являються хмарні смуги, викиди перистих хмар, формується хмарний вихор.

## 4.2 Оцінка стану рослинного покриву, посівів

Однією з найважливіших задач оперативної роботи гідрометслужби є оцінка та прогнозування стану і розвитку сільськогосподарських культур на великих площах. Для визначення площ з різним станом сільськогосподарських культур використовуються дані великої кількості синхронних спостережень за погодою і розвитком сільськогосподарських культур (приблизно на 2,5 тис. метеостанцій), а також результати наземних і авіаційних маршрутних обстежень. Проте названі спостереження є дискретними і внаслідок цього дозволяють лише приблизно визначати площі з різним станом травостою. Наприклад, точність визначення площ з поганим станом озимих зернових культур складає за наслідками авіаційних обстежень  $\pm 7-12\%$ , а за наслідками наземних спостережень  $\pm 15-30\%$ .

Застосування космічних засобів дозволить точніше і швидше визначати на великій території площі з різним станом сільськогосподарських культур. Головна перевага космічних спостережень полягає у тому, що вони дозволяють проводити оцінку стану травостою в цілому по всій території, яка спостерігається, а не по окремих полях.

На знімках, які отримані з ШСЗ, окремі сільськогосподарські поля через невелику відрізняльну здатність апаратури не відрізняються, але при достатній насиченості території сільськогосподарськими угіддями вони додають фотографічному зображенню підстильної поверхні цілком певний тон, залежний від стану посівів в момент зйомки. Усереднена характеристика стану посівів складається з окремих її складових (по нибірках меншої сукупності), що виявляється на знімках в нерівномірній тональності зображення підстильної поверхні. В зв'язку з цим по космічних знімках можливо виділення зон з різним станом сільськогосподарських культур. Для цього необхідно встановити їх дешифровані ознаки.

*Основними ознаками, які дозволяють викривати по знімках з ШСЗ візуальне дешифрування підстильної поверхні, є тональність і структура зображення.*

Відмінності в тональності знімків викликані в основному підбивними властивостями підстильної поверхні, що дозволяє проводити їх дешифрування навіть при зйомці в одному діапазоні хвиль. При зйомці в декількох діапазонах хвиль різноманітність тональностей на знімках в

структуру зображення з дифузно розподіленими темно-сірими плямами різної конфігурації, що пов'язане з різним станом рослинного покриву.

Однією з *дешифрованих ознак незадовільного стану травостою* сільськогосподарських культур через посушливі умови є поява на знімках більшого контрасту в тональності зображення заплавлених і незаплавлених ділянок. За посушливих умов стан травостою на заплавлених ділянках звичайно кращий, ніж на решті площі. Тому на знімках в діапазоні 0,8–1,0 мкм ці ділянки придбавають світліший тон, особливо на тлі чорноземних ґрунтів. Чим сильніший ступінь посушливості, тим звичайно більшою мірою виявляються на знімках такі відмінності. Зображення набувають чіткіше вираженої порізаної структури.

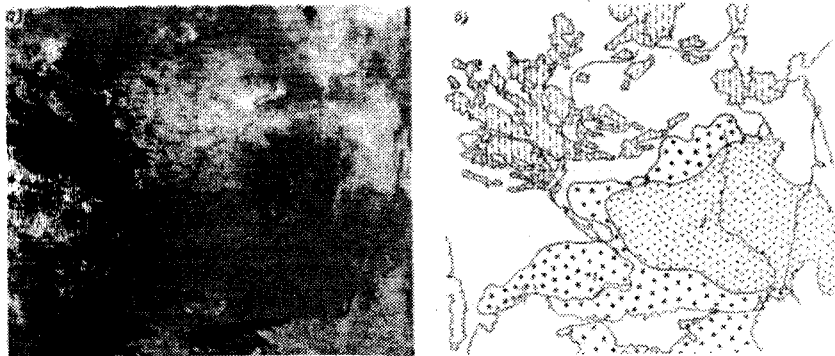


Рис.4.11 – Телевізійне зображення підстильної поверхні України і прилеглих до неї районів в діапазоні 0,8–1,0 мкм і його інтерпретація  
1, 2 – зони засухи середнього і сильного ступеню відповідно, 3 – лісові масиви

На знімках, отриманих в другій половині травня, по тональності і структурі зображення дешифрувалася зона, яка зазнає засухи (рис.4.11). Зоні з найпосушливішими умовами відповідало чіткіше зображення заплавлених невеликих рік, які в діапазоні 0,8–1,0 мкм виділялися світлішим тоном, ніж решта площі. В районах, які не зазнають засухи, такого контрасту в зображенні заплавлених і незаплавлених ділянок не спостерігалася.

Зображення на знімках ґрунтового і рослинного покриву, внаслідок їх різної спектральної відбивної здатності, між собою розрізняються тональністю. Тому в міру прибирання з полів сільськогосподарських культур тональність знімка повинна змінюватися. На знімку (рис.4.12), який отриманий в серпні в діапазоні 0,8–1,0 мкм, територія Ставропольського краю (2) має темніший тон, ніж територія

Краснодарського краю (1). Відношення площі з неприбраними сільськогосподарськими культурами до площі з ґрунтом, який зораний в цей період, складало в Краснодарському краю 1:1, в Ставропольському краю 1:3. Очевидно, різне співвідношення цих площ і викликало відмінності в тональності зображення підстильної поверхні даних країв.

Таким чином, візуальна обробка знімків дозволяє виділяти не тільки фізико-географічні та ландшафтні зони, але і зони з різним станом сільськогосподарських культур. Виявилось також можливим врахувати ступінь їх прибирання. Візуальне дешифрування космічних знімків по висловленим ознакам може бути використано в оперативній роботі при визначенні площ з різним станом рослинності.

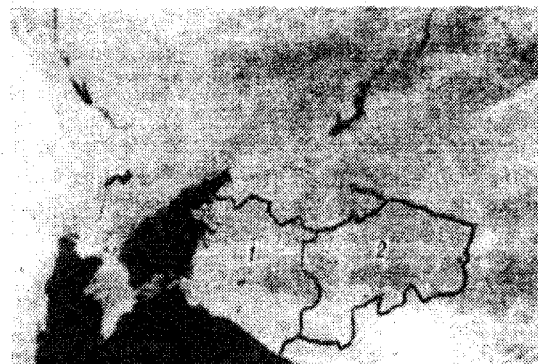


Рис.4.12 – Телевізійне зображення підстильної поверхні Ставропольського і Краснодарського краю в діапазоні 0,8–1,0 мкм

*Методи дешифрування природних утворень по їх багатозональних зображеннях*, які отримані за допомогою космічних засобів, ґрунтуються на припущенні, що різні природні об'єкти мають характерні, тільки ним властиві, спектральні залежності коефіцієнта відбиття від довжини хвилі. Існування цих залежностей дозволяє автоматизувати дешифрування за допомогою ЕОМ.

Можливі *три підходи* до проблеми *автоматичного розпізнавання* природних об'єктів по їх спектральних характеристиках.

*Перший* з них припускає наявність апріорного каталога спектральних характеристик всіх природних об'єктів, що цікавлять нас, і типових для них фонових об'єктів. Такий каталог, або як його іноді називають, банк спектральних характеристик, повинен мати повноту, достатню для вирішення проблеми розпізнавання. Він повинен містити дані про залежність спектральних характеристик природних утворень і їх фонів від висоти Сонця і кута візування, від пори року та стану природного

утворення, від стану атмосфери та ряду інших факторів. Наявні каталоги не мають достатньої повноти у вказаному значенні. Саме тому перший підхід, що є найпростішим з формальної точки зору, часто важко реалізувати на практиці.

*Другий підхід* заснований на тому, що, на космічному зображенні, що підлягає автоматичному дешифруванню, є невеликі тестові або ключові ділянки, для яких існує апіорна інформація про характер природних об'єктів. Система, що в цьому випадку розпізнається, навчаючись на тестових ділянках, екстраполює результати навчання на інші частини зображення. При цьому процес навчання зводиться фактично до отримання спектральних характеристик природних утворень тестових ділянок в тих дискретних діапазонах, в яких працює знімальна апаратура супутника, і в тих конкретних умовах, в яких відбувається зйомка. Такий підхід приваблює тим, що відповідає необхідності в каталозі апіорних спектральних характеристик. В той же час процес екстраполяції відомостей про тестову ділянку на прилеглі території за допомогою системи, що розпізнає, можливий лише при виконанні ряду вельми жорстких припущень. Зокрема, тестова ділянка повинна бути репрезентативною як в частині природних утворень, що зустрічаються на ній, так і в частині фонів. Розраховувати ж на подібну репрезентативність на скільки-небудь значних відстанях від тестової ділянки (окрім окремих випадків з надзвичайно однорідною підстильною поверхнею) досить важко і це істотно обмежує застосовність другого підходу.

*Третій підхід*, який можна назвати гібридним, повинен використовувати переваги перших двох підходів, тобто спиратися і на каталог спектральних характеристик, і на інформацію про тестові ділянки. При цьому знижуються вимоги, як до повноти каталогу, так і до репрезентативності тестових ділянок.

Як приклад розглянемо застосування другого підходу – розпізнавання з навчанням на тестовій ділянці. Для аналізу використовувались зображення в чотирьох спектральних інтервалах (0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8 і 0,8–1,0 мкм) з просторовим відрізненням порядку 200 м.

Обробка знімків виконувалась за допомогою мікрофотометрії, дані якої вводилися в ЕОМ, яка здійснювала за спеціальною програмою пошук заданої сільськогосподарської культури.

Навчання виконувалось на одному вибраному лінійному маршруті загальною протяжністю 24 км і шириною 100 м, який включав як шукану сільськогосподарську культуру (ячмінь) – клас  $k_1$ , так і ряд інших сільськогосподарських культур (сорго, кукурудза, пшениця і ін.), а також пар, які утворили клас  $k_2$  природних утворень.

Розпізнавальна система спочатку навчалася тільки на даній вибірці. Потім здійснювала розпізнавання прилеглих ділянок поверхні, доучувалася на них, забуваючи при цьому застарілу інформацію, і

пересувалася крок за кроком до більш віддалених ділянок поверхні. Тим самим здійснювалося подолання труднощів екстраполяції, пов'язаних як з неоднорідностями принципного характеру (внаслідок різних ґрунтово-кліматичних умов), так і з неоднорідностями самих зображень, що виникали з-за деградації якості знімків від центру до периферії.

Принцип пошуку об'єкта заданого класу на фоні довільних природних утворень заснований на мінімізації якогось інформаційного функціонала. При цьому використовується ітераційний процес оцінки «інформативності» кожного елементу багатоспектрального зображення поверхні і безперервного порівняння її з апіорною інформацією про шукані і фонові класи, отриманою на стадії навчання.

Кожна  $i$ -та ітерація є обчисленням функціонала вигляду

$$P(k) = 4bR^2(k)2^{-bR^2(k)(1-\sqrt{1-w^2(k,i)})} bR^2(k)(1-2\sqrt{1-w(k,i)}), \quad (4.1)$$

де:

$$R(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [x_n - m(k)]^2} \quad \text{– дисперсія спектральних амплітуд по всіх}$$

діапазонах в класі  $k$ ;

$$m(k) = \frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^{N_0} x_n^k \quad \text{– математичне очікування спектральних амплітуд по всіх}$$

діапазонах в класі  $k$ ;

$$m(j,k) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^{j,k} \quad \text{– математичне очікування спектральних амплітуд в}$$

класі  $k$  в  $j$ -тому діапазоні;

$w(k,i)$  – функція кореляції спектральних амплітуд залежно від зсуву діапазонів щодо один до одного.

Перший член в правій частині (4.1) є апіорною інформацією про даний клас, другий член – інформацію про даний клас, яку несе в собі досліджуваний елемент зображення поверхні.

Суть рішення полягає в пошуку мінімуму функціонала (4.1), який досягається, коли інформація, що міститься в елементі зображення підстильної поверхні про даний клас, рівна або мало відрізняється від апіорної інформації про цей клас.

Лінійні розміри полів сільськогосподарських культур тільки у декілька разів перевищували відстань між різними точками відліків (просторовий інтервал при даному кроці фотометрування дорівнював 100м). Тому для збільшення точності визначення меж полів ( $\pm 100$  м) чотиривимірний вектор спектральних амплітуд кожної точки окремо приєднувався до множини векторів спектральних амплітуд того і іншого

класу, після чого розраховувалася відповідна кількість інформації. Якщо при цьому інформація по відношенню до класу  $k_1$  зростає (тобто значення функціонала (4.1) зменшується), а інформація по відношенню до класу  $k_2$  убуває, то дану точку відносимо до класу  $k_1$ . Якщо ж інформація по відношенню до класу  $k_1$  убуває, а по відношенню до класу  $k_2$  зростає, то – до класу  $k_2$ . Якщо інформація зростає або убуває відносно і  $k_1$  і  $k_2$ , то порівнюються зміни інформації щодо обох класів в процентному відношенні, відповідно до чого і виноситься рішення про приєднання точки до того або іншого класу.

На рис.4.13 а наведені значення функціонала (4.1) поблизу перших (після ділянки навчання) двох меж поля шуканої сільгоспкультури. На графіку можна бачити, яким чином визначалися межі полів ячменю. Верхня крива представляє залежність  $P(c)$  для об'єкта  $k_2$  (не ячменю), нижня – для об'єкта  $k_1$  (ячменю),  $\eta$  – просторова координата, виражена в кілометрах.

Для вибраної ділянки (10 точок) обчислювалося значення функціонала для об'єктів  $k_1$  (ячмінь) і  $k_2$  (не ячмінь) і виділявся об'єкт з мінімальним значенням функціонала. Спочатку мінімум функціонала має об'єкт  $k_2$ . На межі з об'єктом  $k_1$  функціонал для  $k_2$  досягає мінімуму по відношенню до всіх прилеглих точок. З цієї умови визначається перша межа (точка б), після цієї точки номер об'єкта змінюється. Потім від цієї точки робиться крок вперед (на 10 точок) і знову визначаються значення функціонала для обох об'єктів. При цьому мінімальне значення в точці 17 має функціонал  $P(1)$ . Отже, тепер знаходиться мінімум функціонала  $P(1)$ . Точка 16 дає другу межу між об'єктами  $k_1$  і  $k_2$  (ячменем і не ячменем).

На рис.4.13 б наведені значення функціонала  $P(k)$  для кожної подальшої точки. Внизу під віссю абсцис показаний істинний розподіл полів двох об'єктів. Хід кривих на рисунку можна пояснити таким чином, якщо функціонал для об'єкта  $k_1$  має максимум (тобто інформація мінімальна) в деякій точці, а щодо об'єкта  $k_2$  – мінімум, то дана точка є межею поля і в ній відбувається перехід від об'єкта  $k_2$  до об'єкта  $k_1$  (від не ячменю до ячменю). Якщо функціонал в даній точці має максимум для  $k_2$  і мінімум для  $k_1$ , то перехід походить від об'єкта  $k_1$  до об'єкта  $k_2$  (від ячменю до не ячменю). Якщо жодна з цих умов не виконується в даній точці, то порівнюються зміни функціонала в околиці даної точки для обох класів у відсотках.

Як показали розрахунки, кількість інформації, яка отримана про той або інший клас від кожного елемента підстильної поверхні, в значній мірі визначається функцією кореляції в кожному діапазоні  $w(k,i)$ . Швидко убавання функції кореляції від діапазону до діапазону приводить до зменшення кількості інформації про даний клас (тобто до збільшення функціоналу (4.1)), і навпаки, повільне загасання  $w(k,i)$  вказує на значну інформативність даного елемента поверхні про даний клас. Проте

остаточне рішення у великій мірі залежить і від кількості апріорної інформації про даний клас.

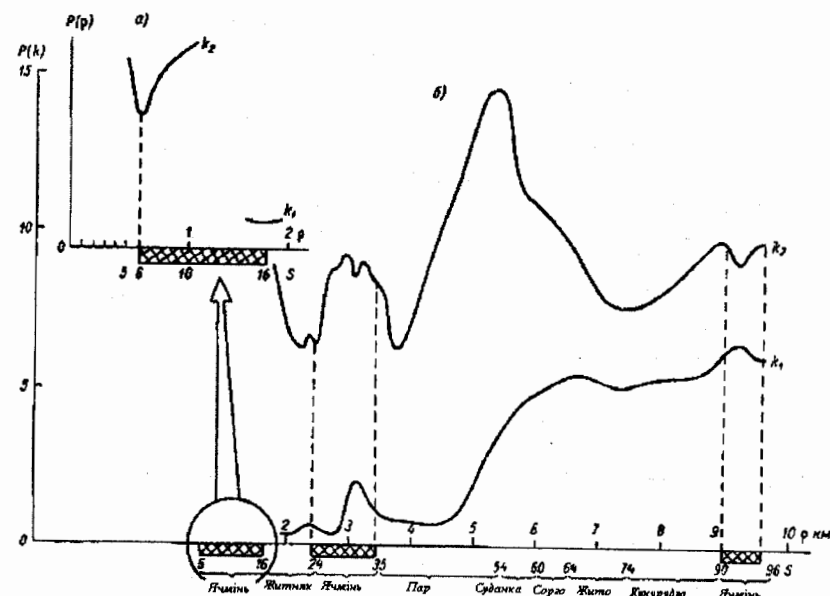


Рис.4.13 – Вид функціоналів  $P(k_1)$  і  $P(k_2)$  поблизу перших двох меж шуканої сільгоспкультури (а) і в процесі розпізнавання (б)

Чим «інформативніше» даний клас, тобто більша нестійкість спектральних характеристик об'єкта, який шукається, тим більший елемент поверхні потрібен для отримання надійної інформації про заданий клас.

Проте, метод поступового доучування і забування застарілої інформації обмежує відповідні втрати точності за рахунок необхідного збільшення кроку ітерації, оскільки обчислюванні апріорні кількості інформації виявляються завжди скінченими величинами.

#### Контрольні запитання

- 4.1 Основні принципи синоптичного аналізу космічних знімків хмарного покриву
- 4.2 Задачі синоптичного аналізу космічних знімків хмарного покриву
- 4.3 Етапи синоптичного аналізу космічних знімків хмарного покриву

- 4.4 Типізація хмарних систем відповідно до рекомендацій Всесвітньої метеорологічної організації
- 4.5 Співвідношення горизонтальних і часових масштабів хмарних систем
- 4.6 Основи аналізу синоптичного положення з використанням космічних знімків фронтальних циклонічних утворень
- 4.7 Основи аналізу синоптичного положення з використанням космічних знімків хмарних систем нефронтальних циклонів
- 4.8 Основи аналізу синоптичного положення з використанням космічних знімків хмарних систем орографічних циклонів
- 4.9 Основи аналізу синоптичного положення з використанням космічних знімків хмарних систем місцевих (термічних) циклонів
- 4.10 Основи оцінки стану рослинного покриву
- 4.11 Методи дешифрування природних утворень по їх багатозональних зображеннях
- 4.12 Основи оцінки стану посівів

## 5 Використання космічної інформації в гідрології і океанології

### 5.1 Визначення характеристик гідрологічних об'єктів дистанційним методом

Дія людини на природне середовище виражається в збільшенні кількості населення, зростанні міст, окультуренні нових територій, вдосконаленні агротехнічних методів, збільшенні водоспоживання, протиерозійних заходах, скиданні відходів і стічних вод у водоймища – все це змінює фактори, що впливають на кругообіг води (наприклад, температуру, вітровий режим, водопоглинання, відносну вологість), а також фізичні властивості води. Всі ці чинники позначаються і на режимі стоку, кількості і якості використаних водних ресурсів.

Внаслідок цього виникла необхідність контролю і регулювання впливу людини на водне середовище, для чого слід встановити ті, що є, і прямо або побічно використані водні ресурси, визначити їх кількість і якість та встановити контроль доцільності їх використання.

На користь рішення згаданих задач розроблено багато методів, які все більше удосконалюються відповідно до вимог часу і розвитку техніки. Завдяки технічному прогресу в практику водного господарства впроваджені дистанційні аерокосмічні методи вивчення водних ресурсів.

З геометричних характеристик гідрологічних об'єктів дистанційними аерокосмічними методами можна визначити:

- довжину берегової лінії,
- площину водної поверхні,

○ побічно можливе встановлення об'єму води та глибини її залягання.

Найдоцільніші методи визначення геометричних характеристик – фотограмметричні. Можна стверджувати, що вони в належній мірі розроблені, відрізняються великою точністю та в більшості випадків задовольняють вимоги, що ставляться до них. Для визначення геометричних характеристик гідрологічних об'єктів потрібен оперативний збір необхідних даних. Виконання цієї вимоги особливо необхідне при картографічному зображенні річок, оскільки рівень води в них швидко змінюється залежно від фази гідрологічного режиму. Першим кроком фотограмметричного методу є виготовлення фотографічної карти. На точність даних, що встановлені по ній, впливає масштаб, умови фотографування (наприклад, погода), відрізняльна здатність використаного фотоматеріалу або зйомки. Залежно від мети використання даних треба вибирати засіб зйомки (наприклад, аерофотознімання або космічне фотографування).

Наявний водогосподарський досвід показує, що масштаб фотографічних карт доцільно вибирати таким чином: у разі аерофотознімання він повинен бути рівний 1:4000 – 1:10000, а у разі космічної зйомки – 1:100000 – 1:500000.

Великомасштабні карти використовуються для точних вимірювань, а дрібномасштабні – для визначення будови річкової мережі на водозборі, геологічної структури, що впливає на стік, і т.д. (наприклад, при розвідці глибинних і карстових вод). Однак фотограмметричними методами нелегко вимірювати глибину водних об'єктів. Визначення глибини залежить від прозорості води, змісту завислих речовин, забрудненості поверхні. Якщо вода чиста, то глибину можна вимірювати до декількох десятків метрів.

Планове положення водних об'єктів за знімками можна визначати з високою точністю. Водні об'єкти доцільно знімати в чорно-білому вигляді. Такий матеріал дає інформацію, яка звична для людського зору. Проте залежно від цілей вирішуваних задач можна користуватися і спектрально-аналітичними зйомками.

Проведеними дослідженнями встановлено, що геометричні елементи земної і водної поверхонь краще вивчати в наступних спектральних інтервалах:

- берегова лінія – 0,8 – 0,9 мкм,
- дно – 0,45 – 0,65 мкм,
- вплив геологічних та тектонічних формацій – 0,6 – 1,1 мкм,
- розповсюдження сніжного покриву та льоду – 0,5 – 0,7 мкм.

Планове положення підземних вод можна визначати побічно в першу чергу по супровідних явищах на основі:

— структури геолого-тектонічних формацій,



- гідрофільної рослинності,
- ґрунтової вологи,
- місць підвищеної вологості ґрунту та джерел,
- бурових свердловин.

Ці дані можуть бути використані в галузі водного господарства, в першу чергу в галузі розвідки водних ресурсів, а також для регулювання водних систем та захисту від повеней.

З фізичних характеристик дистанційними методами можна вивчати:

- вміст завислих речовин (каламутність),
- рух наносів і процеси замулювання,
- швидкості течії,
- температуру,
- крижаний покрив,
- поверхневе забруднення води.

Фізичні характеристики гідрологічних об'єктів визначити набагато складніше, ніж планові, оскільки вони вимагають сумісного застосування декількох методів. Це означає, що для визначення згаданих характеристик недостатньо однієї фотографічної карти, треба користуватися ще і спектросональним фотографічним зображенням. В той же час, комбіноване застосування декількох знімальних способів може дати достовірнішу оцінку. Залежно від розміру площі, що вивчається, або бажаної деталізації можна користуватися інтерпретацією матеріалів аерокосмічних фотографувань.

Отриманий матеріал зображень звичайно обробляється візуально. Проте з розвитком техніки з'являється все більше можливостей виконання цифрової обробки отриманої інформації. При візуальній оцінці – для виділення та кращого визначення змісту інформації – можна користуватися і декількома допоміжними способами інтерпретації (наприклад, методами «сандвічу», складання кольорів).

Для точного визначення фізичних характеристик найчастіше вимагається одночасно проводити і наземні вимірювання на фотографованій території. Знаючи характерні значення в одній або декількох точках місцевості, інтерполяцією можна визначити характерні дані на всій площі, що знімається. В протилежному випадку (тобто якщо немає контрольних вимірювань) характерні значення можна оцінити лише відносно або просто зафіксувати їх наявність. При визначенні вмісту завислих наносів треба враховувати, що чиста вода в ближньому ІЧ діапазоні поглинає проміння, а в діапазоні 0,5–0,7 мкм пропускає його. Із зростанням концентрації завислих речовин поглинання в ближньому ІЧ діапазоні зменшується. Таким чином, можна добре прослідити місця злиття і довжину водостоків з різним змістом суспензії. Для визначення вмісту завислих речовин доцільно застосовувати багатозональне

фотографування в діапазонах 0,8–1,2 і 0,5–0,7 мкм.

Вищезазначені діапазони спектра придатні і для визначення міграції наносів і замулювання. У діапазоні 0,5–0,7 мкм можна вивчати дно. Зйомка в іншому діапазоні спектра служить для збільшення контрасту зображення. В цілях вивчення міграції наносів і процесу замулювання рекомендується робити знімки через певні інтервали часу, щоб по них оцінювати стадії розвитку явища, що вивчається. Треба помітити, що визначенню руху наносів і замулювання перешкоджають підвищений вміст завислих речовин у воді та глибина. Дзеркало водної поверхні (річок, озер) доцільно досліджувати в період осінньої межени, оскільки звично в цей час рівень в ріках і озерах низький, а кількість завислих речовин і живих організмів (наприклад, водоростей) в них мала.

Для визначення температури водної поверхні (звично для встановлення теплового забруднення) найбільш відповідним вважається комбінований метод, що передбачає виконання двох знімків відразу: в діапазоні 2,0–5,6 мкм (ІЧ знімок) та в діапазоні 0,5–0,6 мкм (для визначення положення і контрасту). Похибка вимірювання біля 0,2°C. Для визначення абсолютного значення температури потрібні і польові вимірювання. Метод, придатний для визначення різниці значень температури водних поверхонь, – це псевдокольорова зйомка в інфрачервоному діапазоні, яка дозволяє визначити дуже незначну (частки градуса – градус) різницю значень температури води. У такий спосіб можна встановити, наприклад, джерела на дні ріки, оскільки їх температура звичайно відрізняється від температури води водоймища.

Для визначення крижаного покриву водних поверхонь придатні знімки, зроблені в діапазоні 0,6–0,8 мкм. Вода зображається темним відтінком, а лід – світлим.

Спосіб встановлення поверхневої забрудненості води залежить від виду забруднюючої речовини. Під поверхневим забрудненням розуміють, як правило, забруднення нафтопродуктами. Для виявлення нафтових плям достатньо виконати одночасні зйомки в діапазонах 0,4–0,5 та 0,7–0,8 мкм. На знімках, отриманих в діапазоні 0,4–0,5 мкм, пляма нафтопродуктів світла, а вода темна (рис.5.1 негативний).

Знімок, отриманий в діапазоні 0,7–0,8 мкм, служить для дешифрування водної поверхні. По знімках можна визначити і площу розповсюдження забруднюючих речовин (рис.5.2).

Визначення фізичних характеристик гідрологічних об'єктів також має велике значення для водного господарства.

Широке застосування дистанційних методів у водному господарстві дозволяє отримати оперативну інформацію про стан вод. Перевага застосування телеметрії виявляється ще і у тому, що вона дає дійсну інформацію не про окремі точки місцевості, а про велику ділянку території. Крім цього, такі методи зручні, економічно вигідні та у будь-

який час відтворні.



Рис.5.1 – Нафтові плями в Каспійському морі (район Апшеронського півострова і селища Нафтове Каміння на знімку з відрізненням 400 м)

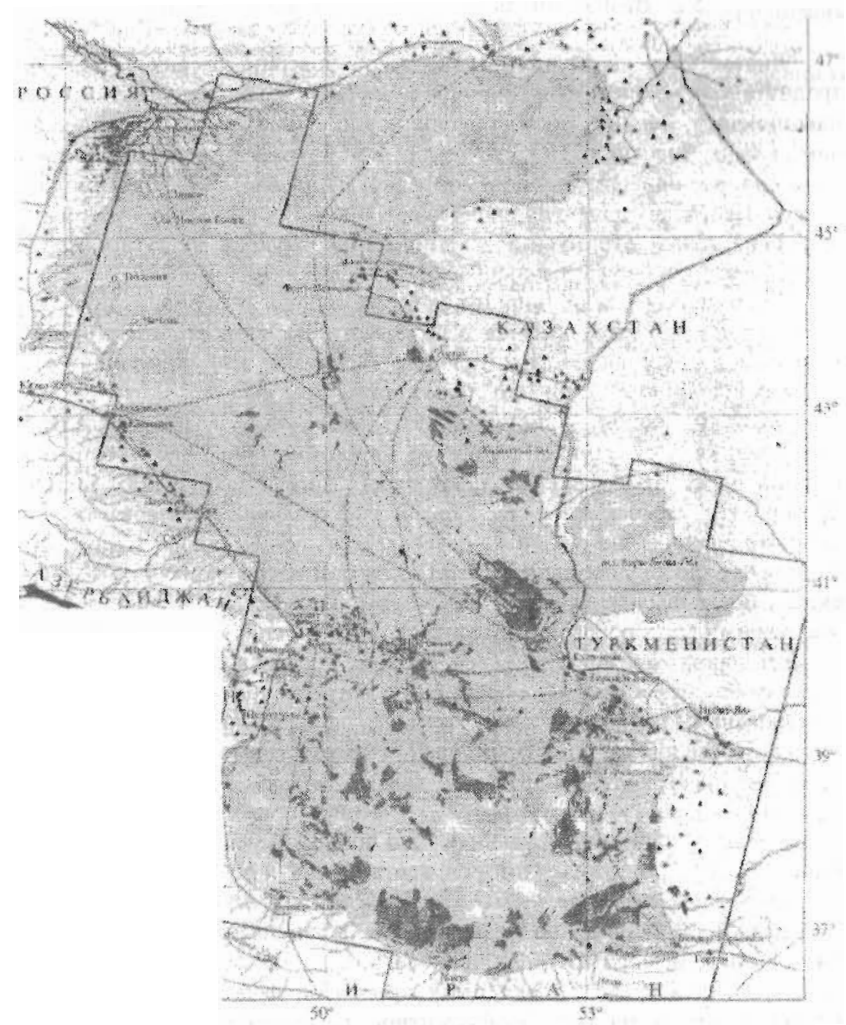


Рис.5.2 – Інтегральна карта розподілу слікових утворень на акваторії Каспійського моря (травень 1996 р.), найімовірніше пов'язаних з плівками нафти, нафтопродуктів і поверхнево-активних речовин (темні плями)

## 5.2 Визначення поля температур поверхні океану

Дистанційне визначення температури поверхні океану  $T_0$  (ТПО) є традиційною задачею супутникової метеорології. До теперішнього часу накопичений певний досвід інтерпретації відповідних супутникових вимірювань. Значення ТПО істотно для опису термічного режиму океанів, який впливає на формування атмосферної циркуляції і розподіл теплової енергії. Необхідну для поліпшення якості прогнозів глобальну інформацію про ТПО важко отримувати за допомогою існуючої не густої мережі кораблів погоди без застосування супутникових вимірювань.

Різноманіття задач, вирішуваних на основі інформації про поле температури в океані, ставить різні вимоги до точності, просторового відрізнєння і періодичності вимірювань  $T_0$ . Вказані величини змінюються в межах від 0,1 до 1°C, від 1 до 50 км і від 0,1 до 1 діб.

Фізичну основу дистанційного визначення ТПО складають вимірювання з супутників теплового випромінювання, що уходить, на верхній межі атмосфери в спектральних інтервалах, званих вікнами прозорості атмосфери. В цих спектральних інтервалах ІЧ випромінювання, що уходить, ослабляється якнайменшим чином. Для отримання глобальних даних про ТПО на базі метеорологічних КСДЗ до складу бортової вимірювальної апаратури включається ІЧ радіометр, що має режим просторового сканування та реєструє спектральні яскравості в області вікна прозорості  $\Delta\lambda = 8...12$  мкм. Розроблено математичне і програмне забезпечення обробки і інтерпретації на ЕОМ даних вимірювань ІЧ радіометра (ІЧ інформації), що надходить з борту КСДЗ, з метою отримання кількісних оцінок  $T_0$  і висоти верхньої межі хмарності  $h_{ВГО}$ . ІЧ інформація вводиться з каналів зв'язку в ЕОМ, проходить первинну обробку (географічну і часову прив'язку, вибір рядків сканування, фізичне калібрування). Далі по певній методиці виробляється оцінка  $T_0$  і  $h_{ВГО}$  і будуються цифрові карта полів  $T_0$  і  $h_{ВГО}$ .

*Методика визначення ТПО з використанням передавальної функції атмосфери.* За допомогою ІЧ радіометра, встановленого на борту ШСЗ, вимірюється інтенсивність  $I_{\Delta\lambda}$  теплового випромінювання, що уходить, (спектральна яскравість), яку після процедури фізичного калібрування представляють в термінах еквівалентної радіаційної температури  $T_p = B^{-1}[I_{\Delta\lambda}]$  (температури абсолютно чорного тіла з інтенсивністю випромінювання  $I_{\Delta\lambda}$ ). Температура  $T_p$ , виміряна з супутника, може істотно відрізнитися (до 15°C) від температури поверхні води  $T_c$ , вимірюваної на судах контактними методами. Відмінність  $T_p$  від  $T_c$  обумовлена цілим рядом причин, з яких принциповими є:

- поглинання випромінювання газовими компонентами і аерозолем в атмосфері;
- різне фізичне значення величин  $T_p$  і  $T_c$  ( $T_p$  – радіаційна температура

випромінювання поверхневої плівки води з площі, визначуваної просторовим відрізнєнням приладу;  $T_c$  – температура поверхневого шару води в точці вимірювання);

- обмежене просторове відрізнєння спектральної апаратури, наявність помилок вимірювань  $I_{\Delta\lambda}(T_p)$ .

Основним з перерахованих факторів є атмосферне поглинання, яке варіює в часі та просторі. Для кількісного обліку атмосферного поглинання необхідно мати адекватні дані про спектральні властивості газових поглинаючих компонент атмосфери і аерозолі в ІЧ області спектра (в рамках так званої радіаційної моделі перенесення). Найскладнішим на сучасному етапі є врахування аерозольного ослаблення радіації в атмосфері, оскільки відсутні обґрунтовані радіаційні моделі аерозолі в ІЧ області спектра і недостатні знання його характеристик (розподіл з висотою, хімічний склад, спектральні властивості). Згідно з оцінками, вплив аерозолі істотний лише в районах з сильно замутненою атмосферою. Враховуючи це, для побудови методики оцінки  $T_0$  і  $h_{ВГО}$  часто беруть наближення безаерозольної (чисто молекулярної) атмосфери.

Чинником, що істотно утрудняє дистанційне визначення ТПО на основі ІЧ вимірювань, є наявність хмарності у полі зору супутникового датчика. У разі щільної хмарності радіація, що уходить, повністю поглинається хмарами, внаслідок чого хмарність можна розглядати як приведену підстильну поверхню, що випромінює при температурі її верхньої межі незалежно від радіаційного режиму в підхмарному шарі атмосфери. У методиці оцінки  $T_0$  використовується наближення безхмарної атмосфери. У разі ідентифікації наявності хмарності у полі зору датчика замість  $T_0$  виконується оцінка  $h_{ВГО}$ .

Для моделі безхмарної та безаерозольної атмосфери трансформація випромінювання враховується за допомогою розрахунку передавальної функції:

$$P_{\Delta\lambda} = \frac{\int_{\Delta\lambda} A_{\lambda} I_{\lambda} d\lambda}{\int_{\Delta\lambda} A_{\lambda} B_{\lambda}[T_0] d\lambda} = \frac{I_{\Delta\lambda}}{B_{\Delta\lambda}[T_0]}, \quad (5.1)$$

де

$I_{\lambda}, B_{\lambda}[T_0]$  – інтенсивність випромінювання, що уходить, на довжині хвилі  $\lambda$  на верхній межі атмосфери і на рівні підстильної поверхні  $p_0$  при температурі  $T(p_0) = T$  відповідно;

$A_{\lambda}$  – спектральна характеристика приладу.

Як видно з рівняння, по зміряному з супутника значенню  $I_{\Delta\lambda}$  і відомому значенню передавальної функції атмосфери  $P_{\Delta\lambda}$  можна визначити  $B_{\Delta\lambda}[T_0]$  і температуру підстильної поверхні  $T_0$ . Залежність  $B_{\Delta\lambda}[T_0]$  відома за даними наземного градування приладу.



Методичні дослідження та розрахунки дозволяють оцінити вплив різних параметрів (таких, як спектральні характеристики поглинаючих газових компонентів  $H_2O$  і  $O_3$ , спектральні характеристики приладів) на передавальну функцію  $P_{\Delta}$ , а також з'ясувати домінуючу роль окремих газових складових атмосфери в різних широтних зонах.

В результаті досліджень була вибрана радіаційна модель та розроблена методика розрахунку передавальної функції атмосфери  $P_{\Delta}$ . З її допомогою на основі каталогу глобальної кліматичної інформації розраховані дані для каталогу глобального розподілу передавальної функції  $P_{\Delta}(\varphi, l)$  у вузлах регулярної географічної мережі  $(\varphi, l)$ . Дані з обох каталогів (вертикальні профілі температури, масові частки вологи, густина озону, геопотенціал та значення передавальної функції атмосфери) суміщені в ЕОМ, використовуються як глобальна апріорна інформація при оперативній обробці ІЧ вимірювань і визначенні оцінок  $T_{\theta}$ .

Спочатку за допомогою цих каталогів виробляється автоматична ідентифікація даних ІЧ вимірювань по ознаках "ясно-хмарно" і "вода-суша". Ідентифікація по першій парі ознак відбувається шляхом порівняння зміряної радіаційної температури  $T_p$  з середньокліматичним значенням температури повітря на рівні 850 гПа в найближчому до точки ІЧ вимірювань вузлі географічної сітки. По ознаках вода-суша вимірювання підрозділяються за допомогою гіпсометричних даних про земну поверхню у вузлах географічної сітки  $(\varphi, l)$ . У значення  $T_p$ , зміряні над водною поверхнею в безхмарних умовах, вводиться атмосферна поправка (що враховує поглинання випромінювання) за допомогою передавальної функції  $P_{\Delta}$ . Значення  $P_{\Delta}$  витягуються з машинного каталогу для найближчих до точок ІЧ вимірювань вузлів сітки, потім визначається величина  $T_{\theta}$ . По вимірюванням  $T_p$  над водною поверхнею та сушею, що відноситься до хмарних умов, визначається величина  $h_{ВГО}$ . Спочатку по зміряному з супутника випромінюванню визначається температура верхньої межі хмарності, що виконує роль підстильної поверхні. Далі по відомому розподілу температури з висотою в товщі вимірювання і знайденій радіаційній температурі визначається  $h_{ВГО}$ .

Найпростіше задача визначення верхньої межі хмар розв'язується за наявності даних аерологічного зондування. Якщо поблизу точки є радіозонд, то рівень, на якому температура за даними радіозонда співпадає з радіаційною температурою, отриманою по вимірюванням з ШСЗ, відповідає висоті верхньої межі хмар. На практиці звичайно відповідна аерологічна інформація відсутня, і для визначення верхньої межі хмарності використовуються кліматичні або розрахункові дані про вертикальний розподіл температури.

В результаті описаної обробки ІЧ інформації видаються карта ТПО і  $h_{ВГО}$  для області (квадрата) в смузі сканування, площа якої визначається заданим масштабом, а положення – координатами центра. В принципі,

шляхом об'єднання карт прилеглих областей можна отримати карти ТПО і  $h_{ВГО}$  для потрібної акваторії або для всієї смуги сканування.

Оцінка точності визначення ТПО, побудова карт ТПО. Оцінка точності результатів дистанційного визначення ТПО проводиться на основі порівняння синхронних супутникових і суднових вимірювань температури, що відносяться до акваторій різних широт. За міру точності визначення  $T_{\theta}$  береться середньоквадратичне відхилення одержуваних значень  $T_{\theta}$  від істинних значень  $T_c$ :

$$\Delta = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \right)^{1/2}, \quad (5.2)$$

де

$$\delta = T_c - T_{\theta}, \quad n - \text{обсяг вибірки.}$$

Оцінка точності. Порівняння  $T_{\theta}$  і  $T_c$  проводилося в широтній зоні 40° пн.ш. – 40° пд.ш. відкритого океану (Тихий, Індійський, Атлантичний) і у внутрішніх морях (Біле, Балтійське, Чорне, Каспійське). Подібне порівняння 650 випадків вимірювань протягом 1978–1982 р.р. наведено на рис.5.3.

Як видно на рис.5.3, точки групуються в околі прямої  $T_{\theta}=T_c$  (що відповідає нульовій похибці). Середньоквадратичне відхилення  $\Delta$  для цієї вибірки склало 1,2°C. Для іншої вибірки, що включає близько 500 випадків, середньоквадратичне відхилення склало ~1,5°C, а для вибірок, що відносяться до обмежених акваторій, величина  $\Delta$  змінювалася в межах 1–2°C. В ряді випадків, що відносяться до обмеженої акваторії, спостерігалось систематичне заниження (або завищення) відновлених значень  $T_{\theta}$  по відношенню до суднових даних, зв'язане, мабуть, з факторами, які не враховані і про які мовлялося раніше.

Додаткові дані про точність та фізичну достовірність результатів дистанційного визначення ТПО можна отримати на основі побудови і аналізу карт  $T_{\theta}$  для різних акваторій, їх зіставлення з картами, побудованими на матеріалі суднових спостережень.

На рис.5.4, 5.5 представлені приклади карт ТПО відповідно для північної акваторії (Балтійське море, червень, ранок) і тропіків (Індійський океан, квітень, ранок). При побудові карт використовувалися синхронні телевізійні і ІЧ зображення, внаслідок чого надійніше виділялися хмарні ділянки. Крім того, з метою зменшення впливу випадкових помилок вимірювань проводилося усереднення значень ТПО в декількох сусідніх точках; при цьому згладжувалися неоднорідності масштабу менше 50 км.

Проведений аналіз різних карт ТПО дозволяє зробити наступні висновки. Поле ТПО досить мінливе, на карті чітко виділяються термічні неоднорідності, розмір яких в морях і океанах змінюється від декількох

десять до декількох сотень кілометрів. Аналіз також показав, що структура поля ТПО узгоджується з структурою поля течій. Наприклад, на картах виділяється тепла область в Ризькій і Двінській затоці, в районі екватора термічні неоднорідності орієнтовані з південного заходу на північний схід.

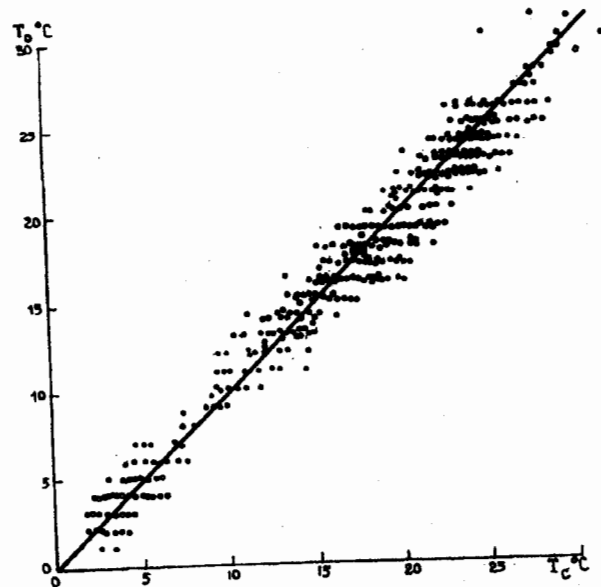


Рис.5.3 – Порівняння  $T_0$  і  $T_c$

$T_0$  – дистанційно визначена температура поверхні океану;  
 $T_c$  – температура поверхневого шару води в точці вимірювання

Супутникові дані дають можливість простежити деякі особливості поля ТПО (рис.5.4), наприклад, прогрівання води (до  $14^{\circ}\text{C}$ ) в Ризькій затоці або пов'язаний з апвелінгом прибережний мінімум температури ( $8^{\circ}\text{C}$ ) в південно-східній частині Балтійського моря в районі Клайпеди.

Нечисленні суднові дані і дані прибережних станцій про температуру води, зміряні стандартними методами, задовільно узгоджуються із значеннями ТПО на супутникових картах по абсолютних значеннях і по діапазону мінливості для кожної акваторії. Істотно при цьому, що діапазон мінливості супутникових і судових значень температури для даних прикладів досить широкий:

- 8 –  $18^{\circ}\text{C}$  в Балтійському морі (рис.5.4),
- 26 –  $32^{\circ}\text{C}$  в тропічній частині Індійського океану (рис.5.5).



Рис.5.4 – Поле ТПО в Балтійському морі

По супутникових картах можна вивчити часову мінливість поля ТПО, дослідити сезонну перебудову температури.

Детальні супутникові карти придатні для побудови полів ТПО великих акваторій. Як приклад на рис.5.5 показана карта ТПО північної частини Індійського океану, отримана композиційним методом з 4 сусідніх карт. В кільцях нанесені дані про ТПО, близькі за терміном спостережень до супутникових спостережень. Аналіз синоптичних даних показує, що цей район лежить на периферії області високого тиску, чим і пояснюється мала кількість хмарності над ним.

Високі значення ТПО підтверджуються судовими спостереженнями. Приведені дані дозволяють зробити висновок про те, що результати дистанційного визначення з супутників температури поверхні океану достовірні, і їх можна використовувати для вирішення різноманітних наукових і практичних задач.

*Шляхи підвищення точності методів дистанційного визначення ТПО.* Описана методика дистанційного визначення ТПО на основі інтерпретації ІЧ вимірювань МСЗ розроблена для оперативного використання в умовах, коли відсутні дані про фактичний стан атмосфери в точках зондування і для розрахунків  $P_{\Delta}$  беруться середньокліматичні оцінки вертикальних розподілів температури, вологості, озону. Вказана

особливість повинна спричинити збільшення похибки визначення  $T_0$  (в порівнянні з неусувною похибкою за рахунок вимірювальних помилок та інших чинників з числа відмічених вище).

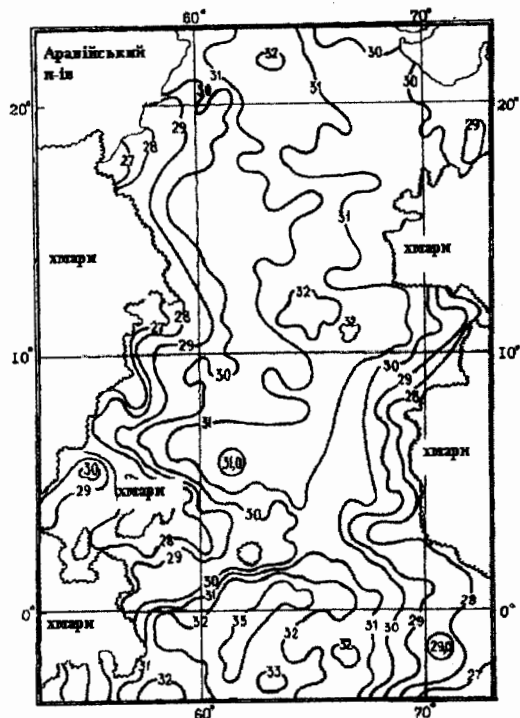


Рис.5.5 – Поле ТПО в тропічній частині Індійського океану

Деяке підвищення точності визначення  $T_0$  при тому ж складі вимірювань і тій же методиці інтерпретації слід чекати, якщо використовувати в процедурі розрахунку передавальної функції  $P_{dl}$  фактичні вертикальні розподіли метеорологічних параметрів. Модельні чисельні експерименти, в яких замість виміряних значень використовувалися розраховані, показали, що вигреш в точності при цьому складає близько  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Оскільки аерологічні спостереження над океанами практично відсутні, то необхідну інформацію про метеорологічні параметри можна отримати, проводячи дистанційне зондування температури і вологості атмосфери (ДТЗА). Експерименти по ДТЗА на основі інтерпретації вимірювань 8-канального ІЧ радіометра МСЗ "Метеор", що реєструє

випромінювання в інтервалі 18 мкм, в 6 інтервалах 15-мкм смуги поглинання  $\text{CO}_2$  і вікні прозорості 11 мкм, підтвердили можливість отримання кількісних даних про вертикальні профілі температури і загальному вологовмісту атмосфери. Дані ДТЗА у принципі придатні для уточнення передавальних функцій в точках супутникового зондування. Слід зазначити, що вигреш в точності визначення  $T_0$  при цьому не повинен бути значним через похибки в результатах ДТЗА, а також наближеного характеру використаної радіаційної моделі перенесення і наявності чинників, що заважають.

Альтернативою описаному способу є пряме використання даних вимірювань 8-канального ІЧ радіометра при дистанційному визначенні  $T_0$  на основі вимірювань у вікні прозорості 8-12 мкм. Оцінка  $T_0$  за даними перерахованої сукупності вимірювань двох радіометрів будується за допомогою відповідної регресійної моделі. Навчальні вибірки формуються з синхронних супутникових (суміщені просторово вимірювання радіометра 8-12 мкм і 8-канального радіометра) і суднових спостережень для різних акваторій і різних часових періодів.

Виходячи з фізики процесу перенесення, для адекватної оцінки поправки на атмосферне поглинання в інтервалі 8-12 мкм найбільш корисні вимірювання в інтервалі 18 мкм (смуга поглинання водяної пари – основного поглинаючого компонента у вікні 8-12 мкм), а також в "прозорих" інтервалах 15-мкм смуги (випромінювання нижніх шарів тропосфери). Корисне також вимірювання у вікні прозорості 11 мкм, на основі якого можна отримати незалежну оцінку  $T_0$ . Чисельні експерименти по сумісній обробці даних вимірювань двох радіометрів МСЗ підтверджують сказане.

Розглянемо можливості підвищення точності визначення ТПО за рахунок розширення складу вимірювань. Як вже наголошувалося раніше, точність оцінки  $T_0$  за даними вимірювань у вікнах прозорості ІЧ діапазону спектра залежить, головним чином, від коректного обліку атмосферної поправки (атмосферного поглинання). З аналізу процесу перенесення ІЧ випромінювання в атмосфері витікає, що урахування поправки і визначення  $T_0$  є багатопараметричною задачею: разом з  $T_0$  необхідно оцінювати сукупність параметрів стану атмосфери в точках супутникового зондування (вертикальні розподіли температури, вологості, озону, характеристики аерозолію). Перераховані дані можна отримати на основі комплексного спектрорадіометричного експерименту. Недоліком такого загального підходу при рішенні задачі визначення ТПО є його громіздкість і необхідність створення вичерпної фізико-математичної моделі перенесення.

Конструктивнішим на сучасному етапі уявляється розширення спектрального та кутового складу вимірювань, інтерпретація яких і оцінка  $T_0$  засновані на введенні ряду спрощених припущень і відповідної



параметризації моделей перенесення. Одна з основних пропозицій в даному напрямі – використати для оцінки атмосферної поправки при визначенні ТПО багатоспектральні вимірювання в двох або трьох ділянках вікна прозорості з близькими, але відмінними один від одного, коефіцієнтами ефективного поглинання.

#### Контрольні запитання

- 5.1 Які геометричні характеристики гідрологічних об'єктів визначаються космічними методами?
- 5.2 Які побічні супровідні явища дозволяють визначити планове положення підземних вод?
- 5.3 Які фізичні характеристики гідрологічних об'єктів визначаються космічними методами?
- 5.4 В якому спектральному інтервалі вивчаються геометричні характеристики берегової лінії?
- 5.5 В якому спектральному інтервалі вивчаються геометричні характеристики дна?
- 5.6 В якому спектральному інтервалі вивчаються геометричні характеристики геологічних та тектонічних формацій?
- 5.7 В якому спектральному інтервалі вивчаються геометричні характеристики сніжного покриву та льоду?
- 5.8 В яких спектральних інтервалах при багатозональному дослідженні вивчаються характеристики зважених наносів і замулювання?
- 5.9 В яких спектральних інтервалах при багатозональному дослідженні вивчається забруднення вод нафтопродуктами?
- 5.10 Методика визначення ТПО з використанням передавальної функції атмосфери
- 5.11 Побудова карт ТПО
- 5.12 Шляхи підвищення точності методів дистанційного визначення ТПО

#### 6 Використання сучасних технічних засобів для одержання і обробки космічної гідрометеорологічної інформації

##### 6.1 Призначення, характеристики, склад і принцип роботи станції КОСМЕК

Станція «КОСМЕК» призначена для прийому зображень в режимі реального часу (безпосереднього прийому – БП), що передаються з полярно-орбітальних супутників серії NOAA, Метеор, Ресурс, Океан, Січ і ін. у форматі АРТ (Automatic Picture Transmitting – автоматична передача

зображення) в діапазоні радіочастот 137-138 МГц.

Отримана інформація може бути використана в гідрометеорологічних центрах (регіональних, республіканських, обласних), авіаційних, залізничних, морських та автомобільних підприємствах, аерофотозйомних бригадах, риболовецьких організаціях, учбових закладах, науково-дослідних організаціях, екологічних центрах.

Основне призначення отриманої інформації – екологічна оцінка стану природного середовища, гідрометеорологічні прогнози, навчання технологіям дистанційного зондування Землі, наукова робота.

Основна тематика знімків:

- наочне вивчення місцезоположення географічних об'єктів та їх характеристик;
- моніторингові дослідження режимів природничо-кліматичних і ландшафтних зон (зіставлення з наявними картографічними даними);
- спостереження за станом крупних водних об'єктів, їх гідро- і теплодинамічними режимами;
- спостереження за станом крупних рослинних масивів і іригаційних систем;
- метеорологічний і кліматичний моніторинг;
- льодовий режим морів; спостереження за просторово-часовим розподілом снігового покриву;
- спостереження за крупними надзвичайними подіями і екологічними катастрофами (повені, засухи, лісові пожежі, забруднення морських вод нафтопродуктами, заморожування, урагани, тумани, ожеледь, пилові бурі);
- спостереження за геоморфологічними і погодоутворюючими характеристиками крупних гірських масивів.

Станція (рис. 6.1, 6.2) складається із антени з редуктором, малошумного підсилювача, блока управління антеною, приймача, комп'ютера і пакета прикладного програмного забезпечення.

У комплект поставки входять:

- антена з підсилювачем - 1 шт.
- ВЧ кабель (50 Ом) – довжина залежно від потреби
- приймач - 1 шт.
- пакет прикладного програмного забезпечення
- інструкція - 1 шт.

У таблиці 6.1 представлені узагальнені характеристики радіолінії (борт-Земля) в режимі АРТ.



Рис.6.1 – Склад станції прийому супутникової інформації КОСМЕК

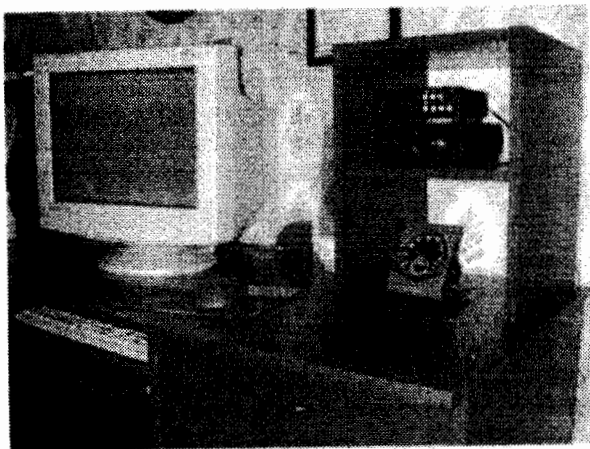


Рис.6.2 – Зовнішній вигляд робочого місця оператора станції КОСМЕК

Таблиця 6.1 – Характеристики радіолінії борт-Земля в режимі АРТ

Параметри	Космічні апарати	
	NOAA	Метеор, Січ, Океан, Ресурс
Несуча частота	137,50; 137,62 МГц	137,30; 137,40; 137,85 МГц
Поляризація передаючої антени	права кругова	права кругова
Коефіцієнт посилення антени	3,7 дБ	3,7 дБ
Потужність передавача	5 Вт	5–10 Вт
Вид модуляції несучої	АМ/ЧМ	АМ/ЧМ
Девіація частоти	$\pm 17$ кГц	$\pm 15$ кГц
Частота піднесучої	$2400 \pm 0,3$ Гц	$2400 \pm 0,3$ Гц
Індекс модуляції піднесучої	$87 \pm 5\%$	$87 \pm 5\%$
Вид модуляції піднесучої	АМ-ДБП	АМ-ДБП
Смуга частот модулюючого сигналу	1,6 кГц	1,6 кГц
Частота рядків зображення	120 рядків/хв	120 рядків/хв
Відрізняльна здатність зображення, що передається	4 км	4 км

Можливості станції КОСМЕК полягають в наступному. Станція отримує з супутника зображення оточуючої її території при куті місця над горизонтом космічного апарату більше 5 градусів:

- NOAA – 10–12 разів на добу;
- Метеор – 7–9 разів на добу;
- Ресурс – 3–4 рази на добу;
- Океан – 1 разів на добу;
- Січ – 3–5 разів на добу.

В середньому за добу можна виконати 15...20 сеансів. Тривалість сеансу може складати від 6 до 15 хвилин.

Обсяг інформації, який може бути одержаний за один сеанс зв'язку, тобто поки супутник проходить через зону видимості станції, може складати 3...20 Мегабайт.

В Україні станція дозволяє спостерігати територію від Піреней до Уральських гір по довготі і від Північної Африки до Скандинавії по широті (рис.6.3, 6.4). Отримані знімки можуть бути як чорно-білими, так і кольоровими в картографічній проекції масштабу 1:10.000.000.

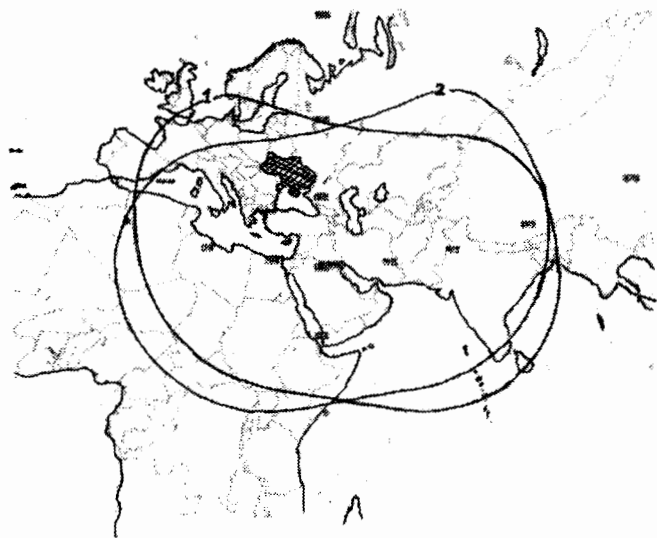


Рис.6.3 – Зона покриття космічного апарату NOAA з центром в м.Одеса (лінія 1 – проліт з півночі на південь, лінія 2 – проліт з півдня на північ)



Рис.6.4 – Зона покриття космічного апарату «Метеор» з центром в м.Одеса (лінія 1 – проліт з півночі на південь, лінія 2 – проліт з півдня на північ)

До стандартного комп'ютера (рис.6.5), що входить до складу станції ставляться певні мінімальні вимоги:

1. Операційна система – Windows 95/98/2000/NT (під ці системи розроблене програмне забезпечення)
2. Процесор – не гірший за Intel 486 або Pentium
3. Оперативна пам'ять RAM – не менше 32 Мб (якнайкращий варіант 128 Мб і більше)
4. Звукова карта (sound card) – 11.025 кГц, моно
5. Графічна карта (graphic card) – 256 кольорів і більше.

Характеристики антенної системи:

1. Тип – хрестоподібна.
2. Поляризація – кругова правостороння.
3. Коефіцієнт посилення антени – 3,7 дБ.
4. Обертання в горизонтальній площині –  $\pm 90^\circ$ .
5. Габарити – 1,5 x 1,0 x 1,0 м.
6. Маса – 2,2 кг.

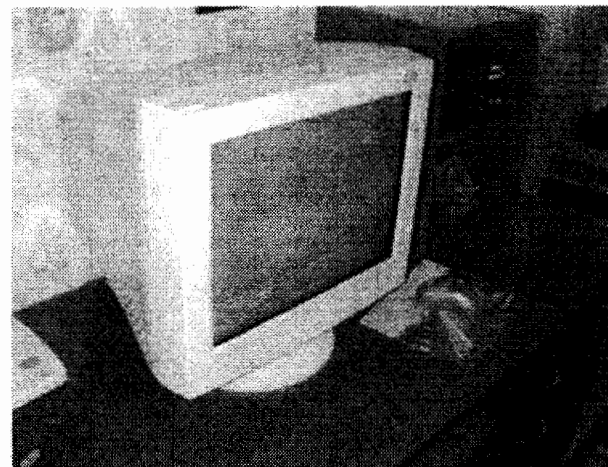


Рис.6.5 – Стандартний персональний комп'ютер, що входить до складу станції КОСМЕК

Антенна (рис.6.6) забезпечує прийом сигналів від супутників при невідомих поляризації хвилі, що приходить, і напрямі її приходу, тобто антена є всенаправленою. Вона побудована на двох схрещених під кутом  $90^\circ$  напівхвильових диполях, що лежать в одній площині, з оптимально розташованим рефлектором.

Подібна конструкція забезпечує практично кругову діаграму спрямованості в горизонтальній площині та куполоподібну у вертикальній площині (рис.6.7).

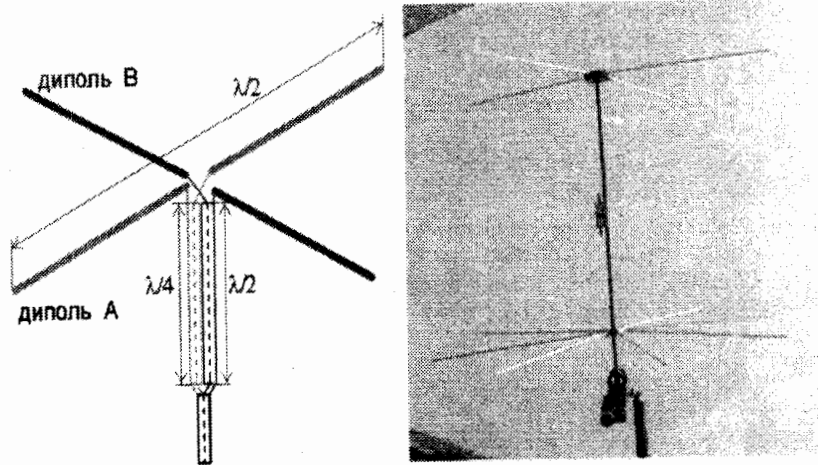


Рис.6.6 – Принципова схема та конструкція антени з встановленим антенним підсилювачем

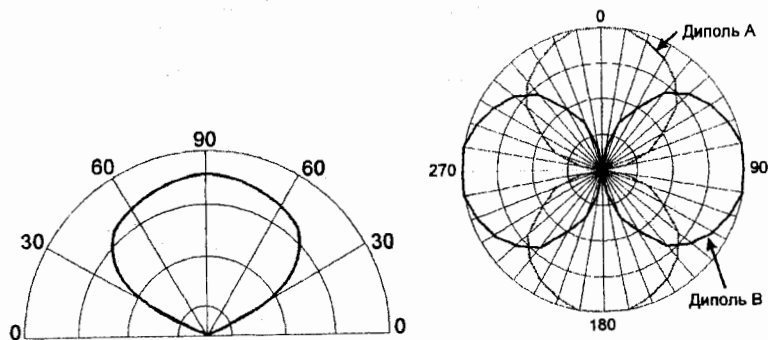


Рис.6.7 – Діаграми спрямованості антени станції відповідно у вертикальній і в горизонтальній площині

Маломощний антенний підсилювач 137-138 Мгц (принципова схема наведена на рис.6.8) забезпечує достатній коефіцієнт посилення (20 дБ) для компенсації ослаблення сигналу в сполучному кабелі від антени до

приймача і в роз'ємах, придушення перешкод поза частотним діапазоном, а також перешкоджає появі в основному приймачі інтермодуляційних спотворень. Як правило, цей антенний підсилювач використовується при довжині сполучних кабелів більше 20 м. Підсилювач отримує живлення через сигнальний кабель від приймача, який встановлений на щоглі антени.

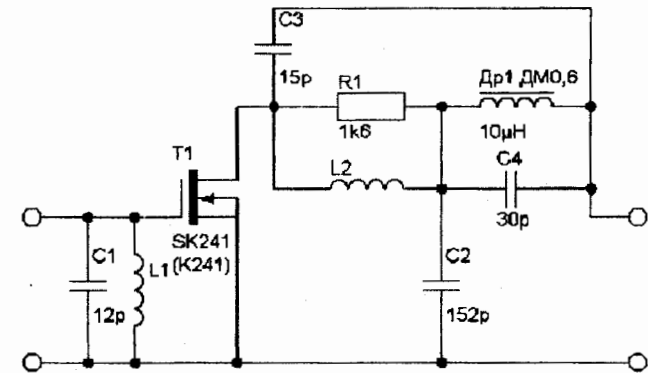


Рис.6.8 – Принципова схема антенного підсилювача

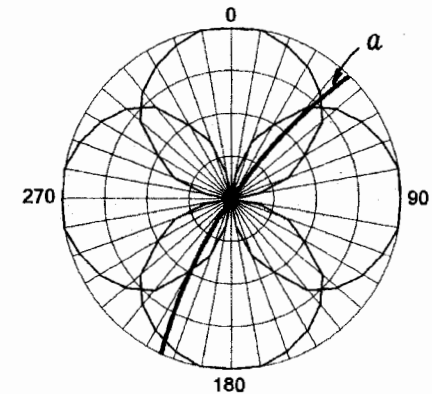


Рис.6.9 – Траєкторія найгіршої якості прийому інформації з супутника (а)

Блок управління антеною. При русі супутника по орбіті можлива траєкторія польоту (лінія на рис.6.9) коли супутник пролітає під кутом 45°



до взаємно-перпендикулярних диполів антени. Тоді, щоб не було втрати сигналу при куті місця  $0 \dots 5$  градусів необхідно докрутити антену в горизонтальній площині на кут стійкого прийому сигналу. Для цього призначений блок управління антеною (рис.6.10).

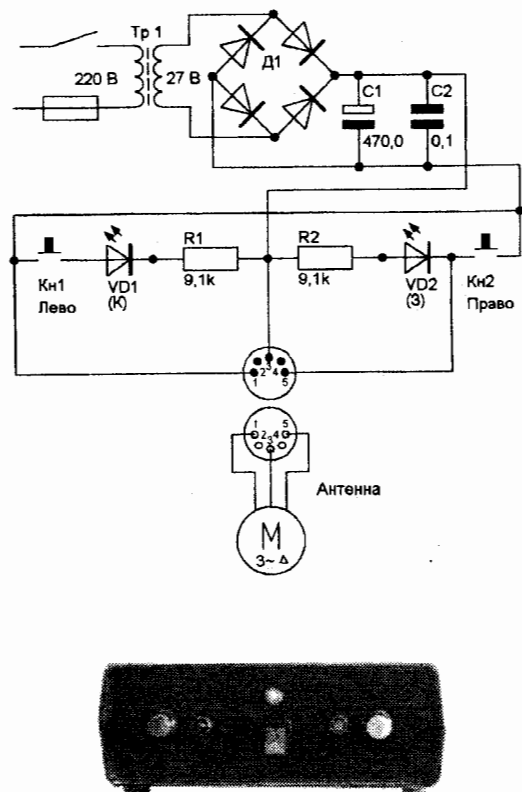


Рис.6.10 – Принципова схема та зовнішній вигляд блоку управління антеною

Основні характеристики блоку управління антеною:

1. Живлення – 220 В
2. Вихідна напруга – 26 В
3. Споживаний струм – 250 мА
4. Габарити – 155 x 138 x 60 мм
5. Маса – 0,950 кг

Приймальна частина (рис.6.11, 6.12) станції КОСМЕК призначена для посилення прийнятого сигналу до необхідного рівня та подальшої його обробки в комп'ютері.

Характеристики приймача:

1. Частота несучої з дискретністю 5 кГц (МГц) – 137,00–138,00
2. Автоматичний і ручний пошук по частоті з кроком 5 і 0,5 с
3. Сітка частот, що програмується
4. Подвійне перетворення частоти – 10,7 МГц і 455 кГц
5. Чутливість (мкВ) – 0,2
6. Вид модуляції несучої – ЧМ
7. Девіація частоти (кГц) –  $\pm 17$
8. Частота піднесучої (кГц) –  $2,4 \pm 0,3$  кГц
9. Вид модуляції піднесучої – АМ-ДБП
10. Смуга частот (кГц) – 1,6
11. Частота рядків зображення – 120 рядків/хв
12. Живлення – 220 В
13. Споживаний струм – 60 мА
14. Габарити – 100 x 115 x 40 мм
15. Маса – 0,5 кг

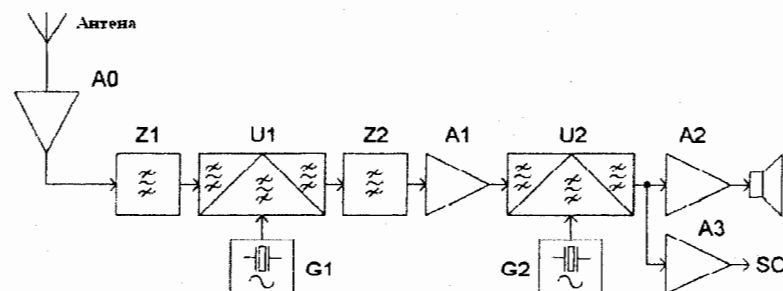


Рис.6.11 – Функціональна схема приймальної частини станції

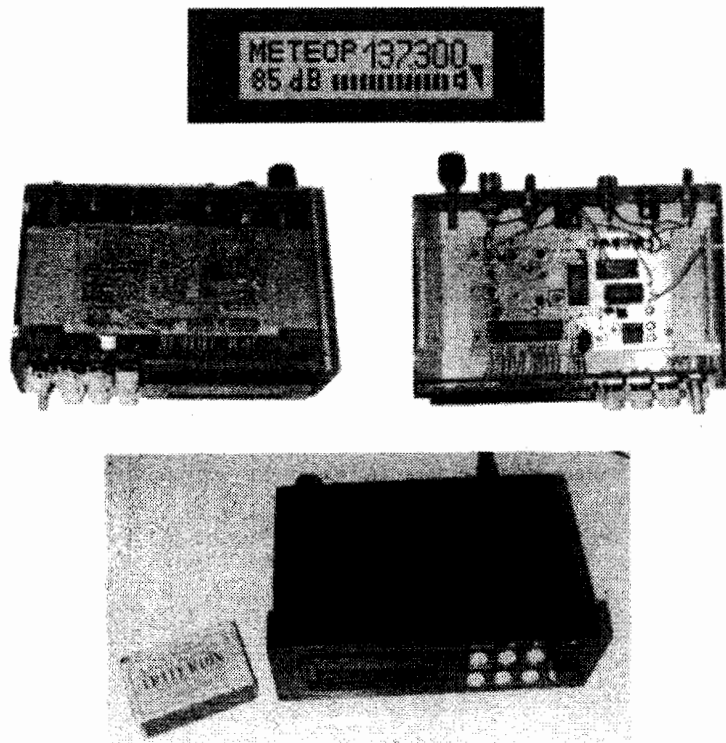


Рис.6.12 – Зовнішній вигляд приймальної частини станції

Сигнал з антени через малошумний антенний підсилювач А0 поступає на вхід приймача (рис.6.11). Приймач є супергетеродином з подвійним перетворенням частоти. Для забезпечення хорошого придушення дзеркального каналу перша проміжна (ПЧ) частота вибрана – 10,7 МГц. Перший гетеродин складається з генератора G1 з синтезатором частот з кварцовою стабілізацією частоти (10 МГц), виробляючого коливання частотою 126,3–127,3 МГц.

Колівання частотою 126,3–127,3 МГц з гетеродина подаються на змішувач U1. Сюди ж через вхідний фільтр Z1 поступають сигнали з супутника (137,0–138,0 МГц). Перетворений змішувачем U1 спектр проміжних частот лежить в районі частоти 10,7 МГц. Смуга пропускання першої ПЧ визначається фільтром Z2 і підсилювачем А1. Керамічний фільтр Z2 має смугу пропускання – 40 кГц і включений між першим U1 і другим U2 змішувачами.

Другий гетеродин G2 має кварцову стабілізацію частоти. У ньому

використається кварцовий резонатор на частоту 10,245 МГц, який відповідає другій проміжній частоті 455 кГц.

З виходу змішувача U2 сигнал подається на підсилювач А2 і далі на гучномовець та підсилювач А3 і далі на вхід звукової карти SC комп'ютера для подальшої обробки сигналу.

## 6.2 Одержання та обробка космічної гідрометеорологічної інформації за допомогою станції прийому супутникової інформації КОСМФК

Опишемо типовий варіант послідовності операцій роботи з трьома основними програмами.

Починаємо роботу з програми WXtrack.

Визначаємося з строком сеансу. Пошук строків сеансів прийому інформації здійснюється:

У режимі World map:

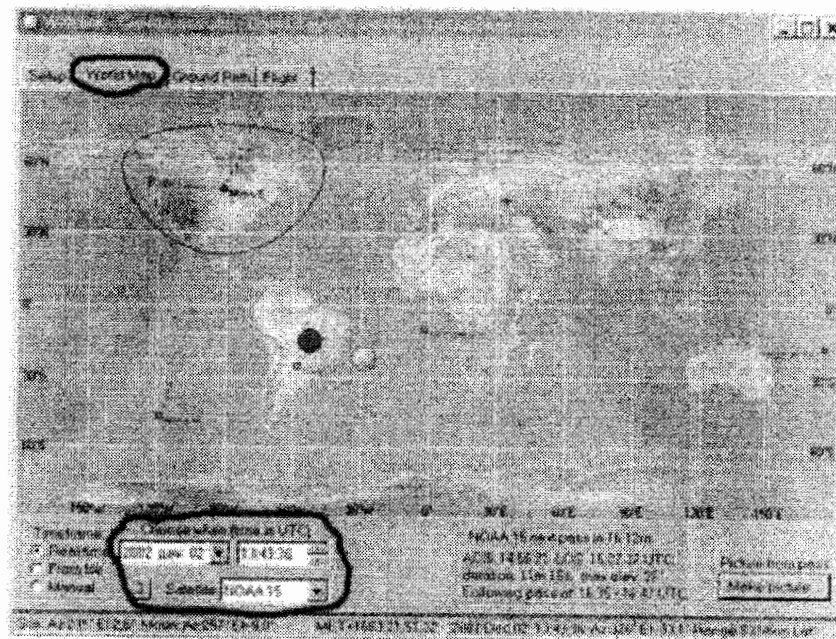


Рис.6.13 – Меню програми WXtrack

В режимі Setup

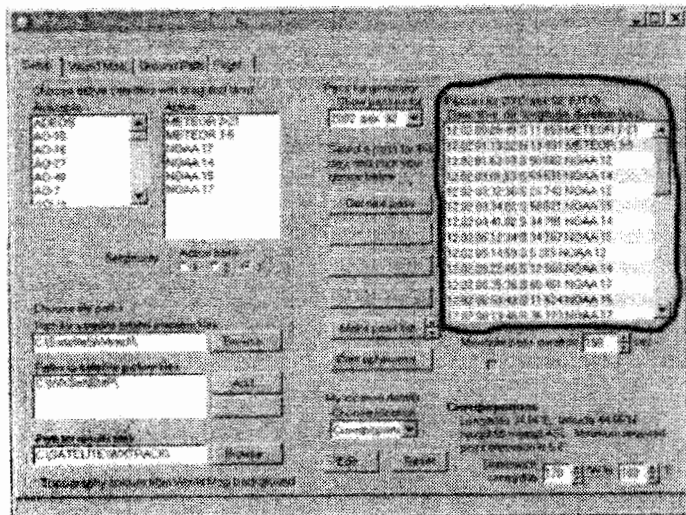


Рис.6.14 – Закладка Setup програми WXtrack

В режимі Setup\Print Ephemeris\Time Line

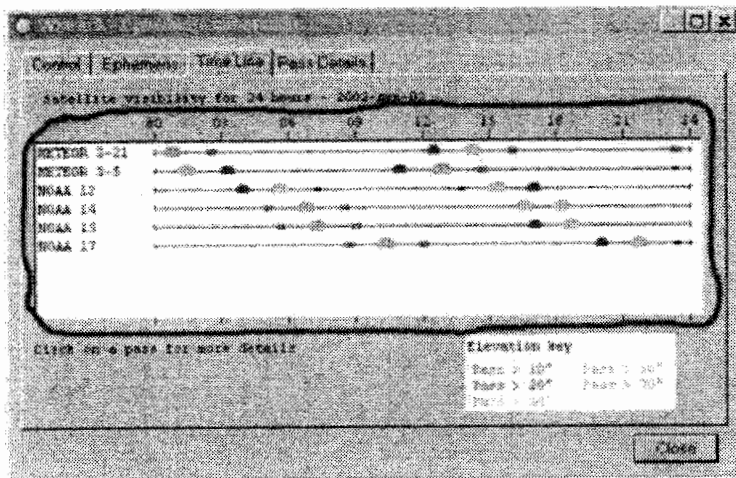


Рис.6.15 – Закладка Setup\Print Ephemeris\Time Line програми WXtrack

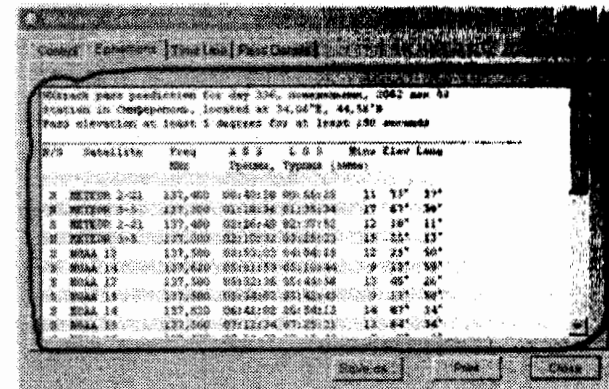


Рис.6.16 – Закладка Setup\Print Ephemeris\Print Ephemeris програми WXtrack

Завчасно перед сеансом включити приймач та встановити задану частоту (канал), згідно вибраного для сеансу зв'язку космічного апарату (КА).

Після появи перших сигналів, які вказують на те, що КА увійшов до зони прийому, переходимо до роботи з програмою WXSat, яка здійснює запис знімку.

Спочатку робимо установку на візуалізацію зображення на екрані. Для цього встановлюємо: через Parametrs\Decoding: "тип супутника": напрям польоту.

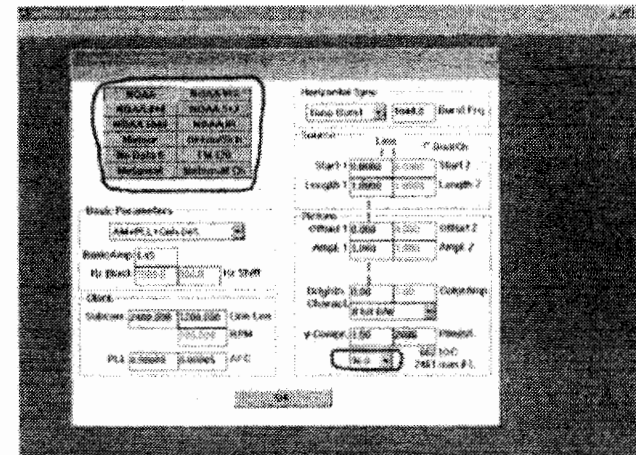


Рис.6.17 – Меню програми WXSat







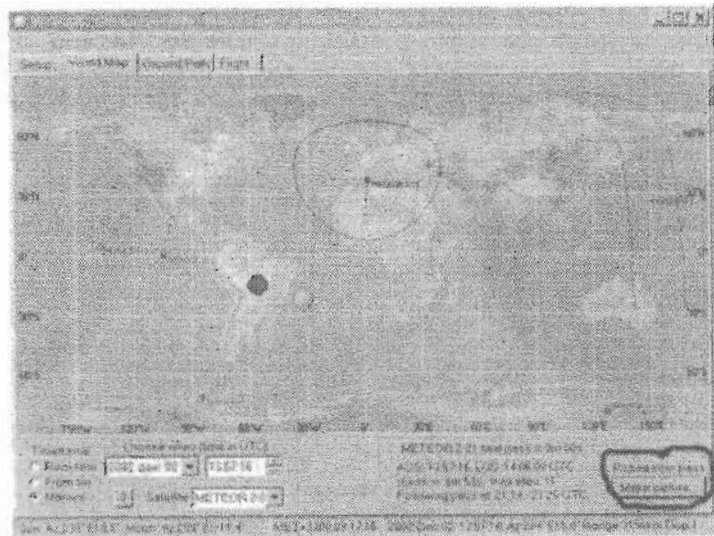


Рис.6.21 – Закладка Make Picture програми WXtrack

Відбувається зміна "картинки" в режим Ground Path.

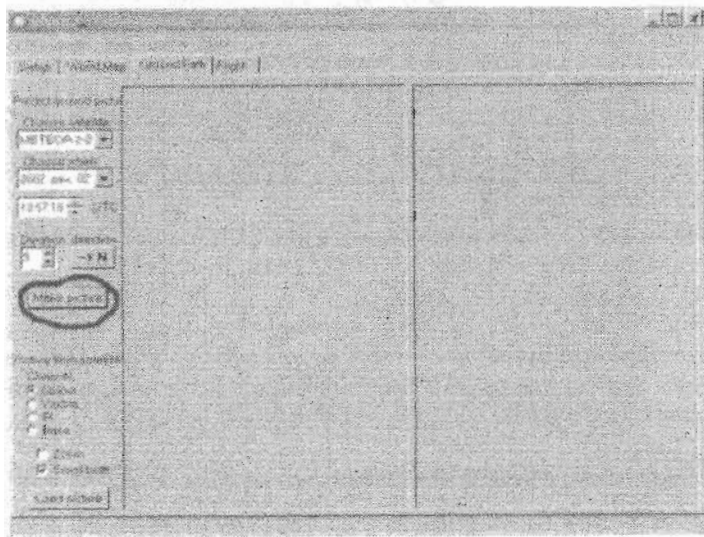


Рис.6.22 – Закладка Make Picture у режимі Ground Path програми WXtrack

Натискаємо клавішу Make Picture та відбувається автоматичний запис "карт-файлів".



Рис.6.23 – Записаний "карт-файл"

За календарем знаходимо ім'я "витку" для перейменування файлу temp.wav. Ім'я складатиметься з місяця, дати, годин, хвилин умовного початку сеансу зв'язку (моменту входження КА в задану зону прийому).

Перейменовуємо файл temp.wav. Якщо імена wav-файлу та "карт-файлів" не співпадають, то надалі буде неправильний виклик "карт-основи" під знімок.

На останньому етапі користуємося програмою SatSignal

Відкриваємо wav-файл з правильно записаним ім'ям. "Сітку" встановлюємо шляхом переміщення її по космічному знімку спочатку "великими", а потім "маленькими" "трикутничками".

Зберігаємо потрібну картинку.

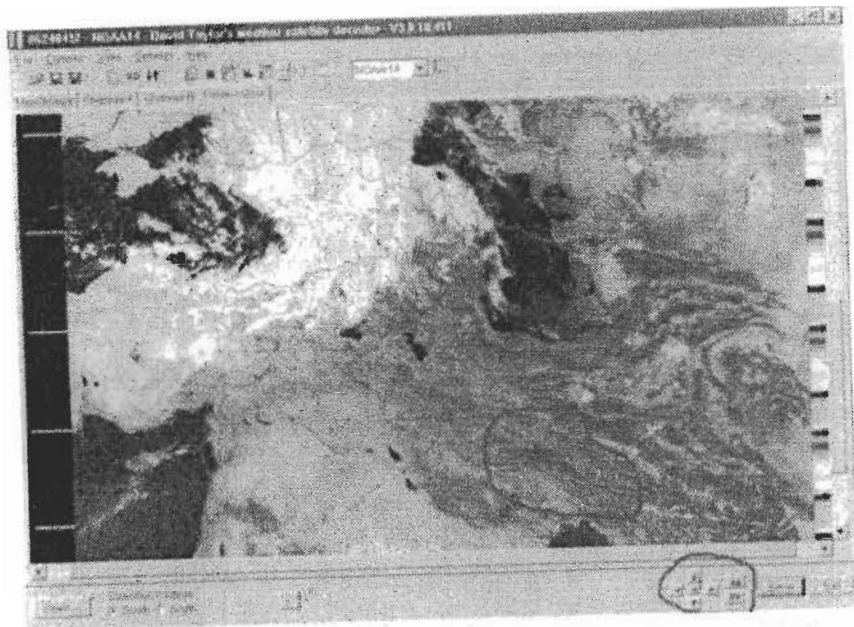


Рис.6.24 – Переміщення по космічному знімку картоснови

Для задовільного освоєння технології отримання і обробки знімків необхідно попрацювати щодня протягом місяця.

#### Контрольні запитання

- 6.1 Призначення станції КОСМЕК
- 6.2 Основне призначення інформації, що прийнята станцією КОСМЕК
- 6.3 Склад і комплект поставки станції КОСМЕК
- 6.4 Характеристики радіолінії борт-Земля в режимі АРТ
- 6.5 Можливості станції КОСМЕК з прийому інформації з супутників
- 6.6 Характеристики антенної системи
- 6.7 Призначення малошумного підсилювача
- 6.8 Функції, що виконує блок управління антеною
- 6.9 Характеристики приймальної частини станції КОСМЕК
- 6.10 Принцип роботи приймального пристрою станції КОСМЕК
- 6.11 Порядок одержання та первинної обробки супутникової інформації

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Герман М.А. Космические методы исследования в метеорологии. –Л.: Гидрометеоздат, 1985.
2. Кондратьев К.Я., Покровский О.М. Космическая метеорология. –Л.: Недра, 1989.
3. Лазерное зондирование атмосферы из космоса – Л.: Гидрометеоздат, 1988.
4. Радиолокация поверхности Земли из космоса – Л.: Гидрометеоздат, 1990.
5. Герман М.А., Белов П.И., Назиров М. Лабораторный практикум по курсу: Космические методы исследования в метеорологии. – Л.: Изд. ЛПИ (ЛГМИ), 1981.
6. Перелигін Б.В. Одержання, передача, прийом і надання локаційної космічної інформації. – Одеса: "Екологія", 2006.
7. Герман М.А. Спутниковая метеорология. Основы космических методов исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1975.
8. Кондратьев К.Я. Космическая дистанционная индикация облаков и осадков. – Л.: Гидрометеоздат, 1987.
9. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии. Под ред. А. Крекнела – М.: Мир, 1987.
10. Копрова Л.И., Соловьёв В.И. Вопросы спутниковой метеорологии: определение температуры водной поверхности по ИК измерениям с ИСЗ Метеор. Методические рекомендации / Под ред. И.А.Четверикова. – М.: Гидрометеоздат, Московское отделение, 1983.
11. Кривобок А.А. Использование многоспектральной спутниковой информации для идентификации посевов сельскохозяйственных культур // Труды УкрНИГМИ, вып. 248, 2000.
12. Перелигін Б.В., Конкіна Л.В. Дешифрування знімків з метеорологічних супутників Землі. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів. – Дніпропетровськ: Економіка, 2002. – 25 с. (інвентарний № кафедри – 423).
13. Перелигін Б.В., Конкін В.В., Конкіна Л.В. Обробка даних з космічних систем дистанційного зондування. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів. – Одеса: ТЕС, 2003. – 27 с. (інвентарний № кафедри – 425).
14. Перелигін Б.В., Гавріш В.О. Станція прийому супутникової інформації КОСМЕК. Будова, характеристики. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів. – Одеса: ТЕС, 2004. – 27 с. (інвентарний № кафедри – 425).



№ кафедри – 426).  
15. Програмне забезпечення станції прийому супутникової інформації  
КОСМЕК.

Навчальне видання

**Перелигін Борис Вікторович**

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ

Конспект лекцій

[http://celestrak.com/NORAD/  
elements/weather.txt](http://celestrak.com/NORAD/elements/weather.txt)

---

Підписано до друку 20.02.2008. Формат 60x84/16. Папір офсетний.  
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 7,67.  
Тираж 50 прим. Зам. № 36.

Надруковано з готового оригінал-макета  
Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

Друкарня видавництва "Екологія"  
65045, м. Одеса, вул. Базарна, 106.  
Тел.: (0482) 33-07-17, 37-07-95, 37-14-25



