

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

О. С. ЛІМОНОВ, Б. В. ПЕРЕЛИГІН,
Т. М. ПУСТОВІТ, К. О. ДЯЧЕНКО

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА**

І частина
«Системи моніторингу навколишнього середовища»

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2016

ББК 25.081
УДК 504.064.3
І 73

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол № 3 від 24. 11. 2016 р.)

Лімонов О. С., Перелигін Б. В., Пустовіт Т. М., Дяченко К. О.

Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища: конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2016. 181 с.

В конспекті лекцій розглядається система моніторингу навколишнього середовища, інформаційні складові наземної підсистеми моніторингу навколишнього середовища. Інформаційна складова космічної підсистеми моніторингу навколишнього середовища.

Конспект лекцій призначений для підготовки фахівців з комп'ютерних наук та інформаційних технологій в галузі інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища.

Конспект призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»

Конспект лекцій використовується для студентів магістрів.

ISBN 978-966-186-006-2

ЗМІСТ

	ПЕРЕДМОВА.....	6
1	СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	7
1.1	Моніторинг навколишнього середовища.....	7
1.1.1	Нормативно-правова база моніторингу навколишнього середовища.....	7
1.1.2	Національний план адаптації до зміни клімату.....	11
1.1.3	Структура моніторингу навколишнього середовища.....	14
1.2	Державна система моніторингу України.....	20
1.2.1	Основна мета і завдання моніторингу.....	20
1.2.2	Суб'єкти та об'єкти державної системи моніторингу України.....	21
1.3	Організація і функціонування державної системи моніторингу України.....	25
1.3.1	Структура державної системи моніторингу України.....	28
2	ІНФОРМАЦІЙНІ СКЛАДОВІ НАЗЕМНОЇ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	36
2.1	Наземна підсистема визначення даних про стан навколишнього природного середовища в Україні.....	36
2.1.1	Склад, просторовий розміщення і Завдання державної системи спостережень.....	37
2.2	Обробка інформації автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища.....	44
2.2.1	Види наданої продукції.....	44
2.2.2	Режимно-довідкова інформація.....	45
2.2.3	Мережа пунктів приземних метеорологічних спостережень	46
2.3	Комп'ютерні технології в екологічному моніторингу.....	47
2.3.1	Моніторингова експертна система.....	47
2.3.2	Інтегровані екоінформаційні системи.....	48
2.4	Класифікація видів спостережень в наземній підсистемі визначення даних.....	50
2.5	Визначення моніторингової інформації контактним методом випромінювання.....	54
2.5.1	Системи дистанційного зондування атмосфери.....	54
2.5.2	Дистанційне вимірювання вітру.....	56
2.5.3	Оптичні та радарні вітрові профайлери.....	59
2.6	Просторово-часовий розподіл стихійних явищ погоди на території України.....	65
2.6.1	Опади теплого і холодного періодів року.....	65

2.6.2	Грози і град.....	78
2.6.3	Вітер і явища, пов'язані з ним.....	84
2.7	Визначення моніторингової інформації за допомогою аерологічних зондів.....	97
2.7.1	Можливості існуючої системи радіозондування.....	97
2.7.2	Вимоги споживачів щодо метеорологічної інформації, одержаної від системи радіозондування.....	100
2.8	Структура системи радіозондування атмосфери.....	102
2.8.1	Загальна структура запропонованої системи радіозондування атмосфери.....	102
2.9	Визначення моніторингової інформації за допомогою радіолокаторів і радіотехнічних систем.....	107
2.9.1	Зовнішнє середовище радіолокаційної системи моніторингу.....	107
2.9.2	Взаємодія електромагнітних хвиль з атмосферою.....	112
2.10	Можливості використання з метою моніторингу різних діапазонів електромагнітних хвиль.....	116
2.10.1	Рівняння радіолокаційних метеорологічних об'єктів і його аналіз.....	116
2.10.2	Лідарний моніторинг навколишнього середовища.....	122
2.11	Просторово-часові характеристики метеорологічних процесів, які підлягають радіолокаційному контролю.....	124
2.11.1	Завдання і мета моніторингу атмосфери.....	124
2.11.2	Методи вимірювання у фізиці атмосфери.....	125
2.11.3	Вимоги до вимірювання в атмосфері.....	126
2.12	Вимоги, що ставляться до наземних дистанційних методів вимірювання.....	136
2.12.1	Класифікація дистанційних методів вимірювання.....	136
2.12.2	Система метеорологічних радіолокаційних спостережень....	138
2.13	Спеціальні станції.....	140
2.13.1	Цілі спеціальних станцій.....	140
2.13.2	Метеорологічні радіолокаційні станції.....	140
2.13.3	Станції зі спостереження за радіацією.....	143
2.13.4	Станції виявлення атмосфериків.....	145
3	ІНФОРМАЦІЙНА СКЛАДОВА КОСМІЧНОЇ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	148
3.1	Технічні системи визначення інформації з космосу.....	148
3.1.1	Основні поняття про штучні супутники Землі.....	148
3.1.2	Методи пасивного і активного дистанційного зондування Землі.....	154

3.2	Фізичні принципи вимірювання інформації про навколишнє середовище космічними знімками.....	156
3.2.1	Можливості та фізичні особливості одержання аерокосмічної інформації.....	156
3.2.2	Технічні особливості одержання аерокосмічної інформації.	161
3.3	Аерокосмічний моніторинг.....	165
3.3.1	Основні види аерокосмічної інформації і вимоги, що ставляться до неї	165
3.3.2	Космічні знімки.....	167
3.3.3	Радіаційні, спектрометричні та мікрохвильові дані.....	172
3.4	Аерокосмічний моніторинг аерокосмічних систем.....	174
3.4.1	Модель регіональної системи аерокосмічного моніторингу.	174
3.4.2	Фактори, що впливають на врожайність і родючість ґрунтів	176
	ЛІТЕРАТУРА.....	179

ПЕРЕДМОВА

Під моніторингом навколишнього середовища розуміється комплекс заходів, які не передбачають спостереження за порушенням екологічного стану.

Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища забезпечують повну програму спостережень, мають ієрархічну дворівневу структуру. На нижньому рівні розташовані прилади і датчики, а також передавальна апаратура програмно-апаратних засобів. Верхній рівень утворений центральним комп'ютером системи і приймальною апаратурою (центральний пункт збору і обробки інформації). Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища широко використовуються в метеорологічній системі для одержання та обробки гідрометеорологічної інформації.

В конспекті лекцій розглядається система моніторингу навколишнього середовища, інформаційні складові наземної підсистеми моніторингу навколишнього середовища. Інформаційна складова космічної підсистеми моніторингу навколишнього середовища.

1 СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1 Моніторинг навколишнього середовища

1.1.1 Нормативно-правова база моніторингу навколишнього середовища

Поняття моніторингу навколишнього середовища вперше було запроваджено в 1972 р. на Стокгольмській конференції Організації Об'єднаних Націй (ООН) [1, 2]. Моніторингом було запропоновано називати систему повторних спостережень одного і більше елементів навколишнього природного середовища у просторі та часі з певною метою відповідно до зазделегіть підготовленої програми. Це поняття визначають також як систему спостережень, яка дозволяє визначити зміни біосфери під впливом людської діяльності. В наш час цей термін дуже широко використовується для зазначення тривалих спостережень за зміною природних і природно-техногенних процесів, які впливають на стан природних і природно-технічних систем. У найпогальнішому вигляді моніторинг можна визначити як організовану з контрольно-діагностичною метою просторово-часову систему спостережень за змінами природних і природно-технічних систем, об'єктів і окремих складових їх частин у взаємодії з навколишнім середовищем [3, 4].

Причиною, з якої було приділено велику увагу моніторингу навколишнього середовища, був той факт, що людство в цілому зрозуміло, що у зв'язку з антропогенним забрудненням навколишнього природного середовища необхідно робити екстрені заходи протидії забрудненню. Щоб вживати які-небудь заходи, потрібно знати дійсний стан природного середовища. Дійсний стан можна визначити тільки на основі вимірювання відповідних параметрів природного середовища. Так виникла і почала розвиватися наука екологія.

Після 20 років аналіз стану природного середовища з кліматичної точки зору привів людство до розуміння не тільки того, які потрібно яким-небудь чином пристосовуватися до забруднення середовища, але тепер уже потрібно пристосовуватися і до змін клімату. За ці роки істотно змінилися параметри навколишнього середовища, що характеризують клімат. Ці зміни, можливо, є наслідком антропогенної дії на навколишнє середовище.

У зв'язку з цим через 20 років, в 1992 році ООН була прийнята Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату [5].

Сторони цієї Конвенції,

визнаючи, що зміна клімату Землі і її несприятливі наслідки є предметом загальної заклопотаності людства, будучи стурбовані тим, що в

результаті людської діяльності відбулося істотне збільшення концентрації парникових газів в атмосфері, що таке збільшення посилює природний парниковий ефект і що це призведе, загалом, до додаткового потепління поверхні й атмосфери Землі і може спричинити несприятливу дію на природні екосистеми і людство, відзначаючи, що найбільша частка тих, що мали місце у минулому, і теперішніх глобальних викидів парникових газів припадає на розвинені країни, що рівень викидів на душу населення в країнах, що розвиваються, все ще порівняно низький і що частка глобальних викидів, вироблених в цих країнах, зростатиме у зв'язку із подовolenням їх соціальних потреб і потреб в області розвитку,

враховуючи роль і важливість в наземних і морських екосистемах поглиначів і накопичувачів парникових газів,

відзначаючи численні невизначеності прогнозів зміни клімату, зокрема відносно їх термінів, масштабів і регіональних особливостей,

визнаючи, що глобальний характер зміни клімату потребує максимально широкої співпраці всіх країн і їх участі в діяльності з ефективного та належного міжнародного реагування згідно з їх загальною, але диференційованою відповідальністю та реальними можливостями, а також їх соціальними і економічними умовами,

посилаючись на відповідні положення Декларації Конференції Організації Об'єднаних Націй з проблем навколишнього середовища, прийнятої в Стокгольмі 16 червня 1972 року,

нагадуючи, що відповідно до Статуту Організації Об'єднаних Націй і принципів міжнародного права держави мають суверенне право розробляти свої власні ресурси згідно зі своєю політикою в області навколишнього середовища та розвитку і несуть відповідальність за забезпечення того, щоб діяльність в рамках їх юрисдикції або контролю не повдавала збитку навколишньому середовищу інших держав або районів по межами дії національної юрисдикції,

знов підтверджуючи принцип суверенітету держав в міжнародній співпраці в справі реагування на зміну клімату,

визнаючи, що державам слід ввести в дію ефективне законодавство в області навколишнього середовища, що екологічні стандарти, цілі і пріоритети в області управління повинні відображати ті аспекти навколишнього середовища та розвитку, відносно яких вони застосовуються, і що стандарти, вживані деякими країнами, можуть бути недоречними та необґрунтованими з погляду економічних і соціальних витрат для інших країн, зокрема країн, що розвиваються,

посилаючись на положення резолюції 44/228 Генеральної Асамблеї від 22 грудня 1989 року про конференцію Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища та розвитку і резолюцій 43/53 від 6 грудня 1988 року, 44/207 від 22 грудня 1989 року, 45/212 від 21 грудня 1990 року і 46/169 від 19 грудня 1991 року про охорону глобального клімату на

користь нинішнього та майбутніх поколінь людства,

посилаючись також на положення резолюції 44/206 Генеральної Асамблеї від 22 грудня 1989 року про можливі несприятливі наслідки підвищення рівня моря для островів і прибережних районів, особливо низовинних прибережних районів, і на відповідні положення резолюції 44/172 Генеральної Асамблеї від 19 грудня 1989 року про здійснення Плану дій з боротьби із запустелюванням,

посилаючись далі на Віденську конвенцію 1985 року про охорону озонового шару і протокол Монреалю 1987 року по речовинах, руйнуючих озоновий шар, із змінами та поправками від 29 червня 1990 року,

беручи до відома Декларацію міністрів, прийняту 7 листопада 1990 року на другій Всесвітній кліматичній конференції,

усвідомлюючи цінність аналітичної роботи, яка здійснюється багатьма державами в області зміни клімату, і важливість внеску, що вноситься Всесвітньою метеорологічною організацією, Програмою Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища та іншими органами, організаціями та органами системи Організації Об'єднаних Націй, а також іншими міжнародними та міжурядовими органами в процес обміну результатами наукових досліджень і координації досліджень,

визнаючи, що заходи, потрібні для розуміння та вирішення проблем зміни клімату, будуть найбільш ефективними з екологічної, соціальної та економічної точок зору в тому випадку, якщо вони будуть ґрунтуватись на відповідних наукових, технічних і економічних заходів і постійно переглядатимуться в світлі нових результатів, отриманих в цих областях,

визнаючи можливість економічної обґрунтованості самих заходів щодо вирішення проблем зміни клімату, а також їх здатність сприяти вирішенню інших екологічних проблем,

визнаючи також необхідність негайного прийняття як першого кроку розвиненими країнами гнучких заходів на основі чітких пріоритетів у напрямі розробки всеосяжних стратегій реагування на глобальному, національному і, у разі узгодження, регіональному рівнях, які б охоплювали всі парникові гази з належним урахуванням їх відносної ролі в посиленні парникового ефекту,

визнаючи далі, що низовинні та інші невеликі острівні країни, країни з низовинними прибережними, посушливими та напівпосушливими районами, або районами, схильними до повеней, посухи та запустелювання, і країни, що розвиваються, з уразливими гірськими екосистемами особливо чутливі до несприятливих наслідків зміни клімату,

визнаючи особливі труднощі тих країн, зокрема країн, що розвиваються, економіка яких особливо залежить від виробництва, використання і експорту викопних видів палива, що виникають з вживанням заходів щодо обмеження викидів парникових газів,

підтверджуючи, що заходи з реагування на зміну клімату мають бути

скоординовані з загальним комплексом заходів щодо соціально-економічного розвитку, з тим, щоб не допустити несприятливої дії на нього, з повним урахуванням поконних пріоритетних потреб країн, що розвиваються, в справі досягнення стійкого економічного зростання та викорінювання убогості,

визнаючи, що всі країни, особливо країни, що розвиваються, потребують доступу до ресурсів, необхідних для досягнення стійкого соціально-економічного розвитку, та що для того, щоб країни, що розвиваються, просунулися у напрямі цієї мети, їх енергоспоживання повинно зростати з урахуванням можливостей досягнення вищої енергетичної ефективності та боротьби з викидами парникових газів в цілому, зокрема шляхом застосування нових технологій на умовах, які роблять таке застосування вигідним з економічної і соціальної точок зору,

будучи сповнені рішучості захистити кліматичну систему на користь нинішнього та майбутніх поколінь,

домовилися про термінологію, принципи, зобов'язання, дослідження та систематичні спостереження, освіту, підготовку кадрів, інформування громадськості, найвищі органи, секретаріат, допоміжних органах для консультування з наукових і технічних аспектів, здійсненні, фінансових механізмах і інших питаннях діяльності, направленої на досягнення мети Конвенції, - добитися у виконання відповідних положень Конвенції стабілізації концентрацій парникових газів в атмосфері на такому рівні, який не допускав би небезпечної антропогенної дії на кліматичну систему. Такий рівень має бути досягнутий в терміни, достатні для природної адаптації екосистем до зміни клімату, дозволяючи не ставити під загрозу виробництво продовольства та забезпечувати подальший економічний розвиток на стійкій основі.

Як заходи моніторингу в Конвенції виступають дослідження та систематичні спостереження, при виконанні яких Сторони Конвенції:

- в заходів у необхідності підтримують і укріплюють діяльність міжнародних і міжурядових програм і мереж або організацій, які мають на меті визначення, виконання, оцінку та фінансування досліджень, збір даних і систематичне спостереження, зважаючи на необхідність зведення до мінімуму дублювання зусиль;

- підтримують міжнародні та міжурядові зусилля зі зміцнення систематичного спостереження і національного потенціалу та можливостей в області наукових і технічних досліджень, особливо в країнах, що розвиваються, і зі сприяння доступу до даних і результатів їх аналізу, отриманих з районів, що знаходяться по межами дії національної юрисдикції, і обміну ними;

- враховують особливі інтереси та потреби країн, що розвиваються, і співпрацюють в зміцненні їх національного потенціалу та можливостей участі в зусиллях, згаданих вище.

1.1.2 Національний план адаптації до зміни клімату

Процеси зміни клімату, що почалися, продовжуються. І якщо до них не підготуватися, можна наразитися на серйозні неприємності - значне підвищення смертності людей, занепад сільського господарства, розбалансованість економіки. Саме тому уряд України приступив до складання „Національного плану адаптації до кліматичних змін”.

Над подібними планами вже працюють більше ніж 100 країн світу, виконуючи умови Рамкової конвенції ООН про зміну клімату. В Україні до роботи над планом приступили в квітні 2011 року. Над ним працюють фахівці Державного агентства екологічних інвестицій України. Якщо згаяти час і нічого заораз не робити, то по 15-20 років, коли в природі відбудуться необоротні процеси, пристосування до погоди „на ходу” „з’їдатиме” величезні гроші, до 50% урожаю і, головне, людські життя. По даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, вже сьогодні в світі через кліматичні зміни помирає 150 тис. людей в рік.

При виробленні адаптаційної стратегії країни державне агентство врахує відповідні розробки та пропозиції, що надходять від місцевих органів влади, міністерств, бізнес-структур, які діють в найуразливіших секторах економіки, а також учених, розробників нових технологій і від громадськості, оскільки в кожному регіоні та в кожній сфері свої особливості.

Найбільш вірогідні ризики для України в результаті зміни клімату:

- підвищення частоти й інтенсивності кліматичних аномалій і екстремальних погодних явищ - злив, повеней, буревіїв, лісових пожеж;
- посушливіша погода влітку, причому посухи можуть розповсюджуватися навіть на регіони, які завжди традиційно вважалися зоною достатнього зволоження;
- значне зменшення рівня родючості ґрунтів, оскільки при потеплінні рослини ростуть швидше та більше живильних речовин отримують з землі;
- погострення проблем з забезпеченням водою південних і південно-східних регіонів України, які і зараз більше по всіх страждають від посух, і де населення дуже погано забезпечене якісною питною водою;
- підвищення рівня Чорного і Азовського морів, яке підсилить процеси розмиву берегів і потоплення чорноземів;
- поява „кліматичних біженців” з жаркіших країн, що може викликати соціальну напругу, істотне додаткове навантаження на економіку держави і, за відсутності належної міграційної політики, призведе до непередбачуваних наслідків;
- підвищення рівня похворюваності та смертності населення внаслідок зміни температурного режиму, поява нового виду інфекційних хвороб.

Необхідні адаптаційні заходи:

- впровадження системи контролю стихійних лих і екстремальних явищ погоди;
- розробка та впровадження нових агротехнологій, що послаблюють вплив екстремальних погодних явищ, які частішають;
- створення та використання нових засухостійких сортів сільськогосподарських культур;
- впровадження раціональнішого водокористування;
- розробка та впровадження заходів, направлених на захист розмиву берегів водоймищ;
- розробка медичних програм, направлених на мінімізацію негативного впливу погодних умов на здоров'ї людей.

Таким чином, в рамках Національного плану передбачено впровадження системи контролю стихійних лих і екстремальних явищ погоди.

Передбачені подібні заходи і в Законі України „Про основи національної безпеки України” [6].

З опорою на приведені вище документи у вигляді ЗаПокону України розроблені Основи (стратегія) державної екологічної політики на період до 2020 року, узгодженою з країнами СНД [7, 8]. У ній відмічений як один з інструментів реалізації національної екологічної політики моніторинг стану навколишнього середовища.

У пункті 4.11 Основ (стратегії) державної екологічної політики на період до 2020 року проголошується наступне:

для забезпечення розвитку державної системи моніторингу навколишнього природного середовища, направленою на подання органам виконавчої влади, органам місцевого самоврядування та населенню своєчасної, достовірної інформації про її стан, і з метою підвищення ефективності здійснення державного контролю за визначенням природоохоронного законодавства необхідно проаналізувати інформаційні потреби системи державного управління, створити єдину мережу спостережень, здійснити оптимізацію, модернізацію і технічне забезпечення системи моніторингу навколишнього природного середовища, удосконалити метрологічне забезпечення виконання спостережень, інтегрувати інформаційні ресурси суб'єктів системи моніторингу та забезпечити функціонування єдиної автоматизованої підсистеми збору, обробки, аналізу і зберігання екологічних даних.

Очікуваним результатом стратегії буде удосконалення державної системи моніторингу навколишнього природного середовища та системи інформаційного забезпечення процесу ухвалення управлінських рішень.

На виконання цих законів і законів, прийнятих раніше, Кабінет міністрів України прийняв Ухвалу про повердження Положення про державну систему моніторингу навколишнього природного середовища [9]. У ньому, зокрема наголошується, що:

- Державна система моніторингу (ДСМ) навколишнього природного середовища (система моніторингу) - це система спостереження, збору, обробка, передачі, зберігання та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища, прогнозування його змін і розробки науково обґрунтованих рекомендацій для ухвалення рішень щодо запобігання негативним змінам стану навколишнього природного середовища і двизначення вимог екологічної безпеки;

- система моніторингу - це відкрита інформаційна система, пріоритетами функціонування якої є життєво важливі екологічні інтереси людини та суспільства, збереження природних екосистем, запобігання кризовим змінам екологічного стану навколишнього природного середовища та попередження надзвичайних екологічних ситуацій;

- створення і функціонування системи моніторингу з метою інтеграції екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території, ґрунтується на принципах узгодженості нормативно-правового та організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення її складових частин, систематичності спостережень за станом навколишнього природного середовища та техногенними об'єктами, що впливають на нього.

Таким чином, моніторинг є системою збору, обробки та зберігання інформації, необхідної для вирішення цілого ряду завдань з охорони навколишнього природного середовища.

Одним із таких завдань, яке можна віднести до категорії головних, є виявлення тенденцій зміни стану навколишнього середовища, окремих його компонентів, природних і природно-технічних систем, об'єктів під впливом природних або техногенних процесів і складання довгострокових і короткострокових прогнозів таких змін. Такого роду дані використовуються для ухвалення управлінських рішень, мета яких, у свою чергу, полягає в запобіганні або зниженні до мінімуму збитку від негативних проявів природних і техногенних процесів.

Моніторинг призначений для визначення інформації, що охоплює та характеризує весь комплекс процесів і явищ, які спостерігаються в межах досліджуваного об'єкта і навколишнього простору. Така інформація необхідна для складання, подальшого коректування і уточнення прогнозів розвитку різних процесів, які є потенційною небезпекою. Глобальний моніторинг здійснюється з метою визначення інформації, необхідної для вирішення Завдання збереження біосфери та забезпечення розвитку цивілізації. Це Завдання може бути вирішене по наявності даних, достатніх для складання достовірних прогнозів несприятливих геодинамічних і геофізичних явищ з метою запобігання природним і природно-техногенним катастрофам або зменшення збитку, завданого ними.

Завдання, для вирішення яких здійснюється моніторинг, визначають

рівень, ступінь складності, а також міждержавну, державну або відомчу приналежність організовуваної системи спостережень. Найбільш складним за своєю структурою є моніторинг навколишнього середовища, оскільки припускає організацією багаторівневої та багатокомпонентної комплексної системи спостережень. Тому в 8-му розділі Положення про державну систему моніторингу навколишнього природного середовища визначені різним відомствам (Мінприроди, Державній службі з надзвичайних ситуацій і іншим органам) Завдання моніторингу відповідно до профілю відомства.

1.1.3 Структура моніторингу навколишнього середовища

Стосовно спостережень за зміною навколишнього середовища слід розрізняти моніторинг глобальний, державний, регіональний, локальний і детальний, як це показано на рис. 1.1.

Наведена структура відображає моніторинг на кожному з рівнів, а також організаційну його приналежність. Кожен з рівнів, починаючи з першого, нижчого (детального), допускає організацією своєї власної системи спостережень, збору, обробки та передачі інформації (моніторингу), яка як підсистема входить в систему вищого рівня.

В той же час на кожному з рівнів, враховуючи цільову спрямованість моніторингу, припадає вирішувати, окрім загального стеження по обстановкою, цілком певні Завдання, пов'язані з вивченням деяких домінуючих кліматичних, геологічних або геофізичних процесів або із спостереженням за зміною стану окремих об'єктів. В цьому випадку доцільна організація дворівневого - загального і спеціального - моніторингу.

Погальний моніторинг - це система контролю, яка охоплює всю досліджувану територію зі всіма об'єктами, що знаходяться в її межах, і припускає виконання спостережень за динамікою зміни максимально можливого числа характеристичних параметрів.

Спеціальний моніторинг передбачає вивчення характеру змін порівняно невеликого числа параметрів або чинників на обмежених ділянках або на окремих об'єктах, а також спостереження за змінами деяких компонентів навколишнього середовища, наприклад геологічного середовища, техносфери або біосфери.

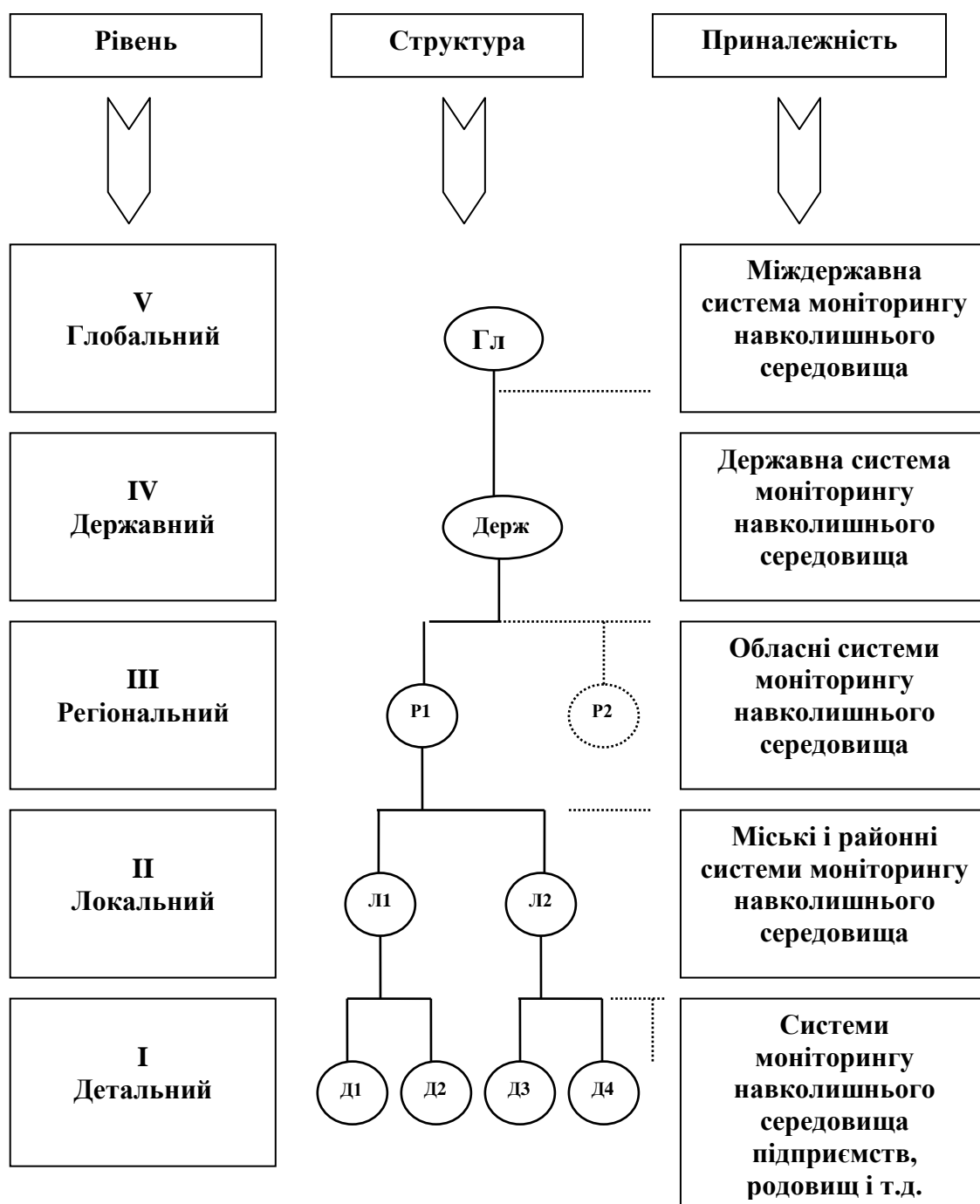


Рисунок 1.1 – Структура моніторингу навколишнього середовища

Для здійснення моніторингу має бути організована мережа наглядових станцій, розроблений часовий режим (регламент) виконання вимірювання характеристичних параметрів і створений спеціальний центр обробки та зберігання інформації. На рис. 1.2 як зразок показана схема організації моніторингу, що включає стаціонарні та мобільні пункти комплексних спостережень, яка об'єднуються в територіальні мережі; інформаційно-оброблювальні центри різного ієрархічного рівня; систему

комунікацій для передачі інформації. Така схема дозволяє здійснювати моніторинг на всіх рівнях від окремого об'єкта до території держави в цілому і має вихід в систему міжнародного глобального моніторингу.

Покон України “ Про охорону навколишнього природного середовища” в Розділі 5 „Спостереження, прогнозування, облік і інформування в області навколишнього природного середовища” в ст. 22 “Моніторинг навколишнього природного середовища” визначає [10]:

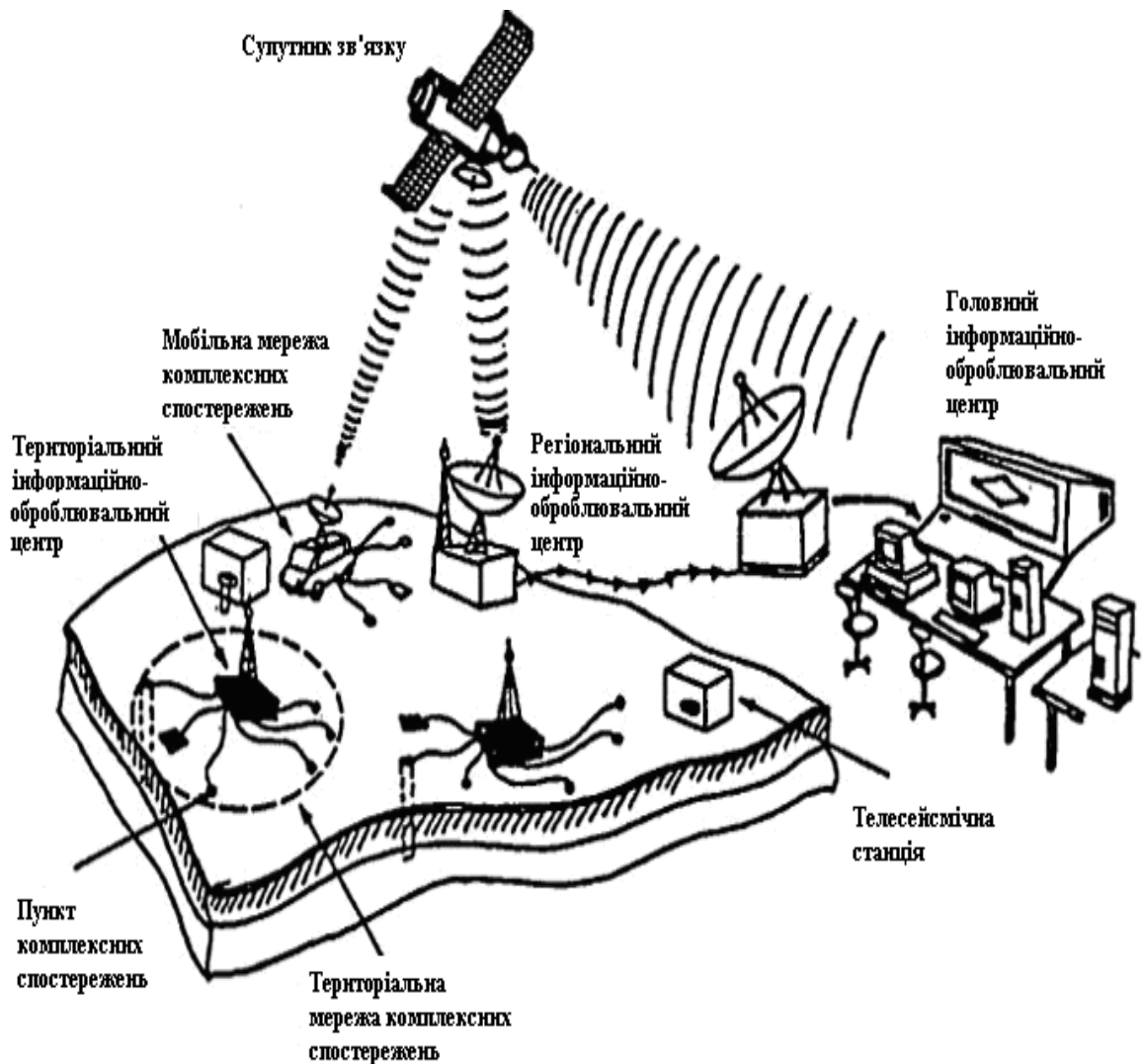


Рисунок 1.2 - Схема організації комплексного моніторингу

з метою забезпечення збору, обробки, зберігання та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища, прогнозування його змін і розробки науково обґрунтованих рекомендацій для ухвалення ефективних управлінських рішень в Україні створюється система державного моніторингу навколишнього природного середовища. Спостереження за станом навколишнього природного середовища, рівнем його забруднення здійснюються центральним органом виконавчої влади,

який реалізовує державну політику у сфері охорони навколишнього природного середовища, іншими спеціально уповноваженими державними органами, а також підприємствами, установами та організаціями, діяльність яких призводить або може призвести до погіршення стану навколишнього природного середовища.

Таким чином, моніторинг - інформаційна система спостереження та контролю, тобто система моніторингу включає власне технічні засоби вимірювання та спостереження і сам процес накопичення даних і оцінку їх динаміки. При спостереженні - фіксується якісний стан природного середовища та його зміна, при контролі - фіксуються кількісні параметри середовища і його зміна.

Державна система спостережень і контролю за станом природного середовища або *державна система моніторингу* (ДСМ) є комплексною багаторівневою геоінформаційною системою, призначеною для виконання систематичних спостережень і контролю змін стану природного середовища під впливом природних і антропогенних чинників, а також для забезпечення органів державного управління, господарських організацій і населення інформацією про поточний і прогнозований стан природного середовища, яка надходить як від власної мережі спостережень, так і від інших організацій, зарубіжних країн і міжнародних організацій [11, 12].

Основними завданнями ДСМ є:

- здійснення необхідних спостережень і збору даних про стан природного середовища (зокрема про екологічну ситуацію) в різних просторових масштабах території земної кулі, включаючи глобальний;
- оперативна передача та обробка великих масивів інформації з метою забезпечення підготовки прогнозів погоди, гідрометеорологічних і геофізичних умов, а також рівнів забруднення природного середовища;
- забезпечення на оперативній основі галузей господарства та населення природно-ресурсною інформацією;
- контроль забруднення природного середовища і джерел його забруднення;
- контроль за визначенням норм граничних викидів забруднювальних речовин;
- контроль і прогноз сонячної активності, а також геофізичних явищ в магнітосфері, іоносфері та верхній атмосфері;
- визначення необхідної інформації для оцінки клімату, його мінливості та впливу коливань і змін клімату на галузі господарства, економіку та екологічну ситуацію;
- підвищення завчасності попереджень господарських організацій і населення країни про небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища, а також про екстремальні рівні забруднення навколишнього природного середовища;
- подальше розширення і підвищення ефективності

гідрометеорологічного забезпечення господарського комплексу шляхом впровадження нових і удосконалення існуючих методів спостережень і прогнозу погоди, гідрометеорологічних і геофізичних явищ;

- здійснення системи природоохоронних заходів для покращення екологічної обстановки в країні, скорочення об'єму шкідливих викидів в атмосферу, зниження концентрації шкідливих домішок; подальший розвиток і підвищення ефективності цих заходів;

- організація та виконання робіт щодо активних дій на гідрометеорологічні явища і процеси.

Організаційно ДСМ складається з таких структурних елементів: пунктів спостережень, гідрометеорологічних і спеціальних обсерваторій, гідрометеорологічних бюро, гідрометеорологічних центрів, центрів контролю забруднення природного середовища, пунктів прийому супутникової інформації, територіальних, регіональних центрів обробки та зберігання гідрометеорологічної інформації. Структурні підрозділи системи зв'язані різними за виглядом, призначенням і пропускнуою спроможністю каналами зв'язку. Центри обробки інформації обмінюються регулярною метеорологічною інформацією в рамках Всесвітньої служби погоди з національними, регіональними та світовими метеорологічними центрами, розташованими в інших країнах - членах Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО).

Всі функції, що виконує ДСМ, умовно поділяють на такі групи:

- визначення початкових даних;
- передача даних;
- обробка даних;
- розповсюдження отриманої інформації.

Відповідно до цього в ДСМ виділяють чотири системи:

- система (що включає наземну та космічну підсистеми) визначення гідрометеорологічних і геофізичних даних про стан природного середовища, даних про забруднення природного середовища, а також про природні ресурси, яка складається з засобів для виконання спостережень і обслуговуючого персоналу;

- система збору та розповсюдження інформації, яка забезпечує своєчасний надійний збір і розповсюдження результатів спостережень і обробленої інформації, що передається на всіх рівнях ДСМ;

- система обробки інформації та банків даних про природне середовище, яка забезпечує автоматизовану обробку та подання інформації про поточний і прогнозований стан природного середовища та клімату;

- система доведення інформації, яка включає методи і технічні пособи для своєчасного подання необхідної: інформації про поточний і прогнозований стан природного середовища керівним органам, господарським організаціям, а також населенню.

У системі визначення даних про стан природного середовища

забезпечується виконання різних видів спостережень: на станціях і постах, розташованих на суші і на морі, на стаціонарних і пересувних платформах, методами точкових вимірювання або просторового зондування (наземна підсистема визначення даних), а також різними методами та засобами вимірювання з супутників (космічна підсистема визначення даних).

Пособи для визначення кількісних і якісних характеристик поточного стану об'єктів природного середовища розміщуються на постійно або тимчасово діючих пунктах спостережень з персоналом або без персоналу спостерігачів, а також використовуються при проведенні експедиційних робіт.

Масштаб і мінливість процесів, що вивчаються, визначають широкий діапазон вимог до точності, просторового та часового розрізнення результатів спостережень і тривалості періодів, за які необхідно отримувати відомості про них.

В основу організації та функціонування системи визначення даних і пунктів спостережень, які входять до неї (зокрема спостережень, здійснюваних епізодично) покладена концепція комплексності. Відповідно до цієї концепції максимальна інформативність діючих пособів спостереження забезпечується раціональним (тобто з урахуванням вимог до оптимальної точності подання даних в пункті та оптимального розрізнення в просторі) їх розміщенням і комплексним використанням отримуваної інформації.

Система збору та розповсюдження інформації дозволяє здійснювати збір даних від спостережної мережі, циркулярне розповсюдження великих потоків цифрової та графічної інформації, обмін масивами даних на всіх рівнях ДСМ, а також передачу необхідної інформації споживачам.

Система обробки даних про стан природного середовища включає оперативно-прогностичні організації, технічні пособи перетворення та передачі даних, ЕОМ, пристрої зберігання інформації, інструкції для персоналу, обслуговуючого систему, і набір програм, які реалізують технологію обробки, контролю та зберігання даних.

Система забезпечує оперативну, режимну обробку та аналіз отриманої інформації; складання довгострокових і короткострокових прогнозів стану природного середовища, оглядів і консультацій; систематизацію, накопичення, зберігання та пошук інформації; складання довідників з різних видів інформації і довідок на запити.

Обробка даних здійснюється з різним ритмом функціонування, який визначається розкладом роботи системи спостережень і каналів передачі даних, а також встановленими термінами підготовки вихідної продукції: оброблених даних, прогнозів, довідкових видань і т. д. Масиви накопичених даних формуються на базі оперативних і неоперативних даних (а також даних спеціальних експериментів), які збираються поштою.

Система доведення інформації забезпечує надання інформації про

стан природного середовища споживачам на всіх рівнях обслуговування з узгодженими з ними планами. Спеціалізоція забезпечення моніторинговою інформацією кожної конкретної галузі (групи споживачів) здійснюється на основі вивчення її потреб.

Інформація передається регіональним і територіальним центрам, оперативним прогностичним організаціям і порубіжним світовим, регіональним і національним метеорологічним центрам, а також представляється в органи влади та населенню.

Забезпечення моніторинговою інформацією здійснюється як в оперативно-інформаційному режимі, так і в режимі подання довідкових матеріалів (щомісячників, щорічників, кліматичних довідників, атласів, описів, оглядів, різного роду довідок і т. д.), що готуються в організаціях і мережних підрозділах.

В оперативно-інформаційному режимі споживачам надається поточна інформація про фактичний стан природного середовища в реальному масштабі часу (зокрема інформація про небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища), попередження та прогнози різної завчасності, а також сповіщення про випадки екстремального забруднення природного середовища. При цьому дані про поточний стан природного середовища передаються з мінімальною потримкою після спостережень (вимірювання), прогностична інформація - з заасністю, достатньою для її ефективного використання, інформація про поточні та прогнозовані небезпечні значення параметрів природного середовища та стихійні явища - екстрено.

Забезпечення споживачів в режимі подання довідкових матеріалів здійснюється на основі інформації про стан і зміни гідрометеорологічних умов у вигляді накопичених даних безпосередніх спостережень і різних видів оброблених (упогальнених) матеріалів, підготовлених з використанням первинних даних.

1.2 Державна система моніторингу України

1.2.1 Основна мета і Завдання моніторингу

Система моніторингу призначена для [9]:

- підвищення рівня знань про екологічний стан природного середовища;
- підвищення оперативності і якості інформаційного обслуговування користувачів на всіх рівнях;
- підвищення якості обґрунтування природоохоронних задів і ефективності їх здійснення;
- сприяння розвитку міжнародної співпраці в області охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних

ресурсів і екологічної безпеки.

Основними подачами суб'єктів системи моніторингу є:

- довгострокові систематичні спостереження по станом навколишнього середовища;
- аналіз екологічного стану навколишнього середовища та прогнозування його змін;
- інформаційно-аналітична підтримка ухвалення рішень в області охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів і екологічної безпеки;
- інформаційне обслуговування органів державної влади, органів місцевого самоврядування, а також забезпечення екологічною інформацією населення країни та міжнародних організацій.

1.2.2 Суб'єкти та об'єкти державної системи моніторингу України

Моніторинг навколишнього середовища по станом на січень 2013 року здійснюють такі суб'єкти:

- *Міністерство екології і природних ресурсів України (Мінприроди)* - атмосферного повітря і опадів (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів, трансграничне перенесення забруднювальних речовин); джерел промислових викидів в атмосферу (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); поверхневих і морських вод (гідрохімічні та гідробіологічні визначення, вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); підземних вод (визначення гідрогеології та гідрохімічного складу та властивостей, зокрема полишкової кількості пестицидів і агрохімікатів, оцінка ресурсів); джерел скидань стічних вод (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); водних об'єктів в межах природоохоронних територій (фонова кількість забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); ґрунтів різного призначення, зокрема на природоохоронних територіях (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); геохімічного складу ландшафтів (вміст і розповсюдження природних і техногенних хімічних елементів і сполук); радіаційної обстановки (на пунктах стаціонарної мережі); геофізичних полів (фонові і аномальні дослідження); стихійних і небезпечних природних явищ: ендегенних і екзогенних геологічних процесів (їх видові та просторові характеристики, активність прояву), повеней, паводків, снігової лавини, селів (у районах наглядних станцій); державне еколого-геологічне картографування території України для оцінки стану геологічного середовища та його змін під впливом господарської діяльності; наземних і морських екосистем (фонова кількість забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); звалищ промислових і побутових відходів (склад відходів, вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів). Попередження

про створення або погрозу створення небезпечних метеорологічних і гідрологічних явищ, оцінки їх розвитку, державне еколого-геологічне картування території країни та її частин покладається на установи і організації, які належать до сфери управління Мінприроди;

- *Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС)* (на пунктах державної системи гідрометеорологічних спостережень) - атмосферного повітря та опадів (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів, трансграничне перенесення забруднювальних речовин); снігового покриву; річкових, озерних (гідрохімічні і гідробіологічні показники, зокрема радіонукліди) і морських вод (гідрохімічні показники); ґрунтів різного призначення (вміст полишкової кількості пестицидів і важких металів); радіаційної обстановки (визначення експозиційної дози гамма-випромінювання); повеней, паводків, снігової лавини, селів;

- *Мінприроди разом з ДСНС і їх органами і іншими суб'єктами системи моніторингу* встановлюють спеціальні регламенти спостереження по екологічно небезпечними об'єктами, критерії визначення та втручання у разі створення або погрози створення надзвичайних екологічних ситуацій, здійснюють оперативне управління інформацією, отриманою на всіх рівнях функціонування системи моніторингу;

- *Державне агентство України з управління зоною відчуження (ДАЗВ)* (у зоні відчуження та відселеної частини зони безумовного (обов'язкового) відселення) - атмосферного повітря (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); поверхневих і підземних вод (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); наземних і водних екосистем (біоіндикаторні визначення); ґрунтів і ландшафтів (вміст забруднювальних речовин, радіонуклідів, просторовий розповсюдження); джерел викидів в атмосферу (вміст забруднювальних речовин, об'єми викидів); джерел скидань стічних вод (вміст забруднювальних речовин, об'єми скидань); об'єктів зберігання і/або заховання радіоактивних відходів (вміст радіонуклідів, радіаційна обстановка);

- *Міністерство охорони здоров'я України (МОЗ)* (у місцях мешкання та відпочинку населення, зокрема на природних територіях курортів) - атмосферного повітря (вміст шкідливих хімічних речовин); поверхневих вод суші та питної води (хімічні, бактеріологічні, радіологічні, вірусологічні визначення); морських вод, мінеральних і термальних вод, лікувальних грязей, озокериту, ропи лиманів і озер (хімічні, бактеріологічні, радіологічні, вірусологічні визначення); ґрунтів (вміст пестицидів, важких металів, бактеріологічні, вірусологічні визначення, наявність яєць геогельмінтів); фізичних чинників (шум, електромагнітні поля, радіація, вібрація і тому подібне). Оцінка впливу забруднення навколишнього середовища на стан здоров'я населення покладається на МОЗ і його територіальні органи (у разі їх створення), які повинні

своєчасно інформувати органи державної влади та місцевого самоврядування про негативні тенденції або кризові зміни стану здоров'я населення в результаті погіршення екологічної обстановки;

- *Міністерство аграрної політики і продовольства України (Мінагрополітики)* - ґрунтів сільськогосподарського використання (радіологічні, агрохімічні і токсикологічні визначення, зашкова кількість пестицидів, агрохімікатів і важких металів); сільськогосподарських рослин і продуктів з них (токсикологічні і радіологічні визначення, залишкова кількість пестицидів, агрохімікатів і важких металів); сільськогосподарських тварин і продуктів з них (зоотехнічні, токсикологічні і радіологічні визначення, зашкова кількість пестицидів, агрохімікатів, і важких поверхневих вод сільськогосподарського призначення (токсикологічні і радіологічні визначення, зашкова кількість пестицидів, агрохімікатів і важких металів). Органи Мінагрополітики надають всім зацікавленим суб'єктам системи моніторингу інформацію про фізичні, геохімічні і біологічні зміни якості ґрунтів сільськогосподарського призначення;

- *Державне агентство лісових ресурсів України (Держлісагентство)* - ґрунтів земель лісового фонду (радіологічні визначення, полишкова кількість пестицидів агрохімікатів і важких металів); лісовій рослинності (пошкодження біотичними і абіотичними чинниками, біомаса, біорізноманіття, радіологічне визначення, вміст забруднювальних речовин); мисливської фауни (видові кількісні і просторові характеристики, радіологічні визначення);

- *Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство)* - річок, водосховищ, каналів, зрошувальних систем і водоймищ, в межах водогосподарських систем комплексного призначення, систем міжгалузевого та сільськогосподарського водопостачання (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); водоймищ в зонах впливу атомних електростанцій (вміст радіонуклідів); поверхневих вод в прикордонних зонах і місцях їх інтенсивного виробничо-господарського використання (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); зрошуваних і осушуваних земель (глибина полягання і мінералізація ґрунтових вод, ступінь засолення і солонцюватості ґрунтів); підтоплення сільських населених пунктів, прибережних зон водосховищ (переформовування берегів і підтоплення територій). Органи Держводагентства надають всім поцікавленим суб'єктам системи моніторингу інформацію про державний облік використання вод і скидання стічних вод водокористувачами;

- *Державне агентство земельних ресурсів України (Держземагентство)* – ґрунтів і ландшафтів (вміст забруднювальних речовин, прояви ерозійних і екзогенних процесів, просторовий забруднення земель об'єктами промислового та сільськогосподарського

виробництва); рослинного покриву земель (видовий склад, показники розвитку та ураження рослин); зрошуваних і осушених земель (вторинне підтоплення і поселення і тому подібне); берегових ліній річок, озер, водосховищ, лиманів, поток, гідротехнічних споруд (динаміка змін, пошкодження земельних ресурсів). Органи Держземагентства надають всім поцікавленим суб'єктам системи моніторингу інформацію про стан земельного фонду, структурі землекористування, трансформації земель, походах щодо запобігання негативним процесам і ліквідації їх наслідків;

- *Міністерство регіонального розвитку, будівництва і житлово-комунального господарства України (Мінрегіон)* - питної води централізованих систем водопостачання (вміст забруднювальних речовин, об'єми споживання); стічних вод міської каналізаційної мережі та очисних споруд (вміст забруднювальних речовин, об'єми надходження); зелених насаджень в містах і селищах міського типу (ступінь пошкодження ентомошкідниками, фітопохворюваннями і тому подібне); підтоплення міст, селищ міського типу (небезпечне підняття рівня ґрунтових вод);

- *Державна служба геології і надр України (Держгеонадра)* - підземних вод (ресурси, використання, рівень і хімічний склад); ендегенних і екзогенних процесів (видові та просторові характеристики, активність прояву); геофізичних полів (фонові та аномальні визначення); геохімічного стану ландшафтів (вміст і розповсюдження природних і техногенних хімічних елементів і сполук). Функції щодо попередження про створення або погрозу створення екзогенних і ендегенних геологічних процесів, оцінювання їх розвитку, покладаються на Держадву;

- *Державний комітет архівів України (ДКА)* надає всім поцікавленим суб'єктам системи моніторингу архівну і поточну інформацію дистанційного зондування Землі, а також методичну і технічну допомогу користувачам відносно інтерпретації і використання аерокосмічних даних;

- *Державна служба зв'язку і похисту інформації України* сприяє використанню в системі моніторингу сучасних комп'ютерних і комунікаційних засобів, які рекомендуються до застосування в національній інформаційній інфраструктурі;

- *Орган виконавчої влади Автономної Республіки Крим з питань екології і природних ресурсів* (на території Автономної Республіки Крим) - джерелах промислових викидів в атмосферу (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); поверхневих вод (гідрохімічні і гідробіологічні визначення, вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); джерел скидання стічних вод (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); водних об'єктів в межах природоохоронних територій (фонові кількість забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів); ґрунтів різного призначення, зокрема на природоохоронних територіях (вміст забруднювальних речовин, зокрема

радіонуклідів); геохімічного стану ландшафтів (вміст і розповсюдження природних і техногенних хімічних елементів); радіаційної обстановки (в пунктах стаціонарної мережі); геофізичних полів (фонові та аномальні дослідження); стихійних і небезпечних природних явищ - ендегенних і екзогенних геологічних процесів (їх видові та просторові характеристики, активність прояву), повеней, паводків, снігових лавин, селів (у районах наглядних станцій); звалищ промислових і побутових відходів (склад відходів, вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів), а також проводять державне еколого-геологічне картографування території Автономної Республіки Крим для оцінки стану геологічного середовища та його змін під впливом господарської діяльності; наземних екосистем (фонові кількість забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів). Орган виконавчої влади Автономної Республіки Крим з питань екології і природних ресурсів надає поцікавленим суб'єктам системи моніторингу інформацію про стан навколишнього середовища на території Автономної Республіки Крим;

- *Підприємства, установи і організації, незалежно від їх підпорядкування і форм власності*, діяльність яких призводить або може призвести до погіршення стану навколишнього середовища, зобов'язані здійснювати екологічний контроль за виробничими процесами і станом промислових зон, збирати, зберігати і безоплатно надавати дані і/або узагальнену інформацію для її комплексної обробки, з метою чого між суб'єктами системи моніторингу і постачальником інформації складається угода, яка підлягає реєстрації в Мінприроди.

Суб'єкти системи моніторингу забезпечують:

- вдосконалення підпорядкованих ним мереж спостереження за станом навколишнього середовища;
- уніфікацію методик спостережень і лабораторних аналізів, приладів і систем контролю;
- створення банків даних, для їх багатоцільового колективного використання за допомогою єдиної комп'ютерної мережі, що забезпечує автономне і погальне функціонування складових цієї системи і взаємозв'язок з іншими інформаційними системами, які діють в Україні і за її межами.

1.3 Організація і функціонування державної системи моніторингу України

Система моніторингу ґрунтується на використанні існуючих організаційних структур суб'єктів моніторингу і функціонує на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин, і уніфікованих компонентів цієї системи.

Організаційна інтеграція суб'єктів системи моніторингу на всіх рівнях здійснюється органами Мінприроди на основі:

- загальнодержавної і регіональних (місцевих) програм моніторингу навколишнього середовища, що складаються з програм відповідних рівнів, представлених суб'єктами системи моніторингу;
- укладених між всіма суб'єктами системи моніторингу угод про спільну діяльність при здійсненні моніторингу навколишнього середовища на відповідному рівні.

До складу виконавців відзначених програм суб'єкти системи моніторингу можуть залучати підприємства, установи і організації незалежно від їх підпорядкування та форм власності.

Суб'єкти системи моніторингу - центральні органи виконавчої влади погоджують з Мінприроди розроблені ними проекти нормативно правових актів і нормативних документів з питань виконання моніторингу навколишнього середовища.

Методологічне забезпечення об'єднання складових частин і компонентів системи моніторингу покладається на Мінприроди із залученням суб'єктів цієї системи, а також Національної академії наук, Національної академії аграрних наук, Державного комітету архівів, Державної служби зв'язку і захисту інформації і інших і здійснюється на основі:

- єдиною науково-методичної бази вимірювання параметрів і визначення показників стану навколишнього середовища, біоти і джерел антропогенного впливу на них;
- впровадження уніфікованих методів аналізу та прогнозування властивостей навколишнього середовища, комп'ютеризації процесів діяльності і інформаційної комунікації;
- погальних правил створення і ведення розподілених баз і банків даних і знань, картування і картографування екологічної інформації, стандартних технологій з використанням географічних інформаційних систем.

Метрологічне забезпечення об'єднання складових частин і компонентів системи моніторингу покладається на Мінприроди з отриманням суб'єктів цієї системи і органів Мінекономрозвитку і здійснюється на основі:

- єдиної науково-технічної політики відносно стандартизації, метрології і сертифікації виимірювального, комп'ютерного і зв'язкового устаткування;
- єдиної нормативно-методичної бази, що забезпечує достовірність і порівнянність вимірювання і результатів обробки екологічної інформації у всіх складових частинах цієї системи.

Суб'єкти системи моніторингу, місцеві державні адміністрації і місцевого самоврядування, підприємства, установи і організації незалежно

від їх підпорядкування та форм власності повинні здійснювати:

- розробку та узгодження з органами Мінприроди і ДСНС планів здійснення заходів з метою спостереження по станом екологічно небезпечних об'єктів, запобігання екологічно небезпечній виробничій, господарській та іншій діяльності;
- похист пореєстрованих в системі моніторингу постів (пунктів, станцій) спостереження за об'єктами навколишнього середовища від пошкодження і несанкціонованого переносу;
- виділення в установленому порядку земельних ділянок під облаштування нових постів спостережень на основі затверджених програм вдосконалення та розвитку складових частин системи моніторингу.

Інфраструктура системи моніторингу, її складові частини, системоутворювальні і уніфіковані компоненти створюються на основі відповідних технічних подач і проектів, затверджених в установленому порядку. Такі технічні Завдання і проекти підлягають реєстрації в Мінприроди. Ухвалені проектні рішення реалізуються в межах щорічних заходів погальнодержавної і регіональних (місцевих) програм екологічного моніторингу навколишнього середовища.

Впоємини суб'єктів системи моніторингу.

Взаємини суб'єктів системи моніторингу ґрунтуються на:

- впоємній інформаційній підтримці рішень в області охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів і екологічної безпеки;
- координації дій при плануванні, організації і проведенні сумісних заходів щодо екологічного моніторингу навколишнього середовища, виникненні надзвичайних екологічних ситуацій і ліквідації їх наслідків;
- ефективному використанні наявних організаційних структур, пособів спостережень за об'єктами навколишнього середовища та комп'ютеризації процесів діяльності;
- сприянні найбільш ефективному вирішенню загальних задач моніторингу навколишнього середовища і екологічної безпеки;
- відповідальності за повноту, своєчасність і достовірність переданої інформації;
- колективному використанні інформаційних ресурсів і комунікаційних засобів;
- безкоштовному інформаційному обміні.

Центральні і місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації і громадяни, що мають об'єктивну інформацію про створення або погрозу створення надзвичайної ситуації техногенного або природного характеру, повинні повідомляти її Мінприроди, ДСНС і їх територіальним органам (у разі утворення) або органу виконавчої влади Автономної Республіки Крим з

питань екології та природних ресурсів, якщо така надзвичайна ситуація виникла на території Автономної Республіки Крим.

Право володіння, використання і розпорядження інформацією, отриманою під час виконання загальнодержавної і регіональних (місцевих) програм моніторингу навколишнього середовища регламентується законодавством.

Інформація, що зберігається в системі моніторингу і використовується для ухвалення рішень в області охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів і екологічної безпеки органами державної влади і органами місцевого самоврядування, надається їм безкоштовно у відповідності з затвердженим регламентом інформаційного обслуговування користувачів системи моніторингу та її складових частин.

Спеціально підготовлена інформація по запиту користувачів підлягає оплаті за домовленістю, якщо інше не передбачене нормативними актами або укладеними двосторонніми угодами про безкоштовні взаємини постачальників і споживачів інформації. Подібні угоди підлягають реєстрації в Мінприроди.

1.3.1 Структура державної системи моніторингу України

Державна система моніторингу України (ДСМ) - це складна багатофункціональна система. Завдання моніторингу покладені на ряд міністерств і відомств, а саме:

- Міністерство екології і природних ресурсів України (Мінприроди);
- Державну службу України з надзвичайних ситуацій (ДСНС);
- Державне агентство України з управління зоною відчуження (ДАЗВ);
- Міністерство охорони здоров'я України (МОЗ);
- Міністерство аграрної політики і продовольства України (Мінагрополітики);
- Державне агентство лісових ресурсів України (Держлісагентство);
- Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство);
- Державне агентство земельних ресурсів України (Держземагентство);
- Міністерство регіонального розвитку, будівництва і житлово-комунального господарства України (Мінрегіон);
- Державну службу геології і надр України (Держгеонадра);
- Державний комітет архівів України (ДКА);
- Орган виконавчої влади Автономної Республіки Крим з питань

екології і природних ресурсів.

Головними координаторами моніторингу є Міністерство екології і природних ресурсів України і Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Їм поставлено в обов'язок здійснення оперативного управління інформацією, отриманою на всіх рівнях функціонування системи моніторингу.

До складу Державної служби України з надзвичайних ситуацій на правах самостійного структурного підрозділу апарату входить Управління гідрометеорології, яке підлягає заступникові Голови ДСНС, до повноважень якого, у відповідності з розподіленням обов'язків, віднесено питання гідрометеорологічної діяльності.

Управління гідрометеорології у відповідності з покладеними на нього завданнями:

1) розробляє пропозиції відносно формування і реалізації державної політики у сфері гідрометеорологічної діяльності;

2) готує проекти законодавчих, нормативно правових актів відносно гідрометеорологічної діяльності;

3) вносить керівництву пропозиції відносно здійснення координації діяльності інших державних органів у сфері гідрометеорологічної діяльності та контроль застосування засобів вимірювання техніки та методик виконання гідрометеорологічних спостережень, обробки даних спостережень і їх зберігання, готує до затвердження положення про Галузевий державний архів;

4) представляє пропозиції з створення, ліквідації, реорганізації гідрометеорологічних організацій, підприємств і установ, готує до затвердження їх положення (статути);

5) бере участь в координації та контролі гідрометеорологічної діяльності гідрометеорологічних організацій, підприємств і установ сфери управління ДСНС України;

6) організовує ведення державного водного кадастру з розділу „поверхневі води” щодо кількісних і якісних показників води і державного врахування поверхневих вод;

7) розробляє проекти цільових програм перспективного розвитку і технічного переоснащення державної системи гідрометеорологічних спостережень, прогнозування і забезпечення, здійснює контроль за їх реалізацією; представляє пропозиції до стратегії розвитку гідрометеорологічної діяльності, до перспективних і річних планів соціально-економічного, технічного, технологічного розвитку гідрометеорологічної галузі;

8) організовує розробку і потвердження стандартів з питань гідрометеорологічної діяльності, порядку виконання гідрометеорологічних спостережень, спостережень, по забрудненням навколишнього природного середовища, гідрометеорологічного

прогнозування, забезпечення і обслуговування;

9) готує пропозиції відносно планів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з пріоритетних напрямів розвитку гідрометеорологічної діяльності;

10) готує до потвердження керівництвом річні плани виконання гідрометеорологічних спостережень і спостережень по забрудненням навколишнього природного середовища, гідрометеорологічного прогнозування, забезпечення;

11) забезпечує контроль за виконанням річних планів гідрометеорологічних спостережень і спостережень по забрудненням навколишнього природного середовища, гідрометеорологічного прогнозування, забезпечення;

12) розробляє пропозиції з кваліфікаційних характеристик професій у сфері гідрометеорологічної діяльності;

13) розглядає звернення (запити) депутатів України, центральних і місцевих органів виконавчої влади, громадян щодо питань гідрометеорологічної діяльності;

14) бере участь в розробці, узгодженні або потвердженні програм підготовки фахівців у сфері гідрометеорологічної діяльності;

15) організовує в рамках компетенції підготовку матеріалів до щорічної Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні і Національної доповіді про стан техногенної і природної безпеки в Україні;

16) готує і/або погоджує пропозиції керівництву ДСНС України відносно кандидатур на призначення керівників гідрометеорологічних організацій, підприємств і установ;

17) аналізує в межах компетенції діяльність керівників Українського гідрометеорологічного центру, Державного підприємства, „Український авіаційний метеорологічний центр” і Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту і подає пропозиції керівництву ДСНС України відносно їх заохочення і накладення стягнень;

18) забезпечує охорону державної таємниці в межах своїх повноважень;

19) здійснює в межах повноважень контроль діяльності державної системи гідрометеорологічних спостережень, екологічного моніторингу, прогнозування та гідрометеорологічного забезпечення, зокрема за:

- виконанням гідрометеорологічних, геліофізичних спостережень, фонових радіаційних і базових спостережень, за станом забруднення навколишнього природного середовища;

- веденням державного врахування, реєстрацією і зберіганням матеріалів гідрометеорологічних спостережень, веденням інформаційної бази гідрометеорологічних даних і даних, про стан навколишнього природного середовища;

- прогнозуванням погоди, гідрологічного режиму водних об'єктів, небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ, врожайності сільськогосподарських культур;

- поданням органам державної влади, органам місцевого самоврядування і населенню безоплатно інформації загального користування про фактичні та очікувані зміни гідрометеорологічних умов і стану навколишнього природного середовища, попередження, про небезпечні і стихійні гідрометеорологічні явища, а також здійсненням гідрометеорологічного обслуговування суб'єктів господарювання незалежно від форм власності, діяльність яких залежить від гідрометеорологічних умов, зокрема підприємств енергетики, агропромислового комплексу, комунального господарства, цивільної авіації та інших видів транспорту;

- організацією здійснення заходів щодо моніторингу забруднення навколишнього природного середовища на пунктах державної системи гідрометеорологічних спостережень: атмосферного повітря в населених пунктах і опадів (вміст забруднювальних речовин, зокрема радіонуклідів, трансграничний перенос забруднювальних речовин); снігового покриву; річкових, озерних (гідрохімічні і гідробіологічні показники, в тому числі і радіонукліди) і морських вод (гідрохімічні показники); ґрунтів різного призначення (вміст полишкової кількості пестицидів і важких металів); радіаційної обстановки (визначення експозиційної дози гамма-випромінювання); потоплень, паводків, селей;

20) виконує інші функції, які виникають при виконанні покладених на нього задач.

Управління гідрометеорології ДСНС здійснює оперативні управлінські функції по відношенню до Українського гідрометеорологічного центру (УкрГМЦ), підлеглих організацій і установи якого утворюють основу державної системи (мережі) спостережень.

УкрГМЦ створений з метою ефективного управління державною системою гідрометеорологічних спостережень, прогнозування і гідрометеорологічного забезпечення. В межах своїх повноважень він є головною організацією у формуванні та забезпеченні реалізації державної політики у сфері гідрометеорологічної діяльності.

Основними напрямками гідрометеорологічної діяльності УкрГМЦ є повноваження спостережень за гідрометеорологічними умовами, геофізичними процесами в атмосфері і базових спостережень за рівнем забруднення навколишнього середовища; збір, обробка, передача та зберігання даних спостережень; розробка гідрометеорологічних прогнозів, гідрометеорологічне забезпечення органів державної влади, органів місцевого самоврядування, населення і галузей економіки; гідрометеорологічне обслуговування і подання гідрометеорологічних послуг зацікавленим юридичним і фізичним особам; здійснення активних

впливів на гідрометеорологічні процеси; здійснення гідрометеорологічної діяльності на основі принципів міжнародної співпраці і пріоритету норм міжнародного права.

Основні функції Українського Гідрометцентру насамперед спрямовані на вирішення таких завдань:

- прогнозування погодних умов, гідрологічного режиму річок і водосховищ, агрометеорологічних умов вегетації сільськогосподарських культур і їх врожайності, метеорологічних умов, що впливають на забруднення повітря великих промислових міст;
- забезпечення Адміністрації Президента України, Верховної Ради України, Кабінету Міністрів України, центральних органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів галузей економіки, населення, Збройних сил України, інших споживачів (всіх форм власності), інформацією загального користування про гідрометеорологічні умови і забруднення навколишнього природного середовища, прогнозами і попередженнями про небезпечні і стихійні гідрометеорологічні явища, а також здійснення гідрометеорологічного обслуговування;
- здійснення збору, обробки і передачі гідрометеорологічної інформації, формування баз і банків гідрометеорологічних даних;
- організаційно методичне керівництво гідрометеорологічними організаціями з питань прогнозування метеорологічних, гідрологічних, агрометеорологічних умов, метеорологічних умов забруднення атмосферного повітря, гідрометеорологічного забезпечення і обслуговування споживачів, агрометеорологічних спостережень і робіт, збору, обробки і передачі даних;
- здійснення управління та контролю фінансово-господарської і виробничої діяльності підпорядкованих організацій і підприємств;
- забезпечення єдності вимірювання гідрометеорологічних параметрів і здійснення метеорологічного контролю та нагляду при проведенні гідрометеорологічних спостережень, здійснення в межах своєї компетенції регламентно-профілактичного і ремонтно-технічного обслуговування гідрометеорологічних приладів та устаткування, виконання калібрування та перевірки засобів вимірювання техніки;
- здійснення в межах своєї компетенції матеріально-технічного забезпечення діяльності підпорядкованих організацій, придбання і виготовлення приладів, устаткування, витратних матеріалів, для виконання гідрометеорологічних спостережень і робіт і спостережень за забрудненням навколишнього середовища, доставка їх гідрометеорологічним організаціям;
- постійний аналіз і прогнозування стану погоди, гідрологічного режиму річок і водосховищ, агрометеорологічних умов вирощування і врожайності основних сільськогосподарських культур на території України, впливи метеорологічних умов на забруднення повітря;

- завдання у визначеному законодавством порядку на платній основі послуг з гідрометеорологічного обслуговування підприємств, установ і організацій, засобів масової інформації та інших споживачів гідрометеорологічної інформації, незалежно від форм власності;

- збір, обробку і доведення до підпорядкованих організацій і підприємств даних гідрометеорологічних спостережень, інформації, необхідної для аналізу та прогнозу гідрометеорологічних умов, гідрометеорологічного забезпечення і обслуговування, забезпечення в режимі реального часу, передачу певних обсягів гідрометеорологічній інформації в глобальну систему телезв'язку Всесвітньої метеорологічної організації;

- забезпечення в межах своєї компетенції контролю і методичного супроводу робіт, які здійснюються іншими суб'єктами гідрометеорологічної діяльності;

- здійснення сумісно з Державним підприємством „Український авіаметеорологічний центр” (ДП УАМЦ) інформаційного і організаційно-методичного забезпечення діяльності авіаметеорологічних станцій, розробки проектів і пропозицій, щодо внесення змін до діючих нормативних документів, регламентують метеорологічне забезпечення цивільної авіації;

- розробку, випробування, впровадження, експлуатацію та супровід роботи програмно-технічних комплексів збору, комплектування, контролю повноти і якості обробки і передачі оперативної гідрометеорологічної інформації;

- виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НДДКР), підготовку науково-прикладних і науково-методичних матеріалів, а також науково-організаційну діяльність в частині формування і контролю виконання планів НДДКР Українським науково-дослідним гідрометеорологічним інститутом (УкрНДГМІ);

- виконання обов'язків оперативного підрозділу національної гідрометеорологічної служби в рамках угод між Всесвітньою метеорологічною організацією і Міжнародним агентством з атомної енергії по моделюванню процесів перенесення забруднювальних речовин при ядерних і інших екологічних аваріях, ухвалення участі в тренуваннях, забезпеченні необхідної оперативної взаємодії з компетентними з цих питань установами в Україні та спеціалізованими регіональними центрами Всесвітньої метеорологічної організації;

- здійснення планування та виконання маршрутних і площадкових наземних і авіаційних обстежень стану сільськогосподарських культур, територій, які випробували дію небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ;

- забезпечення в межах своєї компетенції підготовки кліматологічних стандартних норм, матеріалів до державного водного кадастру, підготовку

і видання науково прикладних кліматичних, гідрологічних, метеорологічних щомісячників, щорічників і інших матеріалів про стан атмосфери, поверхневих вод суші, ґрунтів, сільськогосподарських культур, і т.п.;

- здійснення стажування фахівців гідрометеорологічних організацій з питань гідрометеорологічного прогнозування, забезпечення і обслуговування, зв'язку, автоматизованої обробки даних і проходження виробничої практики студентами вищих навчальних закладів;

- здійснення організації та координації фінансової діяльності підпорядкованих організацій з планування та виконання бюджетних програм, відповідальним виконавцем яких є УкрГМЦ;

- участь в розробці пропозицій до угод з національними гідрометеорологічними службами інших країн, учасниць міждержавних угод з співпраці в прикордонних водах, забезпечення виконання положень укладених угод, оперативна взаємодія з національними гідрометеорологічними службами інших країн в межах компетенції УкрГМЦ.

УкрГМЦ має право:

- отримувати безоплатно в установленому порядку від органів виконавчої влади, місцевого самоврядування, підприємств, установ і організацій, органів статистики, інформацію, документи та інші матеріали, необхідні для виконання покладених на нього задач;

- перевіряти в межах своєї компетенції фінансово-господарську і виробничу діяльність підпорядкованих організацій і підприємств, вживати відповідні заходи відносно належного здійснення ними гідрометеорологічної діяльності в частині функціонування державної системи гідрометеорологічних спостережень, гідрометеорологічного прогнозування, забезпечення і обслуговування, визначення фінансово-господарської дисципліни, ефективного використання та зберігання майна;

- взаємодіяти в межах своєї компетенції в процесі виконання покладених на нього задач з органами виконавчої влади та місцевого самоврядування, підприємствами, установами, організаціями, а також відповідними оперативно-прогностичними органами національних гідрометеорологічних служб інших держав;

- перевіряти в межах своєї компетенції та вживати відповідні заходи до суб'єктів гідрометеорологічної діяльності щодо застосування в установленому порядку пособів вимірювання техніки і методик виконання вимірювання, які використовуються під час виконання гідрометеорологічних спостережень;

- виконувати науково-дослідні, науково-технічні, науково-методичні і дослідно-конструкторські роботи.

З урахуванням розподілу функцій суб'єктів системи моніторингу структура державної системи моніторингу матиме вигляд, представлений

на рис. 1.3.

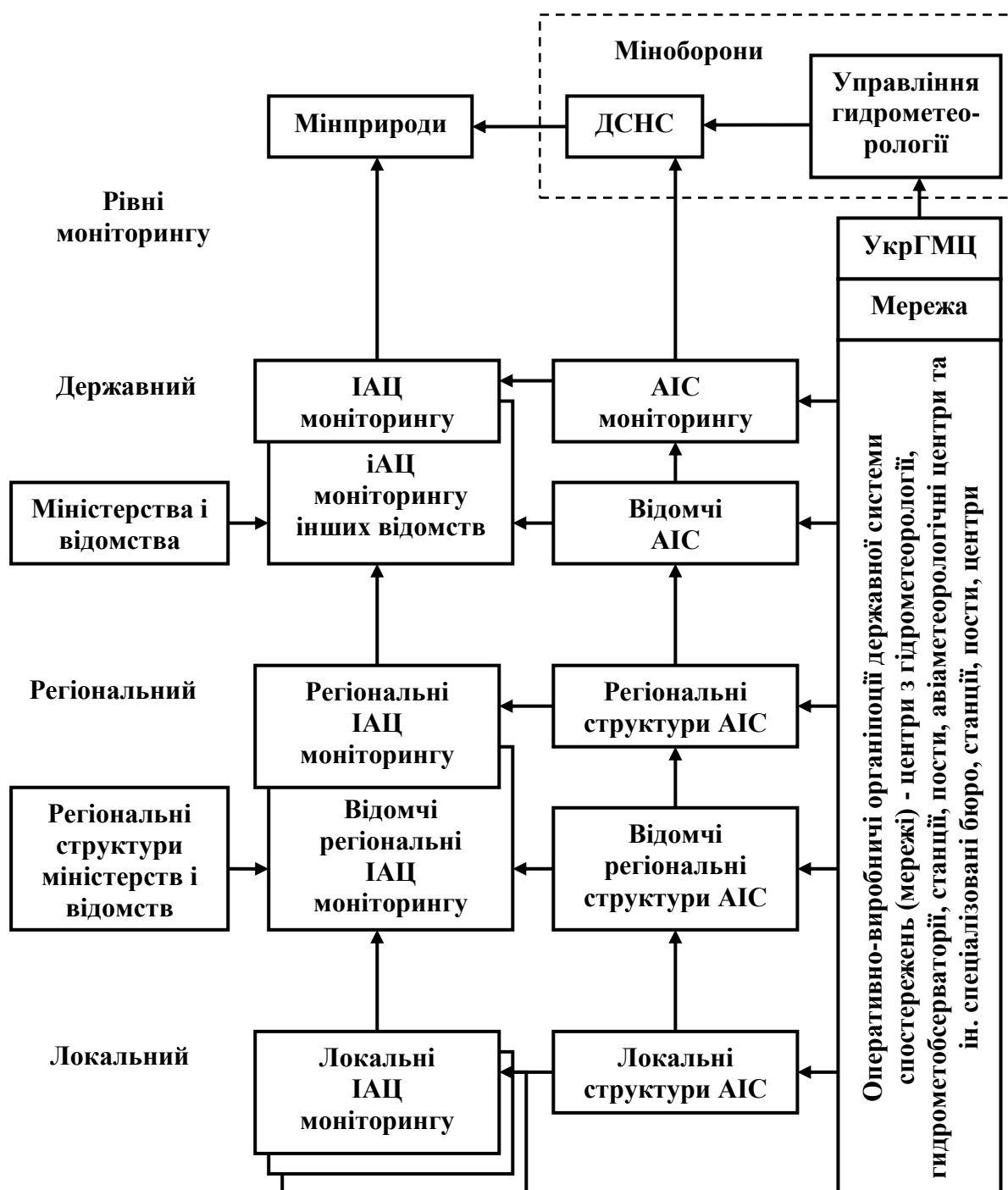


Рисунок 1.3 – Структура державної системи моніторингу навколишнього середовища: ДСНС - Державна служба України з надзвичайних ситуацій, УкрГМЦ - Український Гідрометцентр, ІАЦ - інформаційно-аналітичний центр, АІС - автоматизована інформаційна система, Мережа - державна система гідрометеорологічних спостережень

2 ІНФОРМАЦІЙНІ СКЛАДОВІ НАЗЕМНОЇ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Наземна підсистема визначення даних про стан навколишнього природного середовища в Україні

Наземна підсистема визначення даних (НПОД) є основною підсистемою державної системи моніторингу (ДСМ), яка забезпечує визначення, аналіз та узагальнення інформації про стан атмосфери, водних об'єктів суші, морів, океанів, підстильної поверхні (включаючи ґрунт, верхній 2-3 метровий шар ґрунту, рослинний покрив, зокрема сільськогосподарські культури і пасовищну рослинність).

Основу наземної підсистеми визначення даних про стан природного середовища і клімату складають мережні організації: гідрометеорологічні обсерваторії, станції і пости, авіаційні метеорологічні, геофізичні в інші станції, лабораторії і пости контролю забруднення природного середовища. НПОД в основному базується на вимірюванні характеристик природного середовища в окремих пунктах (точкові спостереження), що доповнюються по ряду показників просторовими (площадковими) спостереженнями. Вимірювання характеристик природного середовища здійснює наземна мережа спостережень.

Сукупність пунктів спостережень за станом природного середовища, побудована по визначеним науково обґрунтованим принципом, утворює наземну мережу спостережень - державну систему гідрометеорологічних спостережень.

Основне її призначення - виконання систематичних спостережень по станом атмосфери, вод суші і морів, підстильної поверхні, сільськогосподарських культур, за складом і рівнем забруднення природного середовища, за станом іоносфери і магнітного поля. Положення про державну систему моніторингу навколишнього середовища [9], введене в дію Кабінетом Міністрів України, визначає, що система моніторингу ґрунтується на використанні існуючих організаційних структур суб'єктів моніторингу та функціонує на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин і уніфікованих компонентів цієї системи.

Існуючі організаційні структури системи моніторингу створювалися на основі викладеного в попередньому підрозділі розуміння моніторингу. На цій базі в СРСР була розроблена та введена в дію комплексна система моніторингу навколишнього середовища, частина якого дісталася в спадок Україні і на основі якої створена та функціонує державна система моніторингу України [9]. Її Завдання визначаються керівним документом -

Повчанням гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 1. Наземна підсистема визначення даних про стан природного середовища. Основні положення і нормативні документи. РД52.04.107-86 [12]. Крім того, цей документ регламентує основні види діяльності оперативно-виробничих мережних організацій, що входять в наземну підсистему визначення даних (НПОД), в рамках державної системи спостережень і контролю стану природного середовища - державної системи моніторингу (ДСМ) України. Він же встановлює основні принципи організації та методи здійснення спостережень і робіт в області гідрометеорології та контролю природного середовища.

Випуск 2 Повчання регламентує гідрометеорологічні спостереження на постах, Випуск 3 - метеорологічні спостереження на станціях. Порядок аерологічних спостережень на станціях визначається набором частин Випуску 4. Актинометричні спостереження раніше здійснювалися відповідно до Випуску 5, а зараз відповідно до спеціального Керівництва і Методики. Спеціалізовані спостереження на річкових станціях і постах, на озерах і водосховищах, на болотах регламентуються, відповідно, випусками 6, 7 і 8. Випуск 9 визначає порядок гідрометеорологічних спостережень на морських станціях і постах, Випуск 10 - порядок інспекції станцій і постів. У Випуску 11 визначений порядок агрометеорологічних спостережень, а у Випуску 12 - порядок спостереження за радіоактивним забрудненням природного середовища.

Разом з призначеними вище Випусками Повчання діють інші види керівних документів з організації, виробництва різних видів спостережень і робіт в різних середовищах [13].

2.1.1 Склад, просторовий розміщення і Завдання державної системи спостережень

Для визначення моніторингової інформації створена і успішно функціонує державна система спостережень (мережа). Основу її складає державна система гідрометеорологічних спостережень. Склад державної системи гідрометеорологічних спостережень з перерахуванням оперативно-виробничих організацій наведений в табл. 2.1.

В табл. 2.1 у правому стовпчику після знаку „+” вкапона кількість організацій, які проводять спостереження по програмою певного виду, але структурно входять в іншу організацією (об'єднану, вищого рангу, і т. п.).

Приклад просторового розподілу елементів складової частини державної системи гідрометеорологічних спостережень, а саме, метеорологічної мережі, представлений на рис. 2.1 і в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Склад державної системи спостережень (мережі)

№ п/п	Оперативно-виробничі організації (вигляд, розряд)	Загальна кількість
1	Центральна геофізична обсерваторія (ЦГО)	1
2	Гідрометеорологічний центр (ГМЦ)	2
3	Центр з гідрометеорології обласної 1 розряду (ЦГМ-I)	12
4	Центр з гідрометеорології обласної 2 розряду (ЦГМ-II)	7
5	Центр з гідрометеорології обласної 3 розряду (ЦГМ-III)	4
6	Гідрометеорологічна обсерваторія 2 розряду (ГМО-II)	6
7	Гідрометеорологічна обсерваторія 3 розряду (ГМО-III)	1
8	Гідрометеорологічне бюро 2 розряду (ГМБ-II)	1
9	Об'єднана гідрометеорологічна станція (ОГМС)	2
10	Метеорологічна станція 2 розряду (М-II)	129+58
11	Аерологічна станція (АЕ)	2+6
12	Гідрологічна станція 1 розряду (Г-I)	3+16
13	Морська гідрологічна станція 1 розряду (МГ-I)	4
14	Морська гідрологічна станція 2 розряду (МГ-II)	14
15	Агromетеорологічна станція (А)	3+5
16	Воднобалансова станція (В)	1+1
17	Озерна станція (О)	2+3
18	Селестокова станція (Сс)	2
19	Сніголавинна станція (Сл)	2
20	Гирлові станції (Гл)	0+2
21	Комплексна гідрографічна партія (КГТП)	0+1
22	Гідрографічна партія (ГТП)	0+2
23	Гідрографічний сектор (ГГС)	0+1
24	Авіаційна метеорологічна станція цивільна 1 розряду (АМСЦ-I)	10+2
25	Авіаційна метеорологічна станція цивільна 2 розряду (АМСЦ-II)	10
26	Авіаційна метеорологічна станція цивільна 4 розряду (АМСЦ-IV)	6
27	Український авіаційний метеорологічний центр (УАМЦ)	1
28	Автоматизована метеорологічна станція (АМС)	1
29	Оперативний відділ морський (ОВм)	2
30	Оперативна група авіаційна (ОГа)	4
31	Метеорологічний пост 1 розряду (МП-I)	1
32	Метеорологічний пост 2 розряду (МП-II)	1
33	Метеорологічний пост 3 розряду (МП-III)	10
34	Гідрологічний пост 1 розряду (ГП-I)	333
35	Гідрологічний пост 2 розряду (ГП-II)	39
36	Гідрологічний пост 3 розряду (ГП-III)	2
37	Озерний гідрологічний пост 1 розряду (ОГП-I)	48
38	Озерний гідрологічний пост 2 розряду (ОГП-II)	12
38	Морський гідрологічний пост 1 розряду (МГП-I)	13
40	Морський гідрологічний пост 2 розряду (МГП-II)	2
41	Морський гідрологічний пост 3 розряду (МГП-III)	3
42	Агromетеорологічний пост (АМП)	9
43	Всього оперативно-виробничих організацій:	705

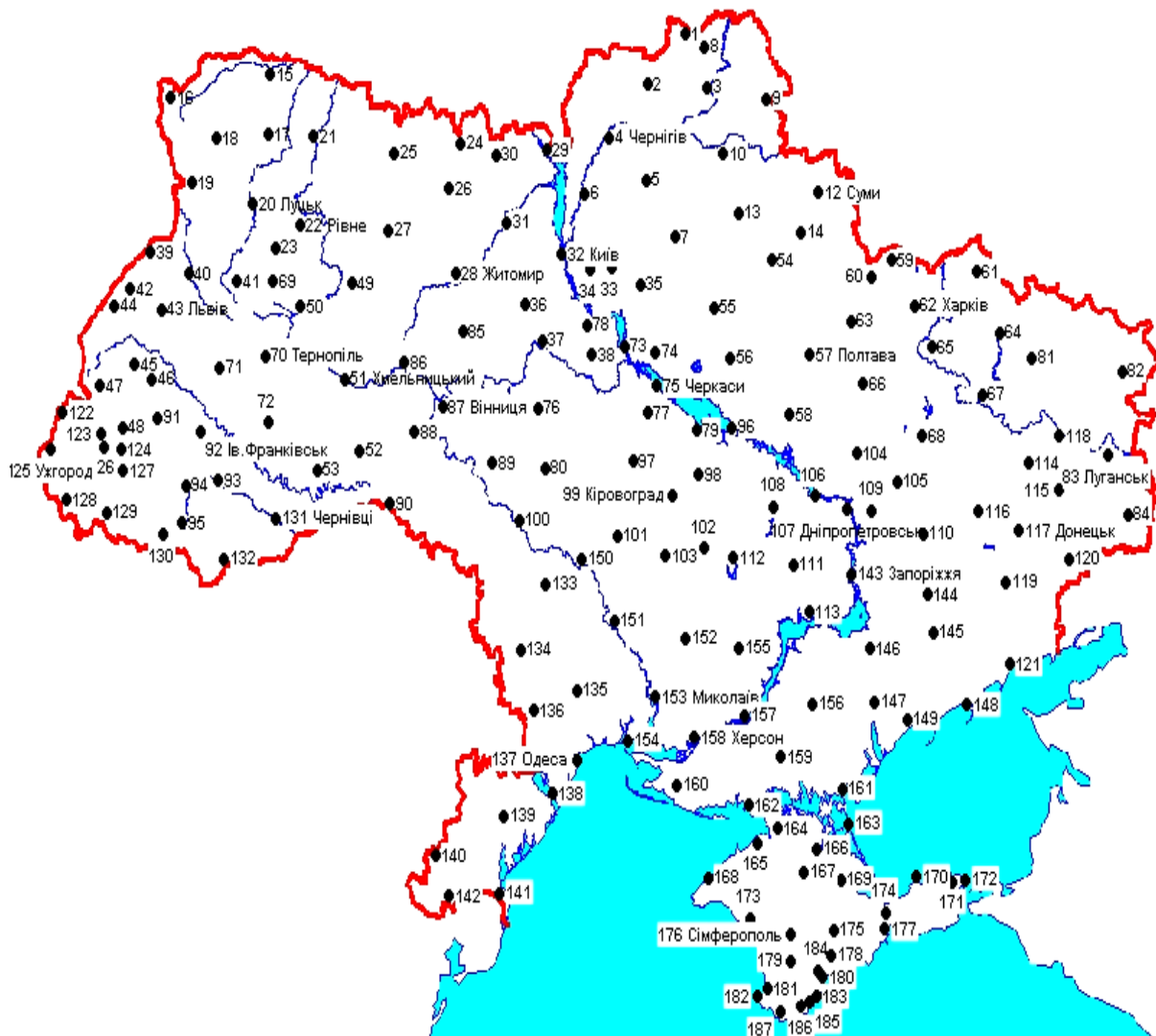


Рисунок 2.1 – Карта метеорологічної мережі України

У зв'язку з великою різноманітністю спостережуваних величин, які визначають стан природного середовища, відмінністю вимог відносно точності в частоті їх вимірювання, періодів усереднювання, а також через особливості використовуваних технічних пособів, наземна мережа за видами спостережень умовно підрозділяється на мережі пунктів, які проводять такі спостереження:

- приземні метеорологічні - для визначення стану та розвитку фізичних процесів в атмосфері при взаємодії її з підстильною поверхнею з метою визначення інформації для: безпосереднього забезпечення органів влади, господарських організацій і населення відомостями про метеоумови в пунктах спостережень; сповіщення обслуговуваних організацій про небезпечні і стихійні атмосферні явища; забезпечення прогностичних організацій необхідними даними для складання всіх видів прогнозів метеорологічних умов і попереджень про очікувані несприятливі умови; накопичення і узагальнення об'єктивних даних про метеорологічний

режим на території району, області, країни в цілому;

- актинометричні - для визначення комплексу даних про складові радіаційного балансу фотосинтетичний активній радіації, прозорості атмосфери і т. д. з метою вивчення радіаційного режиму території країни і обслуговування господарських організацій;

- теплобалансові - для безпосереднього визначення відомостей про процеси тепло- і вологообміну приземного шару повітря з підстильною поверхнею;

- гідрологічні - для збору даних про стан водних об'єктів суші (річок, озер, водосховищ, крупних каналів, боліт) і про водні ресурси, що необхідні для забезпечення попиту господарського комплексу, вивчення просторово-часових закономірностей гідрологічного режиму, ведення державного врахування вод, водного кадастру, розрахунків водних балансів і водних ресурсів окремих басейнів і районів, оцінки впливу господарської діяльності на водні ресурси і режим водних об'єктів;

- аерологічні - для визначення даних про основні метеорологічні величини атмосфери на стандартних і особливих рівнях до висот 30-40 км з метою забезпечення прогностичних організацій інформацією для прогнозів погоди, обслуговування різних галузей господарства і вивчення атмосферних процесів;

- морські гідрометеорологічні - для дослідження явищ і процесів, що протікають на поверхні і в глибинах морів і океанів, взаємодії їх з атмосферними процесами, а також хімічного складу вод океанів і морів з метою забезпечення навігаційної допомоги торговому і рибному флотам, проектування і будівництва різного роду берегових і морських споруд;

- агрометеорологічні - для визначення інформації про стан природного середовища і об'єктів сільськогосподарського виробництва з метою забезпечення відповідних організацій даними для ухвалення оптимальних рішень при плануванні заходів, направлених на підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, а також для прогностичних органів і вивчення агрометеорологічного режиму;

- за рівнем забруднення атмосфери - для спостереження за забрудненням атмосферного повітря і сповіщенні зацікавлених організацій про екстремально високі рівні забруднення;

- за рівнем забруднення вод суші - для визначення даних про якість поверхневих вод (за хімічними і гідробіологічними показниками) і забезпечення органів влади та інших організацій інформацією про якість води і водостоків, зокрема екстреною інформацією про різкі зміни рівня забруднення вод;

- за рівнем забруднення морських вод - для визначення даних про хімічний склад і забруднення вод морів і океанів за хімічними і біологічними показниками методом регулярного відбору проб води з різних горизонтів для їх подальшого аналізу в певних точках (станціях)

акваторії морів і океанів;

- за рівнем забруднення снігового покриву - для визначення забруднювальних речовин, визначення кількісних оцінок об'єму випадання та перенесення забруднювальних речовин на території країни, включаючи трансграничне перенесення;

- за рівнем забруднення ґрунтів - для контролю за рівнем забруднення ґрунтів викидами промислових підприємств, отрутохімікатами, мінеральними добривами, нафтопродуктами і оцінка біологічної активності ґрунтів;

- за трансграничним перенесенням забруднювальних речовин - для відбору проб газів, атмосферного аерозолі і випадань уздовж державного кордону;

- метеорологічні радіолокаційні - для радіолокаційних спостережень по хмарами, осіданнями і динамікою їх зміни, радіолокаційного штормооповіщення про небезпечні явища, пов'язані з конвективною хмарністю з метою метеорологічного забезпечення прогностичних організацій, а також авіації та інших галузей господарства;

- за атмосферою електрикою - для визначення характеристик атмосферної електрики з метою визначення їх природних варіацій, можливих змін під впливом господарської діяльності, а також вивчення їх зв'язку з медико-біологічними показниками;

- озонометричні - для спостереження за загальним вмістом озону в атмосфері з метою вивчення його природних варіацій, можливих змін під впливом господарської діяльності людини та впливу атмосферного озону як одного з малих компонент на погальну циркуляцію і клімат атмосфери;

- іоносферні - для контролю стану іоносфери та забезпечення споживачів оперативною та прогностичною інформацією про розповсюдження радіохвиль і про неоднорідності іоносфери на основі вертикального зондування, похилого зондування, зовнішнього зондування, трансіоносферного зондування;

- радіоспостереження Сонця - для визначення інформації про сонячну активність і забезпечення прогностичного геліогеофізичного центру оперативною інформацією про радіосплески на основі регулярних спостережень потоків радіовипромінювання як від Сонця в цілому, так і від локальних його джерел (активних областей на Сонці) в різних діапазонах довжин хвиль;

- геомагнітні - для забезпечення споживачів інформацією про поведінку геомагнітного поля, що реєструється на поверхні Землі, для використання її при вирішенні практичних і науково-дослідних завдань з геліофізики, розповсюдження радіохвиль і ін. на основі вимірювання змінної частини магнітного поля (поля геомагнітних варіацій) в спектральному діапазоні від секундних до добових варіацій і геомагнітних буревіїв, вимірювання складових постійного магнітного поля, визначення

різних видів геомагнітної інформації, в т.ч. індексів геомагнітної активності;

- фонового моніторингу природного середовища.

Виділення окремих мереж спостережень є умовним, оскільки на станціях і постах реалізується принцип комплексності спостережень

Таблиця 2.2 – Метеорологічна мережа України

Область	Метеостанції
Чернігівська	1 - Семенівка, 2 - Щорс, 3 - Покошичи, 4 - Чернігів, 5 - Ніжин, 6 - Остер, 7 - Прилуки
Сумська	8 - Дружба, 9 - Глухів, 10 - Конотоп, 11 – Білопілья, 12 - Суми, 13 - Ромни, 14 - Лебедин
Волинська	15 - Любашів, 16 - Світязь, 17 - Маневичі, 18 - Ковель, 19 - Володимир-Волинський, 20 - Луцьк
Рівненська	21 - Сарни, 22 - Рівно, 23 - Дубно
Житомирська	24 - Овруч, 25 - Олевськ, 26 - Коростень, 27 - Новоград-Волинський, 28 - Житомир
Хмельницька	49 - Шепетівка, 50 - Ямпіль, 51 - Хмельницький, 52 - Нова Ушиця, 53 - Кам'янець-Подільський
Тернопільська	69 – Кременець, 70 – Тернопіль, 71 – Бережани, 72 – Чортків
Київська	29 - Чорнобиль, 30 - Поліське, 31 - Тетерів, 32 - Київ, 33 - Баришівка, 34 - Бориспіль, 35 - Яготин, 36 - Фастів, 37 - Біла Церква, 38 - Миронівка
Львівська	39 - Рава-Руська, 40 - Каменка-Бузька, 41 - Броди, 42 - Яворів, 43 - Львів, 44 - Мостиська, 45 - Дрогобич, 46 - Стрий, 47 - Турка, 48 - Славське
Полтавська	54 - Гадяч, 55 - Лубни, 56 - Веселий Поділ, 57 - Полтава, 58 - Кобеляки
Харківська	59 - Золочів, 60 - Богодухів, 61 - Приколотне, 62 - Харків, 63 - Коломак, 64 - Куп'янськ, 65 - Комсомольське, 66 - Красноград, 67 - Ізюм, 68 – Лозова
Черкаська	73 - Канів, 74 - Золотоноша, 75 - Черкаси, 76 - Жашків, 77 - Сміла, 78 - Звенигородка (Озерна), 79 - Чигирин, 80 - Умань
Луганська	81 - Сватово, 82 - Біловодськ, 83 - Луганськ, 84 - Дар'ївка
Вінницька	85 - Білопілья, 86 - Хмільник, 87 - Вінниця, 88 - Жмеринка, 89 - Гайсин, 90 - Могильов-Подільський
Івано-Франківська	91 - Долина, 92 - Івано-Франківськ, 93 - Коломия, 94 - Яремча, 95 - Пожежевська
Кіровоградська	96 - Світловодськ, 97 - Новомиргород, 98 - Знаменка, 99 - Кіровоград, 100 - Гайворон, 101 - Помошна, 102 - Долинська, 103 - Бобринець
Дніпропетровська	104 - Губиниха, 105 - Павлоград, 106 - Дніпродзержинськ, 107 - Дніпропетровськ, 108 - Комісарівка, 109 - Синельникове, 110 - Чапліно, 111 - Лошкарівка, 112 - Кривий Ріг, 113 - Нікополь
Донецька	114 - Артемівськ, 115 - Дебальцево, 116 - Червоноармійськ, 117 - Донецьк, 118 - Амвросіївка, 119 - Велико-Анадоль, 120 - Волноваха, 121 - Маріуполь

Продовження таблиці 2.2

Покарпатська	122 - Великий Березний, 123 - Нижні Ворота, 124 - Нижній Студений, 125 - Ужгород, 126 - Плай, 127 - Межигір'я, 128 - Берегово, 129 - Хуст, 130 - Рахів
Одеська	133 - Любашівка, 134 - Потишша, 135 - Сербка, 136 - Роздільна, 137 - Одеса, 138 - Білгород-Дністровський, 139 - Сарата, 140 - Болград, 141 - Вилкове, 142 - Ізмаїл
Чернівецька	131 - Чернівці, 132 - Селятин
Попорізька	143 - Попоріжжя, 144 - Гуляйполе, 145 - Кирилівка, 146 - Прибів, 147 - Мелітополь, 148 - Бердянськ, 149 - Ботієво
Миколаївська	150 - Первомайськ, 151 - Вознесенськ, 152 - Баштанка, 153 - Миколаїв, 154 - Очаків
Херсонська	155 – Велика Олександрівка, 156 – Нижні Серогози, 157 – Нова Каховка, 158 – Херсон, 159 – Асканія-Нова, 160 – Бехтери, 161 – Генічеськ, 162 – Хорли, 163 – Стрілкове
Автономна республіка Крим	164 - Ішунь, 165 - Роздольне, 166 - Джанкой, 167 - Клепініно, 168 - Чорноморське, 169 - Нижньогірський, 170 - Мисове, 171 - Керч, 172 - Опасне, 173 - Євпаторія, 174 - Владіславівка, 175 - Білогорськ, 176 - Сімферополь, 177 - Феодосія, 178 - Караби-Яйла, 179 - Поштове, 180 - Алушта, 181 - Севастополь, 182 - Херсонський маяк, 183 - Нікітський Сад, 184 - Ангарський Перевал, 185 - Ялта, 186 - Ай-Петрі, 187 - Орлине

Основні станції приземних метеорологічних спостережень розміщуються на території так, щоб забезпечувалася необхідна точність інтерполяції фонових значень метеорологічних величин для будь-якої точки території між станціями. Станції для врахування місцевих особливостей кліматоутворювальних чинників (ландшафтів) розташовуються між основними станціями і виявляють характерні особливості прояву цих чинників. Пости розміщуються на території з урахуванням великої просторової мінливості опадів, атмосферних явищ і снігового покриву.

Таким чином, розміщення пунктів приземних метеорологічних спостережень визначається просторовою мінливістю вимірювальних величин і необхідністю визначення значень цих величин для будь-якої точки обслуговуваної території з необхідною точністю при мінімальному числі пунктів вимірювання. Оптимальна відстань між основними станціями складає в середньому 60-70 км, в гірських районах - близько 10-15 км. Для аерологічних станцій оптимальна відстань між ними складає в середньому 250-300 км.

Мережа пунктів радіометеорологічних спостережень призначена для метеорологічного забезпечення прогностичних організацій, а також авіації і інших галузей економіки. Основними завданнями цієї мережі є радіолокаційні спостереження по хмарами, опадами, динамікою їх змін, радіолокаційне штормооповіщення про небезпечні явища, пов'язані з

конвективною хмарністю, виявлення зон з підвищеною електричною активністю, шквалів. РЛС встановлюються, головним чином, на АМСЦ, в ГМО, ГМЦ.

2.2 Обробка інформації автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища

2.2.1 Види наданої продукції

Отримана гідрометеоінформація та інформація про забруднення навколишнього середовища надходить у центри її обробки і аналізу. Дані аналізу та розрахунків поширюються каналами зв'язку в гідрометеорологічні центри та центри гідрометеорології та моніторингу навколишнього середовища УГМС, де на основі цих даних готується кінцева продукція.

Види які представляє продукція – це фактична гідрометеорологічна та геліографічна інформація про забруднення навколишнього середовища, яка включає:

метеорологічні прогнози:

- стихійних гідрометеорологічних явищ;
- опадів;
- хмарності;
- явищ погоди;
- напрямку та швидкості вітру біля поверхні Землі.

Річкові гідрометеорологічні прогнози:

- рівня та витрати води в ріках;
- приплив води у водоймища;
- дати настання льодяних явищ;
- максимальний рівень води в період водопілля;
- водності річок;
- дати розкриття рік, очищення від льоду озер та водоймищ;
- дати появи льоду на ріках, озерах і водоймищах;
- мінімальний рівень води судноплавних річок.

Морські гідрологічні прогнози:

- льодяних умов;
- рівня;
- течій;
- небезпечних явищ;
- рекомендації щодо безпечних та екологічно вигідних шляхів плавання.

Агromетеопрогнози:

- стан озимих зернових культур після перезимування;
- перезимування багаторічних сіяних трав та плодових культур;

- попасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту до початку весни;
- урожайності, строків дозрівання та валового збору основних сільськогосподарських культур (окремо по культурах і областях).

Авіаційні прогнози:

- погоди аеродрому;
- особливі явища погоди та струминних течій для польоту на великій висоті;
- особливі явища погоди та струминних течій на малих висотах;
- напрямки та швидкості вітру для польоту на малих висотах.

Геліографічні прогнози:

- спалахів на Сонці;
- геомагнітних бур;
- дози опромінення на трасі польоту космічних апаратів;
- зміни густини та складу верхньої атмосфери;
- рівня забруднення навколоземного космічного простору в верхній атмосфері.

2.2.2 Режимно-довідкова інформація

Це - режимно-довідкові бази даних, які містять таку інформацію:

- метеорологічну, у тому числі з висот веж і щогл;
- аерологічну, у тому числі літакового і ракетного зондування;
- гідрологічну по ріках і каналах;
- гідрологічну по озерах, водоймищах і болотах;
- океанографічну;
- морську гирлову, суднову гідрометеорологічну та гідротехнічну;
- морську агрометеорологічну;
- синоптичну;
- актинометричну;
- радіолокаційну;
- дані спостережень по атмосферною електрикою.

Державний водний кадастр - це систематизований фонд даних про водні ресурси, режим, якість і використання вод. Введення кадастру здійснюється разом з іншими відомствами. Укргідромет відповідає за розділ "Поверхневі води".

Продукція спеціалізованих служб, до яких відносяться:

- служба попередження цунамі;
- протилавинна служба;
- оперативний прогноз можливого сходу лавин;
- розробка захисних заходів для населення й господарських об'єктів;
- попереджувальний спуск лавини для безпеки населення і зменшення збитку від сходу лавин.

Геліографічна служба:

- забезпечує фактичною та прогностичною інформацією про зміни сонячної активності, стану навколоземного космічного простору, магнітосфери, іоносфери та верхньої атмосфери Землі. Використовує дані спостережень з ШСЗ та наземних обсерваторій.

2.2.3 Мережа пунктів приземних метеорологічних спостережень

Мережа приземних метеорологічних спостережень (ПМС) призначена для визначення стану та розвитку фізичних процесів в атмосфері при взаємодії її з підстильною поверхнею з метою одержання інформації для вирішення таких завдань:

- безпосереднього забезпечення споживачів відомостями про метеоумови в пункті спостережень;
- оповіщення обслуговувальних споживачів про небезпечні і стихійні атмосферні явища;
- забезпечення прогностичних центрів необхідними даними для складання усіх видів прогнозів метеорологічних умов і попереджувальних повідомлень про очікування несприятливих умов;
- накопичування та узагальнення об'єктивних даних про метеорологічний режим на території, району, області, країни в цілому.

До мережі пунктів ПМН входять:

- основні станції;
- станції для врахування місцевих особливостей кліматоутворювальних факторів;
- пости;
- автоматичні радіометеорологічні станції (АРМС);

В склад мережі також входять:

- відомі станції і пости різних міністерств, відомств, установ та організацій (які не входять в систему УКРГІДРОМЕТА) для спеціальних цілей;
- спеціальні пункти спостережень на дрейфуючих льодах, бурях та суднах, плаваючих платформах тощо.

Основні станції розміщуються на території так, щоб забезпечувалася необхідна точність інтерполяції фонових значень метеорологічних величин для будь-якої точки території між станціями.

Станції для врахування місцевих особливостей кліматоутворювальних факторів (ландшафтів) розташовуються між основними станціями та виявляють характерні риси прояву цих факторів. Автоматичні радіометеорологічні станції встановлюються у важкодоступних і необжитих районах території з урахуванням необхідної інформації, у першу чергу з метою прогнозування, а також вивчення

метеорологічного режиму території та виконання запитів споживачів інформацією.

Пости розміщуються на території з урахуванням великої просторової мінливості опадів, атмосферних явищ і снігового покриву.

Тривалість дії основних станцій, АРМС, постів визначається ступенем вивченості метеорологічного режиму окремих територій і необхідністю одержання інформації для прогностичних організацій Укргідромету, а також інших споживачів інформації.

Основні метеорологічні станції виконують таку обов'язкову програму:

- безперервні та цілодобові спостереження за станом погоди, атмосферними явищами, небезпечними та стихійними явищами;

- вісім єдиних строків (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 і 21 годин) за українським часом вимірювання температури і вологості повітря, напрямку і швидкості вітру, атмосферного тиску, температури поверхні ґрунту, метеорологічної дальності видимості, висоти нижньої межі хмар, спостереження за ожеледно-паморозевими відкладами, визначення кількості і форм хмар;

- в строки, найближчі до 8 і 20 годинам, вимірювання кількості атмосферних опадів;

- в строк, найближчий до 8 годин, спостереження за підстильною поверхнею, вимірювання висоти снігового покриву і визначення характеристик його стану.

Додатково на ряду основних станцій виконується:

- реєстрація добового ходу температури відносно вологості повітря, тривалості сонячного сяйва, інтенсивності рідких опадів, вимірювання температури ґрунту на різній глибині на ділянках з оголеною поверхнею і під природним покривом.

2.3 Комп'ютерні технології в екологічному моніторингу

2.3.1 Моніторингова експертна система

Будь-яка моніторингова система розглядається як, експертний виконуючий контроль за станом середовища та допомагає людині впливати на цей стан.

Досконалі засоби моніторингу які забезпечують їх інформаційно-керуючі системи є складними багатофункціональними розподіленими системами.

У таких системах здійснюється Загальна обробка складних організованих даних і знань. Вони створюються на основі сучасних інформаційних технологіях, які забезпечують їм істотне підвищення рівня інформаційної інтелектуальної підтримки.

Проблеми інформатипоції при вирішенні завдань моніторингу набувають фундаментального характеру в зв'язку з широким застосуванням локальних і глобальних обчислювальних мереж.

Ефективність подальшого розвитку екологічної ситуації в конкретних випадках залежить від вирішення цих проблем. Виходом з цього положення є використання інформаційних технологій, заснованих на знаннях. Такі технології забезпечують накопичення і узагальнення знань, утворення гіпотез, прогноз і прийняття рішень.

Можливі ситуації, коли відсутні датчики первинної інформації, або існуючі засоби вимірювання не забезпечують одержання необхідної інформації в ритмі з процесом, або в наявності лише якісна інформація про об'єкт керування. У таких випадках необхідні інформаційні технології, які дозволяють на основі комп'ютерної обробки якісної або нечіткої інформації про об'єкт одержати необхідну інформацію для керування.

Моніторинг навколишнього середовища – це система спостережень та оцінки стану середовища, спосіб інформаційного забезпечення процесу підготовки та прийняття управлінських рішень. Тому до завдань моніторингу відносять:

- повторювання в просторі та часі спостережень за станом природних об'єктів та антропогенними впливами на навколишнє середовище;
- оцінка по даними спостережень інтегральних показників впливу на навколишнє середовище та екологічні ризики;
- прогнозування наслідків того чи іншого господарського рішення, ймовірність небезпечних явищ – як через антропогенні впливи, так і не зв'язаних з ними;
- інформаційне забезпечення підготовки та прийняття управлінських рішень.

2.3.2 Інтегровані екоінформаційні системи

Інтегровані екоінформаційні системи є основою процесу керування екологічно безпечного розвитку й повинна забезпечувати рішення безлічі завдань:

- підготовка інтегрованої інформації про стан навколишнього середовища;
- моделювання процесів в навколишньому середовищі з урахуванням можливих результатів прийнятих управлінських рішень;
- оцінка ризику для існуючих та проєктованих підприємств, окремих територій з метою керування безпекою технічних впливів;
- накопичення інформації за часовим трендом параметрів навколишнього середовища з метою екологічного прогнозування;

- підготовка електронних карт стану навколишнього середовища регіону;
- складання звітів про досягнення цілей стійкого розвитку для державних та міжнародних організацій;
- обробка та накопичення в базах даних результатів локального та дистанційного моніторингу та виявлення параметрів навколишнього середовища, найбільш чутливих до антропогенних впливів;
- обґрунтування оптимальної мережі спостережень для регіональної системи моніторингу;
- обмін інформацією про стан навколишнього середовища (імпорт та експорт даних) з іншими екоінформаційними системами;
- подання інформації для контролю за визначенням прийнятих законів, для екологічної освіти, для засобів масової інформації тощо.

Екоінформаційні системи орієнтуються на комплексне використання результатів моніторингу, забезпечують перетворення первинних результатів вимірювання на форму, придатну для підтримки прийняття рішень, що сприяють стійкому розвитку окремих регіонів і планети в цілому.

У заходів переходу від первинних результатів моніторингу до знань про стан навколишнього середовища змінюються методи роботи з інформацією.

В інтегрованій екоінформаційній системі (рис. 2.2) виділяються 3 рівні, орієнтовані на рішення різних завдань моніторингу, що відрізняються по методами роботи з інформацією:

- верхній рівень становлять програмні модулі для підтримки прийняття рішень;
- середній рівень - програмне забезпечення для системного аналізу інформації про стан навколишнього середовища;
- нижній рівень - модулі обробки первинної екологічної інформації.

На нижньому рівні екоінформаційної системи для зберігання даних про стан навколишнього середовища використовуються різні системи керування базами даних (СКБД), а для обробки результатів спостережень - програмні установки: електронні таблиці, пакети програм типу MathCAD, Surfer і багато інших, що дозволяють вирішувати різнопланові Завдання обробки результатів спостережень, отриманих за допомогою локальних і дистанційних методів моніторингу.

На середньому рівні інтегровані інформаційні системи для аналізу інформації про стан навколишнього середовища використовують Географічні Інформаційні Системи (ГІС). Такі системи, забезпечуючи введення, зберігання, відновлення, обробку, аналіз, візуалізацію всіх видів географічно прив'язаної інформації, дозволяють систематизувати видачу такої інформації для керування природними ресурсами, реалізуючи досвід фахівців у цій області.

На верхньому рівні - інформаційні системи екологічної безпеки, орієнтовані на підтримку прийняття рішень. Вони повинні задовольняти ряду вимог, які необхідно виконувати в процесі їхньої побудови.

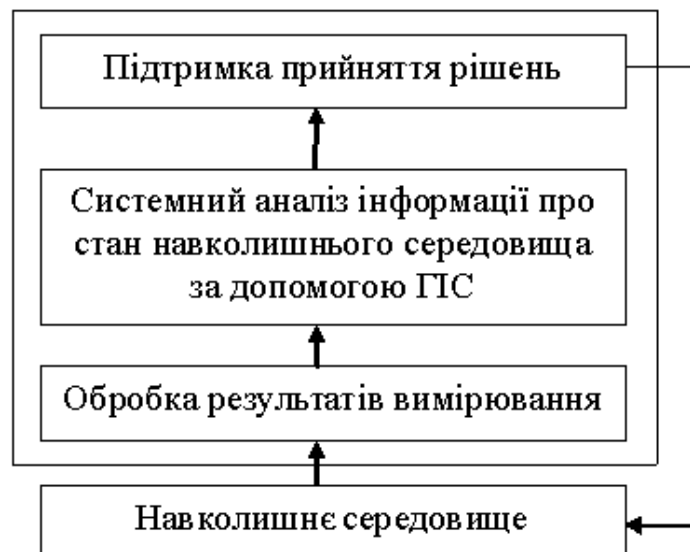


Рисунок 2.2 – Формування інформації в інтегрованих екоінформаційних системах

Необхідний ще один етап роботи з інформацією, який дозволяє співвіднести отримані результати з шкалою "погано". Таке співвідношення ґрунтується на результатах моніторингу та має ряд специфічних моментів - науково-методичних при згортанні величезних об'єктів інформації; психологічних - при поданні отриманих результатів людям, що набувають рішення (ЛПР).

У майбутньому системи підтримки прийняття рішень в області екологічної безпеки неминуче будуть ґрунтуватися на систематичному моделюванні процесів природи, тому що схема "модель-гіпотеза-експеримент-факт" - основа процесу розрізняти у всіх областях сучасної науки.

У рамках математичних моделей можливе зіставлення відомостей з різних джерел, збирання результатів моніторингу, прогнозування наслідків прийнятого рішення.

2.4 Класифікація видів спостережень в наземній підсистемі визначення даних

Зі всіх видів спостережень і робіт в наземній підсистемі визначення даних доцільно розглянути тільки ті види спостережень, які можуть здійснюватись по допомогою радіолокаційних станцій (табл. 2.3), оскільки розглядаються питання побудови радіолокаційної системи.

З аналізу встановленої класифікації видів спостережень в наземній підсистемі визначення даних можна зробити висновок про те, що радіолокаційні спостереження здійснюються тільки в зоні, прилеглій до РЛС, але ніяк не над всією територією країни. Для України цими районами є, райони, прилеглі до міст Бориспіль, Донецьк, Попоріжжя, Сімферопіль, Харків, Хмельницький, Чернівці, що складає незначну частину території країни.

Таблиця 2.3 – Класифікація видів спостережень в наземній підсистемі визначення даних

Група	Індекс групи	Підгрупа	Індекс під-групи	Комплекс спостережуваних величин	Індекс комплексу
Метеорологічні при-земні визаходів ю-вання	01	1) 8-термінові цілодо-бові спостереження	01	1) вимірювання атмосферного тиску, характеристик вітру, температури та вологості повітря, атмосферних опадів; визначення температури і стану підстильної поверхні, метеорологічної дальності видимості; спостереження по сніговим покривом, по атмосферними явищами, по ожеледно-паморозевими відкладами, по хмарами	00
		2) 8-термінові нецілодо-бові спостереження	02		
		3) 4-термінові	03		
				2) вимірювання температури ґрунту і ґрунту на глибинах 0,20; 0,40; 0,80; 1,20; 1,60; 2,40; 3,20 м під природним покривом. Вимірювання температури ґрунту на глибинах 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 м на ділянці без рослинного покриву	01
				3) реєстрація змін температури та відносної вологості повітря	02
				4) реєстрація вітру по допомогою самописа	03
				5) реєстрація опадів по допомогою самописа	04
				6) реєстрація сонячного саява по допомогою геліографа	05
				7) 00 + 01	06
				8) 00 + 02	07

Продовження таблиці 2.3

Група	Індекс групи	Підгрупа	Індекс під-групи	Комплекс спостережуваних величин	Індекс комплексу
				9) 00 + 03	08
				10) 00 + 04	09
				11) 00 + 05	10
				12) 00 + 01+02	11
				13) 00 + 01+03	12
				14) 00 + 01+04	13
				15) 00 + 01+05	14
				16) 00 + 02 + 03	15
				17) 00 + 02 + 04	16
				18) 00 + 02 + 05	17
				19) 00 + 03 + 04	18
				20) 00 + 03 + 05	19
				21) 00 + 04 + 05	20
				22) 00 + 01+02 + 03	21
				23) 00 + 01+02 + 04	22
				24) 00 + 01+02 + 05	23
				25) 00 + 01+03 + 04	24
				26) 00 + 01+03 + 05	25
				27) 00 + 01+04 + 05	26
				28) 00 + 02 + 03 + 04	27
				29) 00 + 02 + 03 + 05	28
				30) 00 + 02 + 04 + 05	29
				31) 00 + 03 + 04 + 05	30
				32) 00 + 01+02 + 03 + 04	31
				33) 00 + 01 + 02 + 03 + 05	32
				34) 00+01+02 + 04 + 05	33
				35) 00+01+03 + 04 + 05	34
				36) 00 + 02 + 03 + 04 + 05	35
				37) 00 + 01+02 + 03 + 04 + 05	36
		4) щомісячні спостереження цілодобові	04	1) спостереження по тиском, температурою і вологістю повітря, вітром, температурою поверхні ґрунту або снігового покриву, станом поверхні ґрунту, атмосферними опадами, сніжним покривом, атмосферними явищами і стихійними явищами; хмарністю, метеорологічною дальністю видимості; визначення нижньої межі хмар	00

Продовження таблиці 2.3

Група	Індекс групи	Підгрупа	Індекс підгрупи	Комплекс спостережуваних величин	Індекс комплексу
		5) щогодинні спостереження нецілодобові	05	1) спостереження по тиском і температурою повітря, вітром, хмарністю, висотою нижньої межі хмар, дальністю видимості, атмосферними явищами, небезпечними для авіації	00
Метеорологічні радіолокаційні спостереження	02	1) спостереження по Метеорологічному локатору МРЛ-1 2) спостереження по Метеорологічному локатору МРЛ-2	01 02	1) визначення зон небезпечних явищ (грози, зливи, снігові заряди) в радіусі 300 км; визначення зон опадів, пов'язаних з купчасто-дощовими і шарувато-дощовими хмарами; визначення зон хмарної системи в радіусі 300 км; визначення швидкості і напрямку переміщення окремих осередків; визначення меж, форм хмар і характеру небезпечних явищ в радіусі 40 км	00
		3) спостереження по Метеорологічному локатору МРЛ-5	03	1) визначення зон небезпечних явищ (грози, зливи, снігові заряди) в радіусі 300 км; визначення зон опадів, пов'язаних з купчасто-дощовими і шарувато-дощовими хмарами; визначення зон хмарної системи в радіусі 300 км; визначення швидкості і напрямку переміщення окремих осередків; визначення меж, форм хмар і характеру небезпечних явищ в радіусі 40 км	
				2) вимірювання інтенсивності (кількості) опадів	01
				3) 00+01	02

Відповідно до програми спостережень і робіт оперативно-виробничих мережних наглядових організацій не передбачаються *обов'язкові* метеорологічні радіолокаційні спостереження (індекс групи 02, індекси підгрупи 01, 02, 03). При виділенні додаткового штату цей вид спостережень за окремою програмою може здійснюватися на метеорологічних станціях 1 - 3 розрядів, на аерологічних станціях, на берегових морських гідрометеорологічних станціях 1 розряду, на суднових морських гідрометеорологічних станціях 1 розряду, на об'єднаних гідрометеорологічних станціях, на авіаметеорологічних станціях 1 - 4

розрядів, а також на спеціалізованих агрометеорологічних, воднобалансових і болотяних станціях.

2.5 Визначення моніторингової інформації контактним методом випромінювання

2.5.1 Системи дистанційного зондування атмосфери

Для вивчення верхньої атмосфери застосовуються дистанційні методи з використанням радіолокації і метеолідарів.

Радіолокатор – робить дистанційне зондування атмосфери радіохвилями від метрового до міліметрового діапазону. Дозволяє виявляти розходження об'єктів природного і штучного походження, які рухаються в атмосфері, визначати їхню дальність і швидкість (за ефектом Доплера).

Визначення радіальної швидкості за ефектом Доплера:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \Rightarrow V = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$$

де λ – довжина хвилі радара;

$\Delta\lambda$ – зміна цієї довжини після відбиття від об'єкта (в короткий бік – при наближенні, в довшу – при видаленні).

В метеорологічних радіолокаторах (МРЛ) використовуються частоти від 3000 до 30000 МГц (10-100 см). Тривалість зондувальних імпульсів 0,5 ÷ 4 мкс. Частота повторення імпульсів 200-1000 Гц. Ширина зондувального променя – від частки до 1,5°. Дальність дії МРЛ – 80 ÷ 150 км.

По допомогою МРЛ розпізнають усі форми та види хмар: Ci, Cs, Cs, As, Sc, Nc, St, Cu, Cb. Вірогідність розпізнавання хмарних систем 80-90 %. Розпізнавання гроzoneбезпечних Cb та зливовий дощ, не грозові Cb та не грозові зливи. Інтенсивність рідких та твердих опадів за градаціями: слабкі, позаходівні, сильні, дуже сильні. Розпізнаються шари температурних ізотерм та інверсій. Зондування атмосфери можливо до висот 30 км.

Радіолокація здійснюється трьома способами:

- опромінення об'єкта та прийом відбитого сигналу;
- опромінення та прийом ретранслюючого сигналу;
- прийом випромінюваних об'єктом хвиль.

Лідар (LiDa - Light Detection and Ranging) - прилад для виконання лазерного зондування атмосфери в оптичному діапазоні спектра. Загалом вмісті лазер у лідарі використовується як імпульсне джерело спрямованого получення, при цьому відбивачами сигналу є всі молекулярні та аерозольні

складові атмосфери, тобто сама атмосфера формує лідарний луно-сигнал з усієї траси зондування. Це дозволяє здійснювати лазерне зондування в будь-яких напрямках атмосфери. Головний активний елемент лідара - джерело лазерного випромінювання, що реалізує основні енергетичні, тимчасові, просторові, спектральні та поляризовані параметри лазерного випромінювання. Промінь формується за допомогою дзеркальних або лінзових телескопів. Лазерне джерело разом з антеною становить передавач лідара.

Приймальна антена лідара - звичайний дзеркальний телескоп - за схемою Ньютона, коли фокус виводиться плоским дзеркалом під кутом 90° до оптичної осі головного параболічного дзеркала або Кассегрена, коли фокус виводиться вторинним гіперболічним дзеркалом на оптичній осі головного параболічного дзеркала через отвір у центрі останнього.

Лазери створюють гостро направлений промінь з поперечним перерізом $\sim 10^{-6}$ см, густина потужності – до 10 ТВт/см^2 .

Принцип лазерного зондування полягає в тому, що лазерний промінь при поширенні розсіюється молекулами і неоднорідностями повітря, домішок у ньому, частками аерозолів, частково поглинається та змінює свої фізичні параметри (частоту, форму імпульсу, тощо). З'являється світіння (флюоресценція), що дозволяє кількісно і якісно судити про різні параметри повітряного середовища (тиск, температура, вологість, концентрація газів і тощо).

Лазерне зондування здійснюється в ультрафіолетових, видимих і мікрохвильових діапазонах.

Висока частота проходження імпульсів малої тривалості дозволяє вивчити динаміку швидко, процеси що протікають, у малих об'єктах у товщах атмосфери.

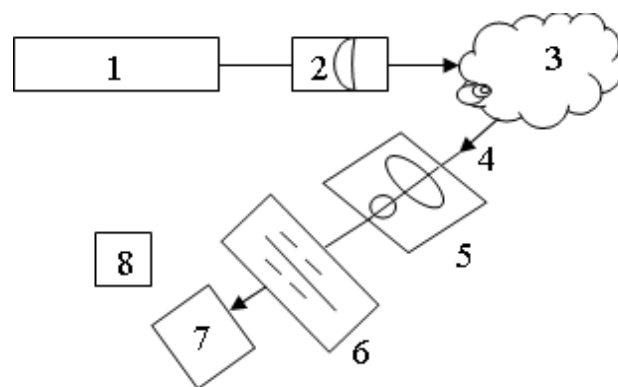


Рисунок 2.3 – Схема лідара

Загальна схема лазерної інформації (рис.2.3), опорне джерело лазерного випромінювання 1 через оптичну систему 2 випромінює короткий імпульс $\Delta\tau$ потужністю W_0 . Частина 4 неухважного об'єктом 3

випромінювання попадає в прийомний телескоп 5, через нього в інтерференційний фільтр 6 на фотоприймач 7, сигнал якого опрацьовується блоком 8

У загальному випадку потужність W_{cs} неухважного об'єктом 3 випромінювання як функція відстані до нього r визначається як:

$$W_{cs}(r) = \sigma \cdot W_0 \cdot n(r) \cdot k(r) \cdot \frac{F \cdot \Delta r}{4\pi r^2},$$

де σ – ефективна відбиваюча поверхня;

$n(r)$ – концентрація часток що розсіюють як функція відстані;

$k(r)$ – коефіцієнт пропускання атмосфери;

F – параметр ефективності оптичних систем та технічних параметрів експерименту;

Δr – глибина зондування.

По допомогою цього методу при частоті проходження імпульсів 10^3 - 10^4 Гц та тривалості імпульсів $\sim 10^{-8}$ с виконується до 10^4 профілів аерозольних шарів в секунду.

2.5.2 Дистанційне вимірювання вітру

Дистанційні пособи вітрового зондування оперативно реєструють вітрові характеристики в значному обсязі простору та можуть повчасно попереджати про небезпечні явища.

У цей час є чотири основні типи дистанційних вимірювання вітру. Це содари, що працюють на акустичних хвилях, лідари, що використовують оптичне випромінювання, радіолокатори, що випромінюють радіохвилі, що ухвалюють, радіоакустичні системи, які комбінують акустичне та електромагнітне випромінювання. Усі дистанційні методи зондування ґрунтуються на випромінюванні хвиль, які при поширенні крізь атмосферу розсіюються у зворотному напрямку і реєструються приймачем.

Акустичні системи вітрового зондування, содари.

Інтенсивність взаємодії акустичної хвилі з атмосферними неоднорідностями дуже велика, приблизно в мільйон раз більше, ніж для електромагнітних хвиль. Тому в результаті взаємодії відбувається не тільки розсіювання хвиль, але і їх сильне поглинання та рефракція. Це приводить до того, що висота акустичного зондування звичайно не перевищує 1000 м перераховані ефекти дуже сильно залежать від частоти випромінювання (приблизно пропорційно квадрату частоти), тому при

висоті зондування до 300 м використовуються частоти 5-10 кГц, а для висоти 1000 м частоту знижують до 1 кГц.

При акустичному зондуванні в атмосферу випромінюється коротка точка звукових хвиль, яка при розгляді розсіюється на акустичних неоднорідностях атмосфери. Джерелом акустичних неоднорідностей в атмосфері є неоднорідності полів вітру і температури, які в першу чергу пов'язані з турбулентними рухами.

Відбиті звукові хвилі реєструються акустичним приймачем поблизу джерела випромінювання (моностатичний содар). За часом затримки відбитого сигналу визначається дальність R , потужність відбитого сигналу – інтенсивність турбулентності, а доплерівське зрушення частоти – проекція вітру в напрямку зондування.

Тривалість випромінюваного імпульсу лежить в інтервалі $\Delta\tau_n = 0,05 - 0,3$ сек.

Швидкість поширення звуку $C=340$ м/с; розділення дальності такої системи $\Delta R = C \cdot \Delta\tau_n / 2 = 8 \div 55$ м.

Прийнята зворотна хвиля буде мати частоту, зрушену за рахунок ефекту Доплера.

Доплерівський сигнал виділяється на змішувачі при додаванні прийнятого сигналу з опорним. Оцінимо, який вигляд буде мати доплерівський сигнал і яку швидкості можна одержати при такому зондуванні. При зсуві розсіювача на $\lambda/2$ фазо відбитого сигналу змінюється на 2π , та реєструє доплерівську послідовність в сигналі з'являється один повний період синусоїди. Якщо проекція швидкості вітру на напрямок зондування V_B м/с, тоді по час одного імпульсу частка вміститься вздовж на відстань $V_B \cdot \Delta\tau_n$, а доплерівська послідовність буде містити $N = 2V_B \cdot \Delta\tau_n / \lambda$ повних періодів коливань. Чим більше N повних періодів у доплерівській послідовності, тим вужчий спектр, і тим більш точно визначається доплерівська швидкість ΔV_B , а саме, $V_B / \Delta V_B = N$. Одержуємо, що розділення швидкості ΔV_B визначається тривалістю імпульсу та довжиною хвилі:

$$\Delta V_B = \lambda / 2 \Delta\tau_n.$$

Чим довший імпульс, тоді розділення швидкості, але розділення по дальності $\Delta R = C \Delta\tau_n / 2$. В результаті для внутрішньої імпульсної обробки сигналу виходить співвідношення невизначеностей

$$\Delta R \Delta V_B = \lambda C / 4,$$

де ΔV_B – розділення швидкості;

ΔR – розділення дальності,

C – швидкість звуку;

λ - довжина хвилі.

При типовій частоті зондування 1.5кГц (=23см) і тривалості імпульсу 100 мс розділення швидкості складе 1.1 м/с, по дальності 17м – цілком прийнятно для більшості метеорологічних завдань.

Важливе в содарах є їхня відносна простота, надійне забезпечення вимірювання швидкості і напрямку вітру в діапазоні висот від 20 до 800м при відносно високому вертикальному дозволі (5-50м).

Гранична висота зондування дуже залежить від метеоумов у процесі вимірювання, знижується при наявності температурних інверсій в атмосферному приземного шарі, при сильній турбулентності і сильних вітрах. Вимірювання дуже чутливі до сторонніх звуків, їх практично неможливо проводити при високо рівних фонових шумів і при наявності рідких опадів.

Моностатистичні содари мають приймач і випромінювач, сполучені в одному місці.

При цьому для одержання двох компонентів вітру потрібно два або більше випромінювача, або треба повертати монособар на платформі.

Сучасні содари використовують антенну систему з трьома випромінювачами, один з яких спрямований вертикально, а два інших – під кутом до обрію (на північ або на похід). Створені також содари з мінівипромінювачами у вигляді плоскої антенної решітки, або у вигляді фазованої решітки.

Сучасні маловисотні содари мають максимальну висоту зондування до 200 м, використовуються звичайно для обслуговування вітрових електростанцій (содари TRITON(США), PCS.2000-24/LP(Німеччина), 4000 WE(США) і інші).

Друга група содарів з висотою зондування до 1000 м використовується для метеорологічних і екологічних цілей (содари XFAS, MFAS, SFAS (Німеччина): PCS.2000 (Німеччина), PAO-5(Франція-США); Echsonde 300, 600, 600PA(Англія-Сша); Хвиля-3; ЛАТАНИЙ-3 (Росія) і інші).

Є пересувні содари. Вони встановлюються на буксирувальних причепах, що дозволяє їх встановлювати в різних місцях у короткий термін.

Таким чином, содари дозволяють проводити вимірювання вітру в 300-800 метровому приземному шарі атмосфери у відносно спокійних умовах (без сильного вітру та без рідких опадів).

Системи радіоакустичного зондування (RASS).

Принцип радіоакустичного вимірювання швидкості вітру полягає в штучному створенні в атмосфері навколишньої неоднорідності у вигляді звукових решіток.

Звуковий пакет зондують по допомогою радара, підбираючи довжину хвилі так, щоб виконувалася умова Брега: довжина хвилі радара

повинна бути вдвічі більша від довжини звукової хвилі. Швидкість поширення звукової хвилі складається з швидкості звуку, яка визначається лише температурою та швидкості вітру. Проводячи вимірювання у вертикальному напрямку, можна одержати профіль температури, яку потім можна використовувати для одержання швидкості вітру.

Зручність радіоакустики полягає в тому, що швидкість вітру реєструється не на нульових доплерівських частотах, а на частоті, зрушеної на швидкість звуку. Це полегшує селекцію сигналу. Недоліки радіоакустики – у викривленні звукових решіток, як за рахунок розсіювання на турбулентність, так і по рахунок градієнтів вітру та сильної рефракції.

В результаті з збільшенням відстані звуковий пакет розпливається та відбитий радіолокаційний сигнал різко слабшає або зникає зовсім.

З цієї причини вітер середньої сили, порядку 10 м/с, часто створює настільки несприятливі умови, що вимірювання стають неможливими.

Система радіоакустичного зондування (Radio Acoustic Sounding System), (RASS) складається з содару, доповненого радаром.

Звичайна висота зондування вітру – порядку 1 км. RASS – прилад для наукових досліджень різних явищ в атмосфері, тому що дає одночасно інформацію про профілі вітру та температури.

Недоліки – радіоакустичні вимірювання практично неможливі вже при середньому вітрі, при випаданні опадів та високому шумовому тлі.

Типи RASS: LAP – 3000(Фінляндія), API000 RASS(Німеччина), RWP 50(США).

2.5.3 Оптичні та радарні вітрові профайлери

Оптичні вітрові профайлери (лідари). Умовно лідарні пособи для вітрових вимірювання діляться на недоплерівські та доплерівські системи.

Недоплерівські вимірювання базуються на визаходівуванні зсуву максимуму впоємної просторово-тимчасової кореляційної функції інтенсивності, отриманої на різних рівнях конуса зондування, який описує лазерний промінь у напрямку, близькому до вертикалі. Фактично відбувається спостереження за переміщенням неоднорідностей відбиваності в горизонтальній площині.

По часом і напрямком зсуву неоднорідностей здійснюється оцінка швидкості й напрямку вітру на поданій висоті зондування.

Нечасткиком такого методу є можливе невиконання умови стаціонарності поля відбиття при горизонтальному преміщені розсіювачів. При переносі аерозолів до іншої ділянки конуса по рахунок турбулентності і вертикальних переміщень центр неоднорідностей зміщується не так, як

середній вітер, що приводить до наростання похибок вимірювання або неможливості їх виконання.

Очевидно тому дані методи вітрового зондування серійно не використовуються.

Некогерентні доплерівські лідари реєструють сигнал, який на аерозолях або молекулах повітря. Випромінювання збирають телескопічним приймачем і аналізують на інтерферометрі.

При цьому використовується пряме детектування сигналу на різних частотах (каналах). Визаходівляється доплерівське зрушення частоти прийнятого сигналу, по яким визначають проекцію вітру на напрямок зондування. При кінчному зондуванні це дозволяє визначити і швидкість, і напрямок вітру на різних висотах. При розсіюванні на аерозолях виходить досить вузький інтерпритуємий сигнал.

На більших висотах, де немає аерозолів, основний сигнал формується при розсіюванні на молекулах повітря, при цьому спектр відбитого сигналу ширший, ніж при аерозольному розсіюванні, реєстрація доплерівського зрушення ускладнюється, тоді потрібне довгочасне накопичення сигналу для аналізу.

Така методика застосована в лідарі ALOMAR (Норвегія) для вітрових вимірювання у діапазоні висот 10-45км. Параметри лідара: довжина хвилі випромінювання 532 нм, частота повторення імпульсів – 30 Гц, енергія в імпульсі 600 мдж, розділення на висоті 200м.

Дана методика використовується для зондування верхніх шарів атмосфери.

Когерентні доплерівські лідари (КДЛ). У випадку КДЛ неухажне на аерозольних частках випромінювання зондувального променя після проходження через приймальну апаратуру телескопа змішується з опорним променем і подається на чутливий елемент детектора.

З виникаючого в колі детектора фотоструму по допомогою вузько смугового частотного фільтра виділяється складова з інформацією про доплерівське зрушення частоти. Це – процес лазерного гетеродинування. При лазерному гетеродинуванні погоджуються в площині чутливо елемента детектора хвильові фронти опорного променя і неухажного відбитого променя.

Ефективність гетеродинування залежить від розміру елемента когерентності неухажного променя до площі поперечного перерізу опорного променя.

Посилення інтенсивності турбулентних пульсацій показника переломлення повітря в атмосфері може суттєво зменшити радіус просторової когерентності неухажного в атмосфері зондувального променя в площині телескопа і до падіння відносно сигнал/шум до рівня, при якому визаходівлювати вітер неможливо. З висотою коефіцієнт аерозольного зворотнього розсіювання зменшується, і у вільній атмосфері може стати

настільки малим, що інформація про вітер може бути отримана або при більших потужностях зондувального променя, або з використанням спеціальних процедур обробки вихідних даних при тривалих лідарних вимірюваннях.

Зондувальний лазерний промінь може бути безперервним або імпульсним, тобто за цією ознакою когерентні доплерівські лідари підрозділяються на безперервні КДЛ і імпульсні КДЛ.

У безперервному КДЛ обсяг зондування формується фокусуванням лазерного променя на подану відстань. З збільшенням фокусної відстані разом з ростом дальності збільшується обсяг зондування. З таким лідаром інформація про вітер виходить з 10 м відстані, але при фокусуванні променя на 1,5-2 км поздовжній розмір обсягу зондування стає порівнянний з дальністю вимірювання.

Максимальна дальність вимірювання з таким лідаром становить 1 км.

Нечастки такого КДЛ – для відновлення висотного профілю вітру необхідно для кожної висоти перефокусувати промінь на відповідну відстань.

Погальний нечастки безперервних КДЛ – поганий розділення на дальність, масштаб якого зрівняємо з самою дальністю.

Імпульсні КДЛ у порівнянні з безперервним мають більш широкі можливості вітрового зондування. Тут обсяг зондування визначається тривалістю зондувального імпульсу та поперечним розміром лазерного пучка. Здійснюється внутрішня імпульсна когерентна обробка кожного імпульсу (як при обробці акустичних сигналів у содарів). Це утворює обмеження на довжину хвилі випромінювання λ , розділення швидкості ΔV і дальності ΔR :

$$\Delta V \cdot \Delta R = C \lambda / 4, \quad (2.1)$$

де C – швидкість світла.

З співвідношення (2.1) видно, що для покращення дозволу імпульсні КДЛ повинні працювати на більш коротких хвилях, наприклад, близькому інфрачервоному випромінюванню. Але виникає проблема погодження хвильових фронтів опорного і неухважного випромінювання з точністю до десятих часток хвилі, Завдання ускладнюється також через викривлення фронту неухважної хвилі при дворазовому проходженні атмосфери.

Відзначимо, що оптичні профайлери прекрасно працюють у ясну та тиху погоду, при якій радари познають труднощів, і навпаки, при складних і небезпечних метеоситуаціях (сильної турбулентності, вітру, випаданні опадів) найкращі параметри мають радари, а лідари практично не працездатні.

Радарні вітрові профайлери. Допплерівські радіолокаційні системи, призначені для визначення швидкості і напрямку вітру на різних висотах розроблені в кінці 50-х років. Для таких систем носіями інформації є неоднорідності діелектричної проникності різної природи, що похоплюються атмосферними потоками.

Перша аерологічна мережа вітрових профайлерів була сформовано в США в 1992 році – Wind Profiler Demonstration Network, а в Європі перша демонстрація вітрової мережі була проведена в 1997 році.

Проект називався COST Wind Initiative for a Network Demonstration in Europe (European Commission) (CWINDE). На цей час CWINDE складається з 30 профайлерів в 9 країнах, більшість працює на частоті 915-1280 МГц, кілька тропосферних радарів, розрахованих на висоти до 10 км і п'яти MST радарів, що забезпечують вимірювання до 30 км. Формат таких даних ASC II або BVER.

Дана мережа використовується в чисельній моделі прогнозування погоди (NWPM). Аналогічні мережі існують в Японії і Південній Кореї.

Всього у світі в цей час функціонують близько 160 профайлерів. Вітрові радіолокаційні профайлери Radar Wind Profilers (RWP) використовують довгохвильову частину спектра частот. Смуги, у яких працюють типові профайлери становлять:

1. 30-60 мГц ($\lambda=10\div5\text{м}$);
2. 400-550 мГц ($\lambda=0,75\text{-}0,55\text{м}$);
3. 900-1300 мГц ($\lambda=0,3\div0,23\text{м}$).

У Росії з метою метеопобезпечення Збройних Сил розроблений доплерівський вітровий профайлер у діапазоні 35 гГц ($\lambda=8\text{мм}$).

Фізика формування сигналу в радарях відрізняється від содарів і лідарів тим, що по час тривалості зондувального імпульсу $tn=10^{-6}\text{с}$, розсіювачі встигають зрушитися на декілька мікрон.

У порівнянні з довжиною хвилі радари це мізерна величина, тому імпульс відбивається в просторі від як би розсіювачів. Радар звичайно випромінює пучок з декількох сотень імпульсів з періодом повторення T , який пов'язаний з максимальною дальністю зондування

$$R_{\text{макс}}=cT/2,$$

де c -швидкість світла.

На фазовому детекторі реєструється фаза кожного імпульсу, яка змінюється від імпульсу до імпульсу по рахунок зсуву часток по час T .

В результаті формується послідовність прийнятих імпульсів, що і дає доплерівський сигнал. Такий режим називають імпульсно-когерентним. Але при такому режимі існує обмеження іншого роду. Воно пов'язане з вимогою, щоб по період T частки не повинні зрушуватися занадто сильно – не більше ніж на $\lambda/4$, відповідно до умови $1/T=4V_{\text{макс}}/\lambda$. Чим більше

діапазон вимірювальних швидкостей, тоді буде вища частота повторення імпульсів.

При цьому можливе зниження максимальної однозначної дальності зондування $R_{\text{макс}}$. В результаті для імпульсно-когерентних радарів існує обмеження:

$$V_{\text{макс}} \cdot R_{\text{макс}} = C \lambda / 8. \quad (2.2)$$

Тоді для вимірювання високих швидкостей на більших дальностях слід обирати як можна більшу довжину хвилі λ . А перехід у сантиметровий або міліметровий діапазон, гарний з погляду взаємодії випромінювача з розсіювачем, буде обмежувати дальність, або максимальну визаходівуювальну швидкість.

На цей час не існує універсальних радарів, що дозволяють проводити вимірювання вітру від рівня землі у всьому шарі тропосфери при будь-яких погодних умовах. Кожний тип вимірювання має діапазон умов, у яких він працює, свої достатки та недоліки. Зупинимось докладніше на можливостях і характеристиках кожного типу радарних вітрових профайлерів.

Довгохвильові радарні профайлери діапазону 30-60 мГц з $\lambda=10\div 5\text{м}$, розрахований на вимірювання вітру на висотах від 2 до 30 км, іноді перекриваючи висоти до 60 км. Їх називають MST радарми (Mesosphere, Stratosphere, Troposphere). Розсіювачами для такого випромінювання є флуктуації показника переломлення, масштаб яких повинен бути $\lambda/2$ (умова Брегга).

Але зі збільшенням висоти мінімальний розмір флуктуацій, які пов'японі з інерційним масштабом турбулентності, зростають від декількох міліметрів біля поверхні Землі, до декількох метрів в атмосфері, і чим більше планована висота зондування, тим більші довжини хвиль треба використовувати.

Недоліки MST радарів:

- необхідність великої антенною системи (розмір більша футбольного поля);
- більша споживча потужність;
- фізичне формування відбиттів таке, що при відхиленні променя від вертикалі на 5-10 градусів рівень сигналу спотворюється на 15-30 дБ. Тому необхідно накопичувати сигнал – від 20 хвилин до 1 години. Похибка вимірювання швидкості вітру 3-5 м/сек;
- джерела відбиттів у мезосфері і атмосфері – це межа з більшим градієнтом індексу рефракції, переміщення яких у просторі не пов'японе з вітром. Це створює додаткові похибки у вимірюванні швидкості та напрямку вітру.

Гідність MST радарів – можливість практично безперервного вимірювання профілю вітру до висот 20-30 км і більше. Практично це єдиний дистанційний спосіб, що забезпечує вимірювання на таких висотах. Приклад їх використання в метеомережі – 5 ST радарів у Франції.

Вітрові радіолокаційні профайлери діапазону 400-550 МГц становлять основу американської мережі вітрових профайлерів NOAA. По висотою зондування вони перекривають всю висоту тропосфери до тропопаузи (до 10-16 км). Висотний розділення профайлерів 200-500 м, з розмірами антени 13×13 м². Джерелом відбиттів є неоднорідності показника переломлення невеликих розмірів у порівнянні з зондуємим обсягом. Через високу чутливість приймача велика ймовірність фіктивних тривог через відбиті сигнали від приземних джерел. З цієї причини вимірювання на малих висотах практично неможливі.

Профайлери L-Діапазону, 900-1300 МГц із $\lambda=0,3 \div 0,23$ м найпоширеніші. Висота зондування 2500-5000 м пожежно від тривалості імпульсу та потужності випромінювання.

Тут також висота вимірювання починається з 500 м рофайлери міліметрового діапазону.

Цей діапазон хвиль вважався безперспективним і фактично не використовувався. Причина – слабкі відбиття в ясну погоду без опадів і хмар, а сигнал формується від флуктуацій показника переломлення.

Нижній масштаб турбулентності на висотах більш 3 км перевищує 10см, тому береговські умови формування відбиттів для міліметрових хвиль неможливі, і сигнали зворотного розсіювання на цих висотах відсутні. Але якщо ціль профайлера – прикордонний шар атмосфери, де вітер найбільш мінливий, а також небезпечні метеоусловия (опади, хмари, помірний або сильний вітер).

У таких умовах міліметровий діапазон найбільш перспективний.

При оцінці зростання сигналу при переході від звичайних 30 см до 8мм за формулою Релея D_6/λ^4 , то виходить виграш на 6 порядків.

Можна відзначити, що в цей час у світі немає універсального профайлера вітру, що забезпечує визаходів, у будь-яких погодних умовах. Лідари та содари придатні для прикордонного шару атмосфери при відсутності опадів і несильному вітрі.

При складних погодних умовах: в опадах, сильному вітрі, при туманах або хмарності відмінні характеристики в радарних профайлерах міліметрового діапазону.

Спільне використання содара або лідара з міліметровим радіолокатором забезпечить всепогодність вітрових виходів у примежового 1000 метровому шарі. Для вимірів вітру у всьому шарі тропосфери – від 30 до 10000 м слід додатково використовувати профайлери дециметрового діапазону разом з лідаром (содаром) і профайлером міліметрових хвиль.

2.6 Просторово-часовий розподіл стихійних явищ погоди на території України

2.6.1 Опади теплового і холодного періодів року

В Україні практично щорічно спостерігаються стихійні метеорологічні явища (СМЯ), які в окремих випадках набувають катастрофічного характеру та повдають шкоди сільському та міському господарству, населенню. Як правило, стихійні явища погоди спостерігаються у комплексі – літні зливові опади часто супроводжуються грозами, градом та штормовим вітром, хуртовини (зимові явища), пов'язані зі снігопадом, сильним вітром, відкладенням мокрого снігу та обледенінням. В Україні частіше відмічається дуже сильний дощ, до якого відноситься дві категорії: для гірських районів стихійними вважаються випадіння опадів з кількістю більшою ніж 30мм по 12 годин; 50мм – для рівнинної території. Кількість опадів, їх повторюваність, інтенсивність залежать від багатьох чинників: орографії, а також місця походження циклонічного утворення, його стадії розвитку, вологовмісту циклону, траєкторії руху.

По даними [14], по період 1986-2005 рр. на території України спостерігалось 1067 випадків сильного дощу, період 1997-2000 рр. та 2001, 2002, 2004, 2005 рр. характеризувався сильними дощами на великих територіях. Найчастіше (60%) сильні дощі випадають при проходженні південних і південно-похідних циклонів з Чорного моря та Середньодунайської низовини, а також внаслідок блокуючих синоптичних процесів. У 15% випадків сильний дощ спостерігається під час переміщення холодних фронтів з походу у глибоких улоговинах, у 10% випадків – під час активізації малорухомих фронтів у районі Чорноморської депресії та під час формування над територією України малорухомих циклонів (5%). Також, сильні опади можливі при переміщенні циклонів з північного походу та на стаціонарних фронтах (10%).

Таким чином, дуже сильні дощі 30 мм і більш на території України відмічаються щорічно (рис. 2.4).

Особливості добового ходу сильних дощів свідчить про вплив фактора потужної конвекції – у 37% випадків сильний дощ починається о 16-22 годині, рідко (16%) сильні дощі починаються у нічні та ранкові години. Тривалість сильних дощів змінюється у значних межах, але відомо, що найтриваліші сильні дощі характерні для Українських Карпат [14, 15].

У разі формування та проходження глибокої баричної улоговини, з якою пов'язаний холодний фронт, в Українських Карпатах спостерігаються сильні зливи та грози. Інтенсивні та тривалі грози утворюються як у

центральної частині циклону, так і на холодному фронті з хвилями, які розташовуються зазвичай уздовж фронтальної зони в напрямку з південного походу на північний схід. Гроза діяльність уздовж фронту може тривати кілька днів, у тому випадку, коли улоговина над Карпатами виявляється «потиснутою» з двох сторін антициклонами.

В якості прикладу наведемо процес, який спостерігався протягом доби 15.07.2008р. Особливо інтенсивні та тривалі опади спостерігалися на фронтальному розділі циклону, якій переміщувався з походу (рис. 2.5). В цьому випадку улоговина над Карпатами опинилася як би «потиснутою» з двох сторін антициклонами, а грозова діяльність поряд з сильними зливами уздовж фронту тривала більше доби. На рис. 2.5 представлені карти баричної топографії, які ілюструють таку баричну ситуацію над районом дослідження, показують проходження через досліджуваний регіон глибокої баричної улоговини, з якою пов'язаний холодний фронт (00^h 15.07.2008).

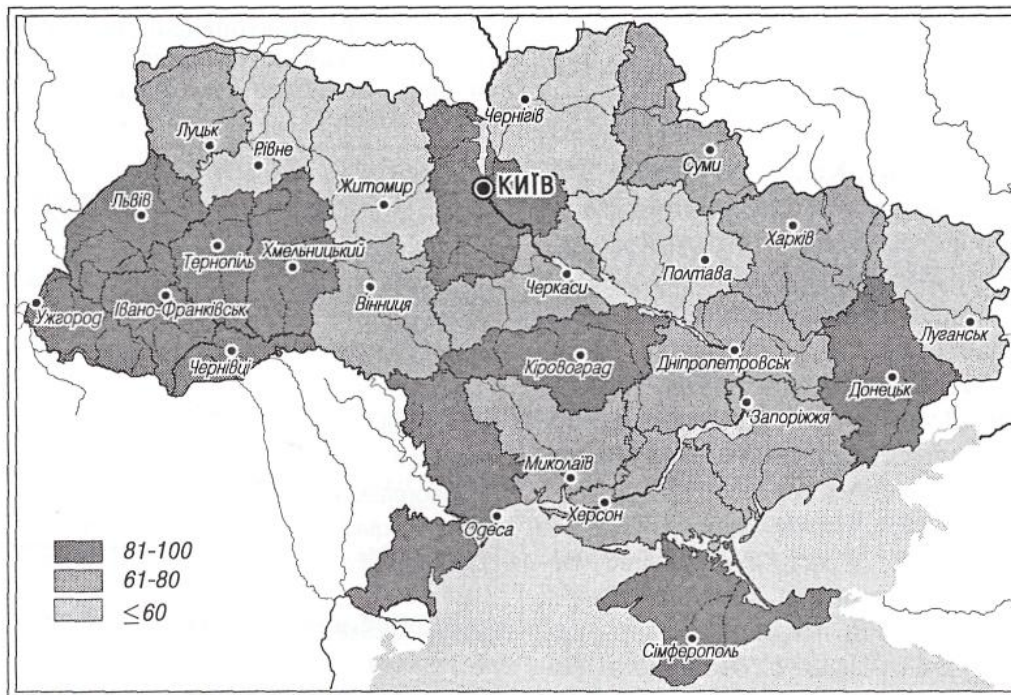


Рисунок 2.4 – Повторюваність (%) дуже сильного дощу (30 мм і більше по 12 годин та менше) по період 1986-2005рр.

По даними радіозондування процес [16] характеризується нестійкою стратифікованою атмосферою до висоти 8,5 км, великими швидкостями вітру на всіх висотах: від 7 – 20 м/с і до 25 – 30 м/с у верхній атмосфері. Також, по даними аерологічної діаграми для однієї зі станцій Карпат пофіксовані великі зсуви вітру по напрямком: у шарі Земля – 700 гПа спостерігається правий поворот на 160° (рис. 2.6).

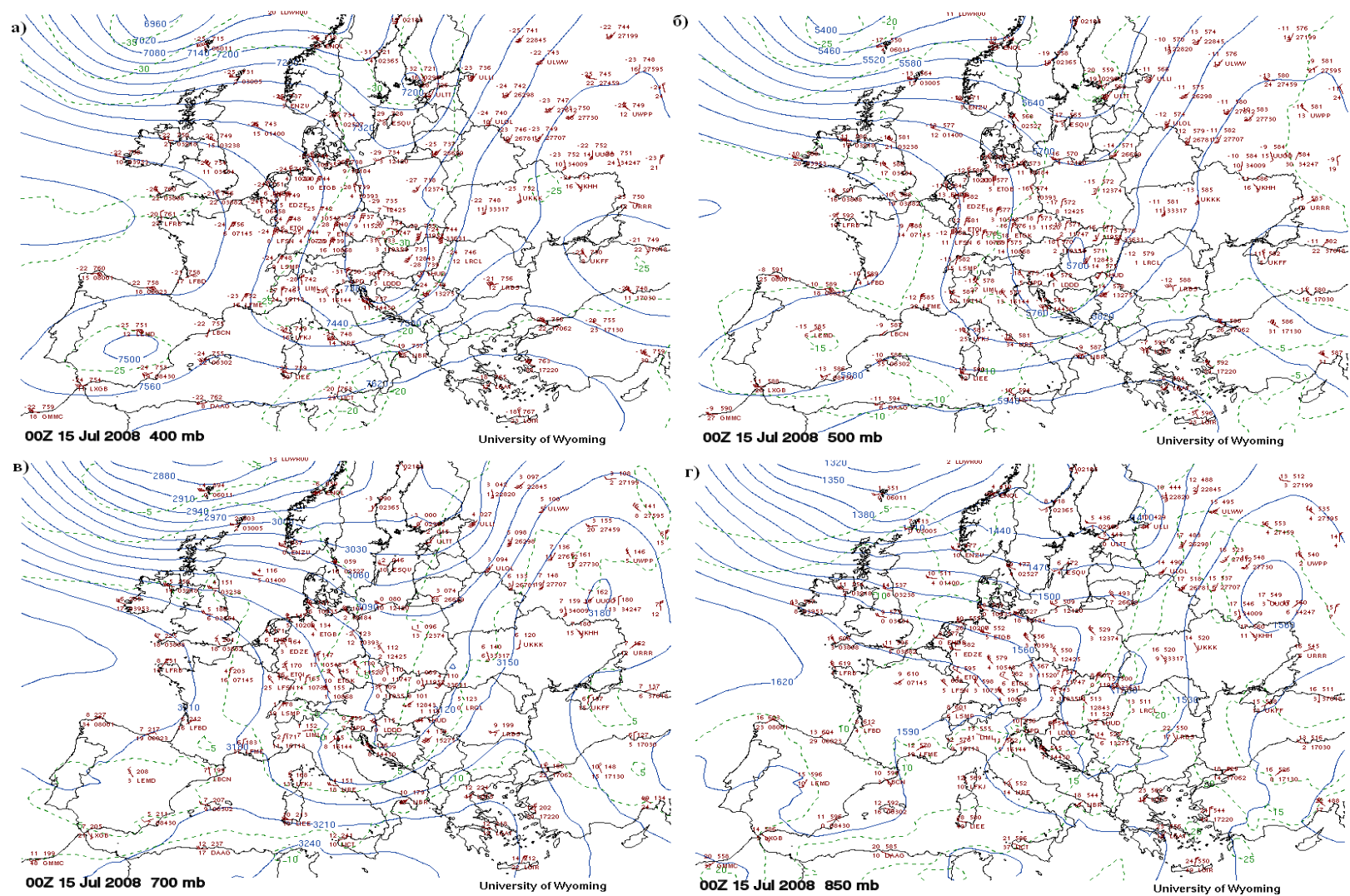


Рисунок 2.5 - Карты баричної топографії (00^h 15.07.2008): а) АТ-400; б) АТ-500; в) АТ-700; г) АТ-850 [55]

11952 Poprad-Ganovce

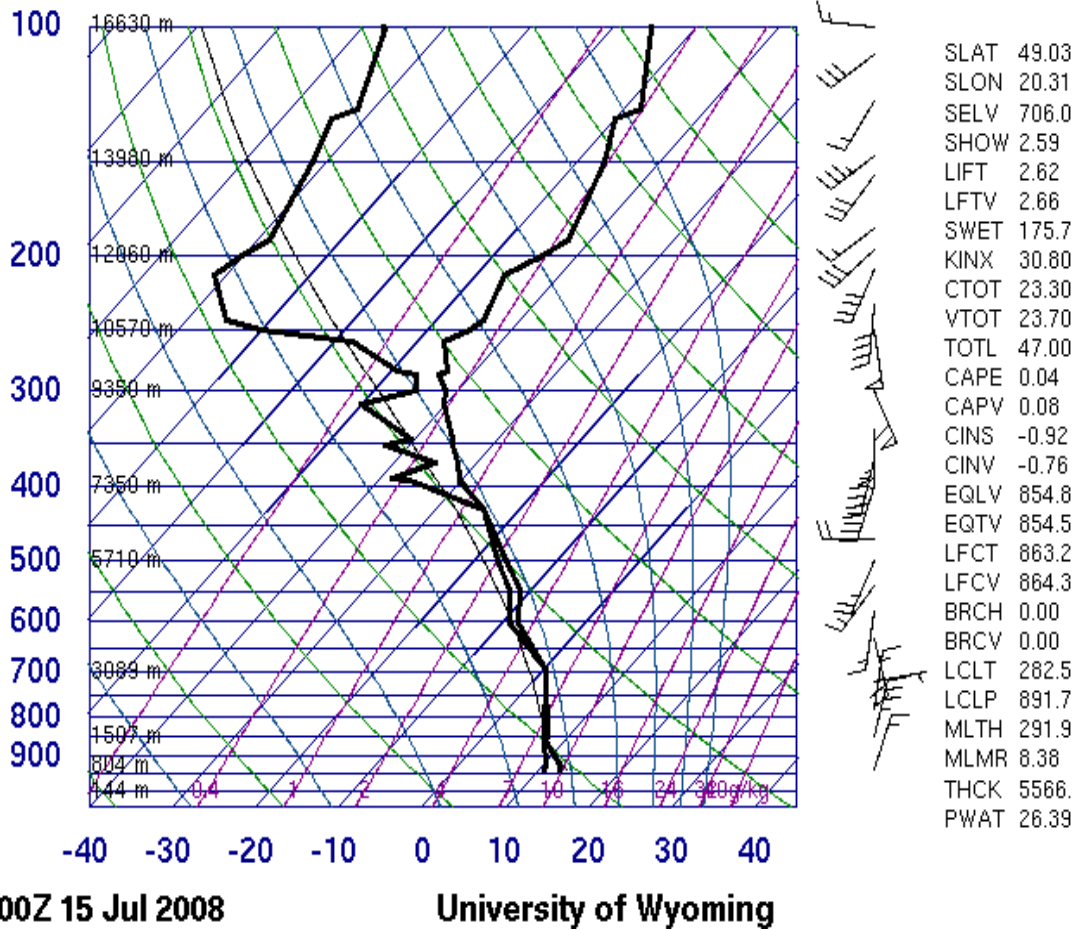


Рисунок 2.6 – Аерологічна діаграма (00^h 15.07.2008) [16]

Умови розвитку вертикальних рухів в атмосфері в разі вологого насиченого повітря можна вивести, якщо порівнювати криву стратифікації з кривою стану вологого повітря, тобто з вологою адіабатою, яку характеризує вологоадіабатичний градієнт γ'_a . Як і для сухої частки, стан буде стійким, коли $\gamma' < \gamma_a$; нестійким, якщо $\gamma > \gamma_a$ і байдужим при $\gamma = \gamma'_a$. Розрахунок вертикального градієнта температури за даними радіозондування атмосфери показав, що по 00^h від 15.07.2008 р. в шарі від 500 до 400 гПа поверхнях спостерігається співвідношення між градієнтами температури: $\gamma_a = 1,04$, $\gamma_a > \gamma'_a$, то $\frac{dE}{dz} > 0$ і є критерієм волого-нестійкої стратифікації відповідного шару атмосфери.

Крім того, дані радіозондування свідчать про великі значення характеристик вологості повітря (так, значення відносної вологості коливаються – $f = 63 \div 94\%$ у шарі Земля – 300 гПа), тому з проходженням цього фронту пов'язані сильні опади в Карпатах (рис. 2.7 а, б).

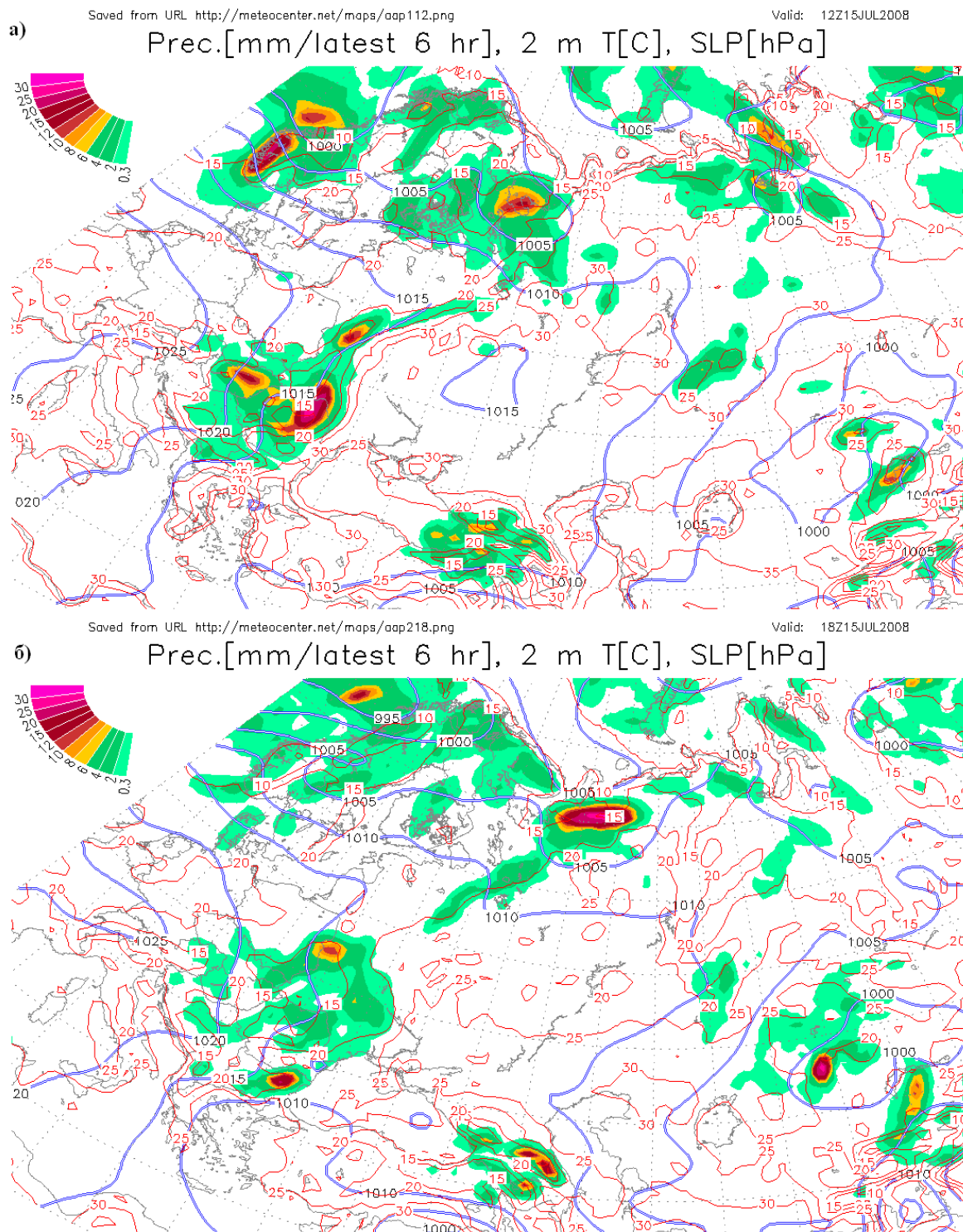


Рисунок 2.7 – Карта опадів (мм) (15.07.2008): а) 12^h ; б) 18^h [17]

Як бачимо, грози часто супроводжуються опадами зливого характеру та градом. Улітку в 80 – 90% випадків грози супроводжуються зливами, навесні та восени в 40 – 50% вони бувають без опадів. Дуже сильні дощі >30 мм по 12 годин на території України зі 100% ймовірністю

відзначаються в АР Крим, Українських Карпатах. Тривалі дощі з кількістю опадів 100 мм і більше на території України можливі в усі місяці року за винятком січня та лютого.

Поле максимальних значень числа днів з дощем в Україні характеризується двома максимумами: перший розташований в похідних передгір'ях Карпат; другий – в районі ст. Харків (175 днів).

Для просторово-часового розподілу максимальних значень кількості всіх опадів на території України характерна зона мінімумів в центральній частині та зона максимумів в районі ст. Лубни (1467мм) та в похідній частині Карпат (навітряна сторона) (рис. 2.8, а) Поле середньоквадратичних відхилень практично повторює розподіл максимальних значень (рис. 2.8, б). Для всій території України характерно малоградієнтне поле лівосторонній асиметрії $A_s < 0$ (рис. 2.8, в), тільки в районі Криму фіксується зона додатних значень коефіцієнта асиметрії. Поле коефіцієнтів ексцесу характеризується тільки додатними значеннями $E > 0$, що свідчить про малий інтервал значень, в якому змінюється кількості опадів на території України по період 1971-2010 рр. (рис. 2.8, г) південна частини України описується зоною мінімальних значень. Виявлені зони максимумів добре ілюструють характерні для регіону траєкторії переміщення насиченого вологою повітря (рис. 2.9, а). Мінімальні значення середньоквадратичного відхилення характерні для центральних і північних районів (рис. 2.9, б).

Практично вся територія України характеризується полем додатних коефіцієнтів асиметрії, що свідчить про зменшення числа днів з дощем по досліджений період, невелика зона від'ємних значень зафіксована на узбережжі Чорного моря в районі ст. Одеса (-0,91) (рис. 2.9, в). Для поля коефіцієнтів ексцесу характерні дві зони від'ємних значень на фоні додатних значень, що свідчить про зміни числа днів з дощем (рис. 2.9, г).

Поле максимальних значень числа днів зі снігом на Україні характеризується широтним розподілом з локальним мінімумом в районі Криму (32 дня) (рис. 2.10, а). Для середньоквадратичного відхилення характерно малоградієнтне поле (рис. 2.10, б).

Територія представлена додатними значеннями коефіцієнтів асиметрії, що свідчить про зменшення числа днів зі снігом, і тільки в Чернівецькій області зафіксована зона невеликих від'ємних значень коефіцієнтів асиметрії (-0,1) (рис. 2.10, в). Розрахунки коефіцієнтів ексцесу показують переважання сплюснутої кривої розподілу, що свідчить про більшу мінливість числа днів зі снігом по 40-річний період (рис. 2.10, г).

Найбільшого впливу дуже сильних снігопадів зазнають АР Крим, Закарпатська та Івано-Франківська області (рис. 2.11).

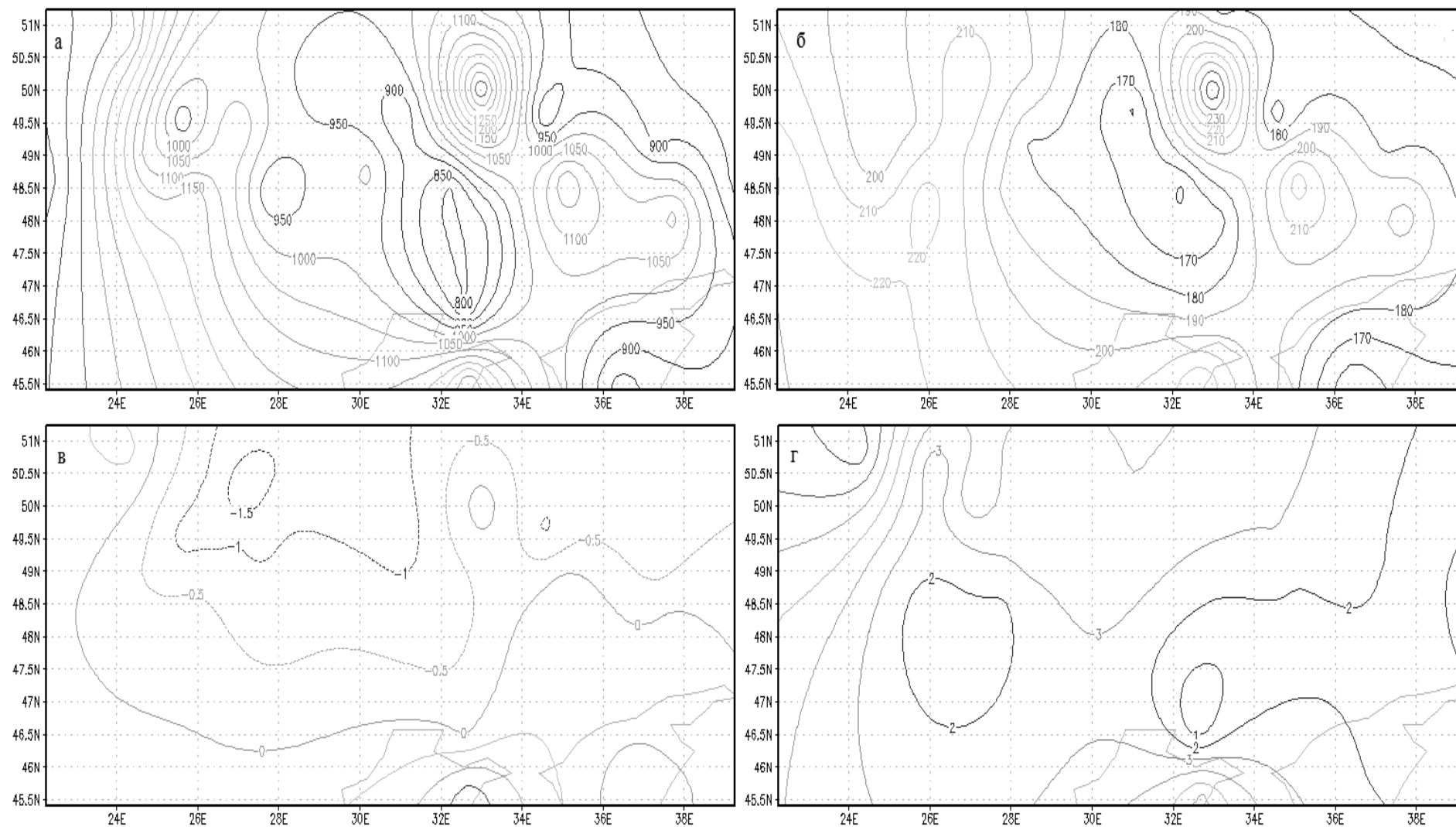


Рисунок 2.8 – Просторово-часовий розподіл максимальних значень (а), середньоквадратичного відхилення (б), коефіцієнтів асиметрії (в) і коефіцієнтів ексцесу (г) кількості всіх опадів в Україні

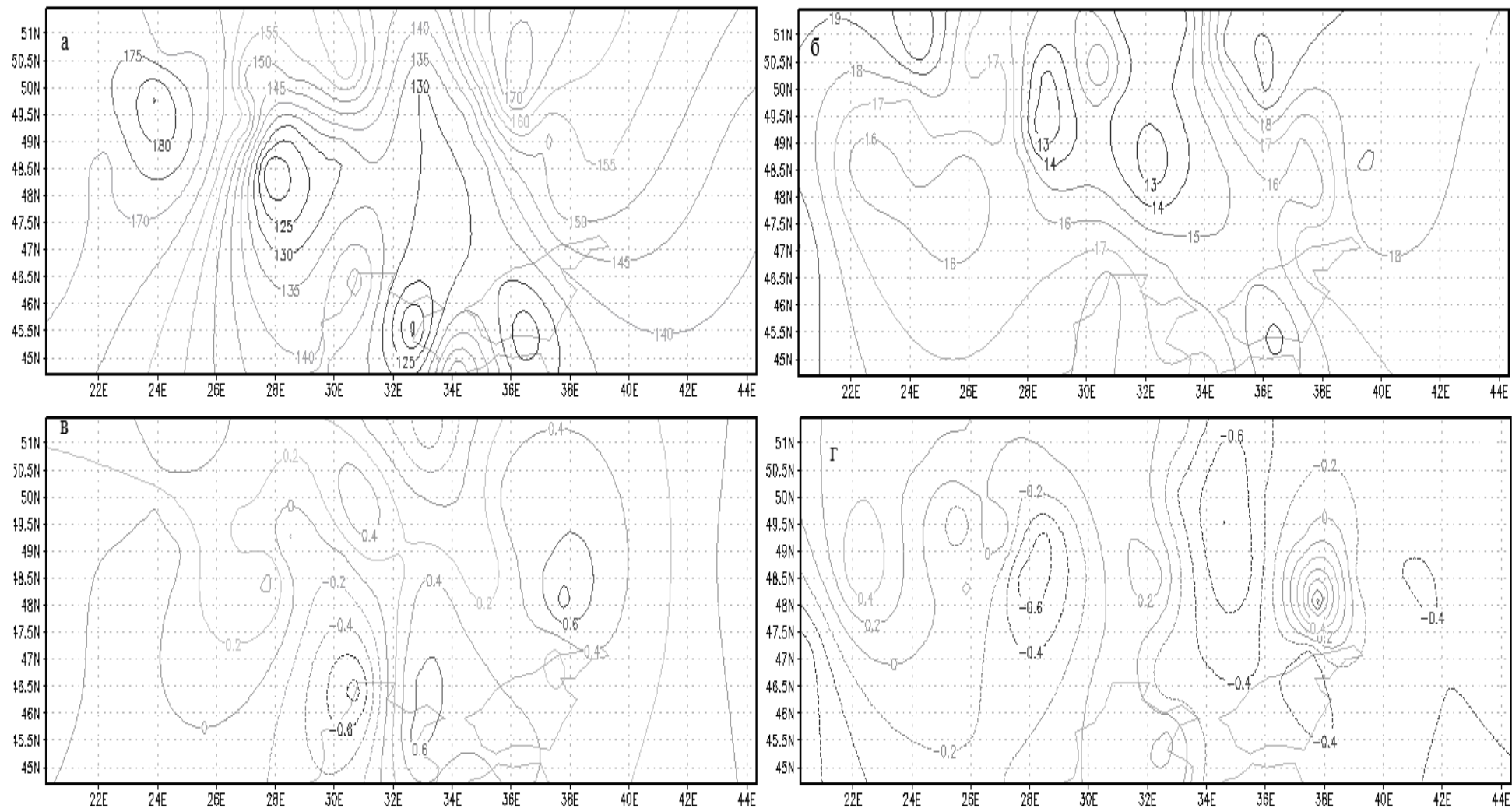


Рисунок 2.9 - Просторово-часовий розподіл максимальних значень (а), середньоквадратичного відхилення (б), коефіцієнтів асиметрії (в) і коефіцієнтів ексцесу (г) числа днів з дощем в Україні

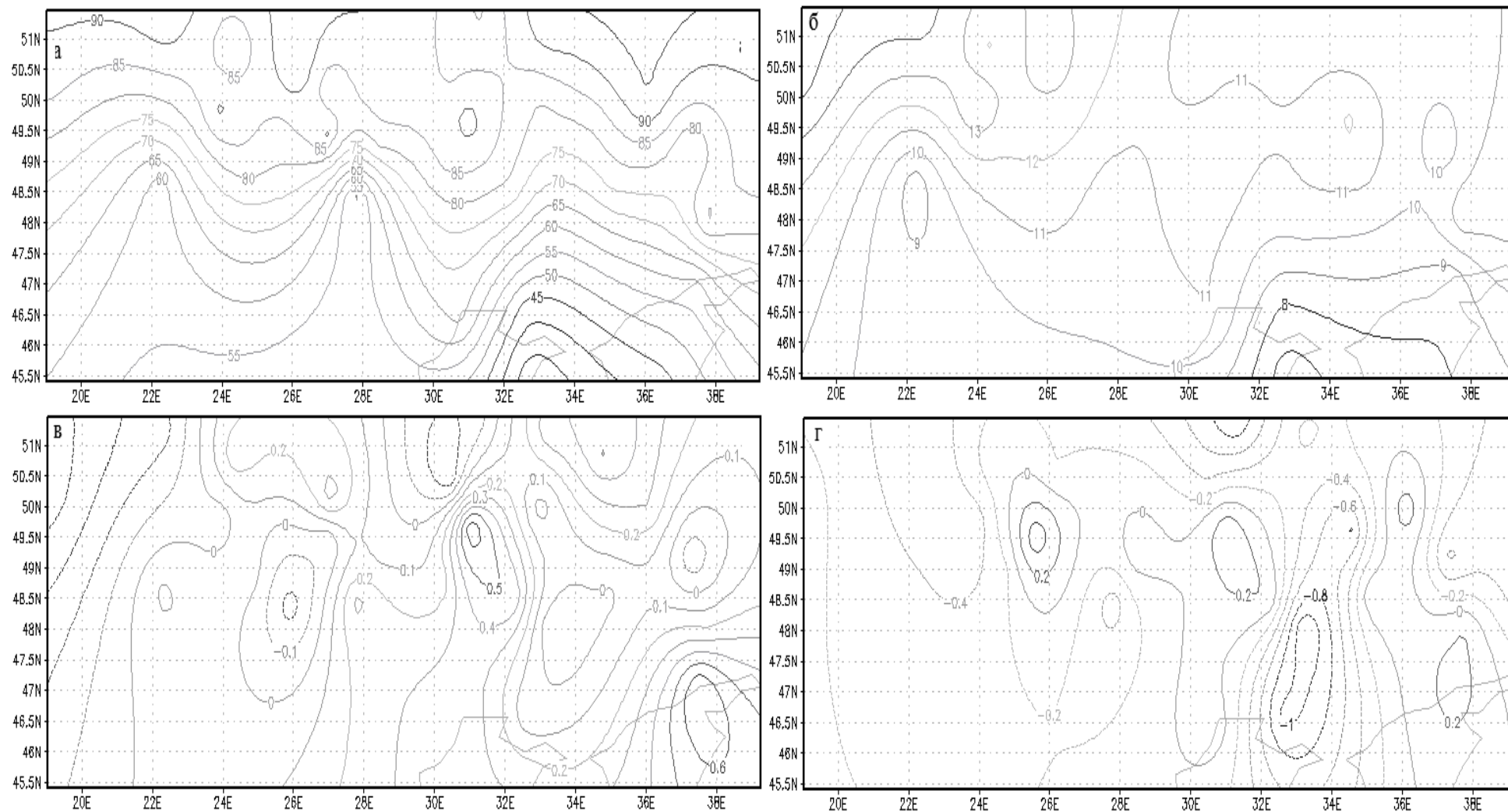


Рисунок 2.10 – Просторово-часовий розподіл максимальних значень (а), середньоквадратичного відхилення (б), коефіцієнтів асиметрії (в) і коефіцієнтів ексцесу (г) кількості днів зі снігом в Україні



Рисунок 2.11 – Повторюваність (%) дуже сильного снігопаду по період 1986-2005 рр.

Для аналізу просторово-часової динаміки повторюваності різних видів опадів на території України були розраховані аномалії. Для цього, весь період спостережень 1971-2010 рр. був розділений на десятирічні періоди, проведено осереднення даних для кожної географічної точки за весь період, і по кожне десятиріччя. Для розрахунку аномалій були використані відхилення середнього значення кількості всіх опадів, числа днів з дощем і снігом для кожній станції за кожне десятиріччя, від багаторічного середнього значення для цієї точки. Розподіл аномалій кількості всіх опадів по період 1971-1980 рр. показав для північної частини України зменшення опадів (зона від'ємних аномалій), для південно-похідної частини характерні додатні значення аномалій, що свідчить про зростання кількості опадів.

Аналіз просторового розподілу числа днів з дощем і зі снігом показав, що зменшення кількості опадів в північних районах України і збільшення їх на південному-поході та на сході відбувається по рахунок рідких опадів (рис. 2.12, 2.13).

В десятиріччя 1981-1990 рр. практично вся територія, представлена великими від'ємними значеннями аномалій і характеризується значним зменшенням опадів (коло -100,0мм), збільшення опадів пофіксовано в районі ст. Ялта (+122мм). Просторовий розподілення числа днів з дощем і снігом по період 1981-1990 рр. показало, що зменшення кількості опадів зумовлено зменшенням числа днів з дощем практично на всій території України і числа днів зі снігом на півдні країни. Десятиріччя 1991-2000 рр. відзначено тенденцією значного збільшення кількості всіх опадів на території України (рис. 2.12).

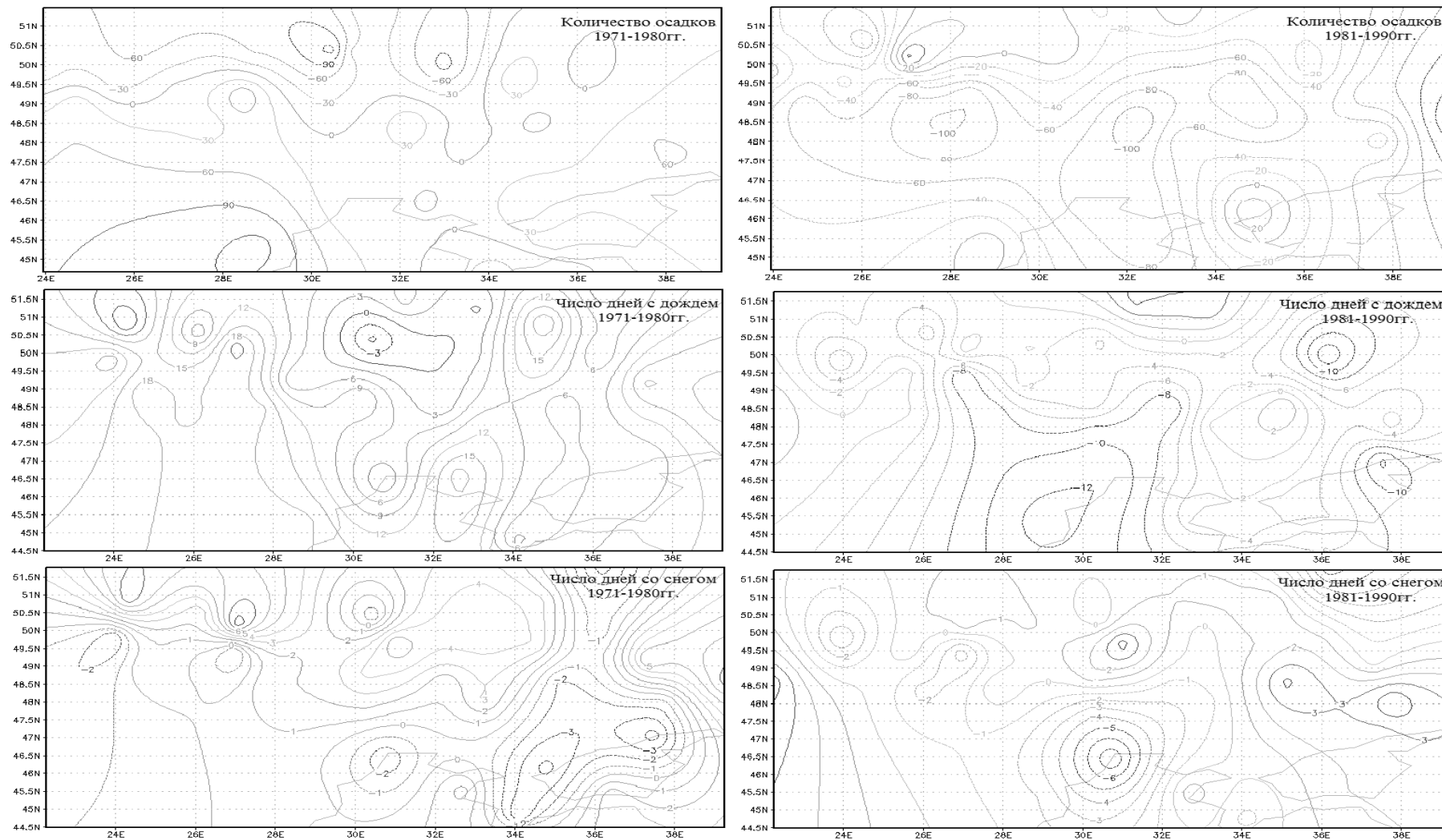


Рисунок 2.12 – Просторовий розподіл аномалій кількості всіх опадів, числа днів з дощем і зі снігом по періоди 1971-1980 рр. і 1981-1990 рр. на території України

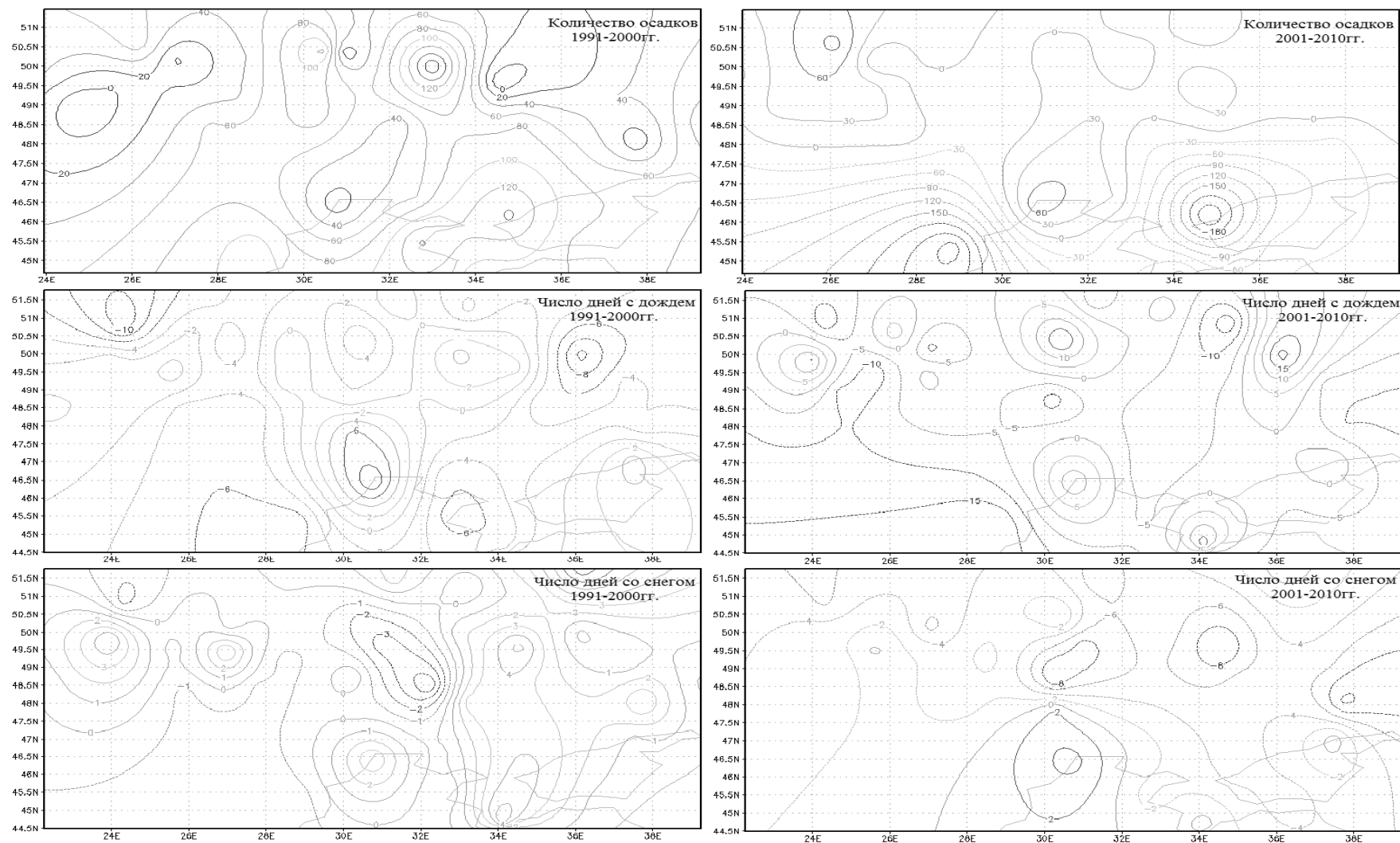


Рисунок 2.13 – Просторовий розподіл аномалій кількості всіх опадів, числа днів з дощем і зі снігом по періоди 1991-2000 рр. і 2001-2010 рр. на території України

Однак ця тенденція відмічена не у всіх районах країни. Так, для району північного Причорномор'я (ст. Одеса) відмічено збільшення числа днів з дощем (+9,9 днів) і зі снігом (+4,1 дня) на фоні зменшення кількості всіх опадів (-6,9 мм), що показує про зменшення інтенсивності опадів. На території Криму збільшення кількості опадів відбувалося за рахунок опадів зимового періоду. В тій же час південно-східна частина регіону (район Азовського моря) характеризувалась збільшенням кількості опадів за рахунок рідких і твердих опадів. В останнє десятиріччя 2001-2010 рр. центральна і північна части території характеризується або нульовим трендом, або незначним зростанням кількості опадів (рис. 2.13). Тільки на узбережжі Азовського і Чорного морів виконується зони з значним падінням кількості опадів. Причому, зменшення кількості опадів на південно-поході регіону пов'язано зі зменшенням числа днів з дощем, а зменшення кількості опадів в районі ст. Генічеськ, пов'язано з зменшення інтенсивності опадів. Пофіксований чітко виражений максимум на ст. Одеса, де спостерігається збільшення числа днів з дощем і з снігом при зростанні кількості всіх опадів (+80,8мм) по зрівнянню з середніми значеннями за весь період.

Це означає, що порівнянні з передуючим десятиріччям відбувається значне зростання кількості опадів на фоні невеликого збільшення числа днів з дощем і снігом, що свідчить про зростання інтенсивності опадів в районі ст. Одеса.

Дослідження В.М. Волощука і інших авторів [18] свідчать про специфічний ефект сезонно-географічного зрівняння атмосферних опадів, яке відбувалося упродовж минулого століття на території України в умовах глобального потепління. Цей ефект проявлявся в тому, що за останні сто років в районах с недостатнім зволоженням (південно-східні області України) їх річна сума суттєво збільшилася, а в районах с надзаходівним зволоженням (північно-похідні області України) – зменшилася. До того ж автори вказують на значний внесок в ці зміни опадів холодного півріччя. Методика нашого дослідження дозволяє одночасно простежити сорокарічну динаміку кількості опадів і повторюваності дощів і снігу на основі аномалій, розрахованих для території усієї України (рис. 2.14).

Як бачимо, до максимальних змін схильна кількість опадів – кожне десятиліття характеризується значними коливаннями (від -7,4 період 1981-1990 рр. до 11,0 період 1991-2000 рр.). Зменшення числа днів з дощем почалося на території України після 1980 року, три останні десятиліття характеризуються від'ємними аномаліями числа днів з дощем. Для числа днів зі снігом тільки останнє десятиріччя відзначене значною від'ємною аномалією (-7,0%).

Отже, виконані дослідження полів статистичних характеристик кількості опадів і повторюваності дощу і снігу на території України по

сорокарічний період покаполи, що зона мінімальних значень кількості опадів розташовується в центральній і південній частині країни (степу і лісостепу) і практично співпадає із зоною мінімальних значень числа днів з дощем, зона максимумів фіксується в похідній частині Карпат на навітряній стороні. Отримане поле позитивних коефіцієнтів асиметрії числа днів з дощем по високий період, підтверджують розраховані аномалії, що свідчать про зменшення числа днів з дощем з 1980 р.

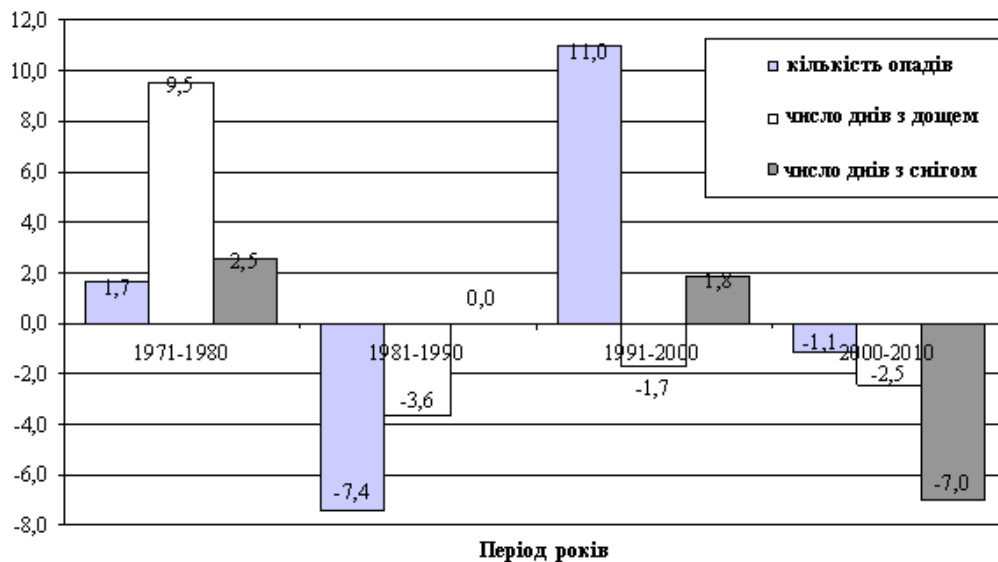


Рисунок 2.14 – Розподілення аномалій (%) кількості всіх опадів і числа днів з дощем і снігом по десятиріччях для території України

Значне зростання кількості опадів в період 1991-2000 рр. пов'язане, більшою мірою, зі збільшенням інтенсивності опадів. Динаміка останнього десятиліття усіх характеристик опадів свідчить про зменшення кількості опадів і числа днів з дощем, але, найголовніше, про значне зниження числа днів з снігом.

Враховуючи, що для степових і лісостепових районів сніговий покрив є основним джерелом зволоження ґрунту, отримані негативні аномалії є основним тривожним сигналом для різних галузей господарства країни.

2.6.2 Грози і град

З численних мезометеорологічних процесів найбільшу роль в атмосфері відіграє конвекція, особливо якщо вона супроводжується утворенням купчастих і купчасто-дощових хмар. Згідно класифікації просторово-часових масштабів атмосферних явищ можна виділити три підгрупи мезомасштабних процесів: α – мезомасштаб (розмір: 200 км – 2000 км, тривалість: до декількох діб); β – мезомасштаб (розмір: 20 км –

200 км, тривалість: від декількох годин до декількох діб); γ – мезомасштаб (розмір: 2 км – 20 км, тривалість: від декількох хвилин до декількох годин. З купчасто-дощовою хмарністю пов'язана значна частка опадів в позаходівних широтах і реалізація таких стихійних явищ погоди, як грози, град, торнадо; вивчення умов утворення потужної конвективної хмарності в період сучасних змін клімату є актуальним питанням. Результати проведених досліджень дозволяють реалізувати адекватні адаптаційні заходи відносно природних і соціально-економічних систем на фактичну або очікувану зміну клімату, які приведуть до мінімізації економічного збитку від небезпечних явищ погоди, пов'язаних з конвективною хмарністю, або використати сприятливі можливості. На території двох країн Росії й України, упродовж декількох десятиліть діють протиградові полігони, технологія активних дій на яких передбачає можливість здійснювати не лише оперативні спостереження за розвитком конвективних процесів, але і значно впливати, шляхом внесення кристалізуючого реагенту в хмари і опади, на їх просторово-часовий розподіл і інтенсивність.

Проблеми, пов'язані з надкороткостроковим прогнозом мезомасштабних явищ, актуальні у всьому світі; у ВМО вони відомі під назвою "Nowcasting" (надкороткостроковий прогноз 2-3 години). При дослідженні конвективних процесів успішно використовуються метеорологічні радіолокатори, як адекватний спосіб для вивчення мезомасштабних систем хмар і мезопроцесів груп β і γ , де β відповідає мезомасштабу 20-200 км, а γ – 2-20 км.

Процес утворення та зростання граду, а також реалізація грозових явищ тісно пов'язаний з тепло і вологовмістом повітряних мас, причому визначальне значення в розвитку конвекції належить нижній тропосфері, яка вмістить основний водопопас і значну нестійкість. Тому, градоутворення пов'язано з розвитком потужної конвективною хмарності, а також внутрішньомасовими процесами, які пов'язані з прогрівом повітряної маси від підстильної поверхні. Більшість випадків реалізації грозо-градових процесів пов'язані з проходженням холодних фронтів з хвилями, під час виходу на територію України південних, південно-похідних та похідних циклонів >50%. Дещо менша частина реалізації грозо-градових процесів пов'язана з внутрішньомасовими процесами. Існує добре виражений добовий хід реалізації грозо-градових процесів в Україні, які часто виникають після полудня (12 – 18 години), що пов'язано з термічним прогрівом.

Проведені раніше дослідження умов створення гроз на території України дозволили виявити поконозаходівності просторово-часового розповсюдження гроз. На більшій частині території, максимум числа днів з грозою фіксується в червні, а в високогірних районах – у липні. На ці місяці припадає більше 50% загального числа днів з грозою за рік. У

серпні число днів з грозою становить 20%, у травні – близько 15%. Швидке зменшення числа гроз відбувається від серпня до вересня та спостерігається подальше їх зменшення від вересня до жовтня, у листопаді грозова діяльність фіксується дуже рідко. Мінімум числа днів з грозою припадає на зимові місяці. Добовий хід грозової активності показав, що найбільш часто грози в Україні виникають після полудня (12 – 18 години) і до ночі загасають. Вночі та в першій половині дня ймовірність їх утворення майже однакова.

Для виявлення просторово-часових закономірностей розвитку мезомасштабних неоднорідностей в дослідженому регіоні використовувалася методика візуалізації даних, отриманих при статистичній обробці досліджуваного матеріалу. Дані кожної станції були підвернуті статистичній обробці; результати розрахунків – максимальні значення, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнти асиметрії, ексцесу були використані для картування.

У розрахунках задіяні бази даних іспанського кліматичного сайту [19] по період 1961-2010 рр., на території країн, які межують з Чорним морем, або що знаходяться на шляху переміщення повітряних потоків до Чорного моря: Україна, Росія, Грузія, Вірменія, Туреччина, Румунія, Болгарія, Греція, Чехія, Польща. Таким чином, дослідження проводилися для території, обмеженої сторонами квадрата від 35° до 53°п.ш. і від 15° до 48° с.д., площею близько 7,3 млн. км².

Просторово-часовий розподіл максимальних значень числа днів з грозою в регіоні характеризується трьома максимумами: перший розташований в районі Карпатських гір; другий - в районі міста Єрewan; третій максимум розташований на узбережжі Іонічного моря. Усі локальні зони максимальних значень повторюваності гроз є гірськими районами, орографічні умови яких характеризуються наявністю низин поряд з гірськими грядками, які зумовлюють висхідні потоки повітря і призводять до формування купчасто-дошової хмарності та інтенсифікації грозових явищ. Виявлені зони максимумів добре ілюструють характерні для регіону траєкторії переміщення насиченого вологою повітря (рис. 2.15, а). Просторово-часовий розподіл середньоквадратичного відхилення числа днів з грозовими явищами в регіоні практично повторює розподіл максимальних значень числа днів з грозою (рис. 2.15, б). Коефіцієнт асиметрії, приведений для усіх випадків з грозою, характеризується лівобічною асиметрією, що свідчить про збільшення числа днів з грозою за досліджений період (рис. 2.15, в). Зони максимальних від'ємних значень коефіцієнтів асиметрії фіксуються в районі Карпат і Донецького кряжа. Переважає сплюснута крива розподілу, що свідчить про великий інтервал повторюваності гроз. Практично усе узбережжя Причорноморського регіону характеризується полем від'ємних значень коефіцієнтів ексцесу

числа днів з грозою, яка у свою чергу є показником нестійкості кількісних характеристик грозової активності (рис. 2.15, г).

Аналіз результатів розрахунків даних про повторюваність граду показав, що максимальне число днів з градом по рік коливається від 0 до 22 днів. Розподіл максимальних значень числа днів з градом в дослідженому регіоні, характеризується декількома максимумами, зумовленими в першу чергу орографічними умовами. Для реалізації градового процесу потрібна підготовлена тропосфера (тепле, насичене вологою повітря, нестійко-стратифікована тропосфера, швидкості вітри у верхній тропосфері, близькі до струминних течій) (рис. 2.16, а).

Весь район дослідження представлений полем додатних значень коефіцієнтів асиметрії числа днів з градом; тобто, для повторюваності граду характерна сильна правостороння асиметрія, що свідчить про зменшення числа днів з градом (рис. 2.16, в). Для коефіцієнта ексцесу характерна витягнута крива розподілу, що свідчить про малий інтервал значень мінливості числа днів з градом по досліджений період (рис. 2.16, г). Відмітимо, що зони максимальних додатних значень коефіцієнтів асиметрії і ексцесу співпадають, що свідчить про стійке зменшення числа днів з градом в цих районах. Подальші дослідження присвячені просторово-часовій динаміці числа днів з грозоградовій діяльністю на території регіону.

Для цього були розраховані аномалії. отримані аномалії числа днів з грозою і градом для кожного десятирічного періоду з 1961 по 2010 рр. Далі усі дані були підсумовуванні і розраховані аномалії на площі усього регіону і території Причорноморського регіону, обмеженої сторонами квадрата 38° - 50° п.ш. і 25° - 45° с.д. з площею близько 3 млн. км². Як бачимо, відбувається стійке зростання повторюваності гроз для усього регіону і для району Причорномор'я (рис. 2.17, а). Для повторюваності граду характерна інша тенденція. Найбільші зміни познає повторюваність граду на території Причорноморського регіону, починаючи з 1971 року, спостерігається стійке зростання числа днів з градом, період 1981-2010 рр. характеризується стійким зниженням повторюваності граду (рис. 2.17, б). В той же час на території усього регіону відзначається додатна або нульова (2000-2010 рр.) динаміка.

Причин різниці в динаміки повторюваності граду може бути декілька. Важливими умовами розвитку потужної атмосферної конвекції, що супроводжується формуванням грозо-градових хмар, являється наявність висотної баричної улоговини, де термічна конвекція посилюється динамічним чинником. Цілком можливо, що причина зменшення числа днів з градом в останнє десятиліття криється в змінах в динаміці верхньої тропосфери, зменшенні швидкості вітру в середній і верхній тропосфері. Крім того, однією з причин може також бути зменшення вологовмісту в тропосфері Причорноморського регіону.

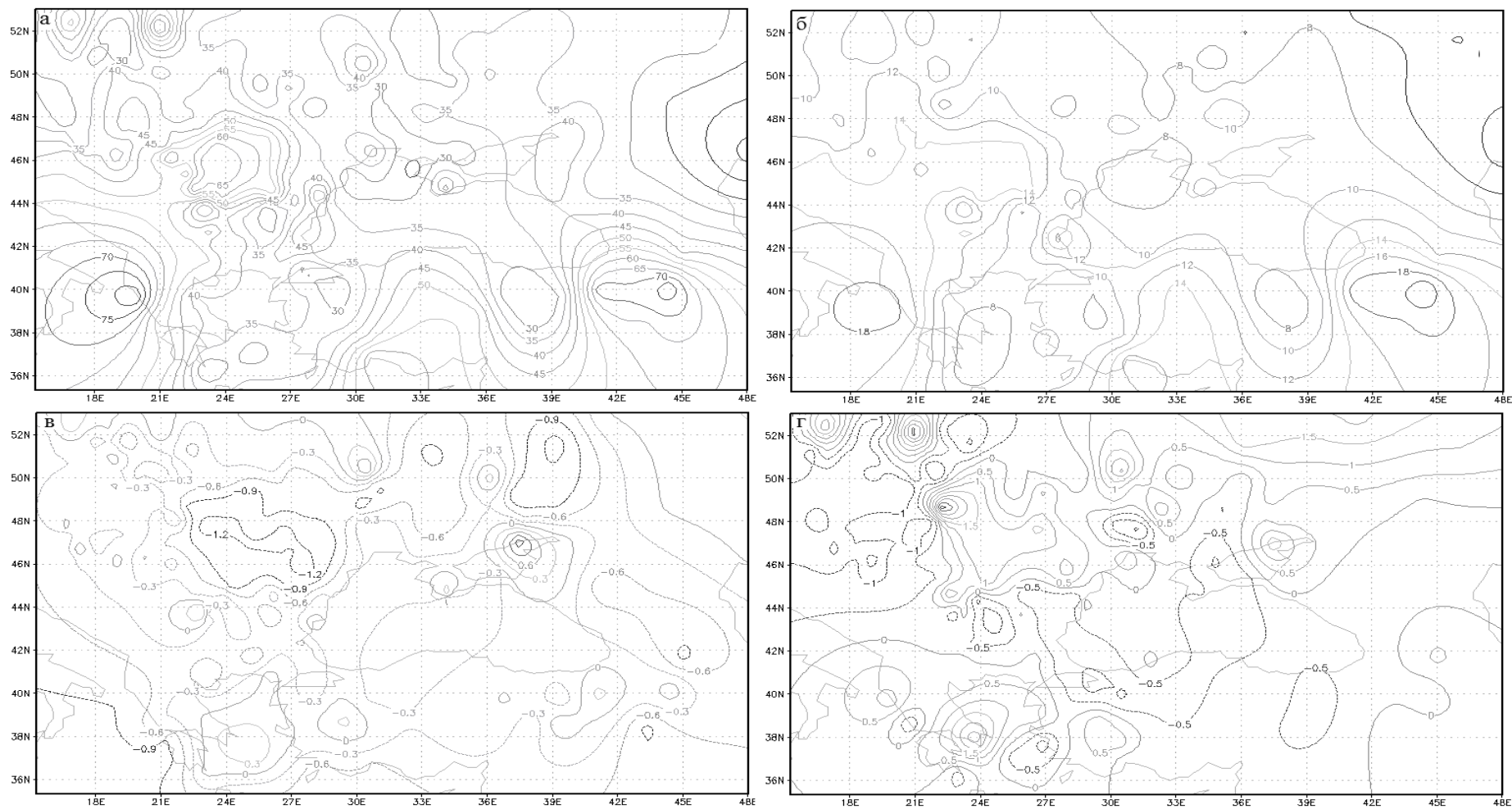


Рисунок 2.15 – Розподіл максимальних значень (а), середньоквадратичного відхилення (б), коефіцієнтів асиметрії (в) і коефіцієнтів ексцесу (г) числа днів з грозою

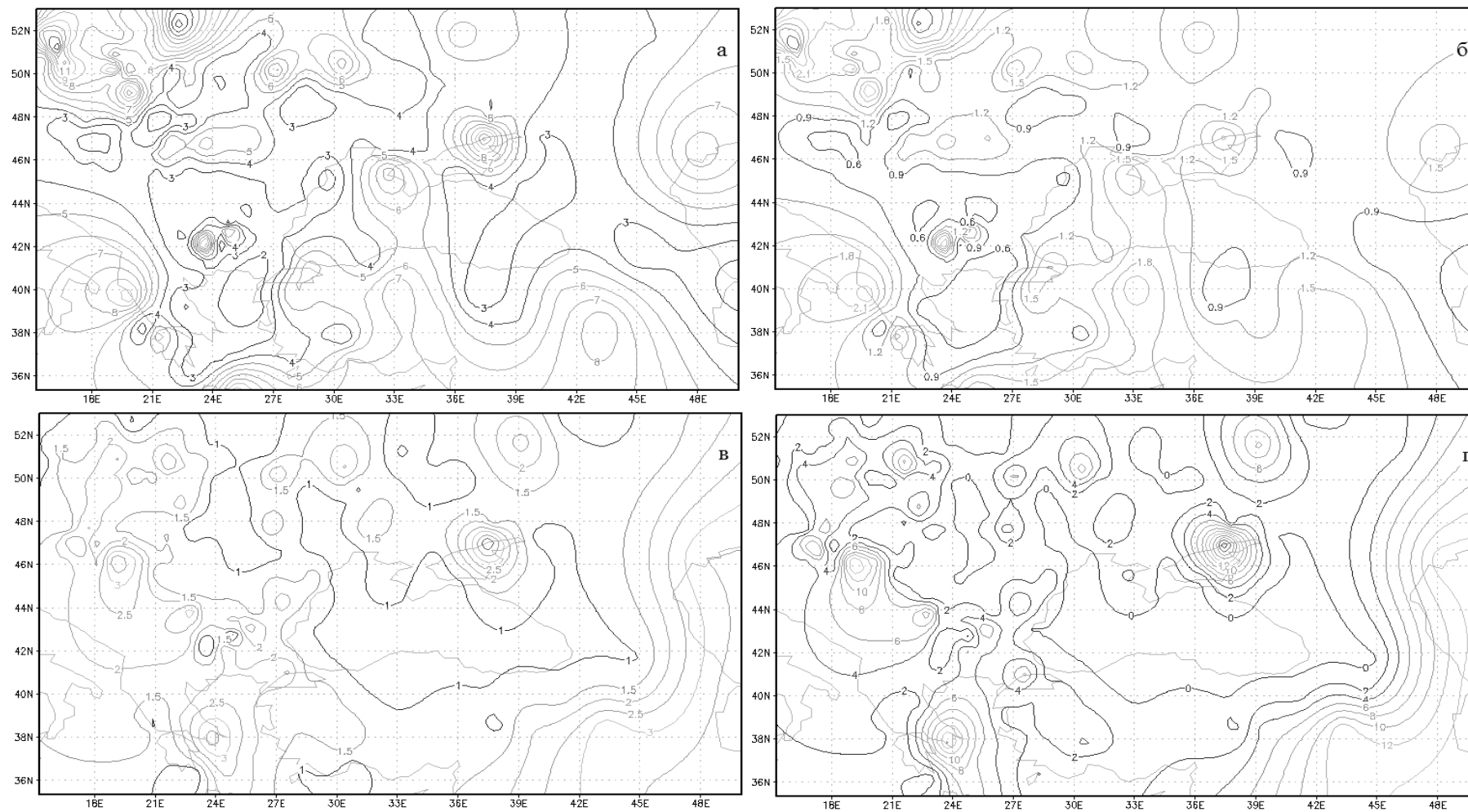


Рисунок 2.16 – Розподіл максимальних значень (а), середньоквадратичного відхилення (б), коефіцієнтів асиметрії (в) і коефіцієнтів ексцесу (г) числа днів з градом

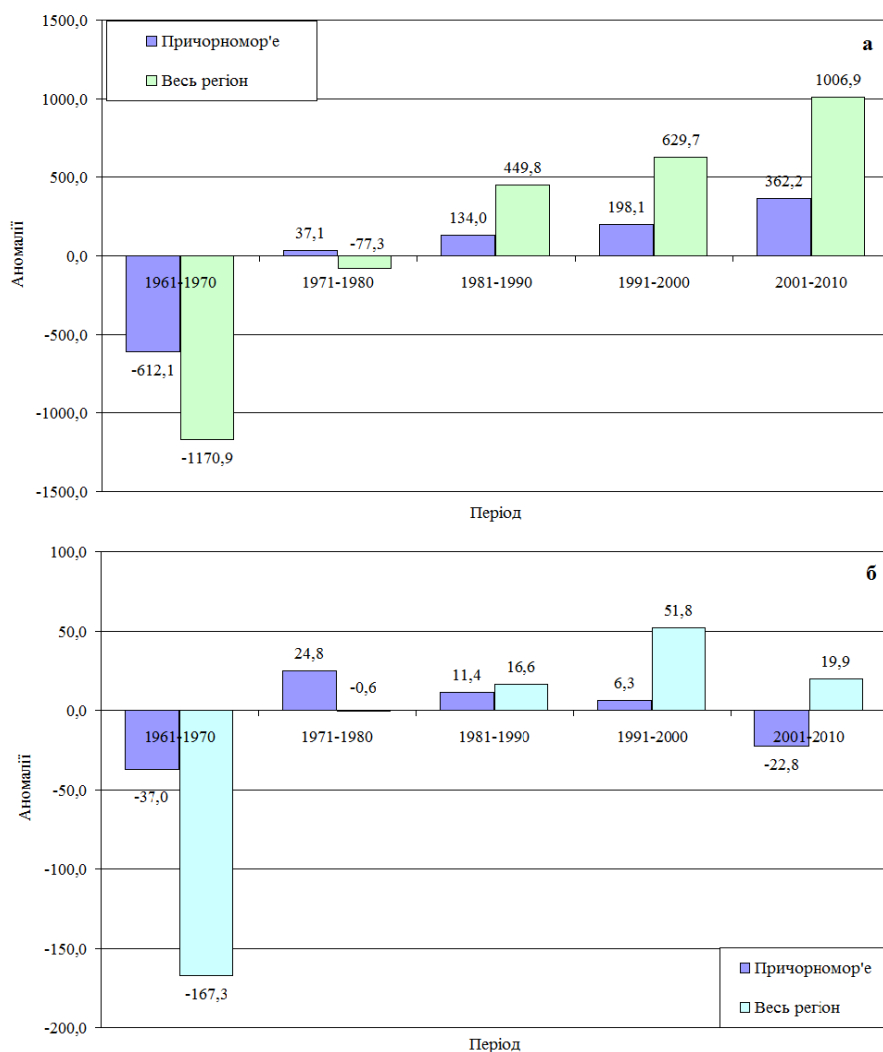


Рисунок 2.17 – Розподіл аномалій (%) числа днів з грозою (а) і градом (б) по десятиріччях

2.6.3 Вітер і явища, пов'язані з ним

Вітер зумовлюється макромасштабними та мікромасштабними атмосферними процесами і характеризується значною мінливістю у часі та просторі. З вітром пов'язані багато процесів і атмосферних явищ, вітер – важливо джерело енергетичних ресурсів території. Одними з найпоширених стихійних метеорологічних явищ є: шквал, смерч, пилова буря, хуртовина, які характеризуються посиленням вітру до максимальної швидкості. Шквали та смерчі частіше спостерігаються у теплий період року, хуртовини – у холодний, пилова буря може відмічатися як у теплий, так й холодний період року. Можливим механізмом утворення шквалів в теплий період року є розвиток в конвективних хмарах при нестійкої стратифікації атмосфери низхідних потоків повітря, які під хмарами переходять в горизонтальний потік.

Шквал (від англ. squall) – раптове різке посилення вітру(більше 5м/с), пов'язане з купчасто-дощовими хмарами. Швидкість вітру при шквалі перевищує 10 м/с (може досягати 20-25 м/с і більше), тривалість – від декількох хвилин до 1-1,5 годин. Шквал часто спричиняє руйнування – ламає дерева, ушкоджує легкі будівлі і т. д. Шквал нерідко супроводжується зливовим дощем і грозою, у ряді випадків – градом, а якщо ґрунт сухий і немає опадів – попорошеною бурею.

Позвичай сильний вітер в середніх широтах пов'язаний з областями великого перепаду атмосферного тиску, спричиненого або активною циклонічною діяльністю (градієнтний вітер), або потужною конвекцією (шквали і смерчі). Найбільшу погрозу представляє шквал (рис. 2.18).

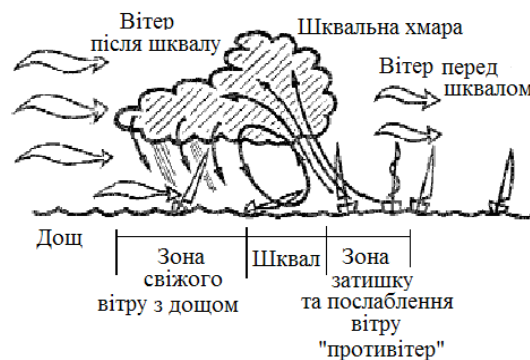


Рисунок 2.18 – Структура шквалу

Розрізняють внутрішньомасові та фронтальні шквали.

Внутрішньомасові шквали пов'язані з потужними хмарами конвекції – купчасто-дощовими хмарами, що виникають в жарку літню погоду над сушею або в холодних нестійких стратифікованих повітряних масах над теплою підстильною поверхнею. Фронтальні шквали пов'язані в основному з холодними атмосферними фронтами, з перед фронтальними купчасто-дощовими хмарами. У обох випадках спостерігається вихровий рух повітря з горизонтальною віссю обертання в хмарах і під ними.

Виділяють орографічні шквали, що виникають в результаті впливу орографії на основні повітряні потоки в атмосфері. До них відносяться, наприклад, бору і фен. У екстремальних випадках фронт шквалу, створений низхідним потоком, може досягти швидкості, що перевищує 50м/с, і приносить руйнування будинкам і посівам. Частіше сильні шквали виникають, коли організована лінія гроз розвивається в умовах сильного вітру на середніх висотах. При цьому по силі руйнувань картина нагадує руйнування, викликані смерчем. Але в смерчах руйнування відбуваються по колу, а грозовий шквал, спричинений низхідним потоком, несе руйнування переважно в одному напрямі. Слідом по холодним повітрям позвичай починається дощ. В деяких випадках дощові краплі повністю

випаровуються під час падіння, що призводить до сухої грози. По супутниковою інформацією шквали визначаються процесі стеження по розвитком купчасто-дощової хмарності. Шквали виникають в передній частині купчасто-дощових хмар. Іноді смуги з купчасто-дощових хмар утворюють лінії шквалів (рис. 2.19).

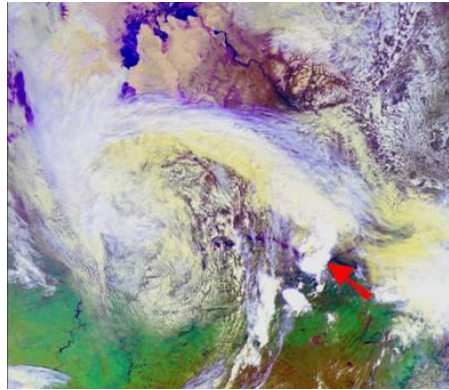


Рисунок 2.19 – Лінія шквалів, по даними РЦПОД, AVHRR/ NOAA, 17.06.2007р., 06.14. GMT

Шквали можуть спричинити в будь-яких місцях України, але найчастіше шквали бувають у степовій, лісостеповій зоні та Поліссі. Це різке короточасне (хвилини і десятки хвилин) посилення вітру, іноді до 30-40 м/с зі зміною його напрямку, найчастіше це явище спостерігається під час грози.

Штормовий (шквальний) вітер на території України спостерігається дуже часто, а його швидкість буває, в основному, від 20 до 29 м/с, а іноді і більше 30м/с. У гірських масивах Криму і Карпат, похідних і північно-похідних областях країни швидкість вітру досягає 40 м/с. Шквалонебезпечна ситуація може виникнути на всій території України. Шквали мають яскраво виявлений добовий хід. Радіолуна купчасто-дощової хмарності з градом і грозами у вигляді смуги (лінії), яка переміщуються зі швидкістю більш 60 км/год., добре пов'язане з шквалом у поверхні землі. Смуги можуть складатися з ізольованих або неізольованих осередків радіолуни конвективних хмар. Вони можуть постійно зазнавати змін та зберігатися тривалий час. Якщо витягнутість осередків виражена чітко, то з ними будуть пов'язані більш небезпечні явища. Смуги шквалів можуть складатися з декількох паралельних пасом, а найбільш інтенсивні явища розвиваються на перетині смуг, вздовж яких пересуваються пасма. Першою ознакою шквальної смуги на ІКО являється смуга з декількома осередками радіолуни, віддаленими між собою на велику відстань – декілька кілометрів. Протягом часу інтервали між окремими осередками радіолуни поповнюються, і смуга починає спостерігатися більш чітко. У цей час відбувається формування грозових

осередків, надалі, смуга підтримується по рахунок розвитку нових грозових осередків. Протяжність смуги може бути дуже великою, до декілька сотень кілометрів. Шквал може попереджати не тільки смуги, але і велику ізольовану радіолуну конвективної хмари з великими значеннями висоти і відбиваності. Один раз у 3-5 років шквали виникають у Вінницькій, Волинській, Дніпропетровській, Донецькій, Житомирській, Кіровоградській, Київській, Одеській, Львівській, Харківській, Херсонській областях та на території Криму (рис. 2.20).



Рисунок 2.20 – Повторюваність (%) шквалу по період 1986-2005рр.

Найбільша кількість пунктів (більше 10), де спостерігалися смерчі, розташована на сході Житомирської, півдні Київської, поході Черкаської, північному сході Вінницької областей (рис. 2.21).

Сильна пилова буря – зумовлена перенесенням сильним вітром (≥ 15 м/с) у період тривалого бездощів'я значної кількості пилу, що спричиняє значне погіршення видимості. Утворення, інтенсивність, тривалість, повторюваність пилових бур залежать не лише від синоптичних умов, а й від загальної шорсткості території та багатьох інших чинників. Для виявлення динаміки повторюваності пилових бур біло проведено порівняння просторово-часових характеристик кліматологічної стандартної норми (1961-1990 рр.) кількості днів з пиловою бурею за рік з кліматологічною нормою (1936-1965рр.) (рис. 2.22). Отже, за останні двадцять років відбувається зменшення кількості пилових бур і площі їх поширення.

Проведемо дослідження просторово-часових змін розподілу швидкості вітру в тропосфері на території Причорноморського регіону за чотири десятиріччя. Для цього розрахуємо аномалії швидкості вітру для кожної станції на всіх ізобаричних поверхнях для всіх місяців теплого періоду року (табл. 2.4).



Рисунок 2.21 – Розподіл смерчів на території по рік

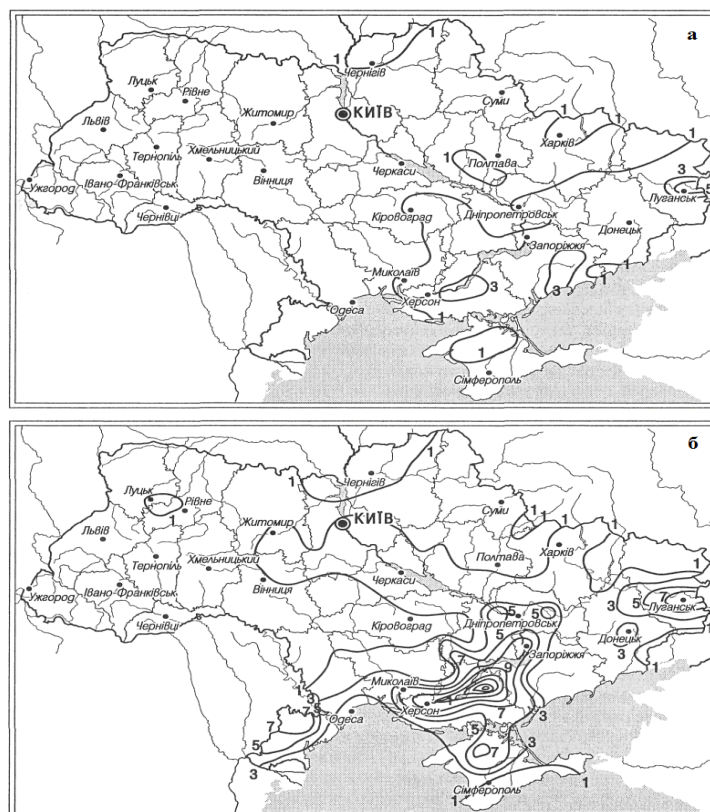


Рисунок 2.22 – Кількість днів з пиловою бурею по період 1961-1990рр. (а); по період 1936-1965рр. (б)

В даному випадку ми використовували відхилення середнього значення швидкості вітру (м/с) для даної станції по кожне десятиріччя від багаторічного середнього значення швидкості вітру для цієї точки.

Таблиця 2.4 - Аномалії швидкості вітру на всіх ізобаричних поверхнях по теплий період року по десятиріччями

Місяць	1973-1982рр.						1983-1992рр.						1993-2002рр.						2003-2012рр.					
	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300
Львів																								
Квітень	-1,7	0,7	1,6	1,4	1,3	2,2	1,3	0,0	0,4	-0,1	-0,3	0,4	0,9	0,0	-0,7	0,2	0,6	-1,3	-0,4	-0,7	-1,2	-1,5	-1,7	-1,3
Травень	-1,3	0,8	-0,7	1,9	2,8	3,1	1,2	-0,2	-1,5	-0,6	-1,3	-1,5	0,4	-0,6	0,2	-1,7	-2,0	-2,1	-0,3	0,1	8,3	0,5	0,5	0,5
Червень	-1,3	-0,1	0,1	0,5	0,2	0,4	0,9	-0,8	-1,0	-1,2	-1,1	-1,8	0,8	0,6	0,7	0,0	-0,3	-0,1	-0,4	0,3	0,3	0,7	1,1	1,6
Липень	-1,0	1,1	1,3	2,0	1,8	2,8	0,5	-0,9	-1,2	-1,6	-1,9	-2,8	0,8	-0,1	0,3	-0,1	-0,3	-0,6	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	0,5	0,6
Серпень	-1,0	-1,0	-0,6	-1,0	-2,3	-2,5	1,1	-0,3	-0,6	-0,2	0,7	0,4	0,3	0,1	0,0	0,7	0,7	0,3	-0,4	1,2	1,3	0,4	0,8	1,8
Вересень	-1,4	0,0	0,7	2,3	1,9	2,2	1,7	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	0,1	-0,6	-0,9	-1,3	-1,1	-1,6	-0,5	-0,4	-1,2	-2,4	-2,3	-2,4
Теплий п.	-1,2	0,5	1,2	1,5	1,3	1,8	1,1	-0,2	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	0,4	-0,6	-1,0	-0,9	-0,9	-1,5	-0,3	0,3	0,2	-0,1	0,2	0,5
Бухарест																								
Квітень	0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-1,3	-2,8	0,3	1,2	0,0	-0,4	-0,8	-1,3	-1,5	0,1	0,8	0,8	1,8	2,3	0,8	-0,7	-0,3	0,0	0,3	1,7
Травень	0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,1	-0,2	0,5	1,7	1,1	2,1	1,5	1,2	-1,4	-0,4	0,0	-0,8	-0,8	-0,8	0,5	-0,8	-0,6	-0,9	-0,6	-0,2
Червень	1,1	-0,1	-0,3	-0,7	-0,2	-0,6	-0,8	0,5	1,0	1,8	2,1	2,6	-1,3	-0,2	-0,2	0,5	0,2	0,3	0,9	-0,2	-0,6	-1,6	-2,1	-2,3
Липень	0,0	0,2	1,4	2,1	2,4	2,3	-0,7	-0,2	-0,1	-1,4	-1,8	-2,0	-0,8	-0,2	-0,5	-0,1	-0,4	-0,2	1,5	0,3	-0,9	-0,5	-0,3	-0,1
Серпень	0,9	0,0	-0,1	0,2	0,8	0,7	-0,7	-0,3	0,2	0,2	-0,1	-0,1	-1,4	-0,2	-0,2	-0,5	-1,2	-1,0	1,2	0,4	0,1	0,0	0,5	0,5
Вересень	-0,6	-0,4	-0,4	-1,3	-2,3	-2,6	-1,1	-0,2	-0,3	0,3	1,6	0,1	-0,9	0,7	1,0	1,1	1,0	1,7	2,6	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3	0,8
Теплий п.	0,4	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,1	-1,2	0,0	0,2	0,2	0,1	0,4	1,3	-0,2	-0,4	-0,5	-0,4	0,1
Стамбул																								
Квітень	-0,1	0,2	0,6	0,5	0,0	0,1	-0,4	0,3	0,0	-0,4	-0,2	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	0,1	0,1	-0,7	1,0	0,3	0,0	-0,2	0,0	1,4
Травень	0,4	0,3	0,7	1,8	2,1	2,4	-0,1	0,6	1,2	1,3	1,4	1,3	-0,1	-0,3	-0,2	-1,6	-2,0	-3,1	-0,2	-0,5	-1,7	-1,5	-1,5	-0,5
Червень	0,6	0,8	1,3	-0,6	1,6	-0,1	-0,2	0,8	0,1	0,1	0,0	0,6	0,0	-0,2	-0,2	0,5	-0,7	-1,2	-0,4	-1,4	-1,1	0,0	-0,9	0,7
Липень	0,9	0,3	2,5	1,7	2,9	4,8	0,6	0,0	-0,5	0,5	-0,3	-0,3	-0,7	-0,3	-0,5	-0,9	-0,5	-1,3	-0,8	0,0	-1,5	-1,3	-2,1	-3,2
Серпень	0,4	0,5	0,7	0,3	0,8	0,0	0,6	-0,1	-0,1	-0,5	-0,7	-0,3	-0,4	-0,2	-0,5	-1,5	-1,4	-2,6	-0,6	-0,3	-0,1	1,6	1,3	2,8
Вересень	-0,1	1,2	0,2	0,0	0,3	1,2	0,1	-0,3	-0,2	0,3	-0,7	-0,4	-0,1	-1,2	0,5	1,1	1,2	0,2	0,1	0,3	-0,5	-1,5	-0,8	-1,0
Теплий п.	0,4	0,5	1,0	0,6	1,3	1,4	0,1	0,2	0,1	0,2	-0,1	0,0	-0,3	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5	-1,5	-0,2	-0,3	-0,8	-0,5	-0,6	0,0

Продовження таблиці 2.4

Місяць	1973-1982рр.						1983-1992рр.						1993-2002рр.						2003-2012рр.					
	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300
Київ																								
Квітень	0,1	0,5	1,4	1,9	2,1	1,0	0,2	0,2	-0,2	-0,9	-1,3	-0,4	-0,1	0,0	-0,4	0,1	-0,9	-0,9	-0,2	-0,7	-0,8	-1,1	0,1	0,3
Травень	0,8	0,2	0,5	1,0	1,2	1,5	-0,1	-0,3	-0,7	-1,6	-1,9	-2,2	-0,5	-0,2	0,0	0,1	0,7	0,5	-0,2	0,3	0,1	0,4	-0,1	0,2
Червень	1,0	0,3	0,3	0,9	0,9	-0,6	-0,3	-0,3	-0,8	-1,7	-1,5	-1,2	-0,5	0,1	-0,4	-0,6	-0,6	-0,1	-0,2	0,0	0,9	1,4	1,2	1,9
Липень	0,0	0,3	0,2	0,6	0,4	0,3	0,1	0,4	0,6	0,0	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	-0,4	-0,3	0,2	-0,3	0,0	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	0,3
Серпень	0,6	0,3	0,1	-0,5	-0,8	-1,2	-0,3	0,0	0,4	0,6	0,8	1,2	-0,1	-0,3	-0,1	0,2	0,1	0,2	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	-0,1	-0,1
Вересень	-0,5	-0,7	-0,6	-0,8	-1,1	-2,5	0,6	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	-0,1	0,3	0,1	0,4	0,5	1,3	0,0	-0,9	-1,0	-1,0	-0,6	-0,1
Теплий п.	0,3	0,1	0,3	0,5	0,5	-0,3	0,0	0,2	0,1	-0,4	-0,5	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,1	0,1	0,4
Одеса																								
Квітень	0,0	0,3	1,0	1,5	1,3	2,4	-0,1	0,1	-0,6	-0,4	0,2	-0,3	0,3	-0,2	0,2	0,2	0,1	0,4	-0,2	-0,1	-0,6	-1,4	-1,5	-2,4
Травень	0,7	0,3	-0,3	-0,1	0,6	1,8	-0,2	-0,4	-0,4	0,0	0,2	-0,5	0,3	0,5	1,2	1,0	0,8	0,7	-0,7	-0,3	-0,5	-0,8	-1,6	-2,0
Червень	-0,1	0,0	0,2	0,4	0,9	1,0	-0,1	-0,1	-0,5	-0,7	-0,8	-1,8	0,6	0,5	0,4	0,8	1,0	0,6	-0,4	-0,3	-0,1	-0,5	-1,2	0,3
Липень	-0,2	0,3	0,2	-0,4	-0,3	0,3	0,4	-0,2	0,7	0,4	0,4	0,2	0,1	0,0	0,3	0,8	1,0	1,1	-0,4	-0,1	-1,2	-0,8	-1,1	-1,6
Серпень	0,2	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,4	-0,3	-0,1	0,6	0,6	0,3	-0,4	0,4	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,4	-0,3	0,4	0,3	0,2	0,5	1,4
Вересень	0,4	-0,3	-1,0	-1,1	-0,9	-0,9	-0,2	0,5	0,5	1,1	1,2	1,9	0,2	0,2	0,4	1,5	1,8	2,1	-0,4	-0,3	0,0	-1,5	-2,1	-3,1
Теплий п.	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,8	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2	-0,2	0,3	0,1	0,3	0,6	0,7	0,6	-0,4	-0,1	-0,3	-0,8	-1,2	-1,2
Анкара																								
Квітень	0,8	-0,1	0,2	2,0	1,5	2,5	0,1	0,6	-0,1	-1,3	-1,5	-2,0	-0,4	-0,5	0,3	-0,1	0,5	-0,2	-0,5	0,0	-0,4	-0,6	-0,5	-0,3
Травень	0,5	0,1	0,4	1,2	1,5	2,5	0,2	0,6	0,1	0,6	0,7	0,9	-0,3	-0,2	0,6	-0,6	-0,8	-2,0	-0,4	-0,5	-1,1	-1,2	-1,4	-1,4
Червень	1,1	0,9	0,7	1,0	1,0	1,5	-0,2	-0,3	0,3	0,2	1,1	1,0	-0,6	-0,5	-0,2	-0,8	-1,8	-2,3	-0,3	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3
Липень	0,8	0,7	0,0	1,6	2,4	2,2	0,1	0,5	0,4	0,1	0,4	0,2	-0,5	-1,1	-0,1	-0,9	-1,5	-1,8	-0,4	-0,1	-0,3	-0,8	-1,4	-0,6
Серпень	0,6	0,4	0,5	2,4	4,7	6,1	-0,1	0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,4	-0,2	-0,6	-0,3	-1,0	-2,1	-1,0	-0,3	0,0	-0,1	-1,4	-2,7	-4,7
Вересень	0,4	0,6	0,1	0,6	1,9	2,3	0,0	-0,2	-0,8	-1,1	-1,2	0,1	-0,5	-0,5	1,3	1,6	0,7	-0,8	0,1	0,0	-0,6	-1,1	-1,4	-1,6
Теплий п.	0,7	0,4	0,3	1,5	2,2	2,9	0,0	0,2	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,4	-0,5	0,3	-0,3	-0,8	-1,4	-0,3	-0,1	-0,5	-0,9	-1,3	-1,5

Продовження таблиці 2.4

Місяць	1973-1982рр.						1983-1992рр.						1993-2002рр.						2003-2012рр.					
	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300
Харків																								
Квітень	0,5	0,2	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,0	-0,7	-1,4	-1,8	-2,3	0,0	0,6	0,8	1,4	1,1	1,4	-1,2	-0,8	-0,7	-0,5	0,1	0,3
Травень	1,4	0,8	0,8	1,0	0,9	1,1	0,4	-0,7	-1,4	-1,8	-2,5	-3,3	-0,7	-0,1	0,0	0,3	1,4	1,5	-1,1	0,0	0,5	0,5	0,2	0,7
Червень	0,9	0,0	0,0	0,2	-0,1	0,0	0,9	0,0	-0,3	-1,5	-2,0	-2,1	-1,0	0,4	0,3	0,3	-0,3	-0,2	-0,9	-0,4	0,0	1,1	2,3	2,3
Липень	0,9	0,4	0,5	1,0	1,5	1,8	0,9	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	-0,7	-0,3	-0,8	-1,3	-1,4	-1,9	-1,1	-0,4	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3
Серпень	0,8	0,3	0,6	0,8	1,3	1,9	0,7	-0,1	0,2	0,9	1,1	0,4	-0,9	-0,4	-0,2	-0,6	-0,6	0,0	-0,5	0,2	-0,6	-1,1	-1,8	-2,3
Вересень	0,5	-0,6	-0,7	-1,0	-1,2	-2,5	1,0	0,4	1,0	1,4	1,2	1,3	-0,9	-0,3	-1,1	-1,5	-1,2	-1,3	-0,6	0,5	0,8	1,1	1,2	2,6
Теплий п.	0,8	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,8	-0,1	-0,2	-0,4	-0,7	-1,0	-0,7	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	-0,9	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,4
Туапсе																								
Квітень	0,4	-0,2	0,8	0,6	0,9	0,1	0,4	0,7	0,7	1,0	0,8	1,3	0,9	1,1	2,2	3,1	2,1	3,2	0,7	1,2	-0,2	0,3	1,7	2,7
Травень	-0,5	0,8	1,1	2,4	2,2	2,9	0,6	1,3	1,2	1,1	1,7	1,8	0,5	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-0,5	0,3	0,0	0,2	-0,1	0,3	0,1
Червень	0,4	-0,1	0,5	0,9	1,2	0,6	0,2	0,3	1,2	1,4	1,7	2,7	0,5	0,1	0,5	1,0	1,9	1,1	-0,1	1,6	-0,2	-0,3	-0,6	0,4
Липень	2,3	0,5	0,7	0,4	0,9	1,4	-0,5	0,7	0,9	1,6	2,4	3,3	0,0	0,4	0,0	1,6	0,7	3,1	-0,9	0,1	0,2	-0,1	-0,2	-1,2
Серпень	0,7	0,4	0,0	0,8	1,1	2,6	0,3	1,3	1,3	1,5	1,5	3,0	-0,1	-0,6	-0,9	-1,3	-1,3	-1,7	-0,2	0,1	0,9	1,2	1,7	0,6
Вересень	-0,8	0,5	0,3	1,3	1,6	3,3	1,8	0,2	0,2	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,0	-0,6	0,7	1,2	0,4	0,9	0,5
Теплий п.	0,5	0,3	0,6	1,4	1,7	1,9	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,8	0,4	0,3	0,7	1,1	1,0	1,5	-0,3	1,0	0,6	0,3	0,8	0,7
Ростов-на-Дону																								
Квітень	0,9	-1,7	-0,8	-0,2	0,2	-0,7	0,2	0,7	-0,2	-0,9	-0,6	-0,4	-0,1	1,0	1,1	1,3	0,9	0,7	-0,9	-0,1	-0,1	-0,2	-0,5	0,4
Травень	1,2	1,0	1,5	0,6	0,6	1,2	-0,7	-0,9	-1,4	-0,7	-1,0	-0,5	0,0	0,6	0,8	0,9	1,1	0,5	-0,4	-0,7	-0,8	-0,9	-0,7	-1,1
Червень	0,4	-0,2	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	-0,3	0,0	-0,4	-0,7	0,1	0,3	0,9	0,4	-0,1	-0,2	-1,7	-0,7	-0,4	-0,3	0,6	0,9	1,8
Липень	0,0	-0,1	1,0	1,0	1,5	1,8	0,0	-0,3	1,0	1,0	1,3	2,8	0,4	0,1	-1,6	-1,6	-2,1	-2,6	-0,4	0,3	-0,4	-0,4	-0,7	-2,1
Серпень	1,0	0,2	1,6	2,7	4,3	5,9	-0,1	-0,4	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,2	-1,1	-0,9	-1,3	-2,2	-0,3	0,3	-0,5	-1,6	-2,7	-3,3
Вересень	0,1	0,3	0,0	-0,7	-1,1	-1,1	0,1	-0,4	0,5	1,3	1,8	2,0	0,0	0,5	-0,1	0,2	0,0	0,4	-0,1	-0,3	-0,4	-0,8	-0,8	-1,3
Теплий п.	0,6	-0,1	0,5	0,6	0,9	1,2	-0,1	-0,3	-0,2	0,0	0,1	0,6	0,0	0,5	0,1	0,0	-0,3	-0,8	-0,5	-0,1	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9

Продовження таблиці 2.4

Місяць	1973-1982рр.						1983-1992рр.						1993-2002рр.						2003-2012рр.					
	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300
Дивне																								
Квітень	1,4	-0,9	0,1	0,2	1,0	1,2	-0,4	-0,6	-0,7	-1,2	-1,4	-1,3	0,5	0,9	0,5	-0,3	-0,9	-0,6	-1,5	0,6	0,0	1,3	1,3	0,7
Травень	0,3	0,2	-0,3	-0,3	-1,0	-1,3	0,4	0,5	0,0	-0,4	-0,6	-1,0	0,2	-0,3	0,3	0,1	0,5	1,2	-1,0	-0,4	0,0	0,6	1,0	1,0
Червень	0,6	-0,1	0,1	0,0	-0,3	-1,4	-0,1	0,2	0,5	0,3	0,3	0,1	0,0	0,2	0,1	-0,3	-0,7	-1,0	-0,6	-0,2	-0,7	0,0	0,7	2,2
Липень	0,6	0,2	2,6	1,9	1,9	3,8	0,6	-0,2	-0,3	0,9	1,5	2,6	-0,4	0,7	-0,7	-1,4	-1,9	-4,3	-0,8	-0,6	-1,5	-1,4	-1,5	-2,0
Серпень	0,3	-1,2	0,0	1,0	2,2	2,3	0,3	0,5	0,5	1,5	1,2	1,1	-0,1	-0,6	-0,6	-1,0	-1,1	-1,7	-0,4	1,3	0,1	-1,6	-2,2	-1,6
Вересень	0,7	0,8	-1,0	-2,2	-1,6	-1,5	-0,2	-0,3	0,7	1,2	1,4	1,3	0,3	-0,4	0,1	1,0	0,6	0,6	-0,8	-0,1	0,2	0,0	-0,5	-0,4
Теплий п.	0,6	-0,2	0,2	0,0	0,3	0,5	0,1	0,0	0,1	0,4	0,3	0,4	0,1	0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,7	-0,9	0,1	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1

В таблиці жирним шрифтом та курсивом показані від'ємні значення аномалій швидкості вітру, максимальні від'ємні значення аномалій виділені червоним кольором, а зеленою поливкою – максимальні додатні значення аномалій, причому, максимальні значення виділялись більш ніж $|A| \geq 2,0$.

Аналіз розрахованих значень аномалій швидкості вітру показав, що для всього регіону характерною особливістю є зменшення швидкості вітру на всіх поверхнях та у всіх місяцях теплого періоду року. Єдиною станцією, яка менш за все зазнала цієї тенденції є ст. Туапсе, де пофіксовані максимальні швидкості вітру на всіх рівнях.

Особливо в останній десятирічний період 2003-2012 рр. практично на всіх станціях у всі місяці та на всіх рівня яскраво виражено падіння значень швидкості вітру.

Максимальне зменшення швидкості вітру спостерігається у середній та, особливо, у верхній тропосфері (400-300 гПа). Аналіз аномалій показав, що збільшення швидкості вітру на поверхнях спостерігається вкрай рідко.

Проаналізуємо просторовий розподіл аномалій швидкості вітру біля поверхні землі та на рівні провідного потоку за десятиріччями, для всього теплого періоду року (рис. 2.23, 2.24). Біля поверхні землі на початку дослідженого періоду с 1973-1982рр. спостерігається малоградієнтне поле незначних додатних аномалій, тільки на північному заході регіону з'являється зона від'ємних аномалій (рис. 2.23).

В період 1983-1992рр. виконується зона від'ємних аномалій в районі ст. Бухарест, яка в наступному періоді посилюється. Також в період 1993-2002 рр. виконується друга зона від'ємних аномалій в районі ст. Київ. В останньому десятиріччі картина розподілу аномалій значно змінюється. Для похідної частини регіону характерна зона додатних аномалій з великими горизонтальними градієнтами.

Просторовий розподіл аномалій швидкості вітру на рівні провідного потоку представлений на рис. 2.24. В період 1973-1982рр. все поле дослідженого регіону представлено додатними аномаліями з мінімумом на ст. Бухарест. В наступному десятиріччі 1983-1992рр. вже практично весь регіон представлений полем від'ємних аномалій, на фоні якого сформувалися дві зони додатних аномалій в районі ст. Бухарест та друга з центром в районі ст. Туапсе. В період 1993-2002рр. ці дві зони об'єднуються та утворюють витягнуту область додатних аномалій над Чорним морем. В останньому десятиріччі відбувається перебудова поля аномалій швидкості вітру, яка зумовлює утворення поля зі значними від'ємними аномаліями та локальною зоною малих додатних аномалій в районі ст. Туапсе.

Для оцінки змін аномалій по всьому дослідженому регіону було проведено сумування значень для кожного десятиріччя, за даними побудована гістограма (рис. 2.25). Як бачимо, у всьому регіоні за 40-річний

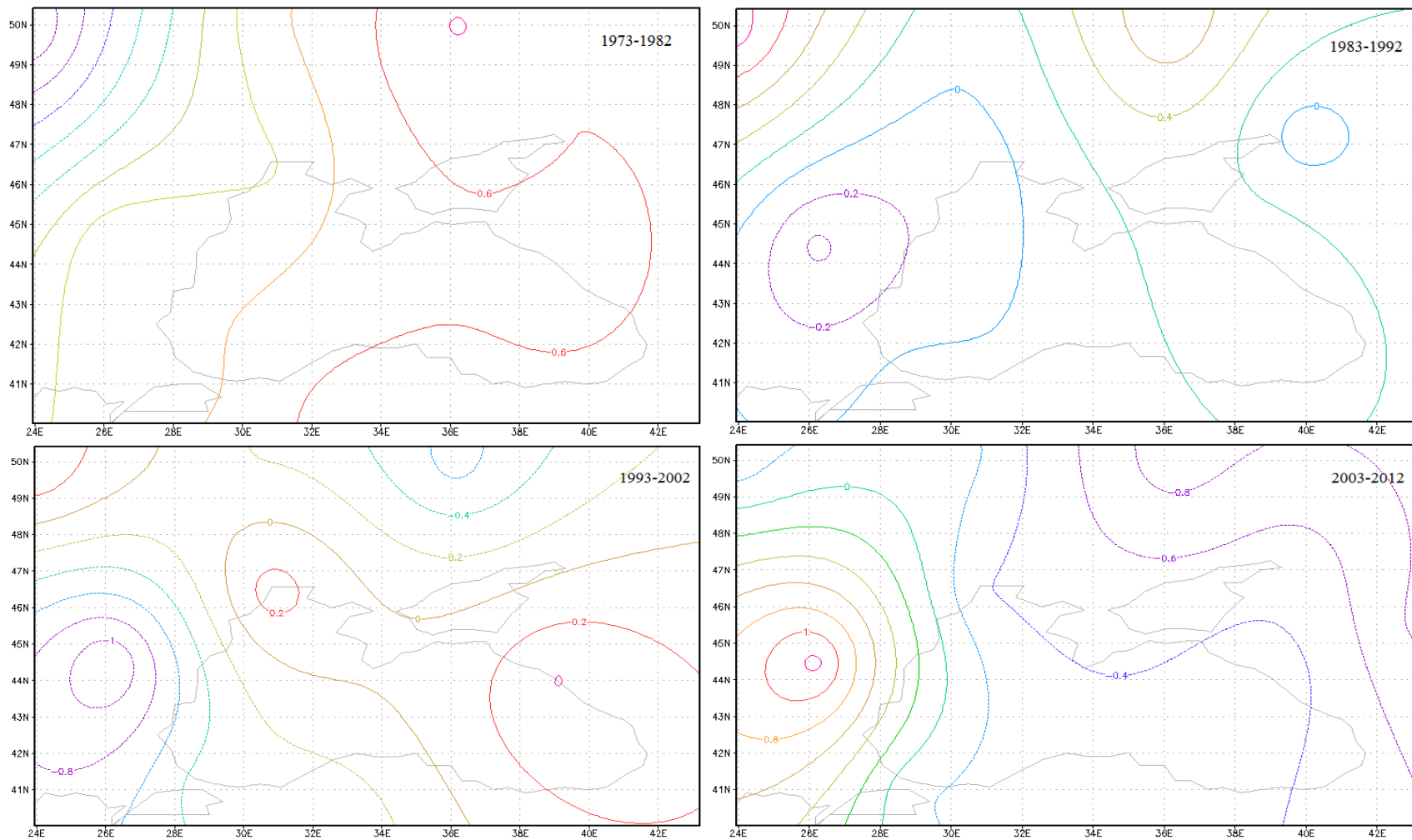


Рисунок 2.23 – Просторовий розподіл аномалій швидкості вітру по теплий період року біля поверхні землі по десятиріччями

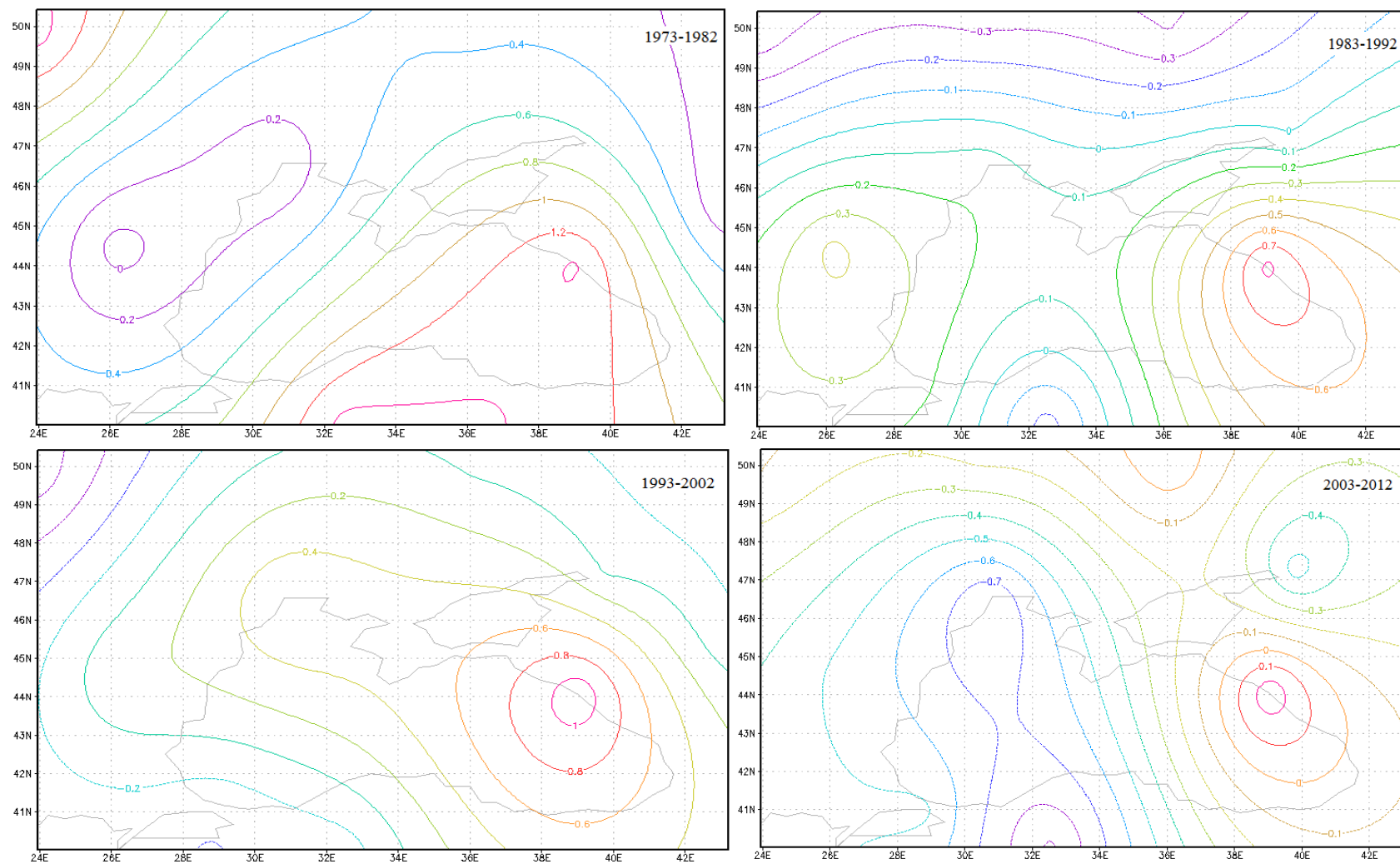


Рисунок 2.24 – Просторовий розподіл аномалій швидкості вітру по теплий період року на 500гПа поверхні по десятиріччями

період спостерігається стійке зменшення швидкості вітру у поверхні Землі та на рівні провідного потоку. Причому швидкість зменшення на рівні 500гПа поверхні значно перевищує швидкість змін біля поверхні Землі. Відомо, що провідним потоком називають вітер в середній або верхній тропосфері, напрям якого визначає переміщення циклонів та антициклонів і інших синоптичних об'єктів. Його висота залежить від розповсюдження вгору цих крупномасштабних вихрів, які переміщуються зі швидкістю, пропорційною швидкості провідного потоку та рівної 0,5-0,9 цієї швидкості в залежності від рівня, на якому вона визначається. Низькі баричні системи підпорядковуються провідному потоку середньої тропосфери на висоті 3-5 км, розвинуті вище за 5 км – потоку на більш високих рівнях.

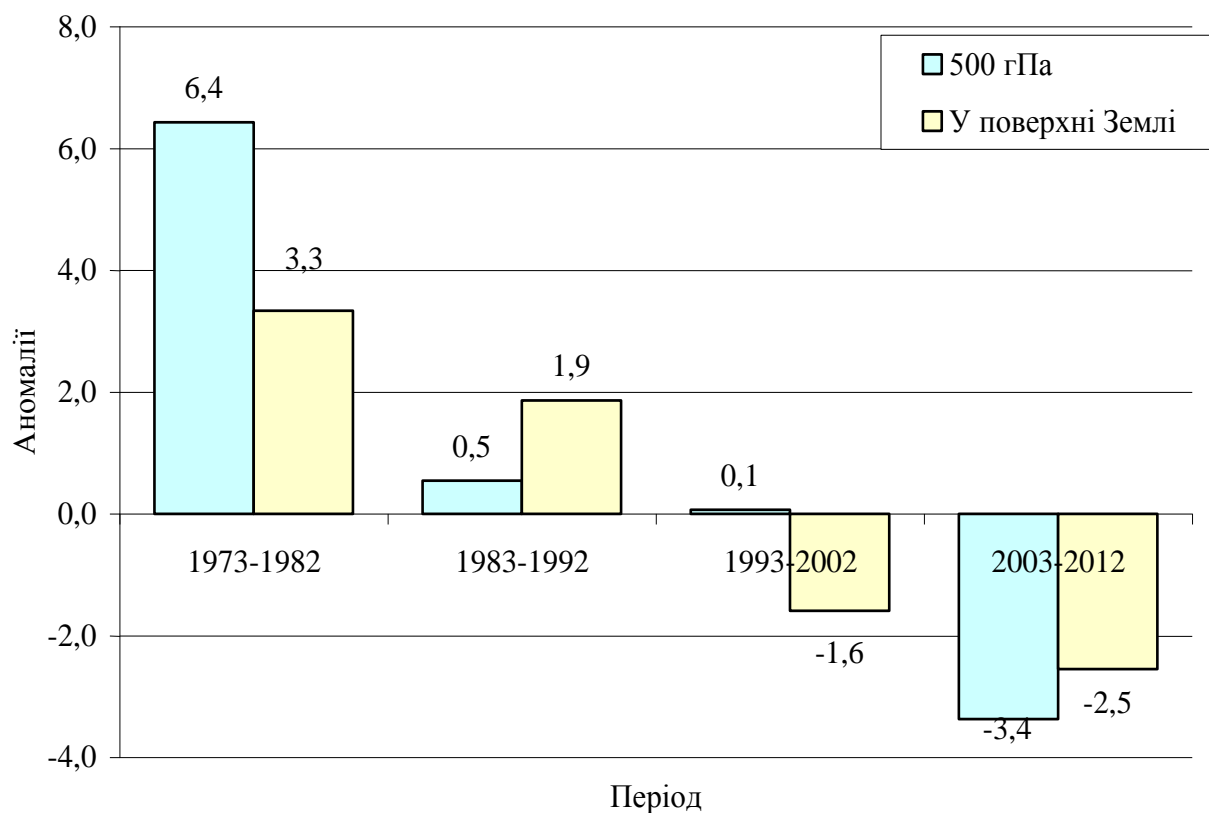


Рисунок 2.25 – Суми аномалій швидкості вітру у поверхні Землі та на рівні 500 гПа по десятиріччями

Враховуючи результати наших досліджень, можна зробити висновки, що зменшення швидкості вітру, яка спостерігається в регіоні протягом останніх сорока років, приводить до зменшення динаміки тропосфери, що є причиною зменшення кількості потужних процесів та зменшення інтенсивності процесів, пов'язаних з конвективними явищами в регіоні.

2.7 Визначення моніторингової інформації за допомогою аерологічних зондів

2.7.1 Можливості існуючої системи радіозондування

Системи радіозондування призначені для дистанційного вимірювання метеорологічних елементів вільної атмосфери і представляють сукупність радіотелеметричної та радіолокаційної систем.

Радіотелеметрична система призначена для вимірювання метеорологічних елементів і надсилання результатів на відстань за допомогою радіохвиль.

Радіолокаційну систему використовують для вимірювання координат визаходівуювального пристрою під час вимірювання. Вимірювання метеорологічних елементів атмосфери та надсилання результатів здійснюються по допомогою радіозонда. Він являє собою сукупність відповідних вимірювальних перетворювачів і радіопередавача.

Положення радіозонда у просторі визначається трьома координатами, які залежать від використаної системи координат. Так, якщо використано циліндричну систему, то такими координатами є кут в горизонтальній площині (азимутальний кут) α , кут місця β та висота H . При використанні сферичної системи координатами є азимутальний кут α , кут місця β та похила дальність R .

Розрізняють два типи систем радіозондування – радіопеленгаційні (з використанням радіотеодолітів), і радіолокаційні з (використанням радіолокаційних метеорологічних станцій).

Радіотеочасткити визаходівують лише кутові координати радіозондів, при цьому азимут α та кут місця β визначаються, як правило, методом порівняння (рівносигнальної зони), а третя координата – висота H – обчислюється по визаходівяним тиском. Прикладом системи зондування на основі радіотеодоліта є система „Малахїт”.

В системах зондування на основі радіолокаційних станцій використано сферичну систему координат, і всі три координати вимірюється радіолокаційним методом, а дальність – імпульсним методом з активним формуванням сигналу відповіді.

Радіозонд, що призначений для використання в такій системі, взагалі, повинен мати два радіопередавача та один приймач: один передавач – для передачі телеметричної інформації, приймач – для прийому імпульсних сигналів запиту, інший передавач – для випромінювання сигналів на прийняті сигнали запиту. В сучасних радіолокаційних системах зондування функцію передавача радіотелеметричного каналу, приймача сигналів запиту та передавача сигналів відповіді виконує один прилад – надрегенеративний прийомопередавач.

Система „Малахит” була першою мережною вітчизняною системою комплексного температурно-вітрового зондування атмосфери, котра успішно використовувалася на аерологічній мережі. Перевагою цієї системи є простота технічної реалізації та задовільна експлуатаційна якість. По своєму початковому призначенню система „Малахит” являла собою радіотеочастки, призначений для зондування атмосфери зондом А-22-III спільно з радіопередавачами ПРБ-1,5, А-36 та А-43. Експлуатація радіотеодоліта виявила ряд його нечасткиків, з метою усунення котрих радіотеочастки „Малахит” було перероблено в радіолокаційну метеорологічну станцію (РМС) „Малахит”.

Працює радіотеочастки „Малахит” наступним чином. В процесі польоту радіозонду його передавач випромінює високочастотні сигнали з переносною частотою 216 МГц модульовані за амплітудою імпульсами з частотою суперіпоції. Останні, в свою чергу, модульовані по амплітудою визаходівувальними сигналами температури, вологості та тиску імпульсним методом у відповідності з діючим поконом кодування (по коду азбуки Морзе). При цьому кожному визаходівуваному значенню метеорологічного елемента відповідають дві букви азбуки Морзе. По своїй структурі такі сигнали схожі з тонально модульованими телеграфними сигналами.

Радіоприймач здійснює прийом таких сигналів, і в процесі цього прийому по допомогою антенної системи та індикаторного пристрою здійснюється вимірювання кутових координат радіозонду. Антенну систему радіотеодоліта складено з чотирьох антен типу „хвильовий канал” (по дві антени на кожну з площин – горизонтальну та вертикальну), пристрою для фазування та антенного комутатора. Кожна пара антен формує діаграму направленості, котра по допомогою пристрою для фазування та комутатора періодично зміщується в просторі то до однієї антени, то до іншої, утворюючи рівносигнальну зону.

Індикатор кутових координат працює по схемою амплітудної відмітки пеленгу радіозонду. При цьому індикація пеленгу по азимуту та кутом місця об’єднана на екрані однієї електронно-променевої трубки, де можна побачити в загальному випадку дві пари імпульсів різної амплітуди. Оператор обертанням штурвалів азимуту та кута місця безперервно повертає антену таким чином, щоб імпульси кожної пари мали однакові амплітуди. Це означає, що радіозонд точно знаходиться на рівносигнальному напрямку та кутові положення антени точно відповідають напрямку на радіозонд, що пеленгується.

Далекозаходівна приставка, вбудована в теочастки з метою перетворення його на РМС, призначена для формування та випромінювання у простір потужних радіочастотних імпульсів, спостереження імпульсів відповіді радіозонду та вимірювання похилої дальності до радіозонда. Приставка складається з антени, блока

індикатора, блока далекоміру та інших допоміжних блоків. Блок індикатора забезпечує спостереження сигналу відповіді на грубій та точній розгортці та супроводження радіозонда по відстані.

Система радіозонда „Метеор” („Метеорит”) належить до другого покоління радіозондувальних пристроїв, що прийшли на зміну комплексу „Малахит”. В цьому комплексі було враховано досвід проектування та експлуатації радіозондувального комплексу першого покоління. Порівняно з комплексом „Малахит” система „Метеор” має більш високу точність вимірювання кутових координат радіозондів, що визначено переходом на більш короткий діапазон хвиль (дециметровий, довжина хвилі близько 17 см), більший максимальний радіус дії по рахунок підвищення потужності передавача та збільшення чутливості приймального пристрою, а також завдяки підвищенню направлених властивостей антенної системи. Крім того, в даній системі повністю автоматизовано процес вимірювання координат радіозонда та супроводу зонда за кутовими координатами та дальністю, а також процес реєстрації радіотелеметричної та радіолокаційної інформації.

Слід вкапати, що комплекс „Метеор” відрізняється також від „Малахиту” високим ступенем автоматизації керування. Ця система зондування випускалася у двох варіантах: пересувному „Метеор” та стаціонарному „Метеорит”, котрі конструктивно не відрізнялися. Система може працювати в двох режимах: радіозонда та кутового відбивача. В режимі радіозонда комплекс працює як система комплексного температурно-вітрового зондування. В режимі кутового відбивача комплекс працює як система радіовітрових вимірювання при стеженні за зміною поточних координат кутового відбивача, закріпленого під оболонкою.

З 1986 р. на аерологічній мережі застосовується система зондування „1Б27С-М – МРЗ-3А” – аерологічний інформаційно-обчислювальний комплекс АВК-1 „Титан”, до складу якого входять наземна радіолокаційна станція стеження по активному мішенню, апаратура передпольотної перевірки технічних характеристик радіозондів, міні-ЕОМ і радіозонд МРЗ-3А.

За принципом дії ця система аналогічна системі „Метеорит — МАРЗ”, але є досконалішою технічно. Радіолокаційна станція, яка виконана на сучасній елементній базі та оснащена міні-ЕОМ забезпечує виконання вітрового або температурно-вітрового радіозондування атмосфери з повною автоматизацією прийому і обробки даних радіозондування з видачею аерологічної телеграми. Окрім цього, міні-ЕОМ забезпечує тестовий і функціональний контроль працездатності самої РМС.

Комплекс радіозондування атмосфери „Радіотеочасткит-УЛ” призначений для прийому та обробки в автоматичному режимі сигналів аерологічних параметрів атмосфери, що надходять від зондів РПО та

ПАПО, визначення координат радіозонду, визначення швидкості та напрямку вітру, барометричного тиску на даній висоті та передачі в автоматичному режимі результатів зондування атмосфери споживачам.

Існуючі системи радіозондування в Україні складаються з наземних радіотехнічних комплексів, радіозондів і апаратури підготовки радіозондів до запуску. Багаторічний досвід експлуатації такої системи показав, що вона має істотні недоліки:

1. Наземні радіотехнічні комплекси є дорогим виробом („Метеорит–2”, „Радіотеочасткит–УЛ” коштують сотні тисяч гривень за кожен зразок).

2. Потребує достатньо великих економічних затрат на експлуатацію (затрата електроенергії; витратні матеріали, які в даний час в Україні не випускаються; утримання обслуговуючого персоналу і т.д.). Наприклад, добова експлуатація системи „Радіотеочасткит–УЛ” становить 2500 грн.

3. Використовувані радіозонди (типу МАРЗ, ПАПО) дозволяють визаходівувати прямими методами тільки температуру і вологість, а тиск, швидкість і напрям вітру-напрям методами. При цьому вартість радіозонда, оболонки і підготовка радіозонда до запуску складає 800 грн.

4. Перевірка працездатності радіозонда перед випуском в системі „Метеорит–2” не автоматизована, а в системі „Радіотеочасткит–УЛ” – не подовольняє вимоги, про що свідчать звіти аерологічного відділу Гідрометеорологічного центру Чорного і Азовського морів (ГМЦ ЧАМ).

5. Обробка метеорологічної інформації в системі „Метеорит–2” взагалі не автоматизована, а в системі „Радіотеочасткит–УЛ” не задовольняє вимогам Гідрометцентру України.

6. Існуюча система радіозондування і способи обробки метеорологічної інформації, що отримується від радіозондіа, не дозволяють прив'язати її до атмосферних ешелонів, що погіршує якість короткострокових прогнозів.

Всі вказані недоліки потребують розробки нових підходів до системи радіозондування.

2.7.2 Вимоги споживачів щодо метеорологічної інформації, одержаної від системи радіозондування

Метеорологічна інформація це кількісні характеристики середовища, в якому відбувається діяльність людини. Тому вимоги до цієї інформації численні і не можуть бути єдині для різних галузей діяльності.

При поданій меті використання метеоінформації і вимоги до неї ставляться різні:

а) перспективне планування, розвиток галузей господарства і планування розміщення продуктивних сил – для цього необхідна інформація про ймовірне майбутнє (на десятки або навіть одну-дві сотні років) стану природного середовища: про очікувані середні значення

гідрометвеличин і явищ, і про ймовірну появу екстремальних (критичних) значень;

б) технічне проектування конкретних об'єктів, а також планування конкретних заходів – для цього потрібна така ж інформація, як і в першому випадку, але з більшою точністю величин, для абсолютно певних обмежених територій, пунктів або трас. Ця інформація може ґрунтуватися як на довідкових даних, так і на спеціальних спостереженнях протягом 2 - 3-х років;

в) при експлуатації об'єктів господарства. Це, наприклад, випуск в рейс літаків, посів с/г культур, обслуговування дамби і так далі – для цього використовуються як фактична інформація, так і прогностична. Також використовуються як середньокліматичні, так і екстремальні значення;

г) прогнози всіх видів – для цього потрібне значення екстремальних значень метеовеличин, щоб уникнути помилок при прогнозі. Також необхідна оперативна інформація.

Через особливості своєї технології різні області ставлять різні вимоги до метеоінформації. За представленнями вимогами всі галузі можуть бути згруповані:

- авіація;
- промислове і цивільне будівництво;
- наземний транспорт;
- сільське господарство;
- морське гідротехнічне будівництво і судноплавство;
- рибне господарство;
- гідроенергетика і водопостачання;
- іригація (осушення) і меліорація (зрошування);
- транспортні шляхи і комунікації;
- комунальне господарство;
- річковий флот і лісосплав;
- курортно-санаторні установи і зони відпочинку;
- метеорологічне забезпечення транспорту.

Тому вимоги до цієї інформації різноманітні і не можуть бути єдині для різних галузей. Найбільш точна інформація повинна бути для авіації і для прогнозування погоди. В наш час існують датчики температури від - 55°C до +125°C з достатньо хорошою точністю. Наприклад датчик DS18B20 по точності вимірювання складає $\pm 1^\circ\text{C}$ з роздільною здатністю 0.0625°C .

Ємнісні датчики вологості можна використовувати в сучасних радіозондах завдяки ряду переваг перед резистивними і термічними датчиками. Вимога щодо точності вимірювання вологості складає $\pm 3\%$. Велика перевага таких датчиків - їх низька вартість.

Датчик вологості може вимірювати тиск в діапазоні від 50 кПа до 115 кПа з точністю 1кПа. Він зберігає працездатність в діапазоні

температур $-60 \dots +105^{\circ}\text{C}$.

Таким чином існуючі датчики температури і вологості цілком задовольняють вимоги споживачів метеорологічної інформації.

2.8 Структура системи радіозондування атмосфери

2.8.1 Загальна структура запропонованої системи радіозондування атмосфери

Загальна структура запропонованої системи радіозондування атмосфери представлена на рис. 2.26. Вона складається з супутникової системи, радіозонда (РЗ) з оболонкою, наземного радіотехнічного комплексу (НТРК) (кількість їх n).

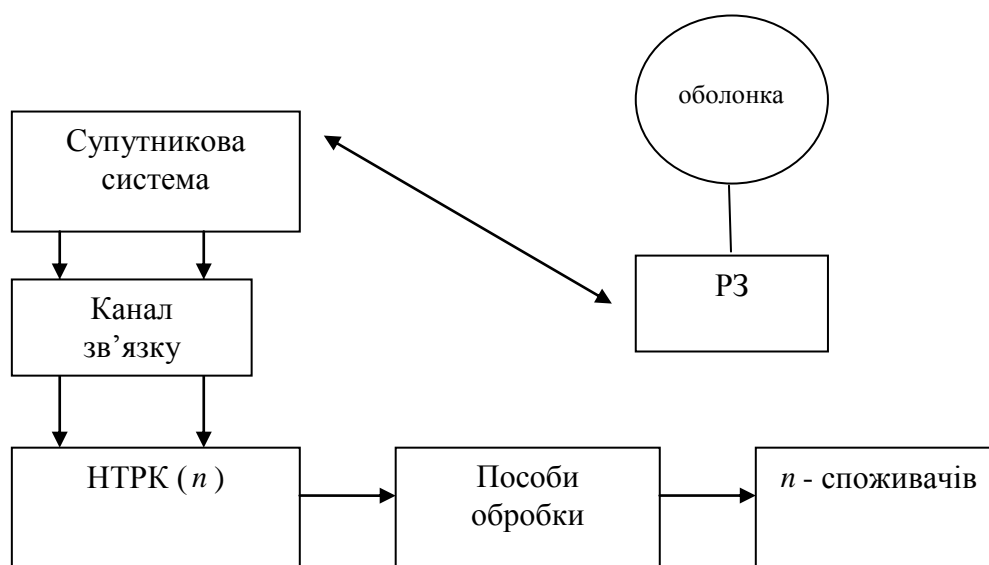


Рисунок 2.26 – Загальна структура системи радіозондування атмосфери

В наш час визначення поточних координат здійснюються радіолокаційними методами з використанням активної відповіді. Вони дозволяють в полярній системі координат визаходівувати похилу дальність радіозонда, кут місця ε і азимут β лінії візування. Для використання цих даних з метою метеопрогнозування потрібний їх перерахунок в декартову систему координат, яка пов'язана з наземною географічною системою. В даний час реально існує можливість визначення координат рухомого радіозонда з точністю достатньою для метеопрогнозування. Такими системами є діючі та розгорнуті системи ГЛОНАСС і GPS [73, 74]. З погляду експлуатації ці системи однакові. Проте, з економічної точки зору, використання системи GPS бажаніше. Тому нами пропонується використовувати систему GPS, яка дозволяє

визначати поточні координати радіозонда в будь-якій точці повітряного простору.

Іншим не менш важливим елементом запропонованої системи радіозондування є радіозонд. Запропонована система визначення метеорологічної інформації потребує нового комплексу бортової апаратури радіозонда, яка використовує цифрові принципи одержання, первинної обробки і прийому-передачі метеорологічної інформації. Структурна схема бортової апаратури радіозонда нового покоління наведена на рис. 2.27.

Принцип роботи цього радіозонда полягає в наступному. Метеодатчики здійснюють перетворення поточних значень метеопараметрів x_1, x_2, \dots, x_n в цифрові електричні сигнали, які надходять на вхід координуючого керуючого пристрою (ККП). На другий вхід ККП надходять сигнали з виходу приймача системи GPS. По цим сигналами визначаються поточні географічні координати радіозонда і попam'ятовуються там. Кожному значенню поточних значень координат радіозонда відповідатимуть поточні значення метеопараметрів x_n .

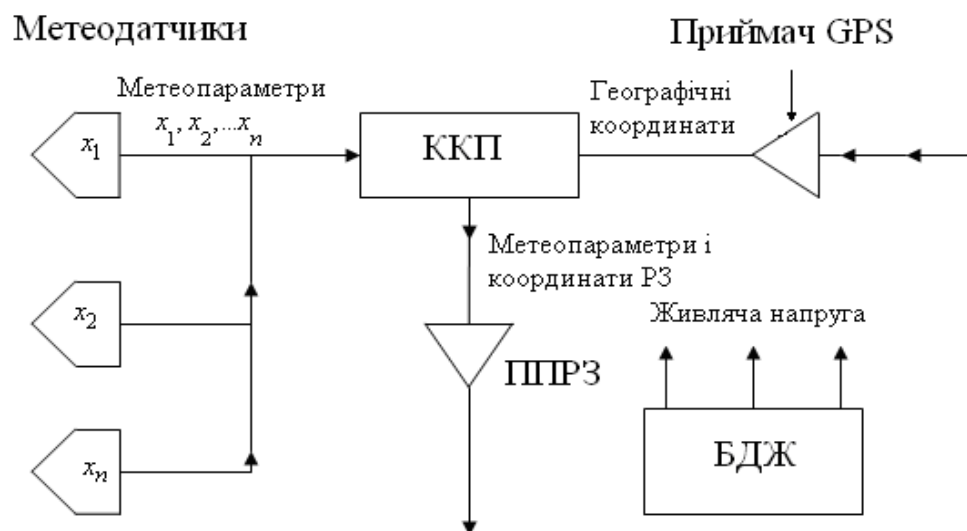


Рисунок 2.27 – Цифрова лінія зв'язку

Далі Завдання ККП полягає в наступному. ККП формує метеоповідомлення, яке містить інформацію про поточні значення метеопараметрів і поточні значення координат радіозонда. Вся ця інформація в реальному масштабі часу передавальним пристроєм радіозонда (ППРЗ) видається в лінію зв'язку.

Бортова апаратура радіозонда повинна мати автономне бортове джерело живлення (БДЖ) достатньої потужності для гарантованого забезпечення її роботи у польоті і навіть для визначення поданого часу після падіння на поверхню землі, що забезпечить можливість пошуку

радіозонда. Бортовий ППРЗ виконуватиме роль радіомаяка, що дозволить використовувати радіозонд для повторного запуску.

Природно припустити, що вартість такого комплексу бортової апаратури радіозонда буде вища від вживаних. Проте, при масовому виробництві і можливості повторного запуску вона може бути доведена до прийняттого рівня.

Таким чином, реалізація проекту перспективного радіозонда потребує розгляду і вирішення таких питань:

а) вибір і обґрунтування переліку метеопараметрів, що підлягають визаходівуванню в процесі польоту радіозонда з метою найповнішого задоволення запитів споживачів метеорологічної інформації;

б) вибір і обґрунтування набору цифрових датчиків метеопараметрів, що задовольняють вимогам використання у складі бортової апаратури радіозонда;

в) розгляд варіантів можливостей визначення координат радіозонда зп допомогою навігаційних мереж ГЛОНАСС і GPS;

г) вибір і обґрунтування можливості використання цифрової лінії передачі метеоданих користувачам на землі при варіанті роботи через супутник зв'язку;

д) розгляд технічної можливості використання GSM стільникових мереж для передачі метеоданих користувачам на землі;

е) порівняльна оцінка варіантів способів передачі метеорологічної інформації по цифровій лінії зв'язку через супутник і по каналах GSM стільникової мережі;

ж) визначення величини потужності споживаною бортовою апаратурою радіозонда електроенергії та вибір типу бортового джерела живлення;

з) розгляд компоновки бортової апаратури радіозонда та розрахунок її масогабаритних характеристик з метою визначення параметрів переносної кулі радіозонда.

Іншою не менш важливою проблемою є вибір каналу зв'язку (лінії передачі метеорологічної інформації від радіозонда на наземний радіотехнічний комплекс) і протоколу його функціонування.

Кажучи про канали зв'язку, слід розглянути можливість передачі метеорологічної інформації радіозонда розвиненою в даний час GSM мережею. Канали стільникового зв'язку мають достатньо високу пропускну спроможність, що дозволяє весь обсяг метеорологічної інформації з радіозонда передати в реальному масштабі часу і з мінімальними спотвореннями. Єдиним обмеженням може бути відсутність покриття GSM стільниковою мережею в морських регіонах запуску радіозонда. Крім того, підлягає окремому дослідженню питання про можливість попадання радіозонда в межі діаграми направленості антен стільникових станцій на висотах до 25 км над поверхнею землі. Тому

апріорі єдиним можливим каналом зв'язку з радіозонда залишається вважати супутниковий цифровий канал зв'язку, хоча його використання потребує значних коштів.

Наземний радіотехнічний комплекс в запропонованій концепції є приймачем цифрового супутникового каналу зв'язку. Структурна схема приймача наземного радіотехнічного комплексу представлена на рис. 2.28.

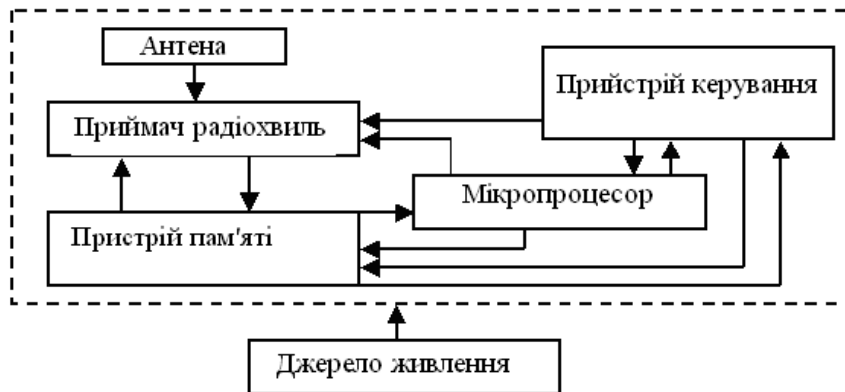


Рисунок 2.28— Структурна схема приймача наземного радіотехнічного комплексу

Приймач умовно можна поділити на антену, приймач радіохвиль, мікропроцесор, пристрій керування, пристрій пам'яті, джерело живлення. Мікропроцесор керує роботою всього приймача і виконує деякі обчислення. Основні частини пристрою керування - це пульт управління з клавішами і дисплей (екран). Він дає можливість операторові керувати роботою приймача, вибирати технологію спостережень, аналізувати інформацію, яка виводиться на дисплей, включати програми керування і обчислень. У пристрої пам'яті зберігаються первинно оброблені сигнали, які надійшли від супутників, інформація, яку ввів оператор в процесі планування спостережень і їх виконання, а також команди керування. З нього інформація переписується в персональний комп'ютер для подальших обчислень.

Джерелом живлення служить акумуляторна батарея приймача. Майже всі приймачі можуть працювати також від зовнішніх джерел живлення.

Антени приймачів мікросмугові і можуть вживати сигнали всіх супутників, які знаходяться над горизонтом, якщо немає перешкод. Антени одночастотних приймачів набувають коливання L_1 з частотою $f = 1575,42$ МГц і довжиною хвилі 0,1905 м, а також коливання L_2 з частотою $f = 1227,6$ МГц і довжиною хвилі 0,2445 м. У антені коливання посилюються і передаються до приймача радіохвиль.

Електричний центр антен, просторовий положення якого визначає

приймач, має бути нечутливим до обертання або нахилу антени, тобто мати чітко визначене положення і максимально збігатися з центром ваги антени. Антени встановлюють на об'єктах, положення яких потрібно визначити, або над центрами геодезичних пунктів. Антенний пристрій часто конструктивно відокремлений від решти вузлів приймача і з приймачем його з'єднують відповідним кабелем.

На рис. 2.28 наведена структурна схема одноканального приймача. Можна також використовувати комбіновані приймачі, які дозволяють використовувати сигнали від GPS і ГЛОНАСС систем. Комбінований приймач здатний проводити моніторинг цілісності і „відкидати” несправні супутники, якщо їх параметри істотно відрізняються від тих, що очікувалися. У системі GPS можливості автономного моніторингу цілісності обмежені: приймач або продовжує використовувати несправний супутник, або припиняє обчислення та переходить в режим очікування інших космічних апаратів. У комбінованому режимі вища перешкодостійкість: системи GPS і ГЛОНАСС працюють в різних діапазонах частот, що знижує вірогідність їх одночасного придушення вузькосмуговими перешкодами.

Приймачі GPS і ГЛОНАСС істотно розрізняються по їх технічній реалізації. Перші використовують ширшу смугу частот, ніж ГЛОНАСС–приймач. У системі GPS застосовується кодове розділення каналів, завдяки чому всі супутники випромінюють C/A коди на загальній переносній частоті 1575.42 МГц (L_1). Частотне розділення каналів в ГЛОНАСС зумовлює випромінювання сигналів на різних переносних частотах в діапазоні 1598.0625 - 1615.5 МГц. У цих системах використовується різна апаратура формування та алгоритми обробки фазових вимірювання.

Принцип дії комбінованого GPS/ГЛОНАСС–приймача пояснимо на прикладі АСН-22, розробленого Російським інститутом радіонавігації і часу (Санкт-Петербург) спільно з компанією DASA NFS (Німеччина). Він складається: з антени з мал шумним підсилювачем (МШП), ВЧ-блока, пристрою обробки сигналів і загального навігаційного процесора (рис 2.29). Приймач може працювати в трьох режимах, вибраних за зовнішніми командами: тільки GPS, тільки ГЛОНАСС і GPS/ГЛОНАСС.

На вході пристрою встановлений фільтр дзеркального каналу, який розподіляє сигнал по двома каналами для окремих ВЧ приймачів GPS і ГЛОНАСС. З виходу аналого-цифрового перетворювача навігаційні сигнали надходять на два корелятори: 12 - ти каналні GPS–приймачі (безпосередньо) і 6 - ти каналні ГЛОНАСС–приймачі (через блок перемикання каналів), які працюють з загальною синхронізацією. Багатоканальний приймач АСН-22 дозволяє відстежувати C/A - код і фазу переносної частоти (L_1) по всіма каналами GPS і ГЛОНАСС.

На основі вимірювання і прийнятих повідомлень навігаційний

процесор обчислює координати, що забезпечують „прив'язку” шкали часу споживача до шкали Держеталона координованого всесвітнього часу UTC (SU). Час первинного визначення залежить від числа каналів приймача і продуктивності навігаційного процесора. Для АСН-22 він складає менше 90 с (при достовірних початкових даних). Подальші координатно-часові визначення виконуються з заданою періодичністю - зазвичай через 1с і більше. Відновлення стеження здійснюється по 3-5с.

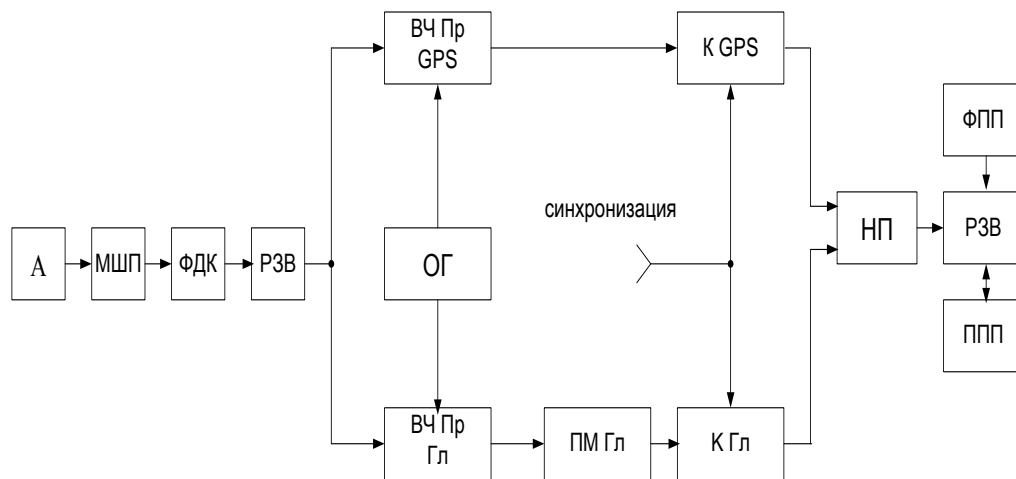


Рисунок 2.29 – Структурна схема GPS/ГЛОНАСС-приймача:

А – антена; МШП – малошумовий посилювач; ФДК – фільтр дзеркального каналу; РЗВ – розгалужувач; ВЧ Пр GPS, ВЧ Пр Гл – високочастотні блоки приймачів GPS і ГЛОНАСС; ОГ – опорний генератор; ПМ Гл – перемикач каналу ГЛОНАСС; НП – навігаційний процесор; ФПП – фазопоглинаючий пристрій; ППП – пакет прикладних програм

Ця метеорологічна інформація, по попиту, може розсилатися поцікавленим споживачам. З іншого боку, метеорологічну інформацію від одного радіозонда можуть отримувати мережі наземних радіотехнічних комплексів, які розташовані в межах до 300 км від радіозонда.

2.9 Визначення моніторингової інформації за допомогою радіолокаторів і радіотехнічних систем

2.9.1 Зовнішнє середовище радіолокаційної системи моніторингу

Відбитий радіолокаційний сигнал є носієм інформації про метеоцілі. Утворення відбитого сигналу відбувається в результаті взаємодії електромагнітних хвиль, що випромінюються РЛС, з атмосферними утвореннями, що є метеометою. З теорії поширення електромагнітних

хвиль відомо, що на процес взаємодії електромагнітних хвиль з середовищем істотний вплив роблять її електрофізичні характеристики:

- відносна діелектрична проникність – ϵ' ;
- магнітна проникність – μ ;
- питома провідність – g .

Реальна атмосфера і її різні утворення (хмари, опади, тумани і т.д.) з погляду електрофізичних властивостей є напівпровідним середовищем. У діапазоні хвиль, які використовуються в МРЛС, процес їх взаємодії з атмосферою визначається значенням відносної діелектричної проникності ϵ' . Значення ϵ' істотним чином залежать від таких метеопараметрів, як температура, тиск, питома вологість, водність хмар і інтенсивність опадів.

При визначенні зв'язку діелектричної проникності з метеопараметрами атмосфери реальну атмосферу уявлятимемо як суміш „сухих” газів і водяної пари, в якій знаходяться утворення водного аерозолі (хмари, опади, тумани).

Відомо, що для будь-якого поляризованого середовища значення відносної діелектричної проникності визначається співвідношенням

$$\epsilon' = 1 + \chi, \quad (2.3)$$

де χ – діелектрична сприйнятливість речовини.

Значення коефіцієнта χ визначається виразом

$$\chi = \beta N, \quad (2.4)$$

де β – поляризованість молекул, яка характеризує ступінь піддатливості молекули дії електромагнітного поля;

N – число молекул в одиниці об'єму.

Діелектрична сприйнятливість атмосфери як середовища, що складається з „сухих” газів, водяної пари і водної аерозольної фракції (утворень гідрометеорних частинок), може виражатися таким чином:

$$X = \chi_{\Gamma} + \chi_{\text{вп}} + \chi_{\text{ва}}, \quad (2.5)$$

де χ_{Γ} – діелектрична сприйнятливість газів;

$\chi_{\text{вп}}$ – діелектрична сприйнятливість водяної пари;

$\chi_{\text{ва}}$ – діелектрична сприйнятливість водяного аерозолі.

В свою чергу

$$\chi_{\Gamma} = \beta_{\Gamma} N_{\Gamma},$$

$$\chi_{\text{вп}} = (\beta_{\text{вп}} + \beta_{\text{вп}}/T) N_{\text{вп}}, \quad (2.6)$$

$$\chi_{ВП} = 4\pi \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right| N_{ВА},$$

де β_r – поляризованість (полярипоційна сприйнятливість) однієї молекули газу;

$\beta_{ВП}$ – полярипоційна сприйнятливість однієї молекули водяної пари при температурі 1 К;

$N_r = p/(kT)$ – число молекул газу в 1 м³ (р – тиск в Паскалях, Т – абсолютна температура, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана);

$N_{ВП} = e/(kT)$ – кількість молекул водяної пари в 1 м³ (е – пружність водяної пари в Паскалях);

$N_{ва}$ – число частинок водяного аерозолі в 1 м³;

r – середній радіус частинки аерозолі;

m – комплексний коефіцієнт поломлення електромагнітних хвиль речовиною частинок, визначається виразом

$$m = \sqrt{\varepsilon'_k} = \sqrt{\varepsilon' - j \frac{g}{\omega \varepsilon_0}} = n - jl, \quad (2.7)$$

де $\varepsilon'_k = \varepsilon' - j(g/(\omega \varepsilon_0))$ – комплексна діелектрична проникність речовини частинки;

$\varepsilon_0 = (1/(26\pi)) \cdot 10^{-9}$ – діелектрична проникність вакууму, Ф/м;

ω – частота електромагнітних хвиль;

g – питома провідність безхмарної атмосфери.

Речову частину n комплексного коефіцієнта поломлення називають показником поломлення, а уявну частину l – показником поглинання.

З урахуванням виразів 2.5) і (2.6) формула (2.3) може бути представлена в наступному вигляді:

$$\varepsilon' = 1 + \frac{\beta_r p}{kT} + \frac{e}{kT} \left(\beta_{ВП} + \frac{\beta_{ВП}}{T} \right) + 4\pi r^3 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right| N_{ВА}. \quad (2.8)$$

Значення β_r і $\beta_{ВП}$ визначаються експериментально. Підставляючи їх значення у формулу (1.6) і виражаючи тиск р і пружність водяної пари е в гектопаскалях, температуру Т по шкалою Кельвіна, отримаємо

$$\varepsilon' = 1 + \left[\frac{157}{T} \left(p + \frac{4800e}{T} \right) \right] 10^{-6} + 4\pi r^3 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right| N_{ВА}. \quad (2.9)$$

Для потреб практики зручно виразити пружність водяної пари е

через питому вологість повітря q , а кількість частинок водяного аерозолію $N_{\text{ва}}$ через його водність w .

Для цього використовуємо відомі співвідношення:

$$q = 622 \, e / p \quad (2.10)$$

і

$$w = (4\pi/3) r^3 \rho N_{\text{ва}}, \quad (2.11)$$

де ρ - густина речовини аерозолію.

Виражаючи e з (2.10), а $N_{\text{ва}}$ з (2.11) і підставляючи їх в (2.9), отримаємо

$$\varepsilon' = 1 + \left[\frac{157 p}{T} \left(1 + 7,717 \frac{q}{T} \right) \right] 10^{-6} + 3 \frac{w}{\rho} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|. \quad (2.12)$$

Вираз (2.12) зручний тим, що вхідні в нього значення p , q , T публікуються в метеорологічних і аерологічних щорічниках і довідниках, а значення w вимірюється. Відносна діелектрична проникність вакууму дорівнює одиниці, тоді з урахуванням цього перший доданок (2.12) можна розглядати як внесок вологого повітря в ε' , а другий доданок - як внесок аерозольних утворень.

З (2.12) витікає, що збільшення тиску, питомої вологості повітря і водності аерозольних утворень приводить до збільшення діелектричної проникності. Збільшення температури зменшує ε' . Фізично це явище пояснюється тим, що підвищення температури приводить до розширення повітря і зменшення його густини, а збільшення p і q , навпаки, до збільшення густини повітря. Збільшення водності аерозольного утворення приводить до збільшення числа молекул води в одиниці об'єму, а, значить, до збільшення діелектричної сприйнятливості аерозолію.

Як впливає з (2.12), значення ε' трохи перевищує одиницю. Питома провідність g безхмарної атмосфери для діапазону хвиль, вживаного в метеорологічній радіолокації, невелика. Тому можна вважати, що її коефіцієнт поломлення - дійсна величина і дорівнює n з (2.7). Отже, має місце співвідношення $m = \sqrt{\varepsilon'} = n$. Оскільки ε' трохи більше від одиниці, то використовуючи відоме наближення $\sqrt{1+\alpha} \approx 1 + \frac{1}{2}\alpha$, де $\alpha \ll 1$, отримаємо

$$n = \sqrt{\varepsilon'} = 1 + \left[\frac{78,5 p}{T} \left(1 + 7,717 \frac{q}{T} \right) \right] 10^{-6} + \frac{3}{2} \frac{w}{\rho} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|. \quad (2.13)$$

Значення коефіцієнта поломлення n також трохи перевищують одиницю. Тому для зручності значення n вираховують в N-одинацях

$$N = (n - 1) \cdot 10^6. \quad (2.14)$$

Метеопараметрам, що визначають значення n , властива мінливість по сезонах, часу доби і висоті. Для значень n теж характерна така мінливість. Ця залежність n від висоти, сезону і часу доби представлена на рис. 2.30, 2.31.

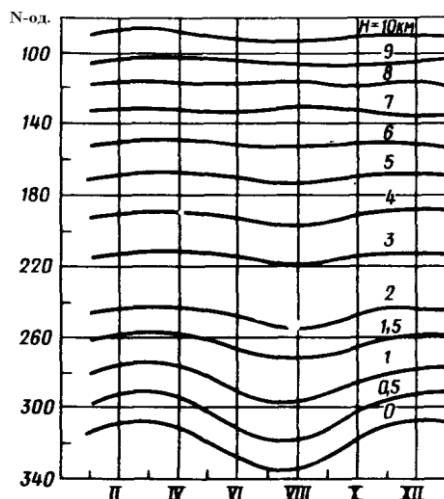


Рисунок 2.30 – Річний хід зміни коефіцієнта поломлення n на різних висотах

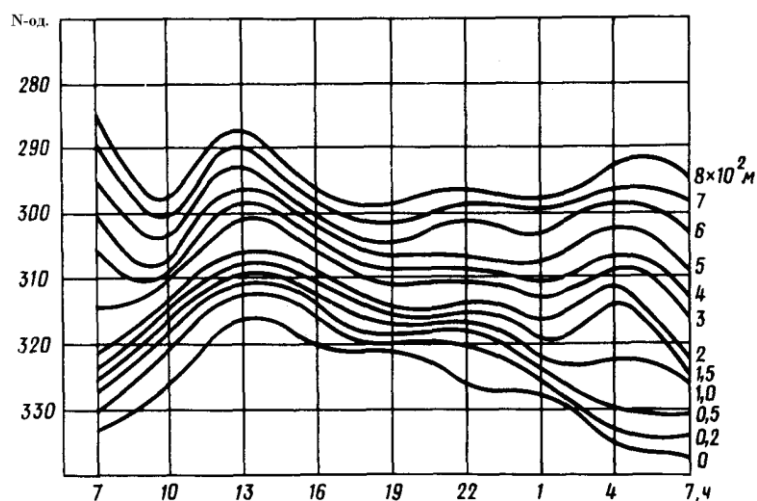


Рисунок 2.31 – Добовий хід коефіцієнта поломлення n в нижніх шарах атмосфери влітку

На рис. 2.30 показаний приклад зміни річного ходу коефіцієнта поломлення n в N-одинацях на різних висотах. Видно, що найвиразніше

сезонні зміни n виражені в нижній тропосфері до висот 1,5-2,0 км. Максимальні значення коефіцієнта заломлення спостерігаються влітку, а мінімальні - взимку. Такий хід коефіцієнта заломлення зумовлений річним ходом вологості повітря з максимумом в тепле півріччя. На висоті 6-7 км середньомісячне значення n постійне протягом всього року.

На рис. 2.31 покапона добова зміна n в нижньому шарі атмосфери влітку (до 800 м). Такий хід n протягом доби визначається добовим ходом температури та вологості повітря.

2.9.2 Взаємодія електромагнітних хвиль з атмосферою

З теорії електромагнітного поля відомо [20], що при поширенні електромагнітних хвиль в будь-якому середовищі, яке відрізняється від вільного простору (вакууму), відбувається їх ослаблення та зміна швидкості. Величина ослаблення електромагнітних хвиль і швидкість їх поширення визначаються електрофізичними властивостями середовища. Як ослаблення електромагнітних хвиль, так і зміна швидкості їх поширення є наслідком взаємодії електромагнітних хвиль з середовищем.

При поширенні електромагнітних хвиль в атмосфері їх ослаблення відбувається за рахунок поглинання енергії газами атмосфери, поглинання та розсіювання її гідрометеорними частинками. Ослаблення радіохвиль в радіолокації - явище негативне, оскільки знижує дальність дії радіолокаційної станції.

Разом з тим в метеорологічній радіолокації розсіювання електромагнітної енергії гідрометеорними частинками утворює відбитий сигнал. Дійсно, частина енергії сигналу, що випромінюється РЛС, досягає метеоцілі і розсіюється (перевипромінюється) її частинками на всіх напрямках. Енергія, що розсіюється цілком у зворотному напрямі, утворює відбитий сигнал.

Ослаблення енергії електромагнітних хвиль гідрометеорними частинками, знижуючи дальність дії метеорологічних РЛС, разом з тим дозволяє одержати інформацію про такі важливі характеристики метеоцілей, як водність хмар і інтенсивність опадів.

Зміна швидкості поширення електромагнітних хвиль в атмосфері може також істотно вплинути на одержання радіолокаційної метеорологічної інформації. Це зміна швидкості при одних метеоумовах може збільшувати дальність дії РЛС, а в інших зменшувати.

Ослаблення в газах атмосфери при поширенні електромагнітних хвиль виникає внаслідок поглинання та розсіювання енергії хвиль молекулами. В діапазоні хвиль, який використовується в метеорологічній радіолокації, довжина хвиль набагато більша розмірів молекул, тому ефект розсіювання дуже малий і можна розглядати тільки ефект поглинання.

З газів, які складають атмосферу, найсильніше поглинають

електромагнітну енергію кисень і водяна пара. Причина цього полягає в наступному. Молекули цих газів мають яскраво виражений дипольний характер. Дія електромагнітного поля, завдяки цьому, викликає їх вимушені коливання. Енергія електромагнітного поля витрачається на здійснення цих коливань. Молекули кисню впоємодіють з магнітною складовою електромагнітного поля, молекули водяної пари - з електричною.

Втрати електромагнітної енергії в газах атмосфери враховуються по допомогою питомих коефіцієнтів поглинання киснем (γ_k), водяною паром ($\gamma_{вп}$). Ці коефіцієнти характеризують поглинання електромагнітної енергії на одиниці відстані та виражаються в дБ/км. Сумарний питомий коефіцієнт поглинання в газах визначається співвідношенням $\gamma_{\Sigma} = \gamma_k + \gamma_{вп}$.

Ослаблювальні властивості кисню залежать від тиску та температури. З пониженням температури поглинання киснем зростає. Так, при температурі -40°C воно на 78% більше, ніж при 20°C . Ослаблення водяною паром пропорційно питомій вологості повітря та також росте з пониженням температури (при температурі -40°C поглинання на 20-45% більше, ніж при 20°C).

Поглинання електромагнітної енергії киснем та водяною паром значною мірою залежить від довжини електромагнітних хвиль (рис. 2.32).

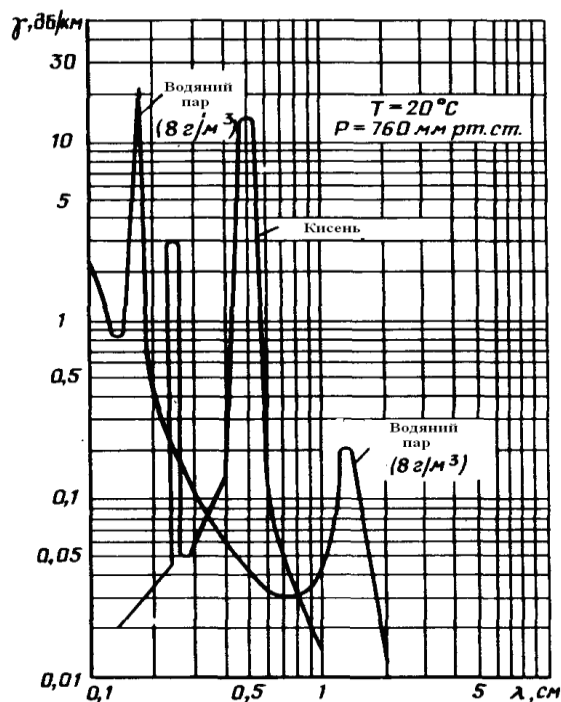


Рисунок 2.32 – Залежність питомих коефіцієнтів поглинання кисню і водяної пари від довжини електромагнітної хвилі

Ці залежності отримані при температурі 20°C у поверхні Землі. Їх аналіз показує, що, як у кисню, так і у водяної пари є області довжин хвиль

(частот), де поглинання велике за рахунок резонансних явищ. У кисню ці області лежать поблизу довжин хвиль 0,25 і 0,5 см, де γ_k відповідно рівні 3 і 14 дБ/км. Резонансне поглинання у водяної пари спостерігається на хвилях 0,16 і 1,35 см. На цих довжинах хвиль при питомій вологості $q = 7,5$ г/м³ коефіцієнт поглинання дорівнює 20 і 0,2 дБ/км відповідно.

Ослаблення електромагнітної енергії гідрометеорними частинкам при поширенні електромагнітних хвиль відбувається з таких причин. Електромагнітні хвилі порушують в гідрометеорних частинках змінні струми з частотою хвиль. Частинка завдяки цьому стає джерелом випромінювання (вторинне випромінювання) і випромінює електромагнітні хвилі на всіх напрямках. Таким чином, енергія хвилі, що приходить (падаючої), витрачається на створення вторинного випромінювання. Відбувається розсіювання електромагнітної енергії падаючої хвилі. Разом з цим частина енергії струмів, збуджених в частинці хвилею, що приходить, витрачається на створення в ній тепла.

Відбувається необоротний перехід електромагнітної енергії падаючої хвилі в теплову енергію, тобто відбувається поглинання електромагнітної енергії.

Як міру поглинання та розсіювання електромагнітної енергії частинкою набувають ефективну площу поглинання частинки (σ_{pi}) і ефективну площу повного розсіювання (σ_{pi}).

Під ефективною площею поглинання частинки розуміють площу, яка, будучи помноженою на густина потоку потужності падаючої хвилі, дає потужність, поглинену частинкою:

$$\sigma_{pi} = P_n/S,$$

де P_n – потужність, поглинена частинкою;

S – густина потоку потужності падаючої хвилі.

Густина потоку рівнозахідівно випромінюваної потужності в деякій точці, віддаленій від випромінювача на відстань R , є потужність, що припадає на одиницю поверхні сфери радіусу R . Таким чином

$$S = P_i/(4\pi R^2), \quad (2.15)$$

де P_i – випромінювана потужність.

Під ефективною площею повного розсіювання частинки розуміють площу, яка будучи помножена на густина потоку потужності падаючої хвилі, дає потужність, розсіяну частинкою:

$$\sigma_{pi} = P_p/S,$$

де P_p – потужність, розсіяна частинкою.

Для визначення втрат потужності електромагнітної хвилі внаслідок ослаблення електромагнітної енергії гідрометеорними частинками використовують питомі коефіцієнти поглинання та повного розсіювання в дБ/км.

Вони визначають втрати потужності електромагнітної хвилі за рахунок поглинання та розсіювання гідрометеорними частинками на шляху в 1 км. Ці коефіцієнти пов'язані із значеннями σ_{pi} , σ_{ri} і концентрацією частинок наступними співвідношеннями:

$$\gamma_{pi} = 4,34 \cdot 10^3 N \sigma_{pi}, \quad \gamma_{ri} = 4,34 \cdot 10^3 N \sigma_{ri},$$

де N – кількість гідрометеорних частинок в 1 м^3 .

Питомий коефіцієнт ослаблення є сумою γ_{pi} і γ_{ri} :

$$\gamma = 4,34 \cdot 10^3 N (\sigma_{pi} + \sigma_{ri}) = 4,34 \cdot 10^3 N \sigma_{\Sigma i},$$

де $\sigma_{\Sigma i} = \sigma_{pi} + \sigma_{ri}$ – ефективна площа ослаблення частинки.

Ефективні площі поглинання та розсіювання частинок істотно залежать від їх форми, розмірів, агрегатного стану та довжини електромагнітної хвилі.

Для сферичних частинок значення σ_{pi} і σ_{ri} можуть розраховуватися за формулами, отриманими Мі, які для частинок малих розмірів ($\pi d/\lambda \ll 1$, d – діаметр частинки), мають вигляд:

$$\sigma_{pi} = \frac{\pi^2 d^3}{\lambda} \operatorname{Im} \left(-\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right), \quad (2.16)$$

$$\sigma_{ri} = \frac{2}{3} \frac{\pi^5 d^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \quad (2.17)$$

де m – комплексний коефіцієнт заломлення речовини частинки;

Im – уявна частина комплексного числа, що стоїть в дужках.

Квадрат модуля і уявна частина відношення $\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}$ характеризують вплив агрегатного стану гідрометеорної частинки на величину її ефективних площ поглинання та розсіювання. Для води квадрат модуля і уявна частина відношення $\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}$ залежать від температури та довжини хвилі. Для льоду величини $\left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2$ і $\operatorname{Im} \left(-\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)$ практично не залежать від довжини хвилі, а залежать від температури.

Ослаблення електромагнітних хвиль в полідисперсних гідрометеорних утвореннях, таких, наприклад, як хмари і опади, зручно для мети практики пов'язувати з інтенсивністю опадів і водністю хмар.

Для найбільш типових законів розподілу крапель в дощах різної інтенсивності питомий коефіцієнт ослаблення визначають за допомогою емпіричної формули

$$\gamma = \beta I^\alpha, \quad (2.18)$$

де γ виражено в дБ/км, а I в мм/год.

2.10 Можливості використання з метою моніторингу різних діапазонів електромагнітних хвиль

2.10.1 Рівняння радіолокаційних метеорологічних об'єктів і його аналіз

Основне рівняння радіолокації метеоцілей визначає залежність потужності сигналу, що приймається РЛС, від технічних параметрів станції, дальності до цілі, її мікрофізичної структури, умов поширення радіохвиль.

Розглянемо рівняння радіолокації метеоцілей. Для цього визначимо значення потужності сигналу, прийнятого РЛС від однієї гідрометеорної частинки.

Нехай РЛС випромінює імпульс електромагнітної енергії тривалістю τ_i і імпульсною потужністю P_i . Виділимо в метеоцілі i -у гідрометеорну частинку A з діаметром d_i , віддалену від РЛС на відстань R (рис. 2.33). Визначимо потужність сигналу, відбитого від цієї частинки та прийнятого РЛС.

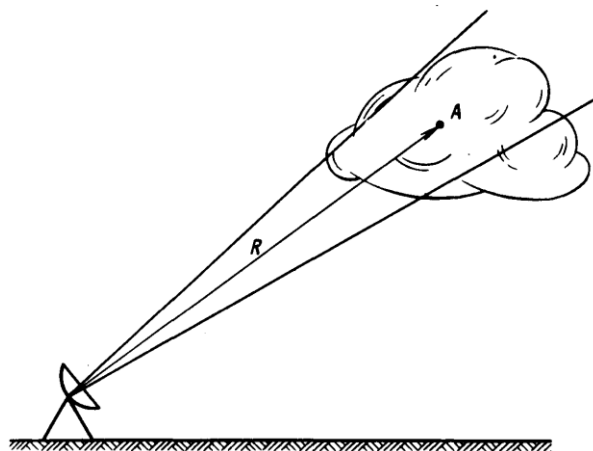


Рисунок 2.33 – Ілюстрація до формули потужності сигналу, відбитого гідрометеорною частинкою

Потужність сигналу, відбитого частинкою А, дорівнюватиме добутку густини потоку потужності зондувального сигналу в точці А на ефективну площу відбиття частинки

$$P_{\text{отр}} = S \sigma_{0i},$$

де S – густина потоку потужності зондувального сигналу РЛС в точці розташування частинки;

σ_{0i} – ефективна відбивальна здатність частинки з діаметром d_i .

Згідно формули

$$\sigma_{0i} = \frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2.$$

Якби РЛС випромінювала потужність рівномірно (ізотропно) на всі боки, то значення S визначалося б виразом

$$S = \frac{P_u}{4\pi R^2}.$$

Оскільки антена РЛС випромінює тільки в тілесному куті, який визначається шириною діаграми направленості в кутомісній і азимутній площині, то

$$S = \frac{P_u G}{4\pi R^2}, \quad (2.19)$$

де G – коефіцієнт направленої дії антени РЛС.

З урахуванням (2.19) отримаємо

$$P_{\text{отр}} = \frac{P_u G}{4\pi R^2} \frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2. \quad (2.20)$$

Щоб визначити потужність сигналу, прийнятого РЛС від цієї частинки, необхідно густина потоку потужності відбитого сигналу в точці розташування РЛС помножити на ефективну площу антени (апертуру):

$$P_{\text{при}} = S_{\text{вх}} A,$$

де $P_{\text{при}}$ – потужність сигналу, що приймається РЛС від i -ї

частинки;

$S_{\text{вх}}$ – густина потоку потужності сигналу, відбитого частинкою, на вході РЛС;

A – ефективна площа антени.

Згідно визначенню $S_{\text{вх}}$ визначається виразом

$$S_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{отр}}}{4\pi R^2}.$$

З урахуванням формули (2.20) маємо

$$S_{\text{вх}} = \frac{P_u G}{16\pi^2 R^4} \frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \quad (2.21)$$

тоді

$$P_{\text{при}} = S_{\text{вх}} A = \frac{P_u G}{16\pi^2 R^4} \frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 A.$$

Враховуючи, що $A = G\lambda^2/(4\pi)$, отримаємо

$$P_{\text{при}} = \frac{P_u G^2}{64R^4} \frac{\pi^2 d_i^6}{\lambda^2} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2. \quad (2.22)$$

Метеоціль складається з безлічі гідрометеорних частинок різних діаметрів, що відбивають електромагнітну енергію. Але не всі вони одночасно беруть участь в створенні відбитого сигналу. Відомо, що в створенні відбитого сигналу одночасно беруть участь тільки частинки, що знаходяться всередині імпульсного (роздільного) об'єму РЛС. Величина цього об'єму відповідно

$$V = \frac{\pi c \tau_u}{8} R^2 \theta.$$

Щоб знайти потужність сигналу, що приймається РЛС від частинок, розміщених в цьому об'ємі, визначимо спочатку потужність сигналу, що приймається від частинок, розміщених в одиничному об'ємі метеоцілі.

Нехай в одиничному об'ємі метеоцілі існує сукупність частинок з діаметром від d_1 до d_m . Причому, в цьому об'ємі є $N(d_1)$ частинок з

діаметром d_1 , $N(d_2)$ частинок з діаметром d_2 і т. д., тобто концентрація частинок різних діаметрів описується функцією розподілу їх за розмірами $N(d_i)$.

Потужність сигналу, прийнятого від всіх частинок даного d_i діаметру, дорівнюватиме сумі потужностей сигналів, прийнятих від кожної з частинок

$$P_{npN(d_i)} = N(d_i)P_{npi} = N(d_i) \left[\frac{P_u G^2}{64R^4} \frac{\pi^2 d_i^6}{\lambda^2} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \right].$$

Потужність, що приймається від всіх частинок, які знаходяться в одиничному об'ємі, визначиться виразом

$$P_{np\Sigma N(d_i)} = \sum_{d_i} P_{npN(d_i)} = \frac{P_u G^2}{64R^4} \frac{\pi^2}{\lambda^2} \sum_{d_i} N(d_i) d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2. \quad (2.23)$$

Тепер очевидно, що потужність сигналу, що приймається РЛС від метеоцілі, може бути знайдена з наступного співвідношення:

$$P_{np} = P_{np\Sigma N(d_i)} V.$$

Підставивши в цей вираз значення $P_{np\Sigma N(d_i)}$ і перетворивши, отримаємо

$$P_{i\delta} = \frac{\pi^3 P_i G^2 \theta^2 \tilde{n} \tau_i}{512 R^2 \lambda^2} \sum_{d_i} N(d_i) d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2. \quad (2.24)$$

Отриманий вираз для потужності відбитого від метеоцілі сигналу справедливий, якщо знехтувати впливом загасання електромагнітної енергії при її поширенні та вважати, що метеоціль повністю поповнює діаграму направленості в кутомістній і азимутній площині.

Насправді загасання електромагнітної енергії (особливо при локації на великі відстані) може виявитися значним, а метеоціль поповнюватиме діаграму направленості частково (рис. 2.34). Вплив часткового поповнення діаграми направленості може бути врахований коефіцієнтом поповнення K_3 , який змінюється від 0 до 1, а вплив заасання множителем ослаблення

$$K_{осл} = 10^{-0,2 \int_0^R \gamma_{\Sigma}(R) dR}.$$

З урахуванням цих коефіцієнтів рівняння радіолокації запишеться в такому вигляді:

$$P_{np} = \frac{\pi^3 P_u G^2 \theta^2 c \tau_u}{512 R^2 \lambda^2} \sum_{d_i} N(d_i) d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 K_3 10^{-0,2 \int_0^R \gamma_{\Sigma}(R) dR}. \quad (2.25)$$

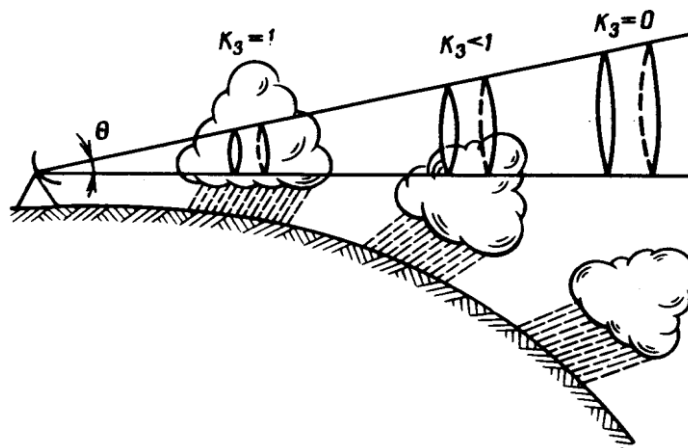


Рисунок 2.34 – До визначення коефіцієнта поповнення K_3

Отримана формула показує залежність потужності прийнятого РЛС сигналу:

- від технічних параметрів станції P_i , τ_i , G , θ , λ ;
- від мікрофізичної структури метеоцілі (через множник

$$\sum_{d_i} N(d_i) d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2);$$

- від водності хмар і інтенсивності опадів (через значення $\gamma_{обл}=0,438w/\lambda^2$ і $\gamma_{ос}=\beta I^\alpha$, які входять в $\gamma_{\Sigma}(R)$ показника ступеня коефіцієнта ослаблення).

Таким чином, при відомих технічних параметрах РЛС потужність прийнятого від метеоцілі сигналу є інформаційним параметром, що несе інформацію про мікрофізичну структуру хмар, опадів, їх водність та інтенсивність.

Основне рівняння радіолокації можна записати в компактнішій формі

$$P_{np} = \Pi R^{-2} Z K_3 10^{-0,2 \int_0^R \gamma_{\Sigma}(R) dR}, \quad (2.26)$$

де $\Pi = \frac{\pi^3 P_u G^2 \theta^2 c \tau_u}{512 \lambda^2}$ – потенціал метеорологічної РЛС;

$Z = \sum_{d_i} N(d_i) d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2$ – відбивальна здатність метеоцілі, яка

визначається її мікрофізичною структурою.

Потужність прийнятого сигналу РЛС пропорційна потенціалу РЛС і відбивальній здатності метеоцілі. Відбивальна здатність метеоцілей, надзвичайно сильно залежить від розмірів гідрометеорних частинок, які утворюють ціль (пропорційна шостому ступеню діаметра частинок).

Відбивальна здатність пропорційна множнику $\left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2$, значення якого визначає агрегатний стан (фазу) гідрометеорних частинок, які утворюють метеоціль. Множник для води дорівнює 0,96, для льодяних частинок – 0,16. Це означає, що відбивальна здатність водяних частинок в шість разів більша, ніж льодяних. Але оскільки геометричні розміри льодяних частинок значно більше водяних, то може статися, що через це відбивальна здатність льодяних хмар буде більша. На практиці виявляється, що Сі, Ас виявляються метеорологічними РЛС краще, ніж Ас.

Ця неоднозначна залежність Z затруднює розпізнавання типу хмарності по значеннями відбивальної здатності. Тому для надійності розпізнавання необхідно залучати додаткові інформативні ознаки.

Значення потужності сигналу, що приймається, в значною мірою залежить від умов поширення.

Вплив загасання радіохвиль на величину потужності сигналу, що приймається, може бути значним. Візьмемо, наприклад, хвилі повдовжки 0,8 см і 3 см. Коефіцієнти загасання в газах складуть:

- для $\lambda = 0,8$ см – $\gamma_{\Gamma} = \gamma_K + \gamma_{\text{вп}} = 0,06$ дБ/км;
- для $\lambda = 3$ см – $\gamma_{\Gamma} = \gamma_K + \gamma_{\text{вп}} = 0,01$ дБ/км.

Тоді коефіцієнти ослаблення K для цих довжин хвиль при віддаленні цілі на 50 км від РЛС складають відповідно 0,35 і 0,8.

Таким чином, ослаблення тільки по рахунок поглинання в газах складе для $\lambda = 0,8$ см – 65% і для $\lambda = 3$ см – 20%.

Не менш сильно впливають на зменшення потужності сигналу хмар, що приймається від метеоцілі, і опади, що знаходяться на трасі розповсюдження радіохвиль і розташовані між РЛС і метеоцілью. Так, наприклад, якщо протяжність хмар і опадів, що екранують метеоціль,

складе 50 км, а їх водність $w = 1 \text{ г/м}^3$ і інтенсивність $I = 1 \text{ мм/год}$, то ослаблення в хмарах складе 78% для $\lambda = 0,8 \text{ см}$ і 11% для $\lambda = 3 \text{ см}$.

Ослаблення в дощі складе 44% для $\lambda = 0,8 \text{ см}$ і 4% для $\lambda = 3 \text{ см}$.

Призведені дані свідчать, що ослаблення потужності сигналу, що приймається, в міліметровому діапазоні хвиль ($\lambda = 0,8 \text{ см}$) дуже значне.

Покон розподілу частинок за розмірами в хмарах і опадах носить виражений регіональний характер, тому зв'язок між радіолокаційним відбиттям дощу та його інтенсивністю та між радіолокаційним відбиттям хмар і їх водністю для різних районів буде різним. Так, для позаходівних широт подовільно узгоджуються з експериментальними даними такі залежності:

- для дощу $Z = 200 I_d^{1,6}$;
- для снігу $Z = 2000 I_{сн}^2$;
- для хмар з $d \leq 29 \text{ мкм}$ і $w \leq 1,3 \text{ г/м}^3$.
 $Z = 0,048 W^2$,

де I_d – інтенсивність дощу в мм/год;

$I_{сн}$ – інтенсивність снігопаду, перерахована на воду в мм/год;

W – водність хмар в г/м^3 .

2.10.2 Лідарний моніторинг навколишнього середовища

Здатність лідарних вимірювальних систем (на основі лазерів) виконувати кількісний спектральний аналіз навколишнього середовища на значних відстанях оснований на метричній (інформаційній) трансформації лідарного сигналу в результаті його взаємодії з середовищем [24]. Зворотний інформаційний сигнал лідара може бути прийнятий як на частоті сигналу, посланого лідаром, так і на інших частотах. Метричною властивістю може служити інтенсивність зворотного сигналу на одній або декількох частотах, зміна спектрального складу або поляризації сигналу і т.п.

Розглянемо основні ефекти, що виникають при взаємодії лідарного сигналу з об'єктами природного середовища. При цьому інтенсивність взаємодії буде характеризуватися перетином розсіювання (відбиття) або випромінювання, або поглинання.

Допплерівський зсув частоти лазерного сигналу є метричною властивістю при вимірюванні руху середовища, в якому поширюється сигнал, або об'єкту, від якого він розсіюється. Для виділення доплерівського зсуву частоти позвичай порівнюють за частотою два сигнали - вимірювальний, який пройшов через середовище, або розсіяний від об'єкта, і опорний, який минає об'єкт (середовище). Іноді застосовується і інший – диференційний метод, коли обидва розщеплені сигнали проходять через досліджуваний об'єм, але під різними кутами по

відношенню до вектора руху перевипромінювача. Якщо рух перевипромінювача не стаціонарний, а схильний до флуктуацій, то виконується спектр зміщених частот, ширина якого пропорційна ширині спектра флуктуацій швидкості руху перевипромінювача.

Відбиття від поверхні об'єкта спричиняє зміну інтенсивності сигналу, його поляризації, а частково - і спектрального складу. Час проходження сигналу до поверхні і напод визначає відстань до неї.

Релеєвське розсіювання і розсіювання Мі лазерного випромінювання представляє пружне (без зміни частоти) розсіювання сигналу атомами та молекулами, їх флуктуаційними скупченнями, аерозолями атмосфери. Перетин розсіювання залежить від співвідношення між довжиною хвилі випромінювання та розмірами розсіювачів, а також від кута, під яким приймається розсіяний сигнал. Відносно дрібні (в порівнянні з довжиною хвилі) розсіювачі мають індикатрису розсіювання, що підкоряється закону Релея; частинки, які порівнюють за розмірами з довжиною хвилі випромінювання, мають індикатрису розсіювання, що підкоряється покону Мі. В останньому випадку рівень розсіяного сигналу може опинитися значно сильнішим релеєвського. Це означає, що по наявності великих по розмірам розсіювачів однієї компоненти сигнали релеєвського розсіювання інших компонент можуть виявитися помаскованими.

Резонансне релеєвське розсіювання випромінювання, що має більший перетин розсіювання, спостерігається в тому випадку, якщо лазерне випромінювання збігається по частоті з частотою певного атомного переходу.

Комбіноване розсіювання світла (КРС) - непружне, тому з зміною частоти сигналу воно виникає в результаті модуляції лідарного сигналу власними коливаннями досліджуваних молекул. КРС має дві компоненти, віддалені по шкалою частот на рівних відстанях від зондувального сигналу. Ці відстані цілком визначаються властивостями досліджуваних молекул, а амплітуди цих компонент - концентрацією досліджуваних молекул. Якщо збуджувальне випромінювання потрапляє в область смуги поглинання середовища, то ефект КРС посилюється, має місце резонансне КРС (РКРС). При значній інтенсивності лідарного сигналу ефект додатково посилюється за рахунок створення так званого вимушеного КРС (ВКРС). Перетин КРС порівняно невеликий, проте сформований лазером сигнал КРС може бути чітко відокремлений за частотою від сигналу релеєвського розсіювання.

Флуоресценція (атомна і молекулярна) - випускання фотонів з частотою, меншою частоти лазерного опромінювання. Це явище виникає внаслідок поглинання лазерного випромінювання, якщо його частота збігається з частотою певного електронного переходу в атомі або молекулі досліджуваної речовини.

Поглинання лазерного сигналу спостерігається при збігу частоти

випромінювання зі смугою поглинання досліджуваної молекули. При цьому ступінь ослаблення лазерного випромінювання служить мірою концентрації досліджуваної речовини (наприклад, водяної пари або озону).

Вище малоя на увазі опромінювання об'єктів лідарним сигналом певної частоти. Нерідко використовується диференціальний метод, при якому опромінювання ведеться на двох близьких частотах, вибраних так, щоб на одній частоті ефект розсіювання (або поглинання) був максимальний, а на іншій частоті - декілька меншим (неузгоджений з максимумом). Такі методи називаються диференційним поглинанням або розсіюванням (ДПР) і використовуються з метою виключити роль інших спотворювальних ефектів, які однакові (або достатньо близькі) на обох частотах.

2.11 Просторово-часові характеристики метеорологічних процесів, які підлягають радіолокаційному контролю

2.11.1 Завдання і мета моніторингу атмосфери

Стан атмосфери, головним чином, визначає ефективність функціонування різних галузей виробництва - транспорту, сільського, лісового та водного господарства, а також різних міських структур. Вивчення закономірностей процесів і кількісного описання різних атмосферних явищ, ґрунтується на результатах експериментальних вимірювання. Експериментальні дослідження, які включають дистанційні спостереження по різних характеристиками тропосфери, мають, безумовно, науково-дослідний характер.

Сучасні кліматичні зміни надають повдання моніторингу основоположне значення, який, як відомо, включає довготривалі вимірювання багатьох параметрів атмосфери та підстильної поверхні, аналіз змін стану системи атмосфера-поверхня, та прогноз цих змін в майбутньому. Зміна клімату Землі, з якими пов'язані: руйнування озонового шару нашої планети, зміни температури, опадів, підйом рівня Світового океану, збільшення ультрафіолетової (УФ) освітленості земної поверхні і т. д., є сьогодні, найбільш значущою проблемою. Враховуючи, що кліматичні зміни можуть стати причиною небажаних екологічних, економічних і соціальних наслідків, міжнародним співтовариством було прийнято ряд угод:

- Рамкова угода ООН по зміні клімату Землі (UN Framework Convention on Climate Change - FCCC);
- Віденська конвенція про охорону озонового шару;
- Протокол Монреаля Віденської Конвенції про охорону озонового шару;
- Угода про обмеження викидів парникових газів і т.д.;

- Кіотський протокол.

У зв'язку з цим, одним з важливих напрямів є формування системи спостережень за станом атмосфери. Для виконання всіх вимог необхідний внесок різних систем спостережень - локальних, дистанційних (зокрема супутникових). Оптимальна інтеграція цих систем потребує ретельного планування на міжнародному та національних рівнях для одержання максимального ефекту від того, що існує і планованих до створення наглядових систем. Таким плануванням поймається Всесвітня Метеорологічна організація (ВМО), в яку входять 189 країн і територій, а також інші міжнародні та національні відомства.

У межах однієї країни доцільно, доступно і економічно вигідно вести розробку системи наземного дистанційного зондування атмосфери. До вимірювання характеристик атмосфери за допомогою наземних дистанційних систем ставляться специфічні вимоги:

- необхідність вимірювання великої кількості характеристик атмосфери;
- вимірювання повинні охоплювати значний діапазон просторових масштабів атмосферних процесів і явищ (від молекулярних процесів до синоптичного масштабу);
- дослідження та контроль стану повинні здійснюватися на території всієї країни;
- необхідність постійного довготривалого контролю стану системи атмосфера та здійснення прогнозів на різні терміни.

Таким чином, мету наземного дистанційного зондування атмосфери можна сформулювати так:

- а) контроль стану атмосфери, щоденний моніторинг, що включає, своєчасне виявлення небезпечних явищ;
- б) здійснення прогнозів погоди різної довготривалості;
- в) дослідження клімату певної території та прогноз його можливих змін;
- г) науково-дослідні Завдання.

2.11.2 Методи вимірювання у фізиці атмосфери

Сьогодні існує широкий набір методів і засобів вимірювання різних параметрів атмосфери та поверхні [37, 39]. Відомо, що різні типи вимірювання підрозділяють на прямі (direct), непрямі (indirect), локальні (in situ) та дистанційні (remote).

Прямих вимірювання у фізиці, і в фізиці атмосфери зокрема, в даний час існує дуже мало. Більшість методів вимірювання - непрямі. Ці методи використовують закони та співвідношення між різними фізичними параметрами (наприклад, залежність опору провідників від температури).

Локальні (контактні) вимірювання здійснюються за допомогою певних чутливих елементів (датчиків), поміщених в досліджувану точку (обмежений об'єм) атмосфери. За допомогою контактних методів здійснюється велика кількість вимірювання різних параметрів атмосфери та поверхні (наприклад, вимірювання температури та вологості за допомогою регулярних радіозондів, що попускаються).

Дистанційні методи вимірювання ґрунтуються на реєстрації на певній відстані від досліджуваного об'єкту характеристик різних полів - електричних, магнітних, електромагнітних, гравітаційних, акустичних. Досліджуваний об'єкт трансформує падаючі на нього поля або генерує власні поля, і це дозволяє досліджувати його стан. Визначимо перелік найважливіших параметрів клімату Землі, які необхідно контролювати періодично та тривалий час (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 - Найважливіші кліматичні параметри

Середовище	Найважливіші кліматичні параметри
Атмосфера	Температура, опади, швидкість і напрям вітру, водяна пара
Вільна атмосфера	Температура, характеристики хмар, радіаційний баланс (включаючи сонячне випромінювання), швидкість і напрям вітру, водяна пара
Склад атмосфери	CO ₂ , метан, озон, інші довгоіснуючі гази, характеристики аерозолів

2.11.3 Вимоги до вимірювання в атмосфері

На основі тривалої роботи великого числа вчених і фахівців в різних галузях атмосферної науки, в рамках спеціальних міжнародних робочих груп були сформульовані вимоги до вимірювання в атмосфері для вирішення різних завдань і для різних розділів геофізичної науки. Таким чином, сформульовані вимоги до таких характеристик вимірювання:

- похибки вимірювання (випадкові та систематичні);
- просторова (горизонтальна та вертикальна) роздільна здатність;
- періодичність (частота) вимірювання;
- висотний діапазон вимірювання;
- оперативність подання даних вимірювання для використання;
- надійність (reliability) даних вимірювання.

Надійність (reliability) даних вимірювання - відтворюваність результатів вимірювання в аналогічних умовах, кількісно виражається по допомогою кореляції результатів початкових і повторних. При цьому для більшості показників в розроблених рекомендаціях наведені вимоги та похибки двох типів - оптимальні та граничні. Під оптимальними розуміються найбільш бажані точностні вимірювання, під граничними похибками - похибки, більше яких вимірювання не мають практичної

цінності для вирішуваного кола завдань. У ряді випадків формулюються вимоги трьох рівнів:

- «threshold» - мінімальні (граничні) вимоги, які слід виконувати, щоб вимірювання були корисні;
- «goal» - ідеальні вимоги, виконання яких не потребує подальшого поліпшення систем спостереження;
- «breakthrough» - проміжний (оптимальний) рівень вимог між «breakthrough» і «goal», який при досягненні дає значне поліпшення для конкретного застосування. Цей рівень можна розглядати як оптимальний з урахуванням компромісу між вартістю та вигодою, коли планується, або створюється система спостережень.

В даний час на сайті ВМО можна знайти різноманітні вимоги, сформульовані робочими групами таких міжнародних комісій і програм:

- Всесвітня Метеорологічна Організація (ВМО, World Meteorological Organization (WMO));
- Всесвітня дослідницька кліматична програма (WCRP, World Climate Research Programme);
- Програма глобальної системи спостережень клімату (ГССК, Global Climate Observing System (GCOS));
- Міжнародна програма геосферно-біосферних досліджень (International Geosphere-biosphere Programme (IGBP));
- Міжнародна рада по наукам (International Council for Science (ICSU));
- Програма навколишнього середовища ООН (United Nations Environment Programme (UNEP)).

Повний і детальний список вимог до вимірювання численних параметрів атмосфери та поверхні підготувала ВМО для таких галузей використання:

- атмосферна хімія;
- чисельний прогноз погоди;
- «Nowcasting» (мезомасштабний надкороткостроковий прогноз погоди на період 2-3 години);
- регіональний чисельний прогноз погоди;
- дослідження клімату;
- синоптична метеорологія;
- авіаційна метеорологія;
- сільськогосподарська метеорологія;
- безпека та запобігання терористичній діяльності.

Вимоги до вимірювання (за просторовою роздільною здатністю, характеристиками точності і т. д.) відрізняються залежно від галузі використання та сформульовані для різних областей атмосфери - нижня тропосфера (1000-500 гПа), верхня тропосфера (500-100 гПа), нижня

стратосфера (100-10 гПа), погальний вміст в атмосферному стовпі (іноді окремо в тропосфері). Всі параметри розбиті на декілька груп:

- температурне і вологісне зондування атмосфери;
- вітрове зондування;
- хмари та опади;
- атмосферна енергетика;
- озон і інші малі газові складові (МГС).

Вимоги ВМО та інших відомств і програм сформульовані для таких параметрів різних областей атмосфери та поверхні:

- температура та вологість повітря;
- показник стійкості атмосфери;
- тип хмар;
- бальність хмарності;
- висота нижньої та верхньої меж (н.г. і в.г.) хмарності;
- температура верхньої межі хмар;
- профіль рідкої води в хмарах і загальний вміст рідкої води;
- розміри хмарних крапель на верхній межі хмар;
- профіль хмарних льодяних частинок і їх загальний вміст;
- характеристики опадів;
- зображення хмарного покриву;
- профіль вертикальної та горизонтальної компонент вітру;
- профіль вмісту аерозолі та інтегральний (сумарний) аерозоль.

Розглянемо вимоги для ряду параметрів атмосфери, сформульовані ВМО для виконання завдань контролю стану атмосфери, прогнозів погоди різної повчасності та просторових масштабів, досліджень клімату певної території, а також використання даних в різних областях життєдіяльності.

Вимірювання температурного профілю. Вимоги до визначення вертикального профілю температури (оптимальні/граничні) призведені в табл. 2.6. У різних стовпцях таблиці призведені вимоги для горизонтальної та вертикальної роздільної здатності, періодичність вимірювання, похибки, оперативність подання та галузі використання даних.

Відзначимо, що вимоги до визначення температури атмосфери помітно міняються полегшено від області використання та даної області атмосфери. Максимальний горизонтальний розділення необхідний при використанні даних в «Nowcasting» і складає 5/200 км. Максимальна вертикальна роздільна здатність потрібна в синоптичній метеорології в нижній та верхній тропосфері - 0,1/2 км та авіаційній метеорології в нижній тропосфері - 0,15/0,6 км. Висока вертикальна роздільна здатність необхідна також для «Nowcasting» в нижній тропосфері - 0,5/1,0 км. У багатьох випадках достатня вертикальна роздільна здатність вимірювання температури складає 1/3 км. Необхідна періодичність вимірювання коливається від 0,25/1 години («Nowcasting», нижня та верхня тропосфера) до 3/12 годин в синоптичній метеорології.

Таблиця 2.6 - Вимоги (оптимальні/граничні) до вимірювання вертикального профілю (розподілу) температури атмосфери

Вимоги	Горизонтальна роздільна здатність, км	Вертикальна роздільна здатність, км	Періодичність, год	Похибка, К	Оперативність, год	Використання
Верхня тропосфера	10/500	1/3	0,5/12	0,5/3	0,5/2	Регіональний прогноз
Верхня тропосфера	20/200	0,1/2	3/12	0,5/3	1/3	Синоптична метеорологія
Верхня тропосфера	5/200	1/3	0,25/1	1/2	0,08/0,5	Nowcasting
Нижня стратосфера	20/200	0,1/2	3/12	0,5/3	1/3	Синоптична метеорологія
Нижня стратосфера	10/500	1/3	0,5/12	0,5/3	0,5/2	Регіональний прогноз
Нижня тропосфера	5/200	0,5/1	0,25/1	0,5/2	0,08/0,5	Nowcasting
Нижня тропосфера	10/500	0,3/3	0,5/12	0,5/3	0,5/2	Регіональний прогноз
Нижня тропосфера	20/200	0,1/2	3/12	0,5/3	1/3	Синоптична метеорологія
Нижня тропосфера	50/100	0,15/0,6	1/3	2/5	1/2	Авіаційна метеорологія

Оптимальні похибки вимірювання складають 0,5-2,0 К, причому для регіональних вони складають 0,5 К по всій атмосфері. Граничні похибки складають 2-5 К пожежно від сфери застосування даних. Оперативність надання також сильно варіує - максимальна для «Nowcasting» - 0,08/0,5 год і мінімальна для синоптичної метеорології - 1/3 години. Відзначимо вимоги до визначення температури тропопаузи, вони максимальні для «Nowcasting» і складають за горизонтальною роздільною здатністю 10/200 км, за періодичністю - 0,5/6 годин, за похибками вимірювання - 0,5/2 К. Оперативність подання даних повинна складати 0,5/2 години.

Вимірювання вологості атмосфери. Необхідні похибки вимірювання вологості атмосфери складають 5/20 %, по винятком вимог до авіаційної метеорології для нижньої тропосфери, де вони складають 5-10 %. Найгрубіша горизонтальна роздільна здатність вимірювання складає 50/500 км для досліджень в області атмосферної хімії для всієї товщі атмосфери. Найбільш висока горизонтальна роздільна здатність необхідна для даних, використовуваних для «Nowcasting» (5/200 км) для нижньої та верхньої тропосфери та для авіаційної метеорології (50/100 км) для нижньої тропосфери. Найбільш груба вертикальна роздільна здатність в 1/5 км достатня для досліджень в галузі атмосферної хімії. З іншого боку, для використання даних про вологість атмосфери в тропосфері потрібна висока вертикальна роздільна здатність: для синоптичної метеорології в

верхній і нижній тропосфері - 0,1/2 км, для авіаційної метеорології в нижній тропосфері - 0,15/0,6 км. Необхідна періодичність вимірювання вологості змінюється від 12/72 годин для атмосферної хімії (за винятком шару нижньої тропосфери - 6/72 години) до 0,25/1 години для використання в «Nowcasting» в нижній і верхній тропосфері. Оперативність подання даних вимірювання коливається від 3/7 діб, для використання в атмосферній хімії до 0,08/0,5 год. для «Nowcasting» (нижня та верхня тропосфера). Погальний вміст водяної пари потрібно визначати з оптимальною і граничною похибками 1 кг/м² і 5 кг/м², відповідно, і з горизонтальною роздільною здатністю 5/50 км («Nowcasting»), 10/250 км (регіональний прогноз). Вимоги до вимірювання вологості атмосфери підсумовані в табл. 2.7.

Таблиця 2.7- Вимоги (оптимальні/граничні) до вимірювання вологості атмосфери

Вимоги	Горизонтальна роздільна здатність, км	Вертикальна роздільна здатність, км	Періодичність, год	Похибка, К	Оперативність, год	Використання
Верхня тропосфера	50/500	1/5	12/72	5/20	72/168	Атмосферна хімія
Верхня тропосфера	5/200	1/3	0,25/1	5/20	0,08/0,5	Nowcasting
Верхня тропосфера	20/200	0,1/2	3/12	5/20	1/3	Синоптична метеорологія
Верхня тропосфера	10/100	1/3	0,5/12	5/20	0,5/2	Регіональний прогноз
Нижня стратосфера	50/500	1/5	12/72	5/20	72/168	Атмосферна хімія
Нижня тропосфера	5/200	0,5/1	0,25/1	5/20	0,08/0,5	Nowcasting
Нижня тропосфера	10/100	0,4/2	0,5/12	5/20	0,5/2	Регіональний прогноз
Нижня тропосфера	20/200	0,1/2	3/12	5/20	1/3	Синоптична метеорологія
Нижня тропосфера	50/100	0,15/0,6	1/3	5/10	1/2	Авіаційна метеорологія

Вимірювання характеристик аерозолі. У вимогах каталогу ВМО не завжди уточнено, щодо яких характеристик аерозолі вони приведені. Детальніше це питання розглядається у вимогах, сформульованих, наприклад, в каталозі ГССК (GCOS). Вимірювання характеристики аерозолі (як профілю, так і інтегральних характеристик) необхідно здійснювати з похибками 10/20 %, за винятком випадку використання даних в атмосферній хімії в нижній тропосфері (5/20 %). В більшості випадків при цьому достатня горизонтальна роздільна здатність

складає 50/500 км, окрім випадку використання даних по інтегральними характеристиками для «Nowcasting» (5/50 км). Найчастіше достатня вертикальна роздільна здатність для вимірювання аерозолі - 1/10 км. Висока періодичність вимірювання потрібна в «Nowcasting» для інтегральних характеристик - 0,25/12 год.

В інших випадках достатня періодичність 6/168 год. Оперативність подання даних вимірювання коливається від 0,25/2 години («Nowcasting», інтегральні характеристик) до 12/168 годин для більшості споживачів.

Вимірювання характеристик хмар. Докладні вимоги в каталогах ВМО призведені для вимірювання різних характеристик хмар. Вони дані стосовно використання даних в регіональному прогнозі, «Nowcasting», авіаційній і синоптичній метеорології. Для прикладу в табл. 2.8 призведені вимоги до вимірювання характеристик хмар при використанні даних в регіональному прогнозі.

Вимоги до горизонтальної роздільної здатності різних характеристик хмар складають, як правило, 10/250 км. Винятком є вимоги до зображень хмар - 1/50 км. Вимоги до вертикальної роздільної здатності вимірювання в нижній тропосфері складають 0,3/5 км, у верхній тропосфері - 1/10 км. Необхідна періодичність вимірювання майже однакова для різних параметрів і коливається в діапазоні (0,5/6 - 0,5/12) год. Вимоги до похибок вимірювання різних параметрів хмар наведені в п'ятому стовпці табл. 2.8. Наприклад, висоту нижньої межі хмар (основа) слід визначати з похибками 0,5/1 км, покриття хмар (бальність хмарності) з похибками 5/20%.

Необхідна оперативність подання даних вимірювання коливається в діапазоні (0,5/2 - 0,5/12) год.

Вимірювання характеристик опадів. У каталозі ВМО сформульовані вимоги до вимірювання денної кількості та інтенсивності рідких і твердих опадів (кількість опадів в одиницю часу) для використання цих даних в регіональному прогнозі, «Nowcasting», синоптичній і сільськогосподарській метеорології. Необхідна горизонтальна роздільна здатність вимірювання (оптимальна/гранична) складає 5/50 км для ступеня рідких і твердих опадів при використанні даних в «Nowcasting».

Необхідна періодичність вимірювання коливається від 0,08/1 год для ступеня рідких опадів («Nowcasting») до 24/72 години для сумарного індексу опадів (сільськогосподарська метеорологія). Похибки вимірювання, що рекомендуються, для сумарного індексу опадів складають 0,5/5,0 мм/день (регіональний прогноз) і 2/10 мм/день для сільськогосподарської метеорології. Похибки вимірювання ступеня рідких і твердих опадів повинні знаходитися в межах 0,1-1,0 мм/година.

Вимірювання характеристик поля вітру. Горизонтальна та вертикальна компоненти вітру повинні визаходівуватися до висоти 30 км. Для горизонтальних компонент швидкості вітру необхідна горизонтальна

роздільна здатність вимірювання коливається від 5/200 км до 50/500 км полегно від галузі використання.

Таблиця 2.8 - Вимоги до вимірювання характеристик хмар

Вимоги	Горизонтальна роздільна здатність, км	Вертикальна роздільна здатність, км	Періодичність, год.	Похибка, К	Оперативність, год.
Висота основи хмар	10/250		0,5/12	0,5/1 км	0,5/3
Покриття хмар	10/250		0,5/12	5/20 %	0,5/2
Розміри частинок на верхній межі хмар	10/250		0,5/12	0,5/2 мкм	0,5/2
Профіль льодяних частинок у верхній тропосфері	10/250	1/10	0,5/12	5/20 %	0,5/2
Профіль льодяних частинок у нижній тропосфері	10/250	0,3/5	0,5/12	5/20 %	0,5/2
Погальний вміст льодяних частинок	10/250		0,5/12	10/20 г/м ²	0,5/2
Зображення хмар	1/50		0,5/6		0,5/2
Висота верхньої межі	10/250		0,5/12	0,5/1 км	0,5/2
Профіль водяних частинок (<100мкм) у верхній тропосфері	10/250	1/10	0,5/12	5/20 %	0,5/2
Профіль водяних частинок (<100мкм) у нижній тропосфері	10/250	0,3/5	0,5/12	5/20 %	0,5/12
Погальний вміст водяних частинок (<100мкм)	10/250		0,5/12	10/50 кг/м ²	0,5/12
Профіль водяних частинок (>100мкм) у верхній тропосфері	10/250	1/10	0,5/12	5/20 %	0,5/2
Профіль водяних частинок (>100мкм) в нижній тропосфері	10/250	0,3/5	0,5/12	5/20	0,5/2
Погальний вміст водяних частинок (>100мкм)	10/250		0,5/12	10/50 кг/м ²	0,5/4

Вимоги до вертикальної роздільної здатності вимірювання горизонтальних компонент варіюють від 0,1-0,15/0,6-2,0 км (для авіаційної та сільськогосподарської метеорології). Необхідна періодичність вимірювання може бути дуже великою, наприклад, 0,0833/0167год для авіаційної метеорології. Для синоптичної метеорології достатні вимірювання через 3/12 годин. Похибки вимірювання повинні знаходитися в межах 1-2/5-8 м/с для різних сфер застосування даних. Оперативність подання результатів вимірювання може бути також дуже високою -

0,08/0,5 години для «Nowcasting». Вимоги до горизонтальної роздільної здатності вимірювання вертикальної компоненти швидкості вітру складають 10-50/500 км. В цьому випадку максимальна горизонтальна роздільна здатність потрібна для «Nowcasting» нижньої тропосфери - 5/200 км. Оптимальна вертикальна роздільна здатність складає 0,5 км, гранична знаходяться в діапазоні 2-10 км (2 км потрібно для «Nowcasting»). Оптимальна періодичність міняється від 0,25 год. («Nowcasting»). Граничні періодичності знаходяться в діапазоні 1-12 годин. Необхідні похибки вимірювання вертикальної компоненти швидкості вітру - 1/5 см/с. Вимоги до оперативності подання даних для користувачів аналогічні вимогам для горизонтальних компонент швидкості вітру. Особливі вимоги в каталозі ВМО сформульовані для вимірювання швидкості вітру у поверхонь морів і суші. В цьому випадку вимоги сформульовані для швидкості та напрямку вітру. Оптимальні похибки цих величин повинні знаходитися в межах 0,5-2 м/с, граничні - 3-5 м/с пожежно від галузі використання.

Вимоги при моніторингу параметрів клімату. Для ефективного моніторингу клімату та його змін система спостережень повинна забезпечувати:

- моніторинг параметрів клімату та кліматоутворювальних чинників;
- виявлення кліматичних змін і їх впливу на навколишнє середовище;
- одержання граничних і початкових умов для побудови кліматичних моделей;
- валідацію кліматичних моделей;
- перевірку гіпотез про причини регіональних змін клімату.

Для досягнення істотного прогресу в кліматичних дослідженнях надзвичайно важливо обґрунтувати та реалізувати глобальну систему спостережень клімату. Для цього в 1992 році чотирма міжнародними організаціями (WMO, International Oceanographic Commission (IOC), United Nations Environmental Programme (UNEP), International Council of Scientific Unions (ICSU)) була створена програма Глобальної Кліматичної Наглядової Системи (ГКНС, GCOS). Цілі GCOS полягають у визначенні та конкретизації оперативної системи кліматичних спостережень ХХІ століття та найважливіших невизначеностей клімату та стимулюванні розробки програм досліджень з метою створення покращених оперативних програм.

При моніторингу глобальних змін, що відбуваються на Землі, як об'єкти спостереження по атмосферою виступають температура, вологість атмосфери, хмарний покрив, радіаційний баланс Землі, озоновий шар, вміст аерозолі та малих газових компонент в атмосфері, характеристики динаміки атмосфери, потоки поряджених частинок і електромагнітні поля в навколосемному просторі. Крім того, потрібне визначення даних про параметри підстильної поверхні, включаючи межі природно-кліматичних зон, земні рослинні покриви, температуру та кольоровість Світового

океану, маси морських льодяних утворень, форму геоїда і т. д. Основні вимоги до інформаційного забезпечення робіт в цьому напрямі - накопичення довгих багаторічних рядів даних, безперервність вимірювання, сумісність інформації, що отримується різними методами та приладами, зберігання інформації у форматах і стандартах, прийнятих в міжнародній практиці. Важлива роль для виконання цих вимог відводиться супутниковим системам спостережень.

Зміни клімату є одним з найважливіших проявів глобальних змін стану нашої планети. Клімат нашої планети в значній заході визначається вмістом радіаційно-активних складових атмосфери. Ці складові включають парникові гази, перш за все водяна пара, CO_2 , O_3 , CH_4 , N_2O , $CFCs_3$, хмари та аерозолі, що визначають термічний режим атмосфери за рахунок поглинання сонячної та атмосферної радіації. Моніторинг цих параметрів повинен здійснюватися на довготривалій основі. Ці дані, зокрема, використовуються для створення кліматологічних баз даних, валідації та вдосконалення чисельних моделей атмосфери. Відзначимо, що оптимальні та граничні похибки визначення вмісту ряду газів, як і інших параметрів атмосфери, а також інші вимоги можуть відрізнятися в різних документах та як і раніше уточнюються. Так в звіті комітету ВМО по супутниками спостереження Землі (CEOS - Committee on Earth Observation Satellites) пропонується окрім основних газів, таких як O_3 , N_2O , CH_4 , CO , CO_2 , HCl , HNO_3 , BrO , ClO , NO_2 , NO , епізодично визаходівювати такі гази (табл. 2.9). При цьому ці вимірювання не передбачається проводити з високою частотою та високою (що рекомендується для інших компонент) просторовою роздільною здатністю.

Таблиця 2.9 - Додаткові гази, які рекомендуються для вимірювання в звіті WMO/CEOS

Класифікація	Малі газові складові
Гази - джерела	CFC-11, CFC-12, CFC-22, CH_3Cl , CH_3Br , H1201, H1311, CF_4 , SF_6
Гази - резервуари	HBr, $ClONO_2$, $HOCl$, $OClO$, H_2O_2
Вільні радикали	OH, HO_2 , NO_3

Як видно з наведеної таблиці, оптимальна відносна похибка вимірювання загального вмісту озону - 1 %. Аналогічні таблиці для інших газів показують, що для них ряд вимог є «м'якшим», проте, для багатьох газів погальний вміст необхідно визаходівювати з похибками 1-2 %.

Для загального вмісту вуглекислого газу оптимальні випадкові похибки не повинні перевищувати 0,5 ppm, що становить частку відсотка.

Це зумовлено його відносно малими просторово-часовими варіаціями та необхідністю вивчення кругообігу вуглецю в природі. Необхідна горизонтальна роздільна здатність для вимірювання загального вмісту озону та загального вмісту озону в тропосфері складають: оптимально - 10 км, гранично - 100 км. Для вмісту на різних висотах гранична горизонтальна роздільна здатність 250 км для всіх шарів, оптимальна - менше 10 км для нижньої тропосфери та 50 км для вищих шарів атмосфери. Вертикальна роздільна здатність - оптимальна - 0,5 км, гранична - 5 км для тропосфери, 3 км - для нижньої стратосфери, 6 км - для верхньої атмосфери. Оптимальний період вимірювання складає 3 години для всіх шарів атмосфери, а для загального вмісту - 6 годин. Граничний період вимірювання міняється від 24 годин для загального вмісту до 7 днів в трьох нижніх шарах атмосфери. Атмосферні аерозолі істотно впливають на клімат Землі як прямим, так і непрямим чином. Сумарний вплив аерозолів, по сучасними наданнями, приводить до охолодження та може надавати компенсівну дію на потепління, що спричиняється антропогенними парниковими гапами. Для об'єктивної оцінки впливу аерозолів необхідні спостереження над ним як в тропосфері, так і в стратосфері. Для вивчення впливу аерозолів на радіаційні характеристики атмосфери, радіаційний баланс планети, різні фізичні та хімічні атмосферні процеси необхідно визаходівлювати такі параметри аерозолів:

- Загальна аерозольна оптична товща;
- профіль аерозольного ослаблення (або, принаймні, відповідні значення для тропосфери та стратосфери);
- функція розподілу частинок по розмірами;
- коефіцієнт поломлення аерозольних частинок;
- індикатриса розсіювання;
- альbedo одноразового розсіювання;
- вміст SO_2 , як аерозоле-утворювального з'єднання;
- парціальний тиск водяної пари.

Аерозольна оптична товща - найважливіший параметр, який істотно визначає радіаційні ефекти аерозолів, - повинен визаходівлюватися з високою точністю та хорошою періодичністю. Глобальні зміни аерозольної товщі над океанами в 0,01 (видима область) можуть викликати глобальне радіаційне обурення в 0,25 ватт/м². Це означає, що відносна точність вимірювання аерозольної оптичної товщі має бути краще ніж 10 %. Горизонтальні відстані між вимірюваннями можуть бути близько 100 км, проте, для вивчення аерозолів в хмарах горизонтальна роздільна здатність не повинна перевищувати декількох кілометрів. Вимоги до вимірювання характеристик аерозолів, сформульовані в рамках програми GCOS, на дані в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 - Вимоги GCOS до вимірювання характеристик аерозолів в інфрачервоній (ІЧ) та видимій областях (ВИД) спектра

Вимоги	Горизонтальна роздільна здатність	Вертикальна роздільна здатність	Періодичність	Похибка	Оперативність
Оптична товщина (ГЧ+ВИД)	1/10 км		1 день	0,01/0,02	7/60 днів
Коефіцієнт ослаблення (ВИД)	10/100 км	0,5/1 км	7 днів	0,01/0,02 км ⁻¹	7/60 днів
Оптична товщина поглинання (ВИД)	1/10 км		1 день	0,004/0,02	7/60 днів

2.12 Вимоги, що ставляться до наземних дистанційних методів вимірювання

2.12.1 Класифікація дистанційних методів вимірювання

Розглядатимемо далі дистанційні методи вимірювання, ґрунтуватись на використанні електромагнітного (е.м.) випромінювання, Ці методи вимірювання параметрів навколишнього середовища прийнято класифікувати за різними ознаками:

- за використовуваним випромінюванням (природи випромінювання, джерелом випромінювання);
- за основними процесами взаємодії випромінювання з досліджуванним середовищем;
- за умовами освітлення (часу доби);
- за областю спектра е.м. випромінювання;
- за визначуваним параметром;
- за геометрією або схемою вимірювання;
- за використовуваним носієм.

Прийнято, дистанційні методи вимірювання за природою використовуваного випромінювання, підрозділяти на пасивні та активні. До пасивних методів, що використовують вимірювання характеристик природних полів випромінювання, відносяться методи:

- ослаблення та поглинання (методи прозорості), перш по все, сонячного випромінювання, але і випромінювання Місяця та зірок;
- власного випромінювання (рівноважного та нерівноважного) атмосфери та поверхні;
- розсіяного випромінювання (сонячного та відбитого від Місяця);
- відбитого випромінювання;
- рефракції.

Часто третій і четвертий пасивні методи об'єднують в один - метод розсіяного та відбитого випромінювання (наприклад, сонячного випромінювання). Активними методами зондування, що використовують штучні джерела електромагнітного випромінювання, є:

- лазерне зондування;
- зондування радіолокації;
- метод рефракції;
- метод ослаблення та поглинання.

Класифікація дистанційних методів вимірювання по основним процесам взаємодії випромінювання з досліджуваним середовищем близька до приведеної вище. В цій класифікації виділяються методи:

- розсіювання (різних типів - молекулярного (релеєвського), аерозольного, комбінаційного і т. д.);
- ослаблення (поглинання);
- власного випромінювання;
- рефракції і т.д.

В цій класифікації методи поглинання, розсіювання та рефракції можуть використовуватися і в пасивних і в активних методах вимірювання. По умовам освітлення (часу доби) дистанційні методи можна поділити на:

- денні (над освітленою стороною планети);
- нічні;
- методи, що використовуються в області термінатора (область переходу від денної до нічної сторони планети).

Останні методи, особливо при наземній схемі вимірювання, часто називають методами смеркового зондування. Перший і третій методи пов'язані з використанням сонячного випромінювання як джерела інформації про стан середовища та постосовні для денної сторони планети і області термінатора, другий метод - власного випромінювання (свічення) атмосфери можна використовувати у будь-який час доби, принаймні, для ІЧ і МКХ діапазонів (вплив сонячного випромінювання, що «поважає», в цих областях спектра дуже малий). В нічний час дистанційні методи, крім того, можуть бути ґрунтовані на вимірюваннях випромінювання зірок і відбитого від Місяця сонячного випромінювання, а також різних свічень атмосфери. Використання випромінювання зірок, в принципі, можливо і в денний час, але при цьому необхідно виключати компоненту сонячного випромінювання з високою точністю. Активні методи зондування можна, в принципі, також використовувати в будь-який час доби. Проте, наявність вдень значного рівня відбитого та розсіяного сонячного випромінювання певною мірою затрудняє використання, наприклад, лазерних методів у видимій і ближній інфрачервоній областях спектра. Існує класифікація дистанційних методів, основана на використуваній області спектра, тобто методи, що використовують:

- ультрафіолетову (УФ) область спектра;
- видиму область спектра (ВИД);
- ближню інфрачервону область спектра;
- інфрачервону (ІЧ) область спектра;
- мікрохвильову (МКХ) область спектра;
- сантиметрову (СМ) область спектра.

Дистанційні методи вимірювання параметрів атмосфери та підстильної поверхні можна класифікувати по визначуваним параметром. По цією класифікації виділяються дистанційні методи для визначення:

- температури, густини та тиску атмосфери;
- характеристик хмар - бальності, висоти верхньої та нижньої меж (вертикальної структури), температури верхньої межі (в.м.), водності, фазового складу, мікрофізики хмар;
- інтенсивності опадів;
- вмісту поглинаючих газів - водяної пари, озону та інших малих газових складових (МГС);
- поля вітру;
- характеристик аерозолів (оптичних і мікрофізичних).

2.12.2 Система метеорологічних радіолокаційних спостережень

В умовах сучасних кліматичних змін велике значення для своєчасного виявлення, ідентифікації небезпечних погодних умов і вживання заходів похисту від них (у тому числі і методами активної дії) мають системи раннього попередження - пособи дистанційного зондування хмарної атмосфери і пов'язаних з нею небезпечних явищ.

З метою своєчасного та повноцінного моніторингу навколишнього середовища необхідно перейти на якісно вищий рівень, який припускає побудову мережі оперативних метеорологічних радіолокаційних систем. Установка оперативних систем метеорологічних радіолокаторів і автоматичних грозопеленгаторів-дальнозаходівів, робота яких в зіставленні з даними мережі пунктів наземних метеорологічних спостережень дозволить істотно підвищити якість надкороткострокового («Nowcasting») прогнозу небезпечних природних явищ.

Таким чином, Завдання полягає в створенні єдиної мережі наземних метеорологічних (доплерівських) радіолокаторів, що охоплює всю територію України. Створення національної системи штормового попередження про небезпечні та несприятливі умови погоди, що функціонує на базі об'єднаної мережі метеорологічних радіолокаторів і грозорегістраторів, і використання даних радіолокаційних спостережень в зіставленні з даними приземних метеорологічних спостережень дозволить істотно підвищити точність і своєчасність короткострокових і надкороткострокових («Nowcasting») прогнозів, гідрологічних прогнозів,

штормових попереджень, консультаційну інформованість про небезпечні метеорологічні явища командного, льотного складів, органів управління повітряним рухом з метою підвищення безпеки та ефективності польотів, а також забезпечити безпеку функціонування погодополежних галузей економіки (міського комунального господарства, транспорту і ін.).

Питання про те, якими будуть наземні метеорологічні радіолокатори, тобто в якому діапазоні працюватимуть радари, які складають мережу, вирішуватиметься тільки після адекватної та обґрунтованої оцінки необхідності установки станції з певними параметрами, для кожного конкретного району.

Обґрунтований підхід до побудови мережі наземних метеорологічних радіолокаторів дозволить впритул підійти до розробки міжнародної угоди (регламенту) з обміну метеорологічною радіолокаційною інформацією між національними гідрометеорологічними службами з метою створення загального поля радіолокації. Крім того, виникає необхідність створення сучасної системи оперативної обробки гідрометеорологічної інформації, одержаної в результаті дистанційного зондування навколишнього середовища, що поєднує в собі централізовану розрахунків, які потребують значних обчислювальних ресурсів, з децентралізованою системою інтерпретації та візуалізації. Основу системи оперативної обробки гідрометеорологічної інформації повинні скласти центри обробки такої інформації, що забезпечують вирішення таких завдань:

- підвищення горизонтальної просторової роздільної здатності оперативної глобальної моделі атмосфери до 50 і менше кілометрів;
- розвиток фізичного вмісту глобальної моделі атмосфери (вдосконалення опису процесів конвекції, утворення та трансформації хмарності та опадів, радіаційних процесів і ін.);
- реалізація методів випуску гідрометеорологічних прогнозів в імовірнісній формі;
- розвиток технологій повномасштабної тематичної обробки даних з дистанційних платформ спостережень;
- створення системи резервування продукції центрів обробки інформації, з метою скорочення залежності від продукції порубіжних центрів обробки інформації.

Необхідно також приділити увагу вдосконаленню технології управління даними в центральній архівній системі для забезпечення автоматизованого процесу прийому, реєстрації та каталогізації, архівації, підготовки похідних масивів (баз) даних, а також одержанню та розповсюдженню інформаційної продукції. Одним з етапів забезпечення високої надійності та безпеки безстрокового зберігання листового матеріалу фонду як науково-історичного національного надбання, зокрема

за рахунок дублювання та територіальної розосередженості місць і засобів зберігання.

2.13 Спеціальні станції

2.13.1 Цілі спеціальних станцій

Розглянемо детальніше різні категорії спеціальних станцій, а також вимоги, що ставляться до вибору місцерозташування станції, програми спостережень, принципів функціонування, правил передачі одержаних даних, категорії та кількості персоналу і, головне, стандартів якості. Для вимірювання або реєстрації метеорологічних змінних, що представляють особливий інтерес, використовуються різноманітні спеціальні станції. Ці станції надають спеціалізовану інформацію, яка є важливою для загальних цілей Всесвітньої служби погоди, хоча їх основна мета направлена на задоволення національних потреб, що стосуються метеорологічних явищ місцевого масштабу та мезомасштабу. Деякі категорії спеціальних станцій (радіолокаційні станції, літакова зйомка) можуть ефективно з економічної точки зору охоплювати великі райони. При цьому може створюватися деякий надлишок даних, який неминучий, якщо необхідна перевірка тих, що регулярно є у розпорядженні даних або забезпечення гарантії на випадок раптового виходу з ладу якої-небудь однієї системи.

2.13.2 Метеорологічні радіолокаційні станції

Метеорологічні радіолокаційні станції у багатьох випадках розташовані разом із станціями приземних або аерологічних спостережень опорної синоптичної мережі. Такі станції слід створювати та обладнувати для виконання радіолокаційних спостережень з метою одержання інформації з районів опадів і пов'язаних з ними явищами та інформації з вертикальної структури хмарних систем.

Інформація, одержана з радіолокаційних станцій, використовується для оперативних цілей в синоптичній метеорології - прогнозування та випуск попереджень про небезпечні погодні явища, такі як тропічні циклони, підготовка чисельних аналізів і рекомендацій, авіаційна метеорологія та гідрологія, а також для науково-дослідних цілей.

Технічна пописка ВМО № 181 *Використання радіолокаторів в метеорології* (ВМО-№ 625) містить корисний матеріал з типів наявних радіолокаторів, їх можливому постосуванню, методам роботи та з практичних аспектів розміщення та технічного обслуговування. Додаткова інформація міститься в *Керівництві з метеорологічних приладів і методів спостережень* (ВМО-№ 8), частина II, розділ 9.

Вибір місцеположення. Нижче приводяться декілька принципів, які слід враховувати при виборі майданчика для радіолокаційної станції:

а) ділянка має бути вільною від природних або штучних перешкод, які могли б створити перешкоди радіолокаційному променю. Слід вивчити локальні плани побудови для визначення майбутніх потенційних перешкод. Фіксованих мішеней по можливості повинно бути менше або, принаймні, вони не повинні перевищувати рівень радіолокаційної антени більш ніж на $0,5^\circ$;

б) багато національних правил потребують виконання обстеження, щоб не допустити впливу мікрохвильового випромінювання на населення в районі станції;

в) розділення на роботу радіолокатора на запланованому майданчику має бути одержаний від відповідних організацій з радіо телезв'язку, щоб уникнути будь-яких перешкод з боку інших установок.

Програма спостережень. Радіолокаційні спостереження визнані найбільш корисними для:

а) виявлення явищ суворої погоди, їх відстеження та попередження про них;

б) моніторингу синоптичних і мезомасштабних метеорологічних систем;

в) оцінки кількості опадів;

г) виявлення зрушення вітру.

Організаційні аспекти [20]. Радіолокаційні метеорологічні спостереження є ручною або автоматичною «оцінкою» радіолокаційних відбитих сигналів, одержаних від метеорологічних мішеней, закодовану у вигляді повідомлення, яке передається в різні метеорологічні центри або іншим користувачам через регулярні проміжки часу.

В межах оперативної мережі метеорологічних радіолокаторів відстань між двома станціями має бути функцією ефективної дальності радіолокатора. В тому випадку, якщо мережа радіолокаторів призначена головним чином для синоптичних застосувань, радіолокатори в середніх широтах слід розмішувати на відстані приблизно 150-200 км один від одного. Ця відстань може бути збільшена в ближчих до екватора широтах, якщо відбиті радіолокаційні сигнали, що представляють інтерес, часто досягають великих висот.

Радіолокатори з вузьким пучком забезпечують найбільшу точність для вимірювання опадів. Радіолокаційні мережі мають регулярний графік спостережень. Проте на будь-якій радіолокаційній станції час спостережень може бути продовжений або можуть проводитися безперервні спостереження залежно від поточної погодної ситуації. Перелік засобів для подання результатів вимірювання і випускаючої продукції викладений в [20].

Необхідна, принаймні, одна головна метеорологічна радіолокаційна станція або національний метеорологічний радіолокаційний центр, який нести відповідальність за одержання даних радіолокаційних спостережень з місцевих станцій і упогальнювати ці дані у вигляді великомасштабних зображень відбитих сигналів для всієї мережі. Національний метеорологічний радіолокаційний центр також повинен нести відповідальність по регулярну інспекцію та контроль якості даних, що надходять з мережі.

Функціонування. По території своєї країни слід вести довідник метеорологічних радіолокаційних станцій, який постійно оновлюється та в якому приводиться наступна інформація з кожної станції:

- а) назва, географічні координати та висота над рівнем моря;
- б) тип радіолокатора та деякі характеристики використовуваного устаткування, такі як довжина хвилі або максимальна потужність передачі;
- в) звичайний графік спостережень.

Мінімальна радіолокаційна мережа повинна складатися, щонайменше, з двох радіолокаторів, які разом охоплюють велику частину району спостережень. В заході необхідності окремий радіолокатор може функціонувати разом з іншими радіолокаторами, розташованими в сусідніх країнах, що складає мережу. Оцінки приземних опадів за допомогою типових радіолокаційних систем готуються для районів, як правило, площею 2 км² з послідовністю в 5-10 хвилин.

Персонал. Категорія та кількість персоналу, необхідні для обслуговування метеорологічного радіолокатора, залежать від типу використовуваного устаткування, рівня автоматизації та кількості необхідних спостережень. Персонал з ремонту та технічного обслуговування, що відповідає за метеорологічну радіолокаційну станцію або за всю мережу, повинен мати спеціалізовану підготовку в області техобслуговування та експлуатації використовуваного устаткування і мати основні знання в області електроніки і радіолокаційної техніки.

Необхідно мати старшого фахівця для періодичної перевірки калібрування приладів і методів інтерпретації, використовуваних при ручних або напівавтоматичних спостереженнях.

Стандарти якості [20]. Співвідношення між приземними дощовими опадами та силою відбитого радіолокаційного сигналу не є, на жаль, постійним і географічно універсальним. Є також значні відбиті сигнали від наземних перешкод і аномальні розповсюдження, які не обумовлені дощовими опадами. Труднощі коректування розрахунків приземних дощових опадів об'єктивним методом в оперативні терміни є одним з чинників, який слід брати до уваги при проектуванні взаємодіючих систем індикації та інтерпретації радіолокаційних зображень.

Окрім контролю якості радіолокаційних спостережень об'єднана цифрова супутникова та радіолокація інтерактивна система може дати

можливість операторам використовувати дані геостаціонарного супутника для розширення аналізу приземних дощових опадів за межами району, що охоплюється радіолокатором. Це потребує суб'єктивної думки, а також використання алгоритмів, які дозволять встановити взаємозв'язок між приземними дощовими опадами та яскравістю фону хмар і температурою.

Як альтернативний варіант при аналізі даних про опади та оцінку опадів по відбитими радіолокаційними сигналами може також проводитися калібрування відбитих сигналів радіолокатора в масштабі реального часу за даними про опади, одержані за допомогою дощозаходівів.

2.13.3 Станції зі спостереження за радіацією

По вимірюванням радіації в кожній кліматичній зоні території своєї країни рекомендується створити, принаймні, одну головну станцію або підтримувати мережу станцій достатньої густини, що дозволяє вивчати радіаційну кліматологію. Термінологія з радіаційних характеристик і вимірювальних приладів, а також класифікації та калібрування піранометрів міститься в [20].

Вибір місцеположення. Необхідно докласти всіх зусиль, щоб станції по спостереженню за радіацією розташовувалися так, щоб мати відповідну експозицію приладів, що дозволяє проводити репрезентативні спостереження. Ділянка, на якій розташована станція, повинна мати вільний, без перешкод горизонт. Бажано, щоб експозиція та місцевість, що оточує станцію, не змінювалися з часом настільки, щоб це вплинуло на однорідність рядів спостережень.

Вибір приладів. Докладна інформація, що стосується приладів і вимірювання радіації, міститься в *Керівництві з метеорологічних приладів і методів спостережень* (ВМО-№ 8), частина I, розділи 7 і 8 [20].

Програма спостережень. Різні програми спостережень на головних і звичайних станціях зі спостереження по радіацією викладені в *Повчанні з Глобальної системи спостережень* (ВМО-№ 544) том I, частина III, положення 2.12.3.5 і 2.12.3.6. Для глобальної мережі вимірювання радіації важливо, щоб дані були однорідними по відношенню не тільки до калібрування, але також і до термінів спостережень.

Організаційні аспекти. При плануванні мережі станцій по спостереженню за радіацією необхідно розглянути спеціальні потреби всіх потенційних користувачів. Тому необхідні відповіді на такі питання:

а) Скільки станцій необхідно для задоволення потреб відносно просторової роздільної здатності різних видів метеорологічних радіаційних параметрів;

б) Яка програма спостережень з кожного радіаційного параметра має бути розроблена для оперативних і неоперативних цілей;

Головну станцію спостережень по радіацією слід розташовувати поблизу або спільно з національним радіаційним центром, який відповідає за калібрування та перевірку всіх радіометричних приладів, використовуваних на національній мережі станцій.

Детальні специфікації по національному радіаційному центру призведені в розділі 7, додаток 7.C, частина I *Керівництва з метеорологічних приладів і методів спостережень* (ВМО-№ 8) [20].

Функціонування. Вичерпне виконання завдань, поставлених перед національним радіаційним центром, є обов'язковою умовою адекватно обладнаної та регулярно працюючої національної радіаційної мережі. Вимірювання радіації, як вкапоно в розділі 7, частини I *Керівництва з метеорологічних приладів і методів спостережень* (ВМО-№ 8), можуть бути організовані в рамках метеорологічних станцій. Кожній країні слід вести список радіаційних станцій за її території, який постійно оновлюється та в якому міститься необхідна інформація по кожній станції, зокрема інформація, передбачена положенням 2.12.3.3, частина III, том I *Повчання з Глобальної системи спостережень* (ВМО-№ 544) [20]. Національний радіаційний центр несе відповідальність по підготовку та оновлення всієї необхідної технічної інформації з роботи та обслуговування національної мережі станцій по спостереженню за радіацією. Результати всіх вимірювання радіації, проведених на станції по спостереженню по радіацією, слід збирати і/або передавати в призначений центр відповідно до домовленостей, які гарантують своєчасне використання даних для оперативних, а також для науково-дослідних цілей. Збір даних здійснюється через канали телезв'язку або поштою.

Зв'язок. Деякі дані регулярних вимірювання радіації, такі як розсіяна сонячна радіація, а також тривалість сонячного саява, кодуються, а потім передаються своєчасно в національний метеорологічний центр для подальшої обробки цих даних. В той час, як дані про тривалість сонячного саява кодуються в десятих частках години та включаються один раз в день в розділ 3 кодових форми FM 12-XIV SYNOP (див. *Повчання по кодах* (ВМО-№ 306), том I.1, частина A), для регіонального обміну метеорологічними даними, дані з сумарної радіації та розсіяної радіації можуть кодуватися та розповсюджуватися в національному масштабі разом з іншими даними синоптичних спостережень, використовуючи ті ж процедури збору і канали телезв'язку.

Персонал. Персонал національного радіаційного центру повинен забезпечити безперервну роботу та повинен мати, щонайменше, одного кваліфікованого вченого, що має досвід в області радіації. Цей персонал також несе відповідальність за подання інструкцій персоналу будь-якої іншої станції в мережі та забезпечення тісного зв'язку з іншими станціями. Спостерігачі на радіаційних станціях повинні мати відповідну підготовку, щоб забезпечити збір точних і надійних даних з радіації. В деяких

випадках може бути потрібна спеціальна підготовка, якщо спостерігачі повинні використовувати складні прилади та устаткування.

Стандарти якості. Всі дані з радіації, призначені для постійного зберігання або неоперативного дослідження, повинні піддаватися контролю якості або вручну, або автоматично. Помилки або неточності слід усувати щонайшвидше.

2.13.4 Станції виявлення атмосфериків

Атмосферики, або сферики, можна визначити як електромагнітні хвилі, що виникають в результаті електричних розрядів, наприклад в результаті грозових розрядів в атмосфері. Основна мета такої спеціальної станції полягає в тому, щоб встановити наявність атмосфериків на основі спостережень і визначити їх інтенсивність. Технічний прогрес дозволяє виявляти віддалені грози за допомогою автоматизованих систем виявлення атмосфериків.

Деякі характеристики атмосфериків, визначені за допомогою спеціальних методів, можуть корисно використовуватися разом з іншими спостереженнями, особливо для мезометеорологічних цілей, для аналізу сильних штормів, щоб визначити їх характеристики, дати прогноз їх інтенсивності та поліпшити повчасне сповіщення населення. Зокрема, мережі виявлення блискавок виявилися корисними та доповнили радіолокаційні виявлення штормів, особливо в гірських районах, де можуть бути перешкоди при роботі радіолокатора. Докладніша інформація з виявлення місцезнаходження джерел атмосфериків викладена в розділі 7, частина II *Керівництва з метеорологічних приладів і методів спостережень* (ВМО-№ 8) [20].

Вибір місцеположення. Виходячи з економічної доцільності, системи виявлення блискавок позвичай встановлюються або в місці розташування обслуговуваних персоналом або автоматичних синоптичних станцій, або в місці розташування метеорологічних радіолокаційних станцій. Якщо датчик реєстрації блискавок або грози використовується для автоматичного виявлення та повідомлення про наявність (або відсутність), напрям, дальність, інтенсивність і рух таких явищ в межах оперативної мережі станцій виявлення атмосфериків, то відстань між двома станціями не повинна перевищувати 150-250 км. Площа, що охоплюється системою, що складається, принаймні, з трьох станцій виявлення атмосфериків, може бути розширена на декілька десятків кілометрів для локальної системи оповіщення та до 200-400 км для регіональної системи оповіщення. До внесення значних інвестицій в установку необхідно вивчити весь комплекс технічних посібів, що є на станції, особлива наявність електрики, телезв'язку і персоналу. Слід керуватися тими ж заходівкуваннями, що і при виборі місцеположення для автоматичних метеорологічних станцій.

Основне устаткування. Тип передбачуваного до використання устаткування залежить від мети, для якої плануються спостереження, а також технології або методу, які повинні постосовуватися.

Програма спостережень. Для повномасштабного використання даних про координати спалахів блискавки необхідно виконувати їх збір, передачу та обробку в реальному масштабі часу. Слід враховувати в програмі спостережень потреби різних користувачів і здійснювати її спільно з іншими системами спостережень. Програма спостережень залежить від таких чинників:

а) типу устаткування, використовуваного на станції спостережень, наприклад:

- радіопеленгатори (оптимальна відстань між станціями має бути 500-1000 км);

- приймачі з функцією вимірювання часу надходження сигналу (для ефективного обслуговування необхідно мати п'ять станцій);

- детектори локальних блискавок (ефективні лічильники блискавок корисні тільки в радіусі 20-50 км);

б) типу використовуваної вимірювання системи:

- системи з ручним управлінням (наприклад, тільки для періодів дискретних вимірювання від Н-10 до Н; безперервне спостереження недоцільне);

- напіваавтоматичні системи (необхідні комп'ютери);

- автоматичні системи (процес дискретних вимірювання і час, передбачений для передачі та обробки даних).

Організаційні аспекти. В рамках оперативної мережі станцій виявлення атмосфериків необхідна контрольна станція. Автоматичні системи є переважними там, де є умови для повної автоматизації мережі.

Функціонування. Системи визначення координат блискавок використовуються не тільки для оперативних цілей, часто паралельно з метеорологічними радіолокаційними спостереженнями, але також для неоперативної діяльності або наукових досліджень. Як правило, необхідно наносити на карти вручну або автоматично явища, відмічені протягом одного дня або одного місяця, полежно від потреб. Явища слід реєструвати тільки в їх сукупності, наприклад для ухвалення рішень з планування ліній електропередачі.

Зв'язок. Відповідна інформація міститься в *Керівництві з метеорологічних приладів і методів спостережень* (ВМО-№ 8), частина II, розділ 7 [20].

Персонал. Для роботи мережі станцій виявлення атмосфериків необхідний, принаймні, один спостерігач на кожній станції. Він повинен мати достатню кваліфікацію, щоб виконувати цю роботу ефективно, включаючи калібрування та перевірку устаткування, а також зняття показань з різних вимірювальних приладів. У деяких країнах інформацію

про блискавки можна купити в компаніях, які мають свої власні мережі. При автоматизованій системі перевірка роботи датчика з виявлення блискавок може виконуватися звичайним спостерігачем, який має спеціальну підготовку. В сучасному устаткуванні вбудований мікропроцесор контролює збір даних, проводить розрахунки руху і інтенсивності грози, а також форматує оброблені дані по грозі для передачі на автоматичну метеорологічну станцію і/або у відповідну метеорологічну службу. В даному випадку необхідно мати фахівця з електроніки для регулярного технічного обслуговування та ремонту.

Стандарти якості. Відповідна інформація міститься в *Керівництві з метеорологічних приладів і методів спостережень* (ВМО-№ 8), частина II, розділ 7 [20].

3.ІНФОРМАЦІЙНА СКЛАДОВА КОСМІЧНОЇ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1Технічні системи визначення інформації з космосу

3.1.1 Основні поняття про штучні супутники Землі

Використання штучного супутника Землі (ШСЗ) для наукових і прикладних цілей потребує знання закономірностей його руху. Вибір параметрів орбіти дозволяє зазделегіть розрахувати тривалість існування супутника, а також спрогнозувати можливість спостереження по ШСЗ із Землі та огляду Землі із супутника. Нарешті, для географічної прив'язки всіх спостережень бажано встановити каталоги координат супутника для послідовних моментів часу, причому важливо мати ці каталоги вперед на тривалий час.

Поняття про рух ШСЗ. Шлях, описуваний супутником у просторі, називається траєкторією. Траєкторію супутника прийнято ділити на характерні ділянки (рис. 3.1): A_0M_0 – ділянка виведення на орбіту; M_0M_K – ділянка орбітального польоту; M_KM_{Π} – ділянка входу в атмосферу, зниження та посадки. По допомогою ракети–носія на ділянці виведення супутник розганяється до поданої швидкості (вектор якої спрямований під поданим кутом до горизонту та до місцевого меридіана) і виводиться в подану точку простору. Параметри поданої точки є початковими умовами для наступної орбітальної ділянки польоту і однозначно визначають орбіту супутника. Ділянка траєкторії, на якій політ здійснюється із працюючим ракетним двигуном, називається *активною ділянкою*. Рух супутника на ділянці зниження та посадки здійснюється при покінченні його експлуатації.

Рух супутника відносно 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 притягання, величина якої обернено пропорційна квадрату відстані до притягувального центра O . Центральне притягувальне тіло розглядається як тіло сферичної структури. У цьому випадку його гравітаційне поле збігається із центральним полем точки, що притягає.

Однак на політ супутника впливають фактори, які спричиняють відхилення від Кеплерового руху. До цих факторів можна віднести додаткові сили притягання Землі, зумовлені її не сферичністю, сили притягання Місяця, Сонця та інших планет, аеродинамічні та електромагнітні сили, світловий тиск і ін. Дія цих сил або постійна, або

змінюється в заходів переміщення супутника по орбіті. Перераховані сили називаються *збурювальними постійно діючими силами*.

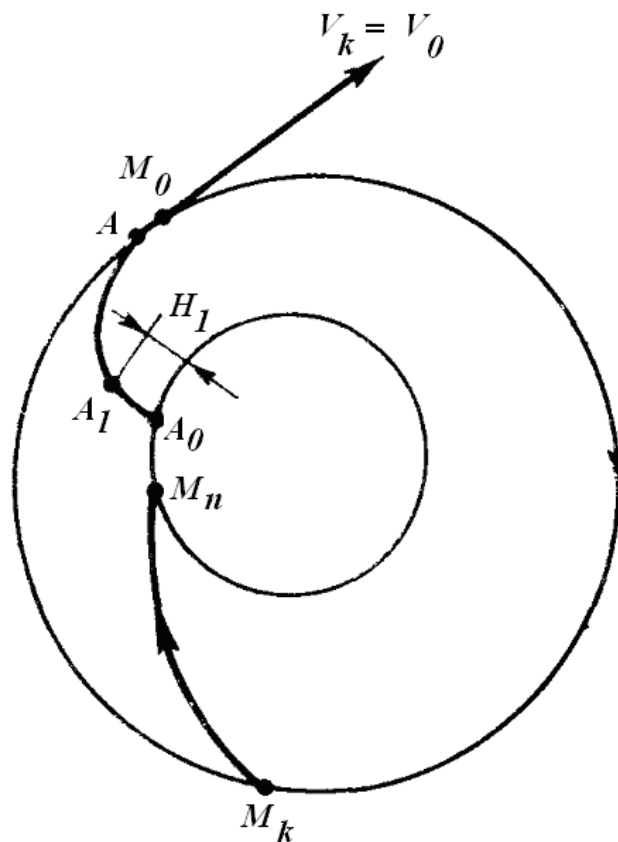


Рисунок 3.1 – Траєкторія космічного польоту

Крім того, в орбітальному польоті ШСЗ може зазнавати ударів метеоритних тіл, притягання інших ШСЗ, короточасних гальмових або прискорювальних імпульсів при включенні бортових реактивних двигунів і т.п. Такі збурювальні сили *називаються миттєвими або імпульсними*.

Постійно діючі та імпульсні збурювальні сили приводять до того, що дійсні параметри руху ШСЗ по орбіті відрізняються від параметрів, розрахованих по формулам Кеплерового руху. Відмінність дійсних параметрів від розрахункових заведеного називати збурюванням, а сам рух ШСЗ під дією хоча б однієї збурювальної сили – *збуренням*.

Всі збурювання поділяються на *вікові й періодичні*. Вікові збурювання безупинно змінюють елементи орбіти супутника пропорційно часу. Періодичними називаються такі збурювання, значення яких повторюються через певний інтервал часу. Вони поділяються на *короткоперіодичні й довгоперіодичні*.

Елементи орбіти ШСЗ. Рух матеріальної точки по незбуреній Кеплеровій орбіті буде однозначно визначеним, якщо будуть подані *елементи орбіти*, а саме:

- Елементи вводяться для деякої системи координат, початок якої збігається із центром, що притягає, а осі зберігають незмінні напрямки в просторі так, щоб добове і річне обертання Землі спричинили найменшу зміну координат цієї площини. За основну площину обирають звичайно або площину екліптики певної епохи, або площину земного екватора, а вісь абсцис направляють у точку весняного рівнодення на екваторі (точку Овна γ).

Нехай $P_N P_S$ – вісь світу, щодо якої побудована небесна сфера, де показані екватор і точка Овна (рис. 3.2).

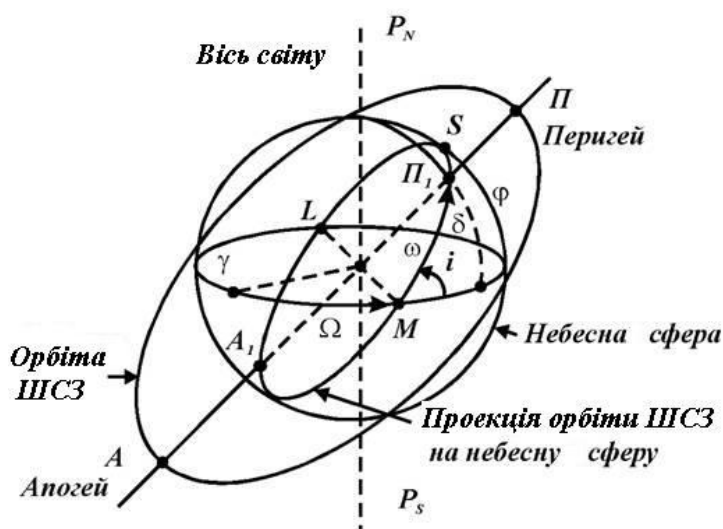


Рисунок 3.2 – Елементи орбіти супутника

Проведемо через центр сфери площину орбіти і у цій площині побудуємо еліптичну орбіту ШСЗ так, щоб один з її фокусів потрапив у точку центра. Точки А і П будуть відповідно апогеєм і перигеєм орбіти. Проекцією орбіти на небесну сферу буде велике коло A_1MP_1L , по якому площина орбіти перетинає сферу. Точки перетину цього кола з екватором М і L називаються вузлами орбіти – висхідним і спадним, а лінія ML – лінією вузлів. Апогей і перигей проектується на сферу в точках A_1 і P_1 (апоцентр і перицентр), лінія A_1P_1 носить назву лінії апсид.

Положення орбіти в просторі подається двома елементами:

1. Нахилення (нахил) площини орбіти до основної площини –

двогранний кут між площиною орбіти і площиною екватора, відлічуваний від площини екватора проти ходу годинникової стрілки для спостерігача, що перебуває в точці висхідного вузла. Позначається нахилання площини орбіти звичайно буквою i та змінюється від 0° до 180° .

2. Довгота висхідного вузла Ω – кут, розташований в екваторіальній площині та відлічуваний від напрямку на точку весняного рівнодення γ до лінії вузлів ML , тобто лінії перетину площини орбіти з площиною екватора. Висхідним вузлом M орбіти називають точку, у якій тіло переходить із південної півкулі в північну півкулю; протилежна точка L називається спадним вузлом. Довгота висхідного вузла змінюється від 0° до 360° .

Орієнтація еліпса в площині орбіти визначається одним елементом:

3. Аргумент перигею або кутова відстань від вузла – кутова відстань перицентра, позначувана через ω , є кут між лінією вузлів і лінією апсид; інакше кажучи, притягувальний кут з вершиною в центрі між напрямками на висхідний вузол і перицентр орбіти. Аргумент перигею змінюється в межах від 0° до 360° .

Характеристики еліпса орбіти подаються двома елементами:

4. Більша піввісь орбіти a . Розміри орбіти подаються значенням півосі еліпса, наприклад, значенням його великої півосі a : $a = 1/2 \text{ АП}$.

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

Часовий параметр орбіти – один часовий параметр:

6. Момент $t(t_0)$ проходження рухомої точки, через перицентр (перигей) орбіти або через висхідний вузол.

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

Орбіти ШСЗ. Орбіти ШСЗ полежно від значення їх параметрів можуть дуже різнитися між собою. Проте існує кілька основних ознак, за якими орбіти поділяються на характерні типи. У якості таких ознак беруться значення:

- ексцентриситету e ,
- нахилання орбіти i ,
- періоду обігу T ,
- висоти H .

Ексцентриситет e визначає форму орбіти: $e = 0$ – колова орбіта, $e < 1$ – еліптична, $e = 1$ – параболічна, $e > 1$ – гіперболічна орбіта. Найбільший інтерес для космічних методів дослідження становлять колові та еліптичні орбіти. Перші з них застосовують переважніше при запуску супутників ДЗЗ.

У відповідності з значенням нахилання орбіти супутники поділяються

на екваторіальні ($i = 0^\circ$), похилі ($0^\circ < i < 90^\circ$) і полюсні або полярні ($i = 90^\circ$) (рис. 3.3).

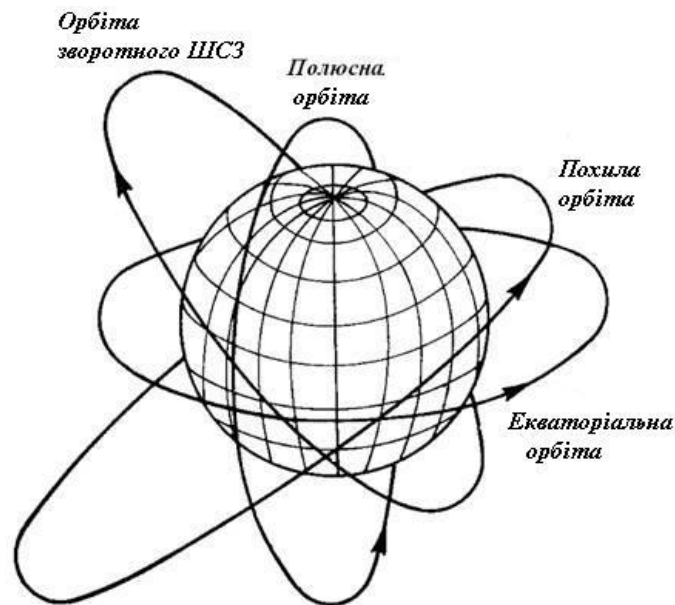


Рисунок 3.3 – Основні типи орбіт ШСЗ

Екваторіальний супутник буде завжди пролітати над екватором. При висоті орбіти 35786 км над рівнем моря період обертв ШСЗ зрівняється із зоряним періодом обороту Землі. Супутник буде обертатися з такою ж кутовою швидкістю, що й Земля, і, переміщаючись по орбіті в напрямку, що збігається з напрямком обертання Землі, буде увесь час перебувати над тим самим наземним пунктом. Такий ШСЗ називається *стаціонарним*. Екваторіальні супутники спостерігаються в смугі вздовж екватора, причому, чим вища орбіта, тем ширша ця смуга.

Витки полюсного ШСЗ при кожному новому оберті через обертання Землі будуть *зміщатися до походу*. Такі супутники будуть спостерігатися в будь-якому пункті земної поверхні в той або інший час.

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

Усі ШСЗ можуть розділятися на *прямі* й *зворотні*. Прямі рухаються в напрямку обертання Землі із походу на схід, для них $0^\circ \leq i \leq 90^\circ$; зворотні – зі сходу на похід і для них $90^\circ < i < 180^\circ$.

Прямі супутники попускати легше, тому що при їхньому виведенні 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* та *неперіодичні*. Період обертання перших кратний періоду обертання Землі.

В зв'язку з цим положення супутника щодо поверхні Землі повторюється щодобово. Неперіодичні супутники цієї властивості не мають.

По висотою орбіти ШСЗ можуть поділятися на три групи: *низькоорбітальні, середньоорбітальні та високоорбітальні*. У першу групу включені супутники, що попускаються на висоти 200...500 км. До них відносяться пілотовані космічні кораблі, орбітальні космічні станції, окремі супутники серії „Космос” і інші літальні апарати. Друга група представлена супутниками, що попускаються на висоти від 500 до декількох тисяч кілометрів. На цих висотах літають супутники метеорологічного, геодезичного, астрономічного призначення, а також інші ШСЗ дистанційного зондування Землі. 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 і інших апаратів.

Орбіти супутників дистанційного зондування Землі (СДЗЗ). Основна перевага спостережень із супутників полягає в можливості одержувати інформацію про стан всієї (або майже всієї) території земної кулі, а також здійснювати безперервне простежування процесів на певних більших ділянках Землі.

Для СДЗЗ вибір орбіти має велике значення. У зв'язку з цим до їхніх орбіт ставляться певні вимоги, основними з яких можуть бути такі:

- а) забезпечення широкої смуги огляду з супутника;
- б) подання можливості одержання космічних знімків з високою роздільною здатністю;
- в) забезпечення необхідної для спостережень періодичності;
- г) одержання даних над конкретним географічним районом у певний час.

Ці досить тверді вимоги можна задовольнити шляхом вибору висоти, форми й нахилу орбіти, а також шляхом визначення *оптимального часу запуску* СДЗЗ:

1. для максимального охоплення земної поверхні спостереженнями оглядовою апаратурою застосовуються *полярні орбіти*;

2. для одержання зображень над певним районом Землі в один той самий місцевий час, який залежить від часу запуску СДЗЗ, використовують так звані *сонячно-синхронні орбіти*, площина яких повертається синхронно із обертанням Землі навколо Сонця в східному напрямку з швидкістю 0,986 градуса по добу. Орбітальна площина супутника повинна бути компланарна з напрямком Земля – Сонце. Необхідна швидкість прецесії забезпечується при запуску вибором відповідного кута нахилу орбіти до екватора. Ці заходівкування лежать в основі вибору орбіт ряду метеорологічних супутників і СДЗЗ. Супутники, що перебувають на *зворотних похилих сонячно-синхронних орбітах*, перебувають над певною

точкою земної поверхні в один той самий місцевий час, значення якого залежить від часу запуску. Ці переваги є важливими при розв'язанні ряду задач по матеріалами супутникових спостережень;

3. велике значення при спостереженнях з СДЗЗ має *детальність спостережень*, тобто розрізнення необхідних деталей при поданій смузі огляду. Ця обставина визначає вибір висоти орбіти СДЗЗ. Зі збільшенням висоти польоту смуга огляду збільшується, а детальність спостережень погіршується. Тому при необхідності одержання підвищеної детальності спостережень (зображень) частіше використовуються середньоорбітальні СДЗЗ із висотою польоту 600...1500 км, для збору узагальненої інформації з великої площі звичайно використовуються супутники, що мають висоту орбіти $H=36000$ км;

4. для спостережень використовуються *колові* або близькі до них орбіти. Вони забезпечують спрощення географічної прив'язки, обробки та аналізу супутникової інформації;

5. при виборі орбіт супутників ураховується, що глобальні спостереження повинні виконуватися, принаймні, 2 рази на добу. Час запуску визначається таким чином, щоб забезпечити збір максимальної інформації над тим або іншим районом, при цьому час намагаються узгодити з строками наземних спостережень із метою *синхронного спільного аналізу* даних;

6. при запуску декількох супутників дуже важливо, щоб їх *орбіти* були *взаємозалежні*. Ця вимога дозволяє розв'язати комплекс завдань, пов'язаних з глобальними спостереженнями.

3.1. 2 Методи пасивного і активного дистанційного зондування Землі

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

Пасивні методи ґрунтуються на вимірі 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, водяного і фазового складу хмар, параметрів опадів, вологості підстильної поверхні, характеристик рослинного, снігового та льодяного покривів і т.д. і залежить від частоти, поляризації і кута візування.

По допомогою СДЗЗ можна реалізувати **три методи** пасивного дистанційного зондування, які ґрунтуються на виміру:

- відбитої та розсіяної системою підстильна поверхня – атмосфера (СППА) сонячної радіації;

- власного теплового випромінювання СППА;
- прозорості атмосфери по природними джерелами випромінювання.

Фізичною основою *першого методу* є залежність відбитого та розсіяного сонячного випромінювання від багатьох фізичних параметрів атмосфери та підстильної поверхні (геометричні розміри, водяний і фазовий склад хмар, характеристики аерозолі, стан поверхні акваторій, рослинного, льодяного та снігового покривів і т.д.).

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

Третій метод базується на використанні принципів абсорбційної спектроскопії і пов'язаний з спектральними вимірами електромагнітного випромінювання від зовнішнього (природного або штучного) джерела. Такі виміри дозволяють визначити осереднену оптичну характеристику атмосфери на трасі джерело випромінювання–прилад, її спектральну прозорість. Залежність спектральної прозорості атмосфери від параметрів атмосфери і становить фізичну основу цього методу.

При *активному зондуванні* (радіо– і лазерна локація) джерело випромінювання (передавач) розташоване на супутнику. Потужність, фаза, частота та інші характеристики відбитого (розсіяного) випромінювання, генерованого цим джерелом, також визначаються перерахованими вище параметрами атмосфери та підстильної поверхні. Власне випромінювання Землі та відбите сонячне випромінювання в цьому випадку будуть перешкодою.

Активне зондування по допомогою ШСЗ може здійснюватися з використанням *двох методів*, поєднаних на вимірах:

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

У цей час більшість пристроїв для зондування Землі з космосу являють собою чутливі приймачі випромінювання (пасивне зондування). Активні методи дистанційного зондування поки ще не набули широкого практичного застосування, що зумовлено головним чином великим енергоспоживанням радіолокаційних станцій (РЛС) і лідарів. Однак з

ростом потужності бортових джерел живлення роль активних методів зондування СППА з космосу суттєво зростає.

3.2 Фізичні принципи вимірювання інформації про навколишнє середовище космічними знімками

3.2.1 Можливості та фізичні особливості одержання аерокосмічної інформації

Дистанційне зондування навколишнього середовища являє собою сукупність методів виміру параметрів фізичного стану підстильної поверхні і атмосфери по допомогою приладів, розташованих на деякій відстані від об'єктів дослідження. Дистанційні дослідження проводяться з різних вимірювальних платформ: СДЗЗ, літаків, аеростатів, суден, а також з поверхні Землі. На відміну від контактних (прямих) вимірів, коли вимірювальне обладнання перебуває в безпосередньому зіткненні з досліджуванним об'єктом середовища, прилади дистанційного (непрямого) зондування одержують інформацію про середовище шляхом виміру ефектів взаємодії з нею різних випромінювань. Стосовно до моніторингу найбільш важливим є взаємодія з середовищем електромагнітного випромінювання.

Джерелом інформації при спостереженні Землі з космосу є просторові, часові та кутові варіації інтенсивності електромагнітних хвиль, відбитих або випромінених системою підстильна поверхня – атмосфера (СППА). Визаходів характеристик поля електромагнітного випромінювання на різних довжинах хвиль λ є основою для оцінки параметрів фізичного стану атмосфери, океану, материкових покривів.

Для виконання спостережень за допомогою СДЗЗ можуть застосовуватись прилади, що реєструють випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 0,3 мкм до 1 м.

Цей широкий проміжок спектра прийнято підрозділяти на ряд піддіапазонів:

- 0,3...0,4 мкм – близький ультрафіолетовий (УФ),
- 0,4...0,76 мкм – видимий,
- 0,76...1,5 мкм – близький інфрачервоний (ІЧ),
- 1,5...1000 мкм – середній і далекий (ІЧ),
- 1 мм...1 м – надвисокочастотний (НВЧ), називають також мікрохвильовим (рис. 3.4).

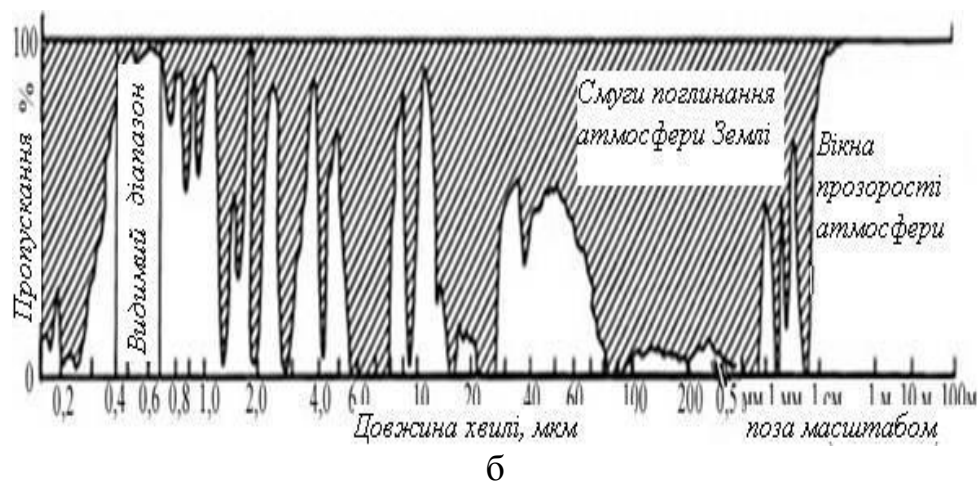
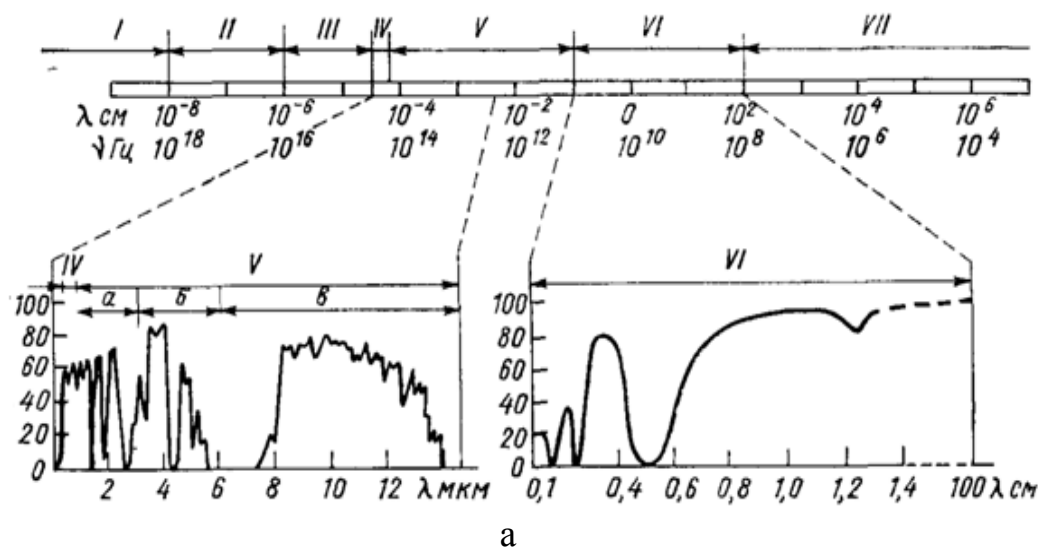


Рисунок 3.4 – Спектри електромагнітного випромінювання та пропускання безхмарної стандартної атмосфери
Випромінювання: I – гама, II – рентгенівське, III – УФ, IV – видиме, V – ІЧ (зони: а – близька, б – середня, в – далека), VI – НВЧ, VII – радіо

Можливості та фізичні особливості дистанційного зондування Землі залежать від використовуваного діапазону довжин хвиль.

Через ефект розсіювання променів в атмосферному серпанку, що найбільше сильно проявляється в синій й блакитній зонах спектра (0,38...0,5 μm), знижується контраст зображення, спотворюється колір об'єктів. Тому в сучасному дистанційному зондуванні при зйомці поверхні Землі блакитний діапазон практично використовується мало.

З метою ДЗЗ використовується діапазон електромагнітних хвиль від більш ніж 0,4 μm до 30 м. Зйомка здійснюється не у всьому цьому діапазоні, а в окремих зонах спектра, де є „вікна прозорості” атмосфери (тобто спектральні області, де коефіцієнт пропускання атмосфери досить високий).

На *світловий діапазон* (0,4...3,0 мкм) припадає основна частина сонячної енергії пропущеної атмосферою. Цей діапазон довжин хвиль складається з видимого (0,4...0,76 мкм), де здатне бачити око людини, і близького інфрачервоного (0,76...3,0 мкм). Одержувані у світловому діапазоні зображення найчастіше виглядають досить „натурально” щодо зорового сприйняття. Тому в цій зоні спектра формуються детальні зображення земної поверхні, використовувані з метою картографування в різних масштабах. У світловому діапазоні працюють фотографічні, телевізійні, деякі інфрачервоні та лазерні системи ДЗЗ.

У видимому і близькому ІЧ діапазонах джерелом інформації про параметри СППА є відбите сонячне випромінювання. Тому спостереження можуть здійснюватися на освітленій стороні планети. Однак активне лазерне зондування на цих довжинах хвиль передбачається виконувати переважно в нічні години, оскільки вдень відбите сонячне випромінювання є поважальним фактором.

Середній і далекий ІЧ діапазони спектра представлено двома „вікнами прозорості”: 3...5 мкм і 8...14 мкм. На ці довжини хвиль припадає максимум власного теплового випромінювання Землі. Оскільки різні об'єкти, розташовані на земній поверхні, мають різні випромінювальні властивості, у цих діапазонах виходять знімки, що відображають теплову карту земної поверхні. Одержувані знімки зберігають форму природних об'єктів, однак їх тоновий і колірний контраст відрізняється від того, як це звикло свживати око людини. Сфера застосування знімків: дослідження теплових властивостей об'єктів земної поверхні, побудова теплових полів випромінювання об'єктів земної поверхні, моніторинг мереж теплопостачання в місті і т.д. У цьому спектральному діапазоні дистанційне зондування виконується ІЧ і лазерними системами.

В ІЧ і НВЧ діапазонах довжин хвиль вимірювання можуть проводитися незалежно від часу доби.

При виконанні ДЗЗ у *радіодіапазоні* використовуються ультракороткі електромагнітні хвилі (УКХ), що мають довжину хвилі 1 мм...30 см. Приймач випромінювання може фіксувати як власне мікрохвильове випромінювання об'єктів, так і відбите (у цьому випадку здійснюється опромінення земної поверхні з борту носія). Зйомка виконується радіотехнічними станціями, радіолокаційними станціями бічного огляду (РЛСБО), але найчастіше радіолокаторами із синтезованою апертурою антени (РСА).

Схематично огляд поверхні по допомогою РСА, усталеного на літальному апараті, показаний на рис. 3.5. По напрямком польоту ефективна довжина антени значно більша, чим у вертикальному напрямку. Відповідно діаграма направленості антени в горизонтальній площині більш вузька, ніж у вертикальній площині. На рисунку показана площа огляду,

яка відповідає миттєвому положенню літального апарата й смузі огляду, що утворюються в результаті його руху. Радіолокаційне зондування за допомогою РСА посповане на *голографічних принципах* у радіодіапазоні. *Голографією* називається метод реєстрації і наступного відновлення фронту електромагнітної хвилі, що передбачає безперервну реєстрацію не тільки інтенсивності хвилі, а й форми хвильового фронту в цілому. Картина хвильового фронту може фіксуватися вроздріб (не миттєво, а зі зсувом у часі), але відтворюється вона відразу, в один момент часу.

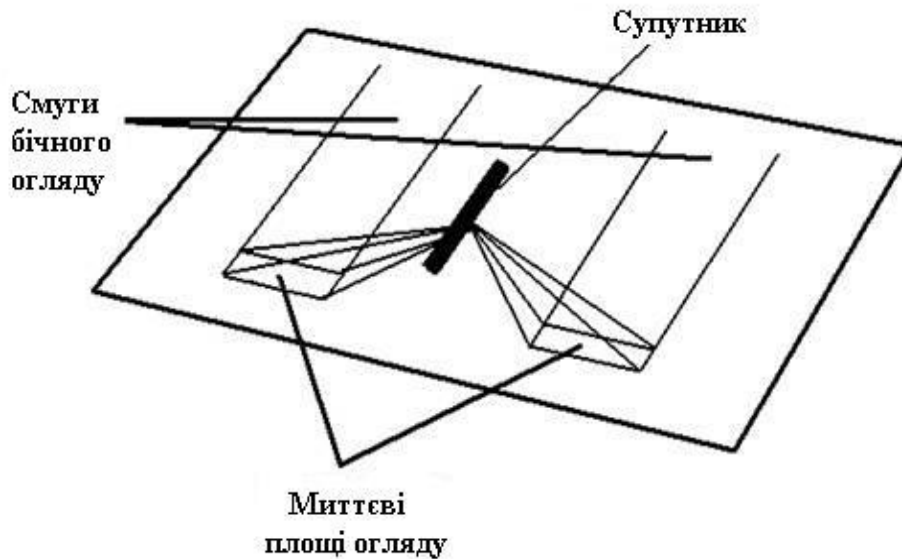


Рисунок 3.5 – Принцип роботи радіолокатора з синтезованою апертурою антени

Одержувані зображення використовуються для моніторингу крижаних покривів, дослідження водних поверхонь і розв'язання інших завдань. Особливо перспективне використання цих матеріалів для одержання інформації про рельєф земної поверхні.

Хмарність перешкоджає вивченню характеристик підхмарних шарів атмосфери, підстильної поверхні у видимій та ІЧ ділянках спектра. У НВЧ діапазоні хмарність – напівпрозоре середовище, що дозволяє за даними дистанційних вимірів оцінювати як властивості земної поверхні, так і параметри самої хмарності.

Полежно від використовуваного діапазону змінюється і **просторова роздільна здатність** приладів дистанційного зондування. За інших рівних умов найвище розрізнення досягнуто у видимому діапазоні довжин хвиль (десятки сантиметрів...одиниці кілометрів), а найнижче – у НВЧ (одиниці...десятки кілометрів). В ІЧ діапазоні розрізнення становить одиниці метрів...кілометри.

При роботі в активному режимі високе розрізнення досягається в

радіолокаційних станціях з синтезованою апертурою. РСА випромінює сигнали, частота яких підтримується з високою точністю (когерентні сигнали). Спеціальна обробка відбитих радіолокаційних сигналів дозволяє реалізувати при вимір з супутників розрізнення у кілька десятків метрів.

При розв'язанні різних завдань дистанційного зондування великого значення набуває **ступінь ослаблення електромагнітного випромінювання середовищем**. Навіть під час відсутності хмарності та опадів атмосферні гази (насамперед, водяна пара, вуглекислий газ і озон) послаблюють електромагнітне випромінювання, що поширюється в атмосфері. Це значно поважає зондуванню підстильної поверхні і нижніх шарів атмосфери з космосу. Ослаблення електромагнітного випромінювання атмосферою змінюється по спектру в дуже широких межах. Мінімальних значень воно досягає у видимому діапазоні довжин хвиль, у декількох вікнах прозорості атмосфери, розташованих у близькій та середній ІЧ ділянках спектра, а також у НВЧ діапазоні, за винятком областей резонансного поглинання водяної пари ($\lambda = 1,64$ мм) і кисню ($\lambda = 2,53$ мм і $\lambda = 5...6$ мм).

Можливість одержання 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 раз.) Глибина проникнення визначається оптичними константами середовища, у якому поширюється хвиля. При наявності в середовищі частинок, що розсіюють, значення L буде також залежати від властивостей цих часток.

Для хвиль видимого діапазону найбільші значення глибини проникнення характерні для льоду і води, де вони становлять десятки сантиметрів – десятки метрів залежно від λ . Величина L значною мірою залежить від наявності у воді фітопланктону, суспензій, різного виду побруднень. Глибина проникнення видимого світла в материкові покриви дуже мала.

В 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. У той же час у сухих ґрунтах, у материкових льодах, сухому снігу значення L можуть досягати декількох десятків значень λ , що, наприклад, для хвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів становить одиниці – десятки метрів. Така більша глибина проникнення НВЧ випромінювання є основою для дистанційного вивчення властивостей ґрунтів, гірських порід, льодяного й снігового покривів до значної глибини.

3.2.2 Технічні особливості одержання аерокосмічної інформації

Супутник, призначений для моніторингу – це космічна автоматична обсерваторія або *космічна система дистанційного зондування Землі* (КСДЗ), оснащена складним електротехнічним, оптико-механічним і радіоелектронним устаткуванням виміру, запам'ятовування та передачі інформації. Її комплекс бортової апаратури можна умовно поділити на комплекс наукової апаратури і 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.

Полежно від завдань, поставлених перед вимірюванням, комплекс наукової апаратури може містити в собі системи вимірів, що працюють у різних діапазонах електромагнітного спектра. Для супутників, що забезпечують одержання регулярної інформації, найбільше застосування одержали виміри у видимому, інфрачервоному та мікрохвильовому (НВЧ) діапазонах електромагнітного спектра. Комплекти наукової апаратури окремих КСДЗ можуть відрізнятися один від одного.

Принцип сканування. На сучасних супутниках установлюється апаратура, що працює за принципом механічного сканування. Це забезпечує по елементний перегляд підстильної поверхні у досить вузькому тілесному куті. Такий кут називають кутом поля зору приладу. Кут зору приладу утворює конус, перетин якого поверхнею земного еліпсоїда визначає елементарну площу земної поверхні, яка називається роздільною здатністю приладу. Просторова роздільна здатність є найважливішою характеристикою приладу. Іншою не менш важливою характеристикою є смуга огляду (перегляду) земної поверхні. Перегляд смуги підстильної поверхні здійснюється за рахунок переміщення елементарного поля зору в площині, перпендикулярній площині орбіти. Принцип сканування проілюстрований на рис. 3.6.

Комбінація переміщення елементарного майданчика по рядку сканування з поступальним її переміщенням по поверхні Землі (у результаті руху супутника по орбіті) дозволяє одержати картину двовимірного розподілу інтенсивності відбитої випроміненої та розсіяної радіації в тому або іншому діапазоні спектра електромагнітних хвиль.

Наукова апаратура, що працює у видимому діапазоні електромагнітних хвиль.

Фотографічні пособи. Фотографічні пособи в цей час одержали найбільш широке поширення як вихідні дані для виконання кадастрових і землепорядних робіт. При зйомці зображення земної поверхні будується за законами центральної проекції. *Основні види аерофотознімання:*

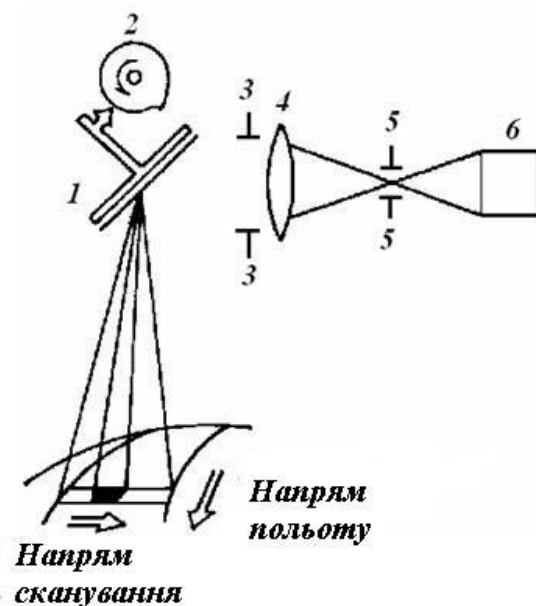


Рисунок 3.6 – Принцип сканування:

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

а) *планова*, коли земна поверхня знімається в напрямку місцевої вертикалі (кут відхилення оптичної осі апарата від вертикалі не перевищує 3°). Така зйомка виконується кадровими апаратами з метою картографування;

б) *перспективна* зйомка здійснюється з метою одержання додаткової інформації про рельєф земної поверхні та розширення смуги захоплення земної поверхні. У цьому випадку оптична вісь фотокамери може відхилятися від вертикалі на різні кути аж до $60^\circ \dots 70^\circ$;

в) *панорамна*, коли знімається відразу вся смуга місцевості поперек маршруту польоту „від обрію до обрію”.

На практиці, головним чином, використовується перший вид аерофотознімання. Зображення реєструється на фотоплівці (чорно-білій, кольоровій або спектральної). При виконанні спектральної зйомки одночасно виходить кілька зображень тої самої ділянки земної поверхні в декількох зонах спектра. Подальша обробка спектральної знімків дозволяє виконати процедуру дешифрування з урахуванням спектральних властивостей об'єктів, що значно підвищує її ефективність. Сучасні високоякісні фотокамери дозволяють досягти роздільна здатність на місцевості в одиниці сантиметрів. Останнім часом усе більш широке поширення одержують технології електронного сканування зображень із аерофотоплівки і подальшої обробки отриманого цифрового зображення на ЕОМ.

Широкого застосування в цей час набувають знімки, виконані по допомогою телевізійних систем, установлюваних на супутниках. Для одержання зображень у видимій ділянці спектра (0,5...0,7 мкм) на супутниках установлюється апаратура, за допомогою якої може бути виконана зйомка хмарності, крижаних і снігових полів та інших видів підстильної поверхні. Ці об'єкти мають різні коефіцієнти відбиття, що дозволяє одержувати зображення з широким діапазоном півтонів.

Телевізійна система відтворює розподіл яскравості, функціонально пов'япону із загальною потужністю сприйманого променистого потоку в межах області спектральної чутливості перетворювача. На виході первинного телевізійного перетворювача виконується електричний сигнал, що залежить від потужності променистого вхідного потоку. Сигнал, який називається телевізійним відеосигналом, передається по каналу зв'язку та прийомному обладнанню.

Телевізійні пособи по принципом роботи нагадують фотографічні, тільки помість фотоплівки у фокальній площині об'єктива встановлюється телевізійна передавальна трубка. Формований у ній відеосигнал підсилюється і відтворюється на телевізійному моніторі, установленому на борту носія, або передається по радіоканалу на наземний приймальний пункт і відтворюється вже там, на моніторі оператора. Служить для дистанційного моніторингу земної поверхні в реальному масштабі часу. Телевізійні засоби не можуть забезпечити високе відрізнєння на місцевості.

При по елементній зйомці приймальне обладнання має малий кут зору. У кожен момент часу телефотометр реагує на середню інтенсивність радіації в межах кута зору оптичної головки. Зображення ж усієї спостережуваної ділянки об'єкта формується шляхом послідовного перегляду її в процесі сканування.

Сканувальні системи. Це великий клас систем ДЗЗ, у якому випромінювання від елементарних ділянок місцевості послідовно фіксується приймачем електромагнітного випромінювання. При цьому поле зору приймача сканує вузьку смужку місцевості в напрямку, перпендикулярному до напрямку польоту носія, тобто виконується його розгортання, подібне до того, що здійснюється в електронно-променевих приладах (формується рядок зображення). За рахунок руху носія рядки зсовуються в напрямку польоту. Синхронно з виконанням процедури сканування здійснюється процес реєстрації випромінювання приймачем. При цьому здійснюється розгортання променя запису і формується зображення на екрані відеомонітора або на фотоплівці. За таким же принципом організовано інфрачервоні та лазерні системи ДЗЗ. У лазерних системах, на відміну від інфрачервоних систем, синхронно зі скануванням місцевості виконується її підсвічування потужним лазером.

У якості приймачів променистої енергії застосовуються прилади,

ґрунтуватись на використанні *явища фотоелектронного ефекту*. Такі прилади придатні для телевізійного спостереження об'єктів в інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому діапазонах хвиль.

Багатоелементні системи ДЗЗ. У цих системах, на відміну від сканувальних, у фокальній площині об'єктива встановлюється лінійка приймачів електромагнітного випромінювання. Таким чином, відпадає необхідність виконання операції сканування. Лінійка приймачів відразу формує один рядок зображення поперек напрямку польоту, а за рахунок руху носія виходить усе зображення як сукупність рядків. Замість лінійки приймачів у фокальній площині об'єктива може встановлюватися матриця приймачів. Найчастіше в якості приймачів використовуються прилади із порядковим зв'язком (ПЗЗ). Сучасні ПЗЗ–камери дозволяють одержати зображення, які по роздільній здатності наближаються до фотографічних зображень. Ці системи одержали найбільше поширення при ДЗЗ з космосу.

Наукова апаратура, що працює в інфрачервоному діапазоні електромагнітних хвиль.

В інфрачервоному діапазоні спектра працюють системи, які роблять виміри в певних ділянках спектра або в смугах поглинання окремих газів.

Для виявлення і простежування хмарності на тіндовій стороні Землі (а також на освітленій стороні) широкого застосування набули системи, що працюють у 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 та хмар.

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

Наукова апаратура, що працює в мікрохвильовому діапазоні електромагнітних хвиль.

Наукова апаратура, що робить виміри в мікрохвильовій області спектра, охоплює міліметрову і сантиметрову ділянки радіодіапазону. Мікрохвильові виміри дозволяють одержувати інформацію про хмарність і опади, кількісно визначати вміст водяної пари та води в атмосфері. Дані вимірів можуть бути представлені у вигляді окремих реєстрограм, просторово-часових графіків або в окремих діапазонах, наприклад на довжині 0,8 см, у вигляді напівтонового зображення. Виміри на супутниках проводяться найбільше часто в чотирьох каналах: 0,8; 1,35; 3,4 і 8,5 см.

Радіолокаційні пособи ДЗЗ. На практиці найчастіше використовуються або пасивні радіолокаційні пособи, що реєструють природне електромагнітне випромінювання природних утворень, або активні РЛСБО типу РСА. В активних РЛСБО зондувальні радіоімпульси

випромінюються в бічних напрямках відносно польоту носія, і реєструється відбите випромінювання. Спеціальні алгоритми обробки відбитих сигналів дозволяють сформувати дуже вузьку діаграму направленості антени РСА і одержати знімки, що мають роздільна здатність на місцевості в кілька метрів, а також одержувати високоточні дані про висоту рельєфу місцевості.

Для одержання зображень одночасно в декількох вузьких ділянках спектра використовується *багатозональна (багатоспектральна, мультиспектральна або гіперспектральна) апаратура*.

3.3 Аерокосмічний моніторинг

3.3.1 Основні види аерокосмічної інформації і вимоги, що ставляться до неї

Основними видами аерокосмічної інформації (АКІ), яка надходить із супутників, є аерокосмічні зображення Землі та дані радіаційних, спектрометричних і мікрохвильових вимірів.

Основні вимоги до АКІ. У поточний час в основу прогнозів розвитку процесів і явищ покладений великий обсяг інформації, одержуваної по допомогою численних методів спостережень і вимірів, у тому числі одержуваної на різних висотах над Землею. Особливе місце в сукупності інформації, що надходить для аналізу в центри обробки, поймає наукова інформація, передана із супутників. Знімки, одержані в різних областях спектра електромагнітних хвиль, і радіаційні карти суттєво доповнюють відомості про важкодоступні райони. Внесок космічної інформації стає істотним при аналізі синоптичного положення, стану екосистем, особливо при спільному використанні даних наземних і аерологічних спостережень, отриманих у єдиний момент часу для великого географічного району.

Комплексний аналіз усієї АКІ обумовлений певними вимогами до неї, що забезпечують можливість подальшого використання:

- глобальність,
- тривизаходівність,
- комплексність,
- синхронність,
- регулярність,
- оперативність,
- відрізненні даних на місцевості,
- смуга захоплення (огляду) наукової апаратури,
- точність, з якою може бути визначений відповідний елемент.

Усі вимоги до даних повинні виконуватися в сукупності, тому що порушення хоча б одного з них значно знецінює всю інформацію, що

надійшла.

Вимогу *глобальності* наукової АКІ може бути подоволено декількома шляхами:

1. збором даних по допомогою системи геостаціонарних супутників;
2. спостереженням і збором даних космічною системою;
3. використанням запам'ятовувальних пристроїв, наявних на борті супутника, і скиданням інформації на пункті приймання інформації (ППІ), тобто роботою наукової апаратури в режимі попам'ятовування інформації (ЗІ).

Просторовий подання про розподіл даних дуже важливо при метеорологічному аналізі. Питання *тривизаходівності* вимірів не повністю задовольняють сучасні вимоги. Якщо по площі виміру із супутників є певні успіхи, то розв'язання подачі відновлення вертикальних профілів різних величин потребує вдосконалювання методик відновлення цих даних.

Комплексність супутникових вимірів забезпечується установкою на борті супутників різних видів наукової апаратури, а також використанням сукупності пособів спостережень і збору даних сучасними авіаційними, наземними і космічними системами.

Знімання інформації в єдиний фізичний момент часу – одне з найважливіших вимог до АКІ, тому *синхронність* знімання інформації забезпечується в першу чергу вибором орбіт оперативних супутників ДЗЗ. Велике значення для подовolenня цієї вимоги має визначення кута нахилу орбіти супутника, зокрема, використання сонячно-синхронної орбіти. Використання в складі космічних систем декількох супутників, що передають інформацію в режимі безпосередньої передачі, спрощує розв'язання питання синхронності спостережень у строки, прийняті на мережі. Дослідження показують, що невеликі відхилення в часі, пов'язані з використанням даних навіть тільки з одного супутника Землі, виявляються порівнянними згодом старіння даних наземних спостережень.

Регулярність спостережень з супутника забезпечується бортовою системою керування роботою наукової апаратури. Вона визначається поданою програмою вимірів і контролюється різними наземними приладами. Режим роботи супутникової апаратури повністю забезпечують цю вимогу.

Оперативність одержання АКІ пов'язана з особливостями вимірів і поширення супутникових даних. Враховуючи широке використання бортових і наземних електронно-обчислювальних комплексів для початкової обробки космічних даних, можна розраховувати на певні перспективи підвищення оперативності доведення наукової інформації до споживача.

Вимоги до *роздільна здатність* АКІ визначаються завданнями, які ставляться перед аналізом знімка або даних радіаційних вимірів. В

окремих випадках для прогнозу досить мати оглядові зображення з малим роздільна здатність, а в деяких випадках пропонованим вимогам будуть відповідати тільки детальні знімки з більшим роздільна здатність.

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

Точність вимірів величин у значній заходіві залежить від технічних можливостей бортової апаратури, від досконалості методів розрахунків цих величин по методиках рішення зворотних задач. Ця вимога тісно пов'язана із практичним вирішенням питання про тривимірність вимірів. Для більшості величин досягнуті точності виміру та роздільна здатність не завжди відповідають основним вимогам. Розв'язання даної проблеми в першу чергу пов'язане з удосконаленням апаратури, а також з подальшим розвитком космічних систем.

3.3.2 Космічні знімки

Космічна зйомка Землі охоплює широкий спектр її електромагнітного випромінювання. Знімки, отримані в різних діапазонах хвиль (видимому, інфрачервоному та 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, покону зміни швидкості переміщення візирного променя по рядку та кутових елементів орієнтування сканувального обладнання.

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

Розглянуті залежності характерні тільки для неспотвореного знімка. При космічній зйомці із супутника завжди мають місце викривлення. Вони обумовлені недосконалістю оптичної і електронної частин приймально-передавального тракту та випадковими змінами елементів зовнішнього орієнтування.

Зображення, отримані у видимій ділянці спектра. Вони є одним з найважливіших видів інформації. Зйомка здійснюється оптико-механічною сканувальною апаратурою над освітленою територією Землі і має підвищену інформативність (рис. 3.7). Для збору та поширення

використовуються дві схеми: централізована й автономна.

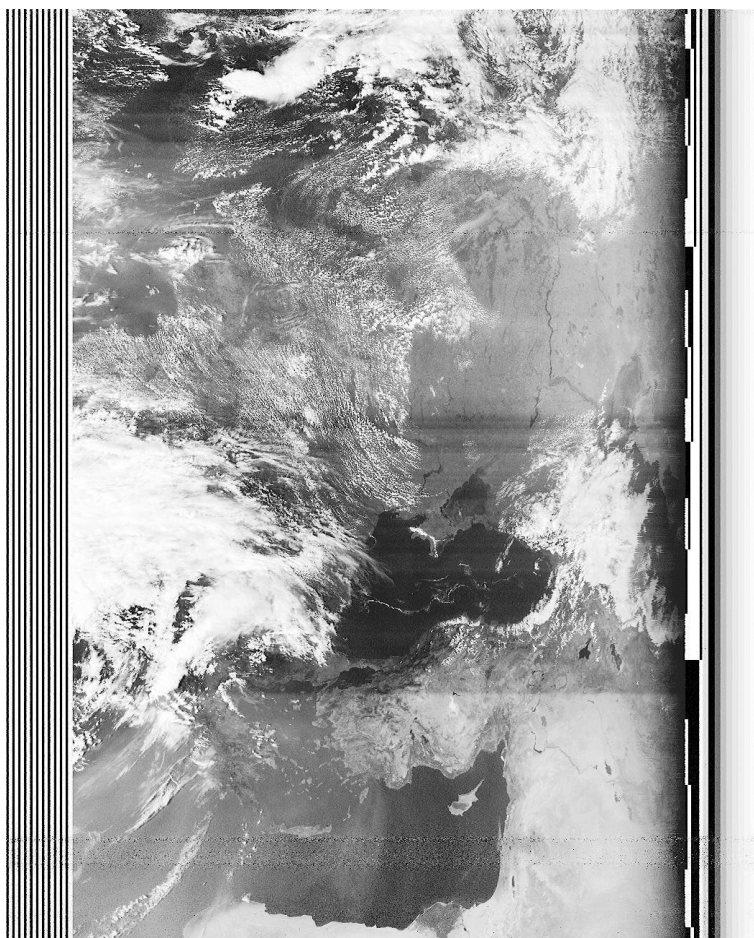


Рисунок 3.7 – Зображення, одержане у видимому діапазоні хвиль з супутника „Метеор”

У режимі безпосередньої передачі сканувальний телефотометр, установлений на супутнику „Метеор”, забезпечує одержання знімка із захватом на місцевості 2100 км і роздільна здатність 2 км у надирі. Масштаби зображень по рядку $1:11 \cdot 10^6$, по кадру $1:12 \cdot 10^6$.

Знімки, отримані по допомогою п'ятиканального сканувального радіометра високого роздільна здатність, установленого на супутнику NOAA, мають захоплення на місцевості 3000 км і роздільна здатність 4 км по всьому полю знімка. Масштаби зображень по рядку $1:30 \cdot 10^6$, по кадру $1:25 \cdot 10^6$.

Зображення, отримані з геостаціонарних супутників серії ГОЕС у режимі безпосередньої передачі, мають роздільна здатність на місцевості близько 9×9 км. Знімок з одного супутника забезпечує зображення 30% площі Землі.

Характеристики знімків, отриманих з супутників у режимі по пам'ятовування, трохи відмінні від знімків у режимі безпосередньої

передачі. Так, знімки, виконані з супутника „Метеор-2”, мають смугу огляду на місцевості 2400 км і роздільна здатність 1 км у надирі. Особливістю цих знімків є наявність на них координатної сітки.

Знімки супутників NOAA, що надходять у централізованому режимі збору інформації, мають більшу роздільну здатність, ніж знімки, отримані в режимі безпосередньої передачі. Роздільна здатність на місцевості при плановій зйомці з супутників серії NOAA рівно $1,1 \times 1,1$ км, Загальна ширина смуги захоплення на місцевості в цьому випадку рівна 3300 км.

Зображення, одержувані в ІЧ ділянці спектра. Інфрачервоні знімки являють собою візуалізовану форму теплових контрастів об'єкта. При реєстрації ІЧ інформації перетворення відеосигналу на зображення здійснюється так, щоб світліші ділянки знімка відповідали об'єктам з нижчою радіаційною температурою, а більш темні ділянки – об'єктам з більш високою температурою (рис. 3.8).

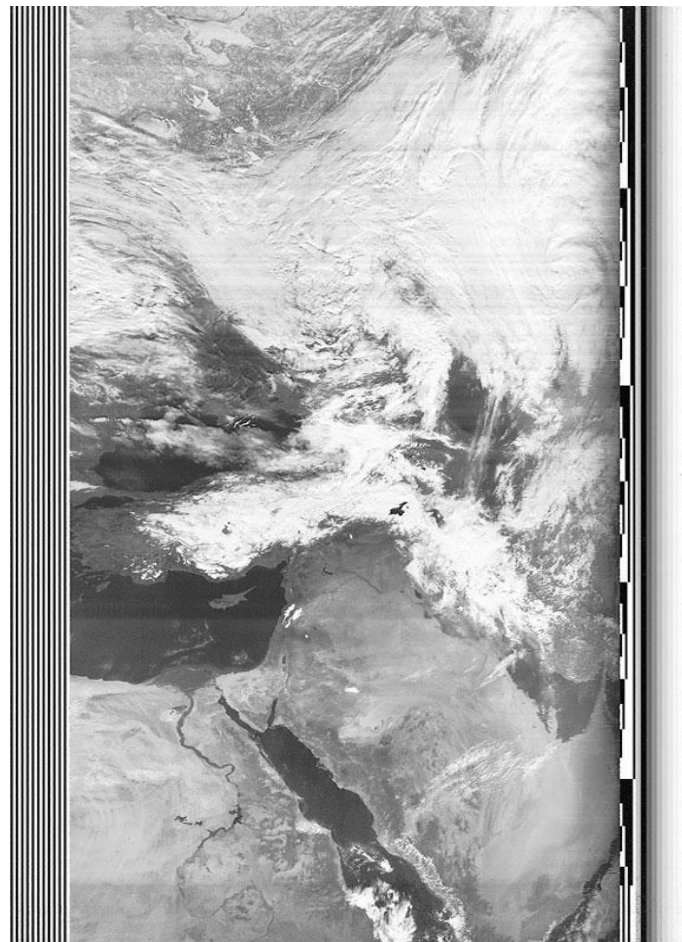


Рисунок 3.8 – Зображення, одержане в ІЧ діапазоні хвиль із супутника „Ресурс”

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

правило, мають меншу роздільну здатність на місцевості в порівнянні з зображеннями видимого діапазону, а, отже, мають і меншу інформативність. Однак можливість одержання знімків у світлий і темний час доби робить цю інформацію основною при використанні її в аналізі. Знімки надходять у централізованому або автономному режимі. Зйомка здійснюється по допомогою сканувальної апаратури, тобто поелементно.

Одержання безперервного зображення уздовж усього витка суттєво полегшує процес подальшої обробки знімків. На полях фотоплівки поруч з зображенням у вигляді темних і світлих рисок, паралельних рядкам сканування, фіксуються у двійковому коді хвилинні мітки часу. У режимі безпосередньої передачі локалізація знімка здійснюється за часом приймання зображення та відомостями, отриманими зі спеціальних телеграм, переданих національними службами погоди.

Сканувальний інфрачервоний радіометр супутника „Метеор” забезпечує одержання знімка із захватом на місцевості 2600 км і роздільна здатність 8 км у надирі. Масштаби реєстрованих зображень по рядку від $1:11,5 \cdot 10^6$ у центрі до $1:48 \cdot 10^6$ на краях, по кадру $1:19,5 \cdot 10^6$.

Інфрачервоні знімки, отримані із супутника NOAA, мають такі ж характеристики, як і оптичні знімки, отримані із цього супутника в режимі безпосередньої передачі, тобто захват на місцевості 3000 км і роздільна здатність 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, одержувані з геостационарних супутників серії ГОЕС, мають роздільна здатність $9,0 \times 9,0$ км і передаються в режимі безпосередньої передачі.

В *основі багатоспектральної (багатозональної) зйомки* лежить одержання ряду роздільних зображень у вузьких ділянках спектра того самого об'єкта (рис. 3.9). Багатоспектральна зйомка є в наш час найбільш перспективним методом у вивченні Землі та надзвичайних ситуацій з космосу. Особливістю зображень, одержуваних у декількох спектральних інтервалах, є повнота інформації і вірогідність, що забезпечується вибором спектральних ділянок і високою роздільною здатністю знімальної апаратури.

Чотириканальне оптико-механічне сканувальне обладнання малого роздільна здатність ШСЗ „Метеор” дає можливість одержати знімок із захватом на місцевості 2000 км і роздільна здатність у надирі $1,0 \times 1,7$ км. Двоканальне оптико-механічне обладнання середнього роздільна здатність, установлене на цьому ж супутнику, забезпечує менше захоплення на місцевості – 1400 км при відрізненні знімка в надирі $0,28 \times 0,28$ км.

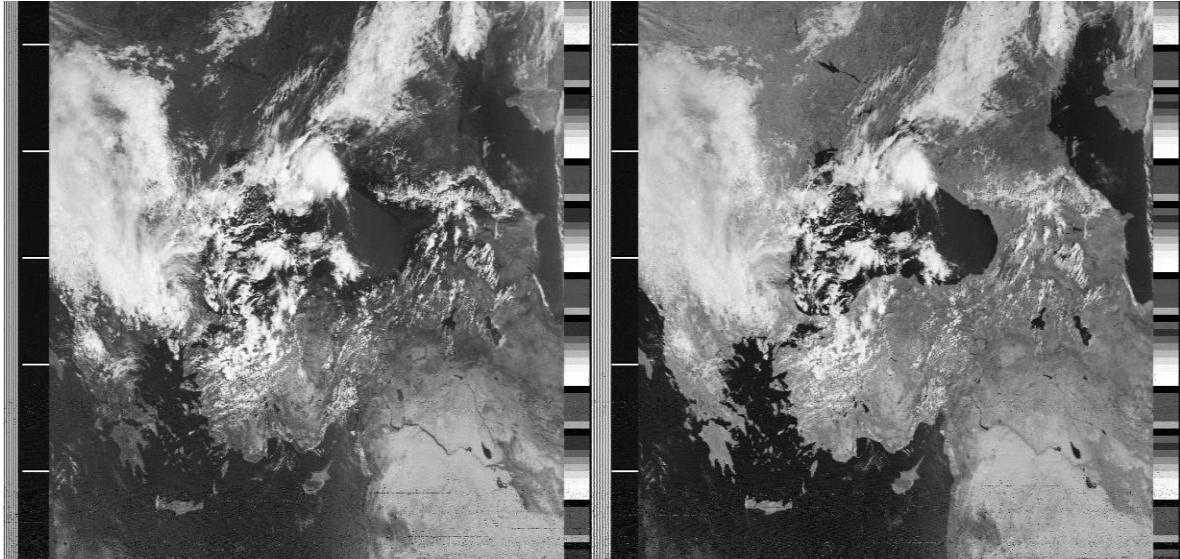


Рисунок 3.9 – ІЧ знімок із супутника NOAA-17 тієї самої ділянки земної поверхні у двох спектральних діапазонах

Масштаб зображень чотириканального обладнання малого роздільна здатність супутника „Метеор” $1:11 \cdot 10^6$ по рядку та $1:13 \cdot 10^6$ по кадру. Обладнання середнього роздільна здатність цього супутника забезпечує одержання знімка в масштабі $1:3 \cdot 10^6$.

Багатоспектральна сканувальна система, використовувана на супутниках „Лендсат”, має просторовий роздільна здатність 70...100 м і ширину огляду близько 185 км.

Зображення, одержувані в мікрохвильовій ділянці спектра. Півтонові або псевдокольорові зображення, сформовані з поля радіояскравих температур, являють собою форму теплових контрастів об'єкта (рис. 3.10). Вимірювання мікрохвильового випромінювання можуть проводитися в різних режимах: вимірювання в надир і вимірювання в режимі сканування. На супутнику „Метеор” виміри поля радіояскравісних температур здійснюються в діапазоні 0,8 см. Реєстрація здійснюється в режимі сканування по дузі під кутом 40° до надира.

По зовнішньому виду мікрохвильові зображення схожі на інфрачервоні знімки з малим роздільна здатність. Вони також являють собою безперервну смугу огляду уздовж проекції орбіти супутника. Ширина смуги огляду 700 км, розмір знімка на місцевості 15×20 км. Важливою відмінною рисою мікрохвильових зображень є зображення материків (суші) яскраво-білим тоном без півтонів (по винятком Антарктиди) з чітко обкресленою береговою лінією, добре видимою крізь хмари.

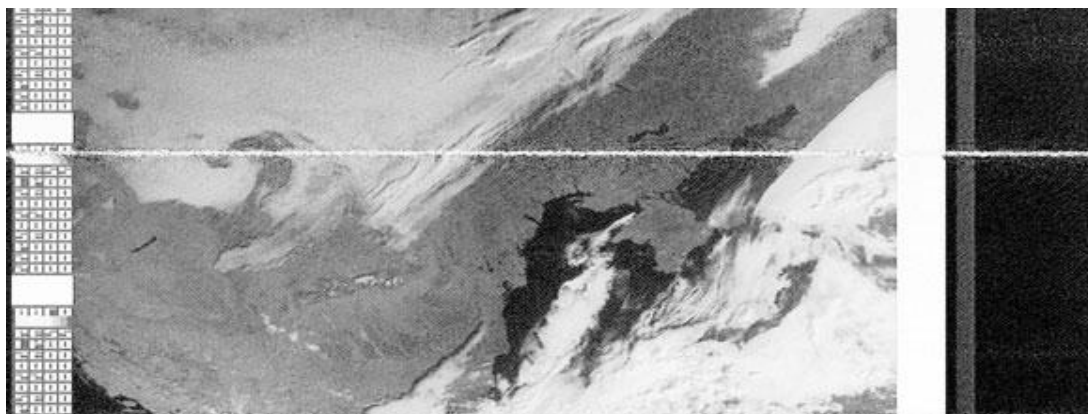


Рисунок 3.10 – Зображення, отримане в мікрохвильовій ділянці спектра (0,8 см) із супутника „Січ” (Океан–О)

3.3.3 Радіаційні, спектрометричні та мікрохвильові дані

Радіаційні дані. Радіаційні виміри проводяться в довгохвильовому вікні прозорості 8...12 мкм. Вимірювання інфрачервоного випромінювання по допомогою сканувального ІЧ радіометра, установлюваного на супутнику „Метеор”, дозволяють одержати поле радіаційних температур підстильної поверхні, і дані, необхідні для розрахунків верхньої границі хмар.

Ширина смуги огляду отриманих радіаційних карт і роздільна здатність на місцевості такі ж, як і для інфрачервоних зображень. Це пояснюється використанням однієї й тієї ж апаратури – ІЧ радіометра для зйомки.

Цифрові карти радіаційної температури підстильної поверхні та висоти верхньої границі хмар випускаються в масштабі $1:3 \cdot 10^7$. Дані на цих картах нанесені у вузлах регулярної сітки із кроком 250 км. Для північної і південної півкулі використовується стереографічна проекція, а для тропічної зони – меркаторська проекція карти.

Спектрометричні дані. Спектрометричні виміри дозволяють одержати в глобальному масштабі відомості про вертикальний розподіл температури та вологості повітря, озону і ін. Найбільш широко застосовуються виміри в смугах поглинання вуглекислого газу 4,3 і 15,0 мкм. Дифракційні спектрометри, що працюють у смугах поглинання CO_2 , можуть мати від 4 до 30 каналів вимірів, що практично забезпечує відновлення вертикального профілю температури до досить більших висот. Для одержання даних про розподіл вологості в атмосфері використовуються спектрометричні виміри в смугах 6,5...7,0 і 20...23 мкм. Спектральні виміри випромінювання у діапазоні хвиль 6...20 мкм дозволяють відновити вертикальний профіль озону (до висоти 25 км) і

водяної пари (до висоти 9 км). Результати спектрометричних вимірів у різних смугах поглинання (ділянках спектра) можуть бути представлені у вигляді таблиць або карт. Спектрометричні виміри із супутника забезпечують точність виміру випромінювання до 0,5...1,0%. При виробництві спектрометричних вимірів апаратура звичайно має каліброване еталонне джерело випромінювання. Калібрування вимірювання апаратури дає можливість встановити зв'язок між інтенсивністю радіації та вихідним сигналом радіометра і визначити середню квадратичну помилку вимірів. Значення середньої квадратичної похибки для подібних вимірів при відсутності хмарності близько 2°C, при наявності хмар вона трохи більше.

Методи обробки спектрометричних даних передбачають широке використання електронно-обчислювальної техніки. Первинна обробка, географічна та часова прив'язка інформації виконуються за заданих розроблених схемах.

На супутниках серії „Метеор” може встановлюватися спектрометр-інтерферометр (СІ апаратура). Апаратура має кілька каналів вимірів у діапазоні 6,25...25,0 мкм. Роздільна здатність її 36×40 км. Дані, отримані в цьому діапазоні хвиль, використовуються для побудови вертикальних профілів температури і визначення вмісту водяної пари та озону в атмосфері.

Мікрохвильові дані. Для виробництва вимірів на супутниках установлюються триканальні мікрохвильові радіометри (НВЧ апаратура). Багатоканальні виміри в надирі ($\lambda = 0,8; 1,35; 8,5$ см) можуть проводитися окремо або одночасно з вимірами ІЧ випромінювання у вікні прозорості атмосфери 8...12 мкм.

Мікрохвильова інформація може надаватися для аналізу у вигляді профілю, просторово-часового графіка і цифрової карти поля радіояскравих температур. Характеристики цієї інформації залежать від способу вимірювання, використовуваного 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 роздільній здатності радіометра на місцевості 15×20 км. При полярнополюсних вимірах у каналі випромінювання $\lambda = 0,8$ см смуга огляду на місцевості близько 1000 км і роздільна здатність даних 24×30 км.

Якщо виміри проводяться в надир для каналів $\lambda = 1,35$ і 8,5 см, роздільна здатність відповідно 90×90 і 100×100 км. Отримана в мікрохвильовому діапазоні інформація дозволяє одержати відомості про вологовміст в атмосфері, про просторовий розподіл зон опадів і їх інтенсивності, про інтегральну водність хмар, положення меж льодяного покриву і його згуртованості.

3.4 Аерокосмічний моніторинг агроекологічних систем

3.4.1 Модель регіональної системи аерокосмічного моніторингу

Опишемо модель інформаційної структури регіональної системи аерокосмічного моніторингу сільськогосподарських угідь із урахуванням зв'язку декількох факторів:

- інформаційних потреб у вирішенні подач щодо оцінки стану сільськогосподарських культур,
- реальних можливостей сучасної супутникової апаратури,
- реальних можливостей різних інформаційних каналів,
- тематичного полігонного забезпечення,
- технологій тематичного дешифрування.

Ця модель регіональної системи аерокосмічного моніторингу на основі дистанційного та контактного контролю над станом сільськогосподарських земель і, головним чином, за станом рослинного покриву ґрунту (як індикатора) забезпечує різним сільськогосподарським споживачам і державним регулюючим і контролюючим органам вирішення цілого ряду подач в агроекологічній сфері.

Моніторинг факторів, що впливають на формування врожайності сільськогосподарських культур, виконується за комплексною схемою (рис. 3.11). У цій схемі оцінюються основні фактори, що формують урожайність сільськогосподарських культур (блок 1), а саме, тепло-холод, снігове покриття, водоспоживання рослин (ґрунтова волога, поливи, атмосферні опади), мікрорельєф, режим живлення, ерозинність, мочаристість, пирогенність, лісомеліорація, стихійні лиха, забруднення ґрунту, антропогенне навантаження (блок 10). На основі цієї оцінки ухвалюється рішення про використання необхідного комплексу засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що надає потрібні дані (блоки 2-9), тобто типи цільової апаратури, космічні апарати, персональні пособи приймання супутникової інформації, бази даних супутникових знімків, вимоги до часової дискретності зйомок, вимоги по під супутниковій інформаційній забезпеченості, у тому числі з тематичних полігонів (блок 11), програмне забезпечення (блок 14). Надалі здійснюється моделювання врожайності (блок 13) з застосуванням ГІС (блок 12), результати якого ставляться споживачам (блок 15).

Розглянемо основні блоки моделі інформаційної структури регіональної системи аерокосмічного моніторингу агроекологічних систем, при цьому врахуємо, що блоки 2-9 вивчалися раніше[21].

Фактори, що впливають на урожайність та родючість ґрунтів (тематичні задачі)

Озони		Ярові	
Дана DISG АРІ 2.1	Дана DISG НЕРТ СНЕРТ 2.2	Дана DISG АСТЕР SPOI 2.3	Дана DISG АСТЕР SPOI 2.4
Дана DISG АСТЕР SPOI 2.5	Дана DISG АСТЕР SPOI 2.6	Дана DISG АСТЕР SPOI 2.7	Дана DISG АСТЕР SPOI 2.8
Дана DISG АСТЕР SPOI 2.9	Дана DISG АСТЕР SPOI 2.10		

Міністерство

База даних метеоданих

Розклад польових КА

Персональна станція прийому супутникової інформації

Зарубіжна база знань

База даних агрометеорологічних параметрів

Опорна інформація

Архівна метеоінформація

Землеупорядна інформація

Архівна гідрометеорологічна інформація

Тематична картографічна інформація

Тематичне дешифрування ПС-картографування

Моделювання урожайності

Основні програмні засоби

СПОЖИВАЧІ

Агрометеорологічні параметри

Розміщення с/г культур, урожайність

Водно-балансові спостереження з зони аерації ґрунту

Гідрологічні параметри

Гідрологічні агрокліматичні показники ґрунту

Природні біоінформаційні показники

Схема інформаційних потоків при вирішенні задач агрокліматичного моніторингу

3.4.2 Фактори, що впливають на врожайність і родючість ґрунтів

До *головних факторів*, прямо контрольованих космічними апаратами, відносяться: атмосфера безхмарна, хмари, дими, сніг, лід, вільна вода, ґрунтова волога, рослинний і ґрунтовий покрив.

Фактори, як правило, є основними (тестовими) об'єктами спостережень, тому що дуже часто відіграють роль космічних індикаторів у задачах по визначенню стану навколишнього середовища. Фактори повинні бути підібрані залежно від характерних природно-господарських рис регіону.

Наприклад, запилена атмосфера показує наявність пилових часток, що переносяться дуже часто у високих шарах атмосфери з південних спустошених районів; хмари індицують напрямок вітру (у тому числі і з боку промислових об'єктів, що виділяють в атмосферу різні окисли азоту, сірки та ін., що сприяють формуванню кислотних дощів), зміна погодних умов, місця утворення та місця випадання атмосферних опадів, місця і строки утворення гроз і градів; просторовий розподіл снігу характеризує снігозатримувальну та вологонакопичувальну ефективність лісосмуг, ступінь укриття озимих зернових; стан рослинного покриву ґрунту на окремому сільськогосподарському полі (ділянці поля) характеризує поточна ґрунтова родючість конкретного поля (ділянки поля), його строкатість, пов'язана з природними факторами, що формують біопродуктивність агроценозів, а також з ефективністю (якістю) основних технологічних прийомів, застосовуваних для вирощування врожаю; просторово-часовий стан рослинного покриву в регіональному масштабі дозволяє виконувати унікальний, космічний біокліматичний аналіз природно-господарських і антропогенних умов виростання основних фітоценозів у регіоні; дими промислових підприємств у сукупності з наземною метеорологічною інформацією дозволяють становити карти забруднення території продуктами димових викидів і враховувати їхній негативний вплив на зниження врожайності овочевих культур.

Побічно *по головних факторах*, прямо контрольованих космічними апаратами, можна визначити показники, що характеризують формування врожайності та родючості ґрунтів: тепло-холод, покриття або не покриття снігом, водоспоживання рослин, водний режим ґрунту, поливи, атмосферні опади, мікрорельєф, режим живлення ґрунту, ерозійність, мочаристість, пирогенність, лісомеліоративний ефект, стихійні лиха, забруднення ґрунту, соціальні та економічні умови сільськогосподарського землекористування.

Головні фактори зображуються на знімках по-різному, полегше від використовуваного спектрального каналу й стану моніторингового об'єкта.

Наприклад, атмосфера: прозора або помутнена (запилена); хмари: високі або низькі, „сухі” або вологонасиченні, характерні по формою, часової динаміки та простору утворення; сніг, свіжовипавший сніг,

пухкий або злежаний, „сухий” або мокрий, поталий, побруднений; лід: молодий або старий, тонкий або товстий; вода: глибока або мілка, прісна або солона, мутна або прозора; рослинність: зрошувана, незрошувана, вегетуюча або зів'яла, вологопобезпечена або піддана посузі, свіжополита (спосіб поливу, тип дощувальної машини), підгодована (внесення ранньої весни азотних добрив), уражена шкідниками або хімікатами, скошена (прямим комбайнуванням, на звалення), вирубана, випалена, витоптана, полегла, лугова, сільськогосподарська (види сільгоспкультур), характерна по динаміці біопродуктивності в часі; ґрунт: гумусована або карбонатна, осолоділа, підтоплена, перезволожена, свіжополита, зволожена дощем, піддана приморозку, свіжозорана, малопотужна (з підґрунтовими глинами, що близько полягають), розроблена під траншею, котлован, кар'єр, рекультивована.

Дешифрування окремих факторів або сукупності ряду факторів становить основу технологічного ланцюжка при вирішенні тематичних подач, основні з яких визначено представлено в таблиці 3.1. Згідно з даними табл. 3.1 моніторинг основних факторів, що впливають на врожайність сільськогосподарських культур, здійснюється по сезонах року в масштабах регіону і у масштабах поля з визначенням джерел космічної картографічної та опорної апріорної інформації.

Згідно з тим, який фактор контролюється, використовується відповідна космічна інформація з рекомендованого космічного апарата або групи космічних апаратів.

Блок підготовки опорної апріорної інформації, будучи складовою частиною підсистеми збору підсупутникової інформації, являє собою банк інформації, що складається з локальної бази даних і системи керування нею[22].

Примітка: Цифри в таблиці позначають необхідні інформаційні джерела і проставлені згідно рис. 3.11.

Бапо даних містить такі блоки:

- агрономічна статистична інформація (блок 10.1);
- архівна метеорологічна інформація. В обов'язковому порядку створюється багаторічна метеорологічна бапо даних з основними метеорологічними показниками й можливістю їх статистичної обробки (блок 10.2);
- землевпорядна інформація (блок 10.3);
- архівна гідрогеологічна й меліоративна інформація (блок 10.4);
- тематична картографічна інформація (блок 10.5).

Таблиця 3.1 – Тематичні Завдання по ідентифікації стану посівів і факторів, що впливають по сезонах року на врожайність сільськогосподарських культур у масштабах регіону і у масштабах поля

№ №п /п	Завдання	Регіональний режим (район)			Локальний режим (поле)		
		сезон			сезон		
		осінь	зима	весна- літо	осінь	зима	весна- літо
1	Ідентифікація видів ґрунтового-рослинного покриву сільськогосподарських земель	2.3, 2.4, 2.5	—	2.3, 2.4, 2.5	2.6	—	2.6
2	Короткостроковий прогноз і оперативне коректування режиму випадання атмосферних опадів під час посівної і збору	2.1, 2.2, 2.3, 10.3	—	2.1, 2.2, 2.3, 10.3	—	—	—
3	Визначення оптимальності строку посіву озимих і умов їх яровипоцїї	2.3, 2.4	—	—	—	—	—
4	Аналіз умов перезимівлі	—	2.3, 2.4, 2.5	—	—	—	—
5	Аналіз стану озимих при виході із зими	—	—	2.3, 2.4	—	—	2.6, 8
6	Контроль якості виконання агротехнологічних операцій	—	—	—	—	—	2.6, 2.7, 2.9, 2.10, 8
7	Оцінка впливу весняного поморозку	—	—	2.3, 2.4	—	—	8
8	Контроль посушливих умов	—	—	—	—	—	2.6, 10.2, 11.4
9	Оцінка ефективності роботи осушувальних систем	—	—	2.3, 2.4	2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 8	2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10	2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 8
10	Прогноз урожайності ранніх зернових	—	—	2.3, 2.4	—	—	2.6
11	Вирівнювання „клаптевої родючості”	—	—	—	—	—	2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 8, 10.4

Література

1. Mann R.E. Global Environmental Monitoring System (GEMS). Action Plan for Phase 1. SCOPE, rep. 3, Toronto, 1973. – 130 p.
2. Декларация Конференции Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей человека среды (Принята Конференцией Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей человека среды, Стокгольм, 1972 год). [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http:// www.un.org/ru/ documents/decl_conv/declarations/ declarathenv.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/declarathenv.shtml)
3. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 375 с.
4. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
5. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. Организация Объединенных Наций, 1992, Документ FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62222 190705 280705.
6. Закон України № 964-IV „Про основи національної безпеки України” від 19 червня 2003 року // Відомості Верховної Ради України. 2003. – № 39. – ст. 351 (зі змінами).
7. Закон України № 2818-VI „Про Основні посади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року” від 21 грудня 2010 року // Відомості Верховної Ради України. 2011. – № 26. – ст. 218 (зі змінами).
8. Рішення про Концепцію гідрометеорологічної безпеки держав-учасниць Співдружності Неполежних Держав. Рішення potwierджено Постановою Кабінету Міністрів України № 1702 (1702-2004-п) від 20.12.2004 [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.zakon.nau.ua/doc/?code=997_749
9. Постанова Кабінету Міністрів України № 391 „Про potwierдження положення про державну систему моніторингу довкілля” від 30 березня 1998 року // Офіційний вісник України. 1998. – № 13. – с. 90.
10. Закон України № 1264-XII „Про охорону навколишнього середовища” від 25 червня 1991 року // Відомості Верховної Ради України. 1991. – № 41. – ст. 546. (зі змінами).
11. Закон України № 443-XIV „Про гідрометеорологічну діяльність” від 18 лютого 1999 року // Відомості Верховної Ради України. 1999. – № 16. – ст. 95. (зі змінами).
12. Руководящий документ Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 1. Наземная подсистема получения данных о состоянии природной среды. Основные положения и нормативные документы. РД52.04.107–86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 183 с.
13. Руководящий документ Руководство по контролю загрязнения

- атмосфери. РД 52.04.186–89. – М.: Гидрометеиздат, 1991. – 1228 с.
14. *Стихійні метеорологічні явища на території України по останнє десятиріччя (1986-2005 рр.)* / По ред. В.М. Липінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко Київ. Ніка-Центр. 2006. - 312 с.
15. *Данова Т.Є. Мацук Ю.М. Тривалі та інтенсивні грози над Карпатами* // «Науковий Вісник Східноєвропейського Національного Університету Імені Лесі Українки».
16. *Бапо данных* Вайомингского университета [Електронний ресурс] URL: www.weather.uwyo.edu (дата обращения: 12.04.2013).
17. *Погодный сайт* [Електронний ресурс] URL: www.gismeteo.ua (дата обращения: 10.07.2004).
18. *Волощук В.М. та ін. Глобальне потепління і клімат України: регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти.* – К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2002.– 17 с.
19. *Бапо данных* испанского климатического сайта [Электронный ресурс] URL: <http://www.tutiempo.net/clima.htm>
20. *Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8).
21. *Перелигін Б.В. Одержання, передача, прийом і подання локаційної космічної інформації.* – Одеса: „Екологія”, 2006. – 89 с.
22. *Герман М.А., Белов П.И., Назиров М. Лабораторный практикум по курсу: Космические методы исследования в метеорологии.* – Л.: Изд. ЛПИ (ЛГМИ), 1981. – 143 с.

Навчальне електронне видання

**Олександр Сергійович Лімонов
Борис Вікторович Перелигін
Тетяна Михайлівна Пустовіт
Катерина Олександрівна Дяченко**

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ
НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА**

**І частина
«Системи моніторингу навколишнього середовища»**

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач
Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016
тел./факс: (0482) 32-67-35
E-mail: info@odeku.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5242 від 08.11.2016