

Метеорологія та кліматологія

Лекція № 1 Предмет і зміст метеорології і кліматології (для самостійного опрацювання)

План лекції

1. Історія розвитку.
2. Предмет і метод метеорології і кліматології.
3. Метод метеорології і кліматології.
4. Організація і зміст метеорологічних спостережень.

1. Коротка історія розвитку метеорології та кліматології

Є така сфера діяльності, яка цікавить абсолютно всіх. Важко знайти людину, яку не цікавила б погода. Напевно погодою і кліматом цікавляться практично всі. Широко поширений вираз «Коли нема про що говорити, то говорять про погоду». Можливо в деяких випадках це і вірно, але зазвичай люди обговорюють саме те, що їх найбільше хвилює.

Слід зазначити, що проблема «людина і клімат» існувала завжди. Ще в давнину, 2.5 тис. років тому, в грецьких містах на загальний огляд виставлялися парапегами (від грецького слова «прикріплювати»), це таблиці, в яких описувалися кліматичні умови колишніх років, повідомлялося про бурях, туманах, грози, зливи. Під II ст. до н.е. в Афінах була побудована Вежа вітрів, збережена дотепер (рис.1.1). На кожній з її восьми граней мається барельєф, що характеризує тип атмосферних умов, пов'язаних з вітром того напрямку, куди звернена дана грань.

Хоча слово "метеорологія" вперше згадується у Платона (близько 429-347 рр.. до нашої ери), першою роботою про погоду і клімат вважають "Метеорологіка" Аристотеля (384-322 рр до нашої ери) - великого мислителя давнини. (Аристотеля взагалі можна вважати родоначальником всіх природничих наук метеорологія, геологія, біологія, астрономія, механіка філософії і т.д.) Наші сучасники вважають цей трактат збіркою помилок, допущених Аристотелем при поясненні природних явищ, і тому приділяють цій роботі недостатньо уваги. Учень Аристотеля Теофраст склав трактат про прикмети погоди; він описав понад 200 ознак, за якими визначалося стан

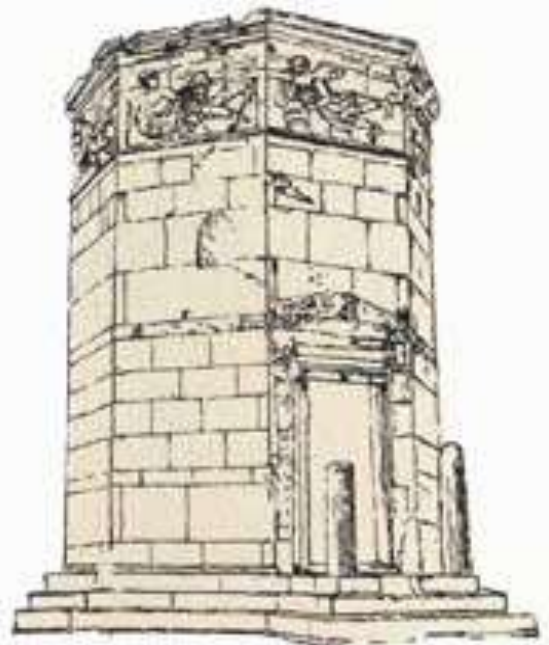


Рис.1.1 – Вежа вітрів в Афінах

атмосфери на добу вперед, тиждень і навіть на сезон. Знаменита фраза з цього трактату: «Якщо вітер дме до вечора - моряку боятися нічого, якщо дме уранці - моряку не по нутру» важлива і зараз, так як виправдовується в більшості випадків.

Спостереження над найбільш видатними атмосферними явищами велися і реєструвалися і в середні віки: багато записів про такі явища, як холодні зими, посухи, незвичайні оптичні явища в атмосфері і т.п., мається на російських літописах і в пам'ятках писемності інших країн. В епоху великих географічних відкриттів (XV і XVI століття) з'явилися кліматичні опису відкриваються країн.

У Японії з незапам'ятних часів ведеться запис розквітання вишневого дерева - сакури.

Мистецтво теж залишило наочні свідчення про клімат минулого. Досить подивитися на картини Пітера Брейгеля на яких зображені райони Фландрії (сучасна Бельгія і Нідерланди), щоб переконатися в суворості зим XVI ст. в цьому районі Європи. Є ще багато знаменитих Англійських гравюр. На одній з них зображена ярмарок на Темзі. Зараз льодоставу на Темзі не буває.

Основи сучасних знань про атмосферу були закладені після винайдення метеорологічних приладів. Так, в 1593 р. Галілей сконструював термоскоп – прообраз сучасного термометра, в 1643 р. Торрічеллі винайшов барометр і довів існування атмосферного тиску, в 1730 р. Реомюр сконструював спиртовий термометр і він став широко доступним.

Першу спробу створити мережу метеорологічних станцій зробила створена учнями Галілея флорентійська „Академія досвіду” в 1657 р., яка відкрила станції в Італії, Парижі, Варшаві тощо. Хоч із закриттям академії мережа розпалась, але поштовх було зроблено. З 17 ст. метеорологічні спостереження мають більш-менш науковий характер. У великих містах Європи – Парижі, Празі, Берліні, Лондоні, Петербурзі – спостереження проводяться майже безперервно – з початку 18 ст.

Слід відмітити великий масштаб робіт у царській Росії. У складі експедиції Беринга були природодослідник Гмелін та астроном Деліль. В 1733 р. вони організували цілу мережу метеорологічних станцій на великій території – 12 станцій: Казань, Єкатеринбург, Тобольськ, Ямишево, Єнісейськ, Томськ, Туруханськ, Іркутськ, Селенгінськ, Нерчинськ, Аргунськ, Якутськ. Ряди спостереження на цих станціях, хоч і з перервами, є одними із найдовших і ще у 18 ст. дозволили висвітлити кліматичні умови величезної нікому не відомої території.

Невдовзі результати метеорологічних спостережень дозволили зробити важливі висновки. Працями О. Гумбольта та Г.В. Дове в Німеччині закладено основи кліматології. Слід відмітити найвідоміших європейських кліматологів, таких як Кеппен В.П., Ганн Ю., Воєйков О.І. О.І. Воєйкова вважають основоположником кліматології в Росії. Він у 1884 р. опублікував класичну працю „Клімати земної кулі, особливо Росії”. У ній він вперше у світі розкрив чинники формування клімату. Він розглядає сонячну радіацію,

циркуляцію атмосфери, вологообіг, роль підстильної поверхні у формуванні клімату.

В 1820 р. Г.В. Брандес в Німеччині склав перші синоптичні карти, а з 50-х років за ініціативою французького астронома У. Левер'є та англійського адмірала Р. Фіцроя синоптичний метод набув широкого використання. На його основі виникла служба погоди і новий розділ метеорологічної науки – синоптична метеорологія. Пізніше вона досягла значних успіхів завдяки працям В. Б'єркнеса (Норвегія), Г. Фікера (Австрія), Б.П. Мультановського.

Вперше інструментальні спостереження в Україні проведені у Харкові (1738-1741 рр.), Сновську (Щорс) Чернігівської області (1769-1782 рр.), у Києві (1770-1771, 1799-1802 рр.). Перша метеорологічна станція в Україні була створена в Херсоні в 1808 р. Регулярні спостереження розпочались лише в 1811 р. на метеорологічній станції в с. Кручик під Харковом, в 1812 р. в Києві, в 1825 р. в Херсоні. Перша в Україні метеорологічна обсерваторія була створена в Луганську в 1836 р. В подальшому аналогічні обсерваторії були створені у Одесі (1839 р.) та в Дніпропетровську (1841 р.).

Метеорологічна обсерваторія при Київському університеті заснована в 1855 р. Регулярні місячні результати спостережень почали виходити з 1863 р. Використовуючи ці матеріали О.В. Клосовський опублікував цікаву працю „Некоторые данные по климатологии Киева (1874 р.)”, за яку він був нагороджений золотою медаллю Російського географічного товариства. До речі, з 1890 р. роботою обсерваторії керував завідувач кафедри фізичної географії університету професор П.І. Броунов, який з часом став основоположником сільськогосподарської метеорології. В 1892 р. він організував Придніпровську мережу метеорологічних станцій, де паралельно вели спостереження за ростом, розвитком і урожайністю сільськогосподарських культур.

Уже відомий нам професор Одеського університету О.В.Клосовський протягом 1883-1886 рр. заснував мережу метеорологічних станцій (1648 станцій) від Бессарабії до Криму та від Одеси до Чернігова. В 1891 р. заснована метеорологічна обсерваторія при Харківському університеті. Роботою обсерваторії керував викладач фізики і метеорології М.П.Косач, брат Лесі Українки. Він брав участь також в організації Харківської мережі метеорологічних станцій, яка почала спостереження в 1902 р.

Перша світова і, особливо, громадянська війни практично зруйнували мережу метеорологічних станцій в Україні. Відбудувати її почали уже в 1918 році.

Характеристику клімату різних районів України вперше опубліковано в 20-х роках ХХ ст.: Д.К. Педаєв „Климат Харьковской губернии”, Г.М. Висоцький „Климатические очерки Черниговщины”, С.О. Бржозовский „Климат Житомира”, М.М. Самбікін „Микроклиматические районы Полтавщины”, Л.Г. Данилов „Климат Подолии”, П.Л. Томашевич „Климатические условия Белоцерковщины”, І.Я. Точидловський „Климат Одессы”, Д.К. Педаєв та М.І. Гук „Климатический атлас Украины”, Б.І. Срезневський „Атлас карт распределения температуры воздуха в Украине”.

В 1950 р. за редакцією М.І. Гука опубліковано довідник з клімату України, в якому наведено узагальнені матеріали спостережень всієї метеорологічної мережі України за період 1891-1935 рр. Протягом 1966-1969 рр. опубліковано п'ять томів характеристик клімату. Слід відмітити дві монографії І.О. Бучинського „Клімат України” (1960 р.) та „Климат Украины в прошлом, настоящем и будущем” (1963 р.)

Найновіші дослідження клімату України підведено в монографії „Климат Украины” в 1967 р. за редакцією Г.Ф. Прихотька, О.В. Ткаченка, В.М. Бабіченко. В 1984 р. опубліковано монографію „Климат”, яка є складовою в серії публікацій із загальною назвою „Природа Украинской ССР” за редакцією К.Т. Логвинова та М.І. Щербаня. В.М. Бабіченко стала організатором великого колективу авторів останньої солідної монографії „Клімат України”, опублікованої в 2003 р.

Отже, уже в 19 ст. розвинувся метод класичної кліматології, коли для характеристики клімату використовуються середні значення всіх метеорологічних величин. Ці величини публікуються у вигляді довідників, кліматичних карт, атласів. Вони зручні при характеристиці клімату і використовуються й зараз.

На початку 20-х років ХХ ст.. Є.Є. Федоров запропонував так званий метод комплексної кліматології. Справа в тому, що в синоптиці в цей час розвивалось вчення про повітряні маси. Синоптики оперували погодою в цілому, а кліматологи вивчали середні багаторічні величини. Автор запропонував характеризувати клімат місцевості повторюваністю різних класів (типів) погоди. На сьогодні виділено 14 класів погоди. Метод не набув широкого розповсюдження, він досить трудомісткий. Повторюваність класів погоди можна вважати додатковою характеристикою клімату місцевості.

В 30-х роках ХХ ст. інтенсивно розвивався метод динамічної кліматології. Широко вивчалась динаміка атмосфери, формування та переміщення повітряних мас, наприклад, визначення кількості днів з арктичним повітрям, середньої температури арктичного повітря в даному районі кожного місяця. Представники цього методу В. Фогель та К.Г. Росбі в США, Г. Гельмгольц у Німеччині, В. Б'єркнес у Норвегії, М. Маргулес в Австралії, М.Є. Кочін, І.О. Кібель, О.О. Фрідман, Г.Я. Вангенгейм, Є.С. Лір, О.І. Аскіназій, С.П. Хромов, О.О. Дроздов, Б.П. Алісов виконали чимало цікавих кліматичних досліджень.

Починаючи з 30-х років ХХ ст.. розвиток аерологічних досліджень дозволив вивчати клімат вільної атмосфери і пов'язувати його з кліматом приземного шару атмосфери. Це праці Х.П. Погосяна, М.Ф. Накоренка, Є.С. Селезньової, В.М. Міхеля тощо.

Велике значення для розвитку теорії кліматології мають роботи М.Є. Кочіна про загальну циркуляцію атмосфери, В.В. Шулейкіна про взаємодію повітряних течій над океаном та суходолом, Х.П. Погосяна про сезонні коливання загальної циркуляції атмосфери, Є.М. Блинової про центри дії атмосфери, М.Є. Швеця про теорію добового ходу температури.

Значна кількість праць присвячена величезній проблемі в кліматології – проблемі теплового балансу підстильної поверхні. Теоретичному обґрунтуванню дослідження присвятили свої роботи С.І. Савинов, М.М. Калітін, А. Онгстрем (Швеція), С. Ланглей та Г. Абот (США), Ф. Лінке (Німеччина). Організатором вивчення усіх компонентів теплового балансу земної кулі став М.І. Будико. Цей напрямок робіт одержав назву фізична кліматологія, оскільки широко вивчались фізичні основи клімату.

Велику роботу з методики обробки матеріалів спостереження провели Л.О. Камінський, Є.С. Кузнецов, О.О. Дроздов, Є.С. Рубінштейн. Велику роль у розвитку сільськогосподарської метеорології відіграли П.І. Броунов, О.І. Воейков, Г.Т. Селянинов, Ф.Ф. Давітая, П.І. Колосков тощо.

Зараз дослідження в галузі метеорології та кліматології досить добре координуються ВМО, особливо у напрямку можливих змін та коливання клімату.

2. Предмет метеорології та кліматології

Земля, як небесне тіло, має повітряну оболонку, яка називається атмосферою. Атмосфера утримується силою земного тяжіння і обертається разом із Землею як одне ціле.

Метеорологія – наука про атмосферу, її склад, будову, властивості та про фізичні і хімічні процеси і явища, які відбуваються в ній. Метеорологія походить від грецьких слів „метеор” – небесне явище та „логос” – вчення. Із визначення дисципліни видно, що предметом вивчення метеорології є атмосфера. В атмосфері постійно відбувається перетворення променистої енергії, відбувається кругообіг тепла, вологи та різних домішок, розвиваються оптичні, електричні та інші явища. Атмосферні процеси і явища виникають і розвиваються в основному в результаті перетворення променистої енергії Сонця, яка надходить на Землю. При вивченні цих процесів широко використовуються закони, встановлені гідромеханікою, термодинамікою та іншими розділами фізики. Отже, метеорологія – наука геофізична, це фізика атмосфери.

В метеорології широко вживається поняття погода. Погода – це фізичний стан атмосфери у певний час на даній території. Параметри, що характеризують фізичний стан атмосфери, називаються метеорологічними величинами. Це атмосферний тиск, температура та вологість повітря, світло, хмарність, прозорість атмосфери тощо. Крім метеорологічних величин стан атмосфери характеризують явищами погоди або атмосферними явищами. Атмосферні явища – результат взаємодії різних атмосферних процесів, що характеризуються певним сполученням кількох метеорологічних величин. Це атмосферні опади, гроза, туман, серпанок, роса, іній, пилова буря, хуртовина, гало, райдуга та інші оптичні і електричні явища. Стан атмосфери у кожному місці постійно змінюється. Про погоду можна говорити у певному пункті, у певному районі, за визначеним маршрутом тощо.

З поняттям „погода” тісно пов’язане поняття „клімат”. Клімат – це багаторічний режим погоди даної місцевості, зумовлений сонячною радіацією, її перетворенням у діяльному шарі земної поверхні та пов’язаною з ними загальною циркуляцією атмосфери і океану.

У визначенні клімату вказані чинники, під дією яких і формується клімат даної місцевості. В географії використовується і простіше визначення клімату – це багаторічний режим погоди, властивий даній місцевості через її географічне положення. Під характерним режимом погоди слід розуміти не лише умови погоди, які найчастіше повторюються, але й погоду виключних для даної місцевості років.

В літературі зустрічається таке поняття, як глобальний клімат. Це клімат земної кулі, який поєднує всі типи клімату. Крім того, зустрічається поняття макроклімат. Це клімат великомасштабного географічного регіону, континенту або всієї земної кулі.

В поняття клімату входять нерозривно пов’язані з ним мікрокліматичні особливості, тобто місцеві особливості режиму інсоляції, температури повітря та ґрунту, вітру і вологості, випаровування тощо.

Ці особливості обумовлені формою рельєфу, експозицією схилів, типом ґрунту, характером рослинності, штучними спорудами тощо. Місцеві особливості клімату, обумовлені неоднорідністю будови підстильної поверхні, називаються мікрокліматом. Мікрокліматичні особливості окремих ділянок можуть мати велике практичне значення. Вони можуть суттєво впливати на швидкість танення снігу, інтенсивність приморозків, тривалість розвитку рослин, швидкість вітру тощо.

Клімат місцевості вивчає наука, яка називається кліматологією. Кліматологія – наука, яка вивчає закономірності формування кліматів, їх розподіл на земній кулі та зміни в минулому і майбутньому. Отже, метеорологія вивчає атмосферні процеси і явища і є геофізичною наукою, а кліматологія вивчає клімат, тобто одну із найважливіших фізико-географічних характеристик місцевості і є самостійною географічною наукою.

Кліматологія є тією ланкою, яка пов’язує між собою метеорологію і географію. В географії метеорологія займає одне із перших місць, оскільки клімат є визначальним фактором у ході біологічних процесів, розповсюдженні рослин, їх хімічного складу та врожайності, ґрунтово-твірних процесів, процесів вивітрювання, формування географічної зональності.

Дуже важливим є так званий кліматологічний аспект в метеорології. Тобто вивчення впливу географічних умов на хід процесів в атмосфері, Це забезпечує необхідну повноту теоретичного вивчення метеорологічних процесів і явищ, отже, кліматологія є географічною наукою і в той же час є одним із заключних розділів метеорології, в якому вивчаються закономірності багаторічного режиму процесів і явищ та їх географічний розподіл. У 18 столітті ці науки ще не ділили на метеорологію та кліматологію. Не дивно, що й до цього часу між ними існує дуже тісний

зв'язок, часто межі не чіткі. У сучасній кліматології широко використовуються фізико-математичні методи дослідження, моделювання з використанням потужної обчислювальної техніки.

Сучасну метеорологію за специфікою завдань та методів досліджень можна поділити на ряд розділів, які мають характер окремих наукових дисциплін. Це динамічна метеорологія, яка вивчає динаміку атмосфери, фізика граничного шару, фізика верхніх шарів атмосфери, фізика хмар і опадів, актинометрія, синоптична метеорологія тощо. Синоптична метеорологія вивчає закономірності зміни погоди на великих територіях з метою їх прогнозу. В основу синоптичної метеорології покладено синоптичний метод, що полягає в аналізі синоптичних процесів на синоптичних картах. Це географічні карти, на які наносять умовними значками матеріали одночасних метеорологічних спостережень.

Задачі сучасної метеорології не обмежуються пояснюванням фізичної сутності атмосферних явищ і процесів. Перед наукою стоїть ряд практичних завдань:

- 1) забезпечення народного господарства метеорологічною інформацією;
- 2) збільшення завчасності прогнозів метеорологічних умов, у тому числі небезпечних метеорологічних явищ.

3. Методи метеорології і кліматології

Основний метод фізичних досліджень *контрольований експеримент* для більшості атмосферних явищ поставити практично неможливо беручи до уваги їх особливості. Тому метеорологія, як і інші геофізичні науки, примушена користуватися іншими засобами досліджень.

Останнім часом в метеорології порівняно широко застосовується *натурний експеримент*. Наприклад, по одержанню опадів з хмар, розсіяню туманів шляхом фізико-хімічної дії на них та ін. Насадження лісових полос, будівництва водосховищ, зрошування місцевості та інші види діяльності людини вносять деякі зміни в стан приземного шару повітря. В наслідок цього це також можна вважати метеорологічним (кліматичним) експериментом.

В метеорології також використовується *лабораторне моделювання* деяких атмосферних процесів, тобто відтворення їх у малому масштабі в лабораторних установках при спрощених умовах. Таким шляхом моделюється загальна циркуляція атмосфери, обтікання і перетікання гірських перешкод та ін.

Лабораторне моделювання неможливе без *фізико-математичного аналізу* відповідних явищ за допомогою теорії подібності. Обпираючись на загальні закони фізики складаються диференційні рівняння, які описують атмосферні процеси і разом з початковими даними складають так звану математичну модель. Ці рівняння достатньо складні і розв'язуються як правило з використанням ЕОМ. Таким шляхом можна знаходити кількісні

закономірності атмосферних процесів і прогнозувати їх розвиток. *Метод математичного моделювання* у теперішньому часі має широке розповсюдження як в прогнозі погоди, так і в теорії клімату.

Фактичні відомості про атмосферу, погоду і клімат дають спостереження. *Метеорологічні спостереження* – це вимірювання метеорологічних величин, а також реєстрація атмосферних явищ. Метеорологічні спостереження над станом атмосфери за межами приземного шару і до висот приблизно 40 км носять назву *аерологічних спостережень*.

Метеорологія має справу з великими масивами спостережень, які необхідно проаналізувати для з'ясування закономірностей, які існують в атмосферних процесах. Тому в метеорології широко використовуються *статистичні методи аналізу спостережень*.

Найбільше статистичні методи використовуються в кліматології. Для того, щоб одержати уявлення про погодні умови і характеристики клімату, природно користуватися географічними картами. Результати метеорологічних спостережень сіті метеорологічних станцій в один фізичний момент часу наносять на карту умовними знаками і цифрами. Таку карту називають *синоптичною*, або *картою погоди*. Порівнюючи синоптичні карти для послідовних моментів часу можна простежити розвиток атмосферних процесів і за допомогою статистичних методів робити висновки про майбутню погоду.

На карти також можна наносити результати статистичної обробки багаторічних метеорологічних спостережень; тоді ми одержимо кліматологічні карти, які дозволяють робити висновки відносно просторового розподілу особливостей і типів клімату, надають уяву про кліматичні характеристики в містах, де немає спостережень, аналізувати причинно-наслідкові зв'язки та ін.

4. Організація і зміст метеорологічних спостережень

Атмосфера – дуже рухливе середовище, атмосферні процеси не помічають державних кордонів. Метеорологічні спостереження проводять усі країни. Дуже важливо, щоб ці спостереження проводились узгоджено за єдиною методикою. Міжнародне співробітництво в галузі метеорології почалось давно. Ще в 1873 р. відбувся перший Міжнародний метеорологічний конгрес. Він заклав основи Міжнародної метеорологічної організації з регулярними конференціями директорів метеорологічних служб країн. У період між конференціями працював Міжнародний метеорологічний комітет.

Найбільш повні і точні спостереження проводяться в метеорологічних і аерологічних обсерваторіях. Число таких обсерваторій порівняно невелике. Крім того спостереження над основними метеорологічними величинами ведуться ще приблизно на 3500 метеорологічних і 750 аерологічних станціях, розташованих по всьому світу. Станції в кожній країні і в світовому масштабі повинні складати одне ціле – *метеорологічну сіть*. Існують і *метеорологічні*

станції спеціального призначення, пов'язані з різними потребами науки і господарства, наприклад, станції на курортах, в колгоспах, на транспорті.

Метеорологічні станції розташовуються по можливості рівномірно в місцях, характерних для даного району. Це необхідно для того, щоб показання станції були *репрезентативними*, тобто відповідали не тільки найближчій до неї місцевості, а й оточуючому району. Найважливіші вимоги до сітєвих метеорологічних спостережень – *синхронність, тривалість і неперервність*.

У всьому світі на метеорологічних станціях виконуються синхронні спостереження в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 г по єдиному – *грінвічському часу*. Результати спостережень за ці так звані синоптичні строки негайно передаються по телефону, телеграфу або радіо в органи служби погоди, де по ним складаються синоптичні карти та інші матеріали, які використовуються для прогнозу погоди.

На метеорологічних станціях основного типу реєструються наступні метеорологічні величини:

- *температура повітря* на висоті 2 м над землею поверхнею;
- *атмосферний тиск*;
- *вологість повітря* – парціальний тиск водяної пари в повітрі і відносна вологість;
- *вітер* – горизонтальний рух повітря на висоті 10-12 м над землею поверхнею (швидкість і напрямок, звідки дме);
- *кількість опадів*, які випали з хмар, їх типи (дощ, мжичка, сніг та ін.);
- *хмарність* – ступінь покриття неба хмарами, типи хмар по міжнародній класифікації, висота нижчої границі хмар, найближчих до земної поверхні;
- *наявність і інтенсивність різних опадів*, які виникають на земній поверхні і на предметах (роси, інею, ожеледі та ін.), а також туману;
- *горизонтальна видимість* – відстань, на якій перестають розрізнятися обриси предметів;
- *тривалість сонячного сяйва*;
- *температура на поверхні ґрунту і кількох глибинах*;
- *стан поверхні ґрунту*;
- *висота і густина сніжного покриву*.

На деяких станціях вимірюється *випаровування води* з водних поверхонь або ґрунту.

Реєструються також *метеорологічні і оптичні явища*: заметілі, шквали, смерчі, мряка, пильні бурі, грози, тихі електричні розряди, полярні сяйва, веселки, та ін.

Не всі метеорологічні величини спостерігаються в кожен строк спостережень. Наприклад, кількість опадів вимірюється чотири рази на добу, висота снігового покриву – один раз на добу.

Крім метеорологічних станцій існує численна *сіть метеорологічних постів*, на яких проводяться спостереження тільки над опадами і сніговим

покровом, тому що для оцінки цих величин потрібна більш густа сіть спостережень.

Набір вимірювальних приборів, які використовуються при спостереженнях за станом атмосфери і для її дослідження надзвичайно широкий: від найпростіших термометрів до зондуєчих лазерних пристроїв і спеціальних метеорологічних супутників. *Метеорологічні прибори*, які використовуються на метеорологічних станціях потребують однотипності, що дозволяє порівнювати спостереження різних станцій.

Метеорологічні прибори установлюють на майданчику під відкритим небом. Тільки прибори для виміру тиску (барометри) установлюють у приміщенні станції, тому що різниця між тиском під відкритим небом і у приміщенні практично відсутня.

Прибори для визначення температури і вологості повітря повинні бути захищені від дії сонячної радіації, опадів і поривів вітру. Тому їх розміщують у будках особливої конструкції, так званих *метеорологічних будках*.

На станціях установлюються прибори-самописці, які дають безперервну автоматичну реєстрацію температури і вологості повітря, атмосферного тиску і вітру. Запроваджуються нові прибори з використанням досягнень сучасної фізики і техніки: термо- і фотоелементів, напівпровідників, радіозв'язку і радіолокації, лазерів. Широке використання електроніки дозволяє створювати напівавтоматичних і автоматичних метеорологічних станцій.

Після другої світової війни співпраця поновлена на новій основі як Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) при ООН. Через кожні чотири роки збираються конгреси ВМО, які обирають Виконавчий комітет та президента. Секретаріат ВМО працює в Женеві. В системі ВМО працює Всесвітня служба погоди, створена в 1963 р. і об'єднує служби погоди країн членів ВМО. За розкладом ВМО кожна країна передає свою метеорологічну інформацію в ефір і всі країни світу за 3-4 години можуть зібрати інформацію про погоду всієї північної півкулі, а за 7-8 годин – всієї земної кулі. Уся інформація використовується для обслуговування потреб різних галузей народного господарства та для складання прогнозів погоди на найближчі дні.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке метеорологія? Погода? 2. Що таке кліматологія? Клімат. Роль клімату у фізико-географічних процесах? 3. Державна гідрометеорологічна служба. 4. Міжнародне співробітництво метеорологів. 5. Значення метеорології та кліматології для народного господарства. 6. Коротка історія розвитку метеорології та кліматології. 7. Методи дослідження у Метеорології.

Лекція № 2. Склад атмосфери ()

(для самостійного опрацювання)

План лекції

1. Загальні відомості про атмосферу Землі.
2. Склад атмосферного повітря.

1. Загальні відомості про атмосферу Землі

Насамперед нагадаємо деякі основні відомості про Землю як планету.

Планета Земля - одна з восьми великих планет сонячної системи, яка обертається навколо Сонця по еліптичній орбіті з середньою швидкістю $29,8 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$ та навколо своєї осі з кутовою швидкістю $7,292\cdot 10^{-5} \text{ х с}^{-1}$. Дійсна форма Землі дещо відмінна від мало стиснутого еліпсоїда обертання (сфероїда) і називається *геоїдом*. У таблиці 1.1 наведені основні дані земного сфероїда. Зазначимо, що для розв'язання переважної більшості геофізичних та географічних завдань можна нехтувати малим відхиленням геоїда від сфероїда, а в деяких випадках набувати форми Землі у вигляді кулі.

Таблиця 1.1 – Основні дані земного сфероїда

№ п/п	Характеристика земного сфероїда	Величина
1	Екваторіальний радіус (R_E)	6378,245 км
2	Полярний радіус (R_p)	6356,830 км
3	Стиснення $(R_E - R_p) / R_E$	1/298,3
4	Довжина меридіана	40009,153 км
5	Довжина екватора	40075,693 км
6	Площа поверхні Землі	$510,098073 \cdot 10^6 \text{ км}^2$
7	Об'єм Землі	$1083,314 \cdot 10^9 \text{ км}^3$
8	Маса Землі	$5,9737 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
9	Середня густина Землі	$5,517 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
10	Найбільша відстань від Землі до Сонця	$152,00 \cdot 10^6 \text{ км}$
11	Найменша відстань від Землі до Сонця	$147,01 \cdot 10^6 \text{ км}$

Як відомо, планета Земля складається з трьох оболонок: 1) твердої (*літосфери*); 2) рідкої (*гідросфери*); 3) газоподібної (*атмосфери*).

Атмосфера Землі суцільною оболонкою оточує нашу планету і являє собою суміш газів, яку називають *повітрям*. Маса атмосфери: Земля $5,29 \cdot 10^{21} \text{ г}$. атмосферний тиск 1 атмосфера. На інших планетах сонячної системи: Венера $4,2 \cdot 10^{23} \text{ г}$. - понад 80 атмосфер; Марс $2,4 \cdot 10^{19} \text{ г}$. - 0,006 атмосфери; на Меркурії немає навіть ознак атмосфери. Половина всієї маси атмосфери

Землі зосереджена в нижніх 5 км, 75 % - в нижніх 10 км, 90 % - в нижніх 20 км, 97 % - в нижніх 29 км, 99,8 % - в нижніх 60 км.

2. Склад атмосферного повітря

Сучасна атмосфера – це результат її тривалої еволюції. Вважають, що первинна атмосфера була гелієво-воднева. Далі внаслідок виверження вулканів вона збагатилась іншими газами і стала азотно-вуглецевою. Кисень появився пізніше внаслідок взаємодії ультрафіолетового випромінювання Сонця з водою. Однак можливо, що кисень став продуктом фотосинтезу. В результаті аналізу бульбашок повітря, укрплених у товщу льодовиків, яким нараховується кілька сотень мільйонів років, виявлено, що частки азоту, кисню та аргону майже не змінились, а кількість метану збільшилась. Отже газовий склад атмосфери залишався постійним, поки людина не почала добувати і спалювати органічні рештки минулих геологічних епох.

Основними газами сухого чистого повітря є азот, кисень та аргон, що становлять 99,96 % (табл.1.2.), на решту великої кількості газів (до 50) залишається 0,04 %. До складу реальної атмосфери входять також водяна пара та аерозолі або тверді і рідкі частинки різного походження і перебувають в атмосфері у завислому стані. Життєво важливе значення основних газів загальновідоме. Для атмосферних процесів найбільше значення мають малі складові атмосфери. Це водяна пара, вуглекислий газ, озон та аерозолі.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сухого повітря до висоти 90-95 км

Газ	Молекула	Об'ємний вміст, %	Відносна молекулярна маса (за вуглецевою шкалою)	Густина у відношенні до повітря
Азот	N ₂	78,084	28,0134	0,967
Кисень	O ₂	20,946	31,9988	1,105
Аргон	Ar	0,934	39,948	1,379
Вуглекислий газ	CO ₂	0,0314	44,00995	1,529
Неон	Ne	1,818 · 10 ⁻³	20,183	0,695
Гелій	He	5,234 · 10 ⁻⁴	4,0026	0,138
Метан	CH ₄	1,6 · 10 ⁻⁴	16,0	0,552
Криптон	Kr	1,14 · 10 ⁻⁴	83,800	2,868
Водень	H ₂	5 · 10 ⁻⁵	2,01594	0,070
Ксенон	Xe	8,7 · 10 ⁻⁶	131,300	4,524
Озон	O ₃	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁵	47,9982	1,624
Сухе повітря			28,9645	1·000

Водяна пара – це основний парниковий газ. Водяна пара та продукти її конденсації і сублімації засвоюють довгохвильове випромінювання Землі і випромінюють довгохвильову радіацію у напрямку до Землі, завдяки чому Земля має сприятливий режим температури для рослин, тварин і людей. Вміст водяної пари в атмосфері змінюється залежно від температури і

становить від 0,1 % до 4 % за об'ємом . Водяна пара зосереджена в основному в нижніх шарах тропосфери, при піднятті догори її вміст різко зменшується. Завдяки наявності водяної пари в атмосфері утворюються хмари та атмосферні опади.

Вуглекислий газ CO_2 надходить до атмосфери при виверженні вулканів, внаслідок розкладання органічних речовин, у процесі горіння та дихання тварин, а витрачається у процесі фотосинтезу рослин. Він також засвоює і випромінює довгохвильову радіацію і, як і водяна пара, бере участь у створенні парникового ефекту. За рахунок господарської діяльності людини за останні 90 років ХХ ст.. вміст вуглекислого газу в атмосфері збільшився на 25 % - від 0,029 до 0,033 % за об'ємом. Кількість вуглекислого газу в повітрі залежить від багатьох факторів. У північних широтах його менше, ніж у помірних, над океаном менше ніж над суходолом, вдень менше, ніж уночі. Максимум концентрації вуглекислого газу спостерігається взимку, мінімум - влітку. У промислових центрах його вміст у повітрі досягає 0,07 %. Під впливом діяльності людини збільшується вміст інших газових домішок, у тому числі і шкідливих (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Середні дані про газові домішки в повітрі

Газ	Молекули	Об'ємний вміст, %
Моноксид вуглецю	CO	від 0 до слідів
Сірчистий газ	SO ₂	від 0 до 10 ⁻⁴
Закис азоту	NO ₂	5·10 ⁻⁵
Діоксид азоту	N ₂ O ₃	від 0 до 2·10 ⁻⁶
Радон	Rn	6·10 ⁻¹⁸
Йод	I ₂	від 0 до 10 ⁻⁶

Озон (O₃) – це алотропічна видозміна кисню або трьохатомний кисень. Його в атмосфері дуже мало – від 2·10⁻⁶ % взимку до 7·10⁻⁶ % влітку. Але його значення для життя на Землі дуже велике. Він захищає живі організми від згубної дії ультрафіолетової радіації, яка розкладає хроматин клітинного ядра і це перешкоджає поділу клітин. Цей ефект дуже сильний при довжині хвиль 0,255-0,265 мкм і суттєво зменшується при довжині хвиль більше 0,290 мкм. В організмі людини ця ультрафіолетова радіація пошкоджує молекули ДНК і їх розмноження стає неможливим. Ось озон і поглинає небезпечні для життя ультрафіолетові промені з довжиною хвилі менше 0,290 мкм. В той же час озон дуже отруйний газ, знищує усі бактерії. Озону поблизу поверхні землі всього 0,07· 10⁻⁶, а в деяких районах під час смогу досягає 0,5·10⁻⁶. Уже така концентрація озону за півгодини призводить до загибелі деяких видів рослин. Дихальні шляхи людини озон подразнює при об'ємній концентрації 0,1·10⁻⁶. Концентрація 5·10⁻⁶ уже небезпечна для життя, а на висотах 16-50 км об'ємна концентрація озону досягає 8·10⁻⁶.

Озон утворюється в основному у високих шарах атмосфери. Під дією ультрафіолетової радіації з довжиною хвилі менше 0,170 мкм молекули кисню збуджуються і розкладаються на два атоми, які легко приєднуються до молекул кисню. У свою чергу під дією ультрафіолетової радіації більшої довжини хвиль, особливо 0,255 мкм, молекула озону руйнується. Отже у

високих шарах атмосфери озон постійно утворюється і розкладається. Це фотохімічна теорія озону Чепмена. У нижніх шарах атмосфери озон утворюється при грозових розрядах, а в лабораторіях при розкладі води під дією електричного струму.

Озон розповсюджений нерівномірно. Найменше його над екватором, найбільше над субполярними широтами (70-80⁰ пн. ш. і 60-70⁰ пд. ш.) і далі до полюсів знову різко зменшується. Навколо полярний мінімум в Антарктиді виражений краще і охоплює більшу площу, ніж в Арктиці. Цей мінімум має назву Антарктичної дірки. Найбільша мінливість вмісту озону спостерігається в субполярних широтах. Основна маса озону зосереджена в озоновій сфері – на висоті від 10 км до 50 км, хоч у меншій кількості він є нижче 10 км, а у гору до 70 км. Максимум концентрації озону спостерігається на висоті 20-25 км. Загальний вміст озону у вертикальному стовпі повітря малий. Якщо привести весь озон до рівня моря при атмосферному тиску 1013 гПа та температурі 0⁰ С, то одержимо шар озону товщиною 3 мм при коливанні у різних місцях від 1 до 6 мм. Останніми роками спостерігається деяке зменшення загального вмісту озону в атмосфері, особливо у стратосфері. Натомість у приземному шарі є тенденція до його збільшення, особливо у місцях концентрованого забруднення атмосфери.

Основною причиною зменшення вмісту озону в атмосфері є створені людиною фреони. Вони накопичуються в стратосфері і, розкладаючись, вивільняють хлор, який вступає в реакцію з озоном. За міжнародними угодами провідні країни світу уже обмежують виробництво фреонів.

Аерозолів в атмосфері дуже багато. В 1 см³ повітря в промислових центрах їх є десятки тисяч, у сільській місцевості тисячі, у повітрі над океанами сотні, а в атмосфері на висоті 5-10 км – кілька десятків.

Таблиця 1.4 – Вклад різних джерел в аерозольне забруднення атмосфери, %

Джерела забруднення	% від загального
Природні джерела	
Підняття вітром з суходолу	19
Морська піна	11
Лісові пожежі	6
Вулкани	6
Утворення солей: нітратів	16
амонію	10
сульфатів	7
гідрокарбонатів	7
Космічні джерела	2
Усього	84
Антропогенні джерела	
Викиди	4
Утворення солей: сульфатів	8
гідрокарбонатів	3
нітратів	1
Усього	16

З таблиці 1.4 видно, що вклад безпосередньої людської діяльності в аерозольне забруднення становить 16 %. Аерозолі плавають в атмосфері тривалий час, найдрібніші опускаються на землю роками і переносяться повітряними течіями на десятки тисяч кілометрів. Забруднення атмосфери твердими і газоподібними домішками завдають великої шкоди врожайності сільськогосподарських культур, лісовому господарству, продуктивності тварин, будівлям та здоров'ю людей. Атмосферні аерозолі зменшують надходження сонячної енергії до поверхні Землі, оскільки вони збільшують планетарне альbedo Землі.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке атмосфера? Висота атмосфери. 2. Особливості атмосфер основних планет у порівнянні з атмосферою землі. 3. Які п'ять основних газів за об'ємним складом у відсотках складають масу атмосфери? 4. Концентрація яких газів в атмосферному повітрі, особливо в приземному підшарі, змінюється?

Лекція № 3. Поділ атмосфери на шари

(для самостійного опрацювання)

План лекції

- 1. Поділ атмосфери на шари за характером зміни температури повітря з висотою.*
- 2. Поділ атмосфери на шари за складом повітря.*

Дослідження показали, що атмосфера за своїми властивостями неоднорідна як по вертикалі, так і по горизонталі. Змінюються такі характеристики повітря, як температура, тиск, вологість, густина, його склад, вміст твердих та рідких домішок, швидкість руху повітря та ін. При цьому найбільш значна неоднорідність властивостей атмосфери виявляється у вертикальному напрямі. Так, наприклад, по вертикалі температура повітря змінюється в 500 разів швидше, ніж по горизонталі, тиск знижується на кожних 1000 м висоти на 80 - 100 гПа, тоді як у горизонтальному напрямку зміни тиску в середньому в циклонічних областях становлять 3 – 10 гПа на кожних 100 км, а в особливих випадках, в окремих тропічних циклонах, зміни тиску досягають 60 гПа на 100 км. Різко змінюються з висотою й інші фізичні параметри атмосфери. Спостерігаються у вертикальному напрямку також зміни й хімічного складу повітря, тоді як у горизонтальному напрямку відсотковий вміст складових компонентів повітря залишається незмінним.

Внаслідок цього при поділі атмосфери на шари на першому місці виступає неоднорідність властивостей повітря по вертикалі, при цьому класифікують поділ атмосфери, ґрунтуючись на певних ознаках, а саме:

- 1) за характером розподілу температури повітря з висотою;
- 2) за складом атмосферного повітря;

- 3) за характером фізико-хімічних процесів;
- 4) за взаємодією атмосфери з підстильною поверхнею;
- 5) за впливом атмосфери на літальні апарати.

Розглянемо детальніше шари атмосфери, класифіковані за вказаними ознаками.

1. Поділ атмосфери на шари за характером зміни температури повітря з висотою

За цією ознакою атмосферу поділяють на п'ять шарів або *сфер*: 1) *тропосферу*, 2) *стратосферу*; 3) *мезосферу*; 4) *термосферу* та 5) *екзосферу*. Між зазначеними сферами спостерігаються перехідні шари (*паузи*): 1) *тропопауза*; 2) *стратопауза*; 3) *мезопауза* та 4) *термопауза*.

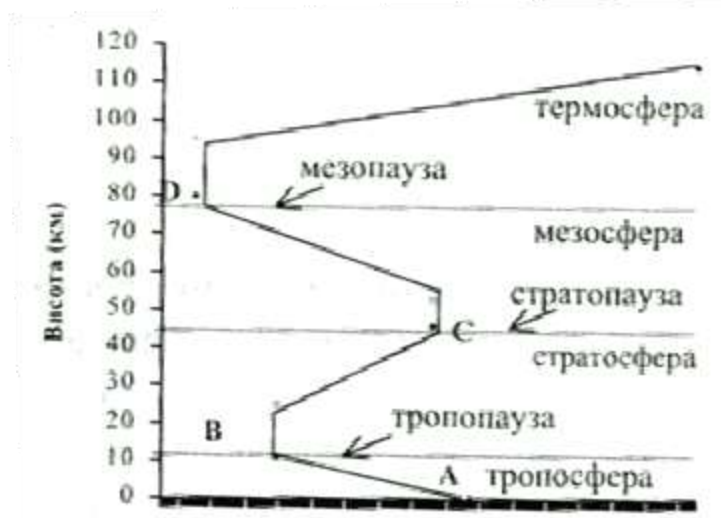


Рис. 1.2 - Стандартний розподіл температури повітря з висотою

На рис. 1.2 показано стандартний розподіл температури повітря в атмосфері з висотою із зазначенням назв сфер та пауз (через відсутність конкретних даних про температури в термосфері та екзосфері на даному рисунку границі екзосфери та термопаузи не вказані). Зазначимо також, що в залежності від географічної широти, пори року та атмосферних процесів вказані на

рисунку потужності шарів та їх температурні характеристики можуть мати значні відхилення від наведених середніх (стандартних або нормальних) значень

Перший нижній шар атмосфери називається *тропосферою*. Він простягається від поверхні Землі в полярних широтах до 8 - 10 км, у помірних - до 10 - 12 км, а в тропіках - до 16-18 км. Характерною особливістю тропосфери є падіння температури повітря з висотою в середньому на кожний 1 км висоти на $0,6^{\circ}\text{C}$ з можливими відхиленнями середніх значень у той чи інший бік. Однак у фіксовані моменти часу, в залежності від характеру глобальних атмосферних процесів, у тій чи іншій точці Землі зміна температури повітря з висотою в тропосфері може коливатись у широких межах - від додатних значень до від'ємних. Шари повітря, у яких відбувається підвищення температури з висотою, називаються *шарами інверсії*.

Враховуючи попередні дані про атмосферу, неважко зрозуміти, що в самому першому від поверхні Землі шарі атмосфери - тропосфері —

скупчена основна маса повітря, а саме, від 75 % у помірних та високих широтах і до 90 % у низьких. При цьому біля 90 % усієї маси водяної пари атмосфери зосереджено в тропосфері. Тому тропосфера виявляється найбільш діяльним шаром усієї атмосфери Землі. У ній як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках, а також і в часі відбуваються зміни метеорологічних величин, утворюються різні види хмар, формуються метеорологічні явища: тумани, опади, грози, хуртовини та ін., а також оптичні та акустичні явища. Зміни метеорологічних величин і атмосферних явищ, які спостерігаються особливо різко та яскраво в тропосфері, суттєво впливають на життя й діяльність людини й усієї природи.

Дослідження показали, що тропосферу можна поділити на декілька шарів: а) нижню - від земної поверхні до висоти 1 - 1,5 км; б) середню - від 1 - 1,5 км до 6 - 8 км; в) верхню - від 6 - 8 км до тропопаузи.

Тропопауза, як було раніше зазначено, - це перехідний шар, який відділяє тропосферу від стратосфери. Товща тропопаузи коливається від кількох сотень метрів до 1,5 - 2 км. При перетинанні тропопаузи звичайно відбувається різка зміна ряду характеристик атмосфери. Так, починаючи з нижньої границі тропопаузи, падіння температури з висотою, характерне для тропосфери, різко уповільнюється, відбувається значне зменшення вологості й різка зміна швидкості вітру. Отже, тропопауза - це шар, що перешкоджає розповсюдженню вгору аерозолів та водяної пари, а вниз, із стратосфери в тропосферу - озону.

Над тропосферою розташовується **стратосфера** - шар атмосфери, який поширюється в середньому до висот 45 - 55 км. Характер зміни температури повітря з висотою в стратосфері суттєво відмінний від характеру зміни повітря з висотою в тропосфері: він ізотермічний та інверсійний. Ізотермічний розподіл температури в стратосфері помірних широт зберігається від нижньої границі стратосфери до висот 25 км, а вище цього рівня температура зростає приблизно на $2,8^{\circ}\text{C}$ на кожний кілометр висоти, досягаючи на нижній межі стратопаузи 0°C з можливими відхиленнями в той чи інший бік до 20°C . Збільшення температури повітря в шарі від 25 до 46 км та висока температура стратопаузи пояснюється поглинанням ультрафіолетової частини сонячної радіації **озоном**.

В стратосфері на висотах 23-28 км в деяких випадках утворюються **перламутрові хмари**, присутність яких прямо вказує на наявність тут водяної пари.

У **мезосфері** - шарі атмосфери, що знаходиться над стратосферою і простягається до висот 80 - 90 км, спостерігається падіння температури при збільшенні висоти в середньому на $3,5^{\circ}\text{C}$ кожного кілометра. У перехідному від мезосфери до термосфери шарі **-мезопаузі** - на висотах 80 - 85 км температура повітря становить $85 - 90^{\circ}\text{C}$ морозу. Ближче до верхньої границі мезосфери інколи утворюються **сріблясті** хмари.

Термосфера - шар атмосфери, що простягається від верхньої межі мезопаузи до висоти 500 км. У термосфері температура знову зростає з

висотою, в основному, під впливом поглинання киснем сонячної радіації, який при цьому дисоціює*, утворюючи атомарний кисень.

Нарешті, виділяють *екзосферу* - шар атмосфери, який знаходиться вище термосфери. Вважають, що в цьому шарі переважають на всіх висотах більш менш постійні значення температури.

2. Поділ атмосфери на шари за складом повітря

На основі цієї ознаки атмосферу поділяють на 1) *гомосферу* та 2) *гетеросферу*.

У першому шарі (гомосфері), який простягається від поверхні Землі до висоти 95 км, відносний склад основних газів (азоту, кисню та аргону), а також відносна молекулярна маса повітря практично не змінюється з висотою (нагадаємо, що молекулярна маса сухого повітря біля рівня моря дорівнює 28,9644 кг/моль).

У гетеросфері - шарі атмосфери, розташованому вище 95 км -склад атмосферного повітря значно змінюється внаслідок дисоціації газових молекул ультрафіолетовим випромінюванням Сонця. Так, поряд з молекулярним азотом (N_2) і молекулярним киснем (O_2) з'являються атомарний азот (N) та атомарний кисень (O). З цієї причини молярна маса повітря в гетеросфері зменшується з висотою за лінійним законом: на кожний 1 км підняття вгору - на 0.1511 кг/кмоль.

Запитання для самоперевірки

1. За якими ознаками здійснюється поділ атмосфери на шари? 2. Назвіть основні сфери та паузи атмосфери Землі та дайте їх характеристику. 3. Атмосферний озон і його значення.