

СУГОНЧАРЕНКО

ФІЗИКА АТМОСФЕРИ

КИЇВ
«ТЕХНІКА»
1981

ДЛЯ ДОПИТЛИВИХ



ФІЗИКА АТМОСФЕРИ

СУГОНЧАРЕНКО

ДЛЯ
ДОПИТЛИВИХ

КИЇВ
ТЕХНІКА
1981

ФІЗИКА АТМОСФЕРИ

КОРОТКО
ПРО ІСТОРІЮ
РОЗВИТКУ
МЕТЕОРОЛОГІЇ

ПОГОДА
Й КЛІМАТ

ПОВІТРЯНИЙ
ОКЕАН

ЗЕМЛЯ І СОНЦЕ

СТИХІЯ
АТМОСФЕРНИХ
РУХІВ

УТВОРЕННЯ
ХМАР І ОПАДІВ

ЯКА ПОГОДА
БУДЕ ЗАВТРА ?

ШТУЧНИЙ
ВПЛИВ
НА ПОГОДУ
Й КЛІМАТ



ФІЗИКА АТМОСФЕРИ

С.У.ГОНЧАРЕНКО

ДЛЯ ДОПИТЛИВИХ



КИЇВ
•ТЕХНІКА•
1981

ББК 26.234.6
551.5
Г65

В популярной форме
рассказывается о причинах
изменения погоды, о том,
как предвидеть погоду на
завтра, через неделю или
через год, о том, что
заставляет небо быть то
приветливым и ласковым,
то хмурым и невеселым.
Освещена одна из
наиболее важных проблем
современности —
отыскание возможных
путей преобразования
климата и погоды.
Рассчитана на широкий
круг читателей.

Рецензенты

д-р геогр. наук

М. И. Щ е р б а н ь,

канд. геогр. наук

М. М. В о л е в а х а

Редакція літератури

з важкої промисловості

Зав. редакцією

А. Є. Н а й д е к

ЗАМІСТЬ ПЕРЕДМОВИ

Жодне інше явище природи так тісно й безпосередньо не пов'язане з життям людини, як погода й клімат. Мабуть, кожен з нас, прокинувшись вранці, заглядає у вікно, щоб дізнатися, яка погода. Чи в хорошому вона настрої? Чи не заманулося їй влаштувати в травні завірюху й одягти в сніг квітучі каштани й яблуні? Людям властиво цікавитися погодою. В одних це викликане просто цікавістю, в інших — більш серйозними причинами.

«За повідомленням Гідрометцентру СРСР, сьогодні по всій території європейської частини Союзу спостерігалась дощова погода. Похолодання, яке наступило на північному заході країни, поширюється на центральні, південні й південно-східні райони...»

Багато разів на день подібні зведення, які закінчуються прогнозом погоди на наступні дні, передаються майже всіма радіо- й телевізійними станціями світу. Їх з великим інтересом слухають мільйони людей. Для чого треба знати заздалегідь, яка буде погода завтра, через тиждень, місяць? Звичайно, не для того, щоб своєчасно взяти з собою зонтик чи одягти плащ і галоші. Дані про погоду мають велике народногосподарське значення. Щоденно до повідомлень гідрометцентрів прислухаються і гідробудівники, що зводять греблю, і хлібороби, і моряки, що відпливають у туманну далечінь океанів, і працівники кіностудій, що знімають новий фільм, і кожна людина, що збирається у відпустку, на прогулянку чи й просто на роботу.

Від погодних умов залежать строки сівби й збирання врожаю, забезпечення кормами худоби, умови утримання її на пасовищах і зимівлі.

Моряк перед виходом у море завжди повинен мати можливість розрахувати, буде його плавання бурхливим чи спокійним: в залежності від цього він навантажить свій корабель. Та й під час плавання моряки пильно стежать за щонайменшими змінами в атмосфері, одержуючи по радіо прогнози та спостереження про зміни погоди.

До речі, саме радянські метеорологи опрацювали найбільш раціональні маршрути для кораблів далекого плавання з урахуванням погодних процесів на відповідних акваторіях.

Пілотам необхідно знати, які небезпеки чатують на літак в польоті: чи не зустріне він суцільну хмарність, туман, грозу, будуть вітри попутними чи зустрічними, чи не загрожує літакові обледеніння. Від цього залежать як можливість самого польоту, так і допустиме навантаження.

Збираючись на курорт, ви обов'язково цікавитесь прогнозом погоди для даної місцевості на наступний місяць, щоб дізнатися, чи не влаштує вам погода замість приписаних сонячних ванн холодний душ.

З Балтики на Далекий Схід відправляється плавучий док. Буксирування — небезпечно й складна справа. А попереду три океани, довгі місяці дороги. Хто береже морський караван від штормів і тайфунів? Синоптики.

На старті — космічна ракета. Міжпланетній станції «доручається» зазірнути в марсіанські кратери чи під хмари Венери. Час «відправки» розраховано з точністю до часток секунди. Але чи дозволить земна атмосфера скористатися цією часткою секунди, чи краще відкласти запуск? Відповідай, синоптику!

На теплоцентралі складається план роботи на завтра. Скільки пари і якої температури потрібно для обігрівання міста? Перевищить витрата палива норму чи ні? Планування йде від прогнозу погоди... І таких прикладів можна навести безліч.

Хліборобам і інженерам, льотчикам і геологам, штурманам і туристам, городникам і художникам — всім важливо знати про погоду. Ніхто не може з нею не рахуватися. Погода впливає на здоров'я, самопочуття й благополуччя всього населення. Недаром з давніх пір у людей увійшло в звичку, зустрічаючись, вітати один одного з хорошою погодою.

А чи можна назвати більш вдячну тему для підтримання бесіди, що вичерпується, ніж тема про погоду? Коли розмовляти вже немає про що, починається розмова про погоду, вірніше, скарги на погану погоду. То нам надто сиро й холодно, то занадто сухо й жарко, то хмарно, то вітряно. Для більшості з нас погода — це лише температура і опади, і помилка в передбаченні їх прикра, порою збиткова, але терпима. Хоча й зустрічаються люди, які після не передбаченого прогнозом дощу без жартів починають цікавитися зарплатою метеорологів.

Треба сказати, що не завжди метеорологам легко пробачалися помилки в прогнозах. Так, за англійським законом 1677 року, синоптики і метеорологи, як і інші «професійні ворожбити і віщуни», могли бути покарані аж до ...смертної кари. І ось у 1974 році англійська преса урочисто повідомила своїх читачів, що закон 1677 року нарешті скасовано і можна сміливо займатися прогнозами погоди.

Наскільки вірною є критика на адресу метеорології? Треба сказати, і в ході дальшого викладу ми постараємося переконати читача в тому, що ця критика явно перебільшена і, до того ж, не досить об'єктивна, хоча в принципі і можна погодитися з тим, що основне завдання прогнозу погоди, особливо на тривалий час, ще далеко від завершення. І все ж треба сказати, що людина проникла вже в деякі таємниці погоди, відчула ритм роботи природної машини погоди і навіть поспробувала штучно впливати на процеси, що формують погоду. Це — одне з великих завоювань людського розуму, тому що робота, яку треба виконати, є справді титанічною: природа не дуже охоче допускає людський розум до своїх таємниць.

В метеорології існує поняття підтверджуваності прогнозів. Так ось, прогнози на місяць і сезон, за даними академіка Є. К. Федорова, підтверджуються на 70%. І чим менший строк прогнозування, тим підтверджуваність вища. Метод прогнозу на 10 діб, опрацьований професором А. Л. Кацем із співробітниками, характеризують такі цифри: на декаду підтверджуваність — 82%, а на добу — 96.

Короткотермінові прогнози, наприклад для цивільної авіації — на декілька годин, півдоби,— взагалі наближаються до абсолютної підтверджуваності. Невдалих передбачень погоди, про що свідчать наведені цифри, стає все менше. І, як правило, більшість з неточних прогнозів пов'язана з появою якихось швидких, несподіваних атмосферних збурень. Людям властиво швидше запам'ятувати помилкове передбачення, ніж в сотні разів частіші правильні прогнози в періоди «нормального» розвитку погоди. Хоча й екстремальні ситуації стали частіше виявлятися прогнозистами. Досить згадати точно передбачене в жовтні 1973 року наближення небувалого (з появою раз у сторіччя) різкого похолодання в районах Середньої Азії.

В даній книжці ми постараємося розповісти, чим пояснюються зміни погоди, як аналізують погодні умови, застосовуючи фізичні закони; про використання штучних супутників Землі для дослідження атмосфери; про одну з найважливіших проблем сучасності — відшукування можливих шляхів перетворення клімату й погоди різних областей земної кулі. В цій книжці читач знайде відомості, які, сподіваюсь, допоможуть йому позбутися упередженого чи несерйозного ставлення до професії метеоролога і взагалі цієї науки.

Безперечно, виклад цього матеріалу розрахований не на спеціалістів-метеорологів, а на людей, зовсім незнайомих з метеорологією. Це не науковий трактат, і нехай спеціалісти вибачать авторові, коли він з чисто педагогічних міркувань описує якесь метеорологічне явище чи процес не так, як це прийнято в теоретичній фізиці. Своє завдання автор вбачає в тому, щоб спробувати викликати інтерес до науки про погоду, в доступній формі познайомити любителів природи з різними метеорологічними явищами.

Відгуки і побажання просимо надсилати на адресу: 252601, Київ, 1, МСП, Хрещатик, 5, видавництво «Техніка».





КОРОТКО ПРО ІСТОРІЮ РОЗВИТКУ МЕТЕОРОЛОГІЇ

МЕТЕОРОЛОГІЯ В СИВУ ДАВНИНУ

Потреба хоч якоюсь мірою передбачати погоду з'явилася в людини в незапам'ятні часи. Стародавні люди вчилися спостерігати явища природи, намагалися відшукати їх причини, а якщо це виявиться можливим, то й навчитися їх передбачати. Був час, коли, не маючи можливості розгадати причини явищ природи, люди приписували їх добрій чи злій волі різних богів.

Ще і в наш час та чи інша бабуса, почувши грім, за звичкою перехреститься і зітхне: знову Ілля-пророк на своїй колісниці небозводом промчав. Але пророкам немає віри і в бабусі. Вже хто-хто, а вона обов'язково увечері прогноз погоди послухає. Так воно надійніше.

Щодо погодних явищ, «стихий неба і землі», в людини здавна існувала віра в надприродні сили, які нібито керують вітром і хмарами, холодом і теплом. Тут всі релігії знаходили найбільш переконливе підтвердження своїм вченням. Щоб вимолити потрібну погоду, сторіччями виходили на релігійні церемонії жерці і шамани, божествам приносилися жертви — нерідко людські.

А таємниці клімату, змін погоди, як і раніш, залишалися за сімома замками. Правда, розум людський з найдавніших пір шукав і знаходив різні природні прикмети, які свідчили б про зміни в погоді. Народна мудрість і спостережливість знала немало таких прикмет. Вони давали людям можливість передбачати, хоч і не дуже достовірно, що станеться в природі в найближчі дні чи навіть тижні.

На основі прикмет формувалися своєрідні короткі правила передбачення погоди. Так, на одній з глиняних дощечок, які дійшли до нас з Вавілона, можна прочитати: «Коли сонце обведене колом, то випадає дощ». У стародавніх греків були особливі календарі, висічені на кам'яних дощечках, — на них позначався середній характер погоди для кожного дня року. Вони почали створюватися, очевидно, століть двадцять п'ять тому. Ці календарі-відмітки (так звані «парапегми») вивішувалися на базарах, майданах та в інших людних місцях приморських міст і користувалися великою довірою моряків, сільських жителів. Керуючись ними, люди виходили на рибалку, полювання, торгові судна вирушали у далекі плавання. Перші парапегми — офіційні погодні бюлетені стародавніх греків — враховували лише напрям вітру. Недостачу інформації про одне з багатьох явищ природи — погоду — доповнювали досвід і інтуїція.

Ці прогнози, як правило, ґрунтувалися на багаторічних спостереженнях зв'язків між погодою і супровідними



В «Метеорології»

Арістотеля розповідається про комети, Молочний шлях, метеори, вітри, річки й моря, про землетруси, блискавку й грим, бурі, вихори, оптичні явища в атмосфері. Греки епохи Арістотеля знали про всі найважливіші метеорологічні явища. Їхня спостережливість була такою гострою, що вони мали добре уявлення навіть про полярні сніга.

явищами (наприклад: сонце на заході зайшло в хмару — бути завтра дощеві).

Пізніше, з розвитком науки, на зміну марновірним уявленням про погоду прийшли точні знання про фізичні явища, які відбуваються у повітряній оболонці Землі. Але, незважаючи на великий інтерес, який з найдавніших часів проявляла людина до явищ, що відбуваються в атмосфері, метеорологія розвивалась дуже повільно і тривалий час залишалась чисто описовою наукою.

Першим автором монографії про науку погоди був відомий грецький філософ Арістотель. Понад дві тисячі чотириста років тому вийшла в світ його книга про погоду, на обкладинці якої було написано «Метеорологія». Ця книга — ще одне свідчення розмаїтості захоплень і рідкісної працелюбності найуспішнішого учня платонівської академії та невдалого вихователя Олександра Македонського.

Арістотель міркував нібито нескладно: повітря видихає Земля: холодне — полярні країни, тепле — південні; холодне повітря стікає на південь вітром північним, тепле — відповідно тече на північ вітром південним. Але ж по суті так воно й є: коли змінюється напрям вітру, то змінюється й погода. Проте в цього простого правила виявилось так багато винятків, що двох тисячоліть не вистачило на те, щоб в них повністю розібратися.

В цей час з'являються й перші метеорологічні прилади. Вже античні греки та древні індуси користувалися дощоміром — найпершим, найпростішим, але вживаним і досі приладом — звичайною цеберкою з лінійкою всередині. При учнях Арістотеля з'явився насаджений на вістря тонкої щогли «сірий півник», що чутливо обертався при найлегшому подиху вітру. Проте подальші метеорологічні прилади — барометр і термометр — винайшли тільки Галілей і Торічеллі.

З часів Арістотеля відомо багато наукових праць про погоду. Деякі дослідники намагались пояснити змінами погоди й явища суспільного життя. Так, американець Хантінгтон пояснював, наприклад, падіння Римської імперії відхиленням циклонів від їх звичайних шляхів і висушуванням ґрунтів у Середземномор'ї, а француз Ле Дануа вивчав коливання жіночої моди у Парижі як реакцію на зміни погоди. Метеорологія дуже стара і в той же час молода наука, хоча й має в шкільному ранці буквар, написаний ще Арістотелем. Зародившись понад двадцять три століття тому, вона почала розвиватися лише в

останні два-три століття, коли були винайдені найпростіші і в той же час дуже важливі метеорологічні прилади, які дали можливість спостерігати невидимі процеси в атмосфері.

МЕТЕОРОЛОГІЯ В РОСІЇ

Детальні записи погоди почалися у 1722 році за наказом Петра I: «...иметь справедливую записку журналу, погоде и ветрам, и присылатъ понедельно сюды», тобто в Москву, де жив тоді Петро I.

В Росії щоденні спостереження за погодою були вперше запроваджені в XVII столітті при цареві Олексії Михайловичі. Цей цар був завзятим мисливцем, і його, як кожного мисливця, погода то радувала, то засмучувала. Тому, поряд з розпорядженнями про всілякі турботи про ловчих птахів, цар наказував відмічати в щоденних записах, «коли буде дощ». Головними метеорологами-спостерігачами на той час в Росії були стрільці на кремлівських стінах, а погодою, як це не дивно, відав жакливий «Наказ тайних дел».

Здавна на Русі існували «жаб'ячі барометри». Будова їх нехитра. В скляну банку з водою опускається невелика підставка або драбинка. Потім до цієї «системи» додається головний елемент — спіймана на річці жаба. Як тільки полонянка заспокоїться і отямиться, можна починати спостереження. Якщо жаба піднімається з води — чекайте поганой, дощової погоди; жаба безвилазно сидить у воді — погода буде доброю. З заснуванням у 1725 році Петром I Академії наук метеорологічні спостереження почали вестись в Петербурзі. За погодою спостерігали двічі-тричі на день. Вимірювались температура повітря, напрямок і сила вітру, температура й висота води в Неві, час її замерзання й час скресання.

В XVIII столітті особливо багато зробив для розвитку метеорології як фізичної науки великий російський вчений М. В. Ломоносов, який намагався зрозуміти, чому «знання повітряного круга ще великою тьмою покрито?» Винайшовши ряд метеорологічних приладів, він вів спостереження за погодою, досліджував атмосферну електрику, створив нові методи вивчення грозових розрядів. Йому належить ідея організації мережі метеорологічних станцій і проведення ними одночасних спостережень за погодою на великій території, що було здійснено лише в XX столітті. М. В. Ломоносова справедливо можна вважати основоположником російської метеорології. Він розумів усю надзвичайну важливість передбачення погоди і говорив: «Людям нічого не залишилося б вимагати від бога, коли б вони навчилися зміну погоди правильно передбачати».

Особливо важливим кроком уперед стало створення мережі регулярно діючих метеорологічних станцій



і проведення ними одночасних спостережень за погодою. Варто підкреслити, що першу в світі центральну метеорологічну установу — Головну фізичну (тепер геофізичну) обсерваторію — було створено в 1849 році в Росії, в Петербурзі. Особливо велика заслуга цієї обсерваторії полягала в організації зразково діючої мережі метеорологічних станцій, за прикладом якої створювались метеорологічні мережі в багатьох інших країнах.

ВЕЛИКИЙ АСТРОНОМ І БАЛАКЛАВСЬКА БУРЯ



Вважають, що розвиток служби погоди в Росії і Європі значною мірою пов'язаний з Кримською війною. Під час цієї війни 14 листопада 1854 року над Кримом пронеслась страшної сили буря, яка знищила в Балаклавській бухті англо-французьку ескадру, що блокувала героїчний Севастополь з моря. Вітер з такою люттю накидався на кораблі ворога, що товсті сталеві ланцюги якорів рвалися під його натиском, мов нитки, і кораблі, втративши управління, стикалися один з одним, руйнувалися, перекидалися, викидалися на берег. Більшу частину ескадри було знищено. Розколовся на дві частини й затонув поблизу Балаклави новий англійський гвинтовий корабель «Чорний принц» — гордість королівського флоту, серйозних пошкоджень дістав французький військовий корабель «Генріх IV». Ураган легко підіймав навіть фрегати, затоплені на Севастопольському рейді, які, мов «летючі голландці», мчали на скелі. Жахлива балаклавська буря примусила почати створення спеціальної служби погоди.

Приблизно в цей час директор Паризької астрономічної обсерваторії Урбен Левер'є здобув світову славу, довівши за допомогою обчислень існування невідомої на той час планети — Нептуна. Засмучений втратами свого флоту під час бурі, французький імператор Наполеон III вирішив, що коли вже наука може передбачати місцеположення невідомих досі планет, то тим більше вона зможе передбачати шторми й погоду, і доручив Левер'є дослідити причини катастрофи й організувати складання прогнозів погоди. В той час не існувало служби погоди, до якої міг би звернутися Левер'є за інформацією, не було ні організованої мережі станцій, ні передач метеорологічних зведень. І все ж Левер'є вдалося зібрати від обсерваторій, університетів і декількох спостережних станцій, що вели метеорологічні записи, таку кількість даних, яка дозволила йому скласти примітивні карти погоди, за допомогою яких він зміг «заднім числом» дослідити чорноморський шторм. І з'ясувалося, що чорномор-

ська буря прийшла в Крим здалеку, через Італію й Балканський півострів.

Левер'є показав, що рух шторму до Чорного моря в міру його розвитку можна було простежити від однієї карти до другої і що рух цей відбувався з досить сталою швидкістю. Звідси він зробив висновок, що коли б спостереження велись на великому числі станцій і дані спостережень з достатньою швидкістю передавались у центральну установу, то, порівнюючи й аналізуючи карти погоди, можна було б простежити шлях цього шторму, передбачити його дальший шлях і попередити флот про небезпеку.

Цей висновок викликав хвилю ентузіазму. В наступні роки організовуються метеорологічні інститути й створюється мережа метеорологічних станцій у Франції, Росії й багатьох інших країнах. Винахід телеграфа дозволив швидко одержувати необхідні відомості про погоду на великій території, складати карти погоди. Вже в 1856 році Головна фізична обсерваторія в Петербурзі одержувала телеграми про погоду з 13 російських станцій. В обмін на аналогічні телеграми їх передавали в Париж, Мадрид та інші міста. Починаються спроби оповіщення населення про настання штормів — прогнози погоди.

ДОЛЯ ОДНОГО МЕТЕОРОЛОГА

Сьогодні, взявши у руки газету, ми знаходимо повідомлення про погоду в різних частинах Радянського Союзу і часто не знаємо, що практика публікації результатів спостереження над погодою дуже молода. Вперше спостереження над погодою було опубліковане в одній з англійських газет в 1848 році. В кінці 60-х років минулого століття в Англії, Франції й Голландії почали передавати попередження про шторми. У Росії вперше таку практику заведено в 1874 році в Петербурзі.

Початок прогнозування погоди зв'язаний з ім'ям англійського контр-адмірала Роберта Фіцроя. А почалося все з того, що років 150 тому американський інженер Уільям Редфілд випадково звернув увагу на те, що під час бурелому дерева були повалені в різні боки. Через кілька років адмірал Роберт Фіцрой, колишній капітан дарвінівського кругосвітнього корабля «Бігль», висловив геніальний здогад про те, що повітряні штормоносні вихори виникають на межі двох потоків повітря, які течуть в протилежні боки,— холодного й теплого, і переносять тепло й холод на далеку відстань. В 1854 році Фіцрой почав складати карти погоди, на яких умовними значками фіксувалась погода в один і той же момент часу у різних пунк-



тах. Він назвав свої карти «синоптичними» (від грецького слова «синопсис», яке означає «одночасно оглядаю»). На цих картах Фіцрой зображав взаємодію холодних і теплих течій повітря і показував, що на межі холодних і теплих повітряних течій утворюються бурі, циклони (грецьке слово «циклон» означає «кільце змії, що стискається»). Це означення відповідає своїй назві, бо дійсно вітри сходяться до центра циклону, де в той же час спостерігається найнижчий тиск повітря).

Ледве навчившись малювати на картах області циклонічних вихорів, Фіцрой почав публікувати в газетах прогнози погоди, перші в історії людства. Вони друкувалися під обережною рубрикою «Імовірності». Ефект спочатку був великий. Багато рибалок врятувалось від загибелі завдяки штормовим попередженням Фіцроя. Проте перші ж помилки прогнозів викликали глузування. Коли прогнози Фіцроя здійснювались, це мало хто помічав. Але варто було лише випасти без попередження невеликому дощеві, як відразу лунав хор обурення. І обурення бувало особливо сильним в тих випадках, коли цей непередбачений дощ перешкоджав недільним прогулянкам. Даремно прихильники Фіцроя нагадували критикам про кораблі, які він врятував своїми передбаченнями. Фіцрой не витримав натиску «обманутих» і в 1865 році покінчив життя самогубством. Прогнози погоди надовго зникли з англійських газет...

МЕТЕОРОЛОГИ ПІДНІМАЮТЬСЯ ВГОРУ

У другій половині XIX століття спостереження за метеорологічними елементами виконувалися здебільшого біля поверхні землі. Але вже і в цей час в Росії були здійснені спроби за допомогою повітряних куль дістати дані про тиск, температуру й вологість повітря у верхніх шарах атмосфери. Ці малочисленні запуски повітряних куль дозволили вперше в світі дістати відомості про розподіл температури повітря на різних висотах.

Майже одночасно з використанням для вивчення атмосфери повітряних куль застосовувались і повітряні змії. До зміїв підвішували прилад-метеорограф, який автоматично записував тиск, температуру й вологість повітря. Змії запускались на довгій сталевій дротині, яка розмотувалась й намотувалась за допомогою лебідки. Для визначення напряму й швидкості вітру на висотах використовувались кулі-пілоти — невеликі гумові кулі діаметром 1—2 м, наповнені воднем, за рухом яких за допомогою спеціального приладу — теодоліта слідував спостерігач.



30 січня 1930 року в Павловській обсерваторії (поблизу Ленінграда) було випущено перший радіозонд і прийнято радіосигнали про значення метеорологічних елементів на різних висотах. Нині у світі діє понад 700 радіозондових станцій, на яких 3—4 рази на добу запускаються радіозонди.

В 90-х роках минулого століття метеорографи почали підвішувати до куль-пілотів. Куля піднімалась на велику висоту, її оболонка розривалась, а метеорограф з записаними відомостями на парашуті спускався на землю. Незручність спостережень за допомогою куль-пілотів полягала в тому, що нерідко вони губилися, опускаючись на землю в безлюдних місцевостях.

Після винайдення радіо для проведення метеорологічних спостережень в атмосфері (зондування атмосфери) використовуються радіозонди — маленькі автоматичні радіостанції, які вимірюють тиск, температуру й вологість повітря і по радіо передають ці дані радістові на метеорологічну станцію. Радіозонд підвішується до повітряної кулі й випускається в атмосферу. Вивчення верхніх шарів атмосфери здійснюється за допомогою спеціальних літаків, обладнаних відповідними самописними приладами.

Найбільш помітні успіхи метеорологія зробила за останні два-три десятиріччя. Радіозонди й радіопілоты, метеорологічні ракети й штучні супутники Землі значно розширили наші знання про будову атмосфери і процеси, що в ній відбуваються, а також внесли істотні корективи в існуючі уявлення про атмосферу.

Метеорологія — стара наука. Двадцять три століття — не жарт. Але здається, що в неї починається друга, нова юність. Лише тепер може вона пояснити головні закономірності народження погоди на Землі. Та й як можна було зрозуміти надзвичайно складний організм атмосфери раніше, коли людина була подібна до піщинки на дні повітряного океану, не здатної піднятися до його поверхні. Тепер можна побачити зверху всю атмосферу разом, проникнути в її глибини за допомогою ракет, літаків, повітряних куль, оснащених величезною кількістю різноманітних приладів.

Для вірогідних чи бодай приблизних прогнозів, для тих кущих петитних повідомлень в газетах чи по телебаченню потрібні вичерпні, точні, оперативні факти з усіх паралелей та меридіанів — від крижаних торосів Гренландії до піщаних барханів пустелі Атакама. Циклон, що хмариться над Києвом, народжується десь в районі Карибського моря, антициклон, який принесе на береги Дніпра мороз чи спеку, благословляється на світ десь серед далеких тихоокеанських архіпелagів, а потік холодного повітря з Північного Льодовитого океану надсилає сніжні десанти на узбецький бавовник та грузинський чай.

СПОСТЕРІГАЧ НА ПОСТУ

Всіма роботами з метеорології керує Головне управління гідрометеослужби при Раді Міністрів СРСР, якому підпорядковані всі метеорологічні і гідрологічні станції, науково-дослідні установи. При місцевих управліннях гідрометеослужби є відділи чи бюро, які займаються прогнозами погоди. У великих містах, при аеропортах і морських портах теж є бюро служби погоди.

Близько десяти тисяч метеорологічних станцій і постів розкидані по всій території нашої Батьківщини. Величезна армія метеорологів-спостерігачів вдень і вночі, за будь-якої погоди кілька разів на добу виходить до метеорологічних приладів і здійснює вимірювання тиску, температури, швидкості й напрямку вітру, вологості повітря. Кілька разів на добу, в один і той же час, знімаються показання приладів на плаваючих крижинах Північного Льодовитого океану і на Сахаліні, на пляжах Чорномор'я і Балтики, на схилах Казбека і Ельбруса, на бавовникових плантаціях Узбекистану, на льодовиках Паміру і Тянь-Шаню — скрізь, де встановлені флюгер, будка з термометрами, опадомір з захистом від вітру. Спостереження в СРСР і країнах соціалістичної співдружності на кожній станції ведуться 12 разів на добу, через кожні дві години, в решті держав — 8 разів на добу, через кожні три години. Одночасно на всій земній кулі спостереження здійснюються 4 рази на добу — о 3-й, 9-й, 15-й і 21-й годині. І в будь-яку погоду кожні шість годин «співає» морзянка не лише над Діксоном, а й на всіх полярних станціях і материкових спостережних пунктах, передаючи метеозведення.

На кожній станції п'ять-шість, а іноді всього один-два спостерігачі. Робота спостерігача вимагає акуратності, точності, витримки і великої сміливості. Без старанних записів у книгах, зроблених часто під ураганним вітром, в лютий мороз, в хуртовину, під зливою, не було б прогнозів посух і заморозків, льодових умов на морі і строків танення снігу на полях.

Праця синоптика не така легка та безвідповідальна, як про неї інколи думають. Необізнані люди, очевидно, й не підозрюють, що синоптичній службі в нашій країні надається не менше значення, ніж, скажімо, медичній на станціях швидкої допомоги. Як і тут, на гідрометеостанціях всього Радянського Союзу цілодобово не припиняється робота, фіксуються зміни атмосферних явищ, проводиться обробка результатів спостережень. Людям, що вибрали цю професію, нерідко доводиться відмовлятися від багатьох благ цивілізації і значну частину життя проводити у несприятливих умовах, далеко від «великої землі». Всі вони несуть свою нелегку вахту заради коротенького повідомлення: «За даними Гідрометцентру...»

Праця синоптика в повній мірі може бути названа синтетичною творчістю, в якій поєднуються точна наука і мистецтво. Синоптики часто називають себе «вітродувами», «лихо-оракулами». Але при цьому полюбляють з потайною гордістю повторювати жарт,



Для своєчасного одержання даних метеорологічних спостережень з усієї Землі земну кулю поділено на три райони з центрами у Москві, Вашингтоні і Мельбурні. Дані спостережень за допомогою радіо і телетайпів збираються в цих центрах і передаються в метеослужби всіх країн світу.

в якому значно більше серйозного, ніж веселого: «Що таке останній на Землі ураган? Це коли все живе на планеті гине і залишається один-єдиний метеоролог на далекій зимівлі. Йому гинути не можна — хто ж тоді зареєструє погоду і передасть зведення?» Очевидно, «служителі» погоди — єдина професія, яка не може, не має права обійти, обманути цю саму погоду. Льотчик намагається пересидіти туман, моряк — почекати, коли звільниться від льодів море чи ріка. В жарких країнах життя завмирає в розпалі пекучого дня, люди терпляче чекають, поки не опадє спека. Лише метеоролог не вичікує і не хитрує. Він живе погодою і не «зраджує» її, якою б вона не була.

Метеоролог потрібен всім, скрізь і сам є повсюдним. Він побував на полюсах географічних, магнітних, неприступності, холоду — і які там є ще? Він несе вахту спостерігача в задимленому череві міста і біля підніжжя діючого вулкану. Він виходить в безмежне море і схиляється над крихітним руслом джерельця. Він посилає свої прилади в глиб океану і в височинь, за хмари. Він звик до рюкзака і так само — до послуг електронно-обчислювальних машин. Йому доводиться полювати, щоб підтримати життя, і все його життя — полювання за спостереженнями, фактами, числами, за таємницями повітряного й водного океанів. Сотні тисяч людей на всіх широтах світу служать тепер постійній розвідці погоди: метеорологи, змінюючи один одного, в горах, пустинях, на екваторі чи за Полярним колом акуратно й точно знімають показання приладів, радисти чергують в призначений час там, де зведення народжуються й починають жити; синоптики наносять цифри на свої голубі контурні карти, цифри, які потім кидають, як паливо, в соти електронних машин; в морі на штормових хвилях гойдаються постійні кораблі спостережень, а високо над ними, за межами атмосфери, безупинно, мов гігантські маятники, обертаються супутники Землі. І настане день, коли вийде на орбіту перша лабораторія з першою зміною метеорологів у самому космосі, — як були колись висаджені на крижину поблизу полюса перші четверо зимівників. І звідти, з астрономічної висоти, Земля постане вся у вихорі голубих циклонів і в заплутаних нитках хмарного виру.

Лавиною пливе в Гідрометеорологічний центр СРСР у Москві інформація про погоду з усіх кінців країни і дані всіх метеостанцій, радіозондів і метеорологічних супутників. Третина всіх телеграм у світі має код «Метео». Цей грандіозний потік інформації оброб-

ляється за допомогою електронно-обчислювальних машин. З тисяч зведень складається синоптична карта СРСР, довготривалі й короточасні прогнози. Проте виявляється, що навіть величезної маси метеорологічної інформації ще не досить для їх складання. Справа в тому, що якою густою не є нинішня мережа метеостанцій, все-таки чотири п'ятих нашої планети — це океани, гори, піщані й льодові пустині, де людина буває лише епізодично. Крім того, вимірюються далеко не всі характеристики погоди і то лише в нижніх шарах атмосфери.

РАДІОЗОНДИ Й СУПУТНИКИ- МЕТЕОРОЛОГИ

Щоб глибше проникнути в «кухню погоди», вже давно застосовуються різні технічні засоби. Але й вони не можуть повністю задовольнити потреби метеорологів. При радіозондуванні, наприклад, прилади передають інформацію з висот до 30 км. На території Радянського Союзу є 250 аерологічних станцій. На кожній з них протягом доби запускають по два — чотири зонди. Зонд сягає висоти 30—35 км, тобто робить у районі польоту «розріз» значної частини стратосфери. Саме в цій її товщі відбуваються фізичні процеси, які визначають погодні умови.

Протягом усього часу польоту зонда по телеметричному каналу на аерологічну станцію передаються відомості про температуру, тиск і вологість повітря. Але прийняття сигналів зонда ведеться з короткими перепочинками. В ці моменти за допомогою наземного локатора автоматично надсилаються радіоімпульси, які досягають зонда і, віддзеркалившись, знову потрапляють на антену локатора. В такий спосіб «Земля» безперервно і з високою точністю контролює відстань до зонда, швидкість і напрям його руху, які збігаються з швидкістю і напрямом вітру в зоні польоту. Сигнали із зонда впевнено приймаються в радіусі понад 300 км. Але польотом радіозонда керує не людина, а вітер. Він зовсім не піклується про збирання інформації в тих точках, які особливо важливі. Літаки дають можливість виправити ці помилки, але вони не здатні проникнути в більш високі поверхні атмосфери. На допомогу кличуться метеорологічні ракети. Їм доступні висоти штучних супутників Землі. Але й ракети не вирішують всієї проблеми: вони поки що занадто дорогі для частих запусків. Якщо ж врахувати ще, що літак чи ракета при русі в атмосфері самі вносять в неї збурення, стане зрозуміло, наскільки обмеженим є їх застосування.

Грандіозні можливості для удосконалення прогнозів погоди відкривають метеорологічні супутники. Вже



зараз, передаючи з своїх орбіт телевізійні зображення хмарного покриву планети, вони дозволяють спостерігати погоду в глобальному масштабі, надійно передбачати тайфуни, урагани та інші стихійні явища, слідкувати за рухом циклонів і антициклонів.

Метеорології саме впорі прийшлося вторгнення людини в космічний простір. Штучні супутники також допомогли зробити цій науці значний крок вперед. Вже зараз на службі синоптиків знаходиться ціла система метеосупутників «Метеор». Нині ми маємо змогу не тільки знизу дивитися на повітряний океан, як було протягом тисяч минулих років, але й бачити його згори.

Розробляються й інші методи спостереження за процесами, що формують погоду. Найбільш перспективними є, очевидно, способи зондування атмосфери за допомогою лазерного променя.

Таким чином, для збирання даних про погоду в різних точках земної кулі стають у нагоді всі засоби вимірювань — і прості півники-флюгери, і локатори, і радіозонди, і метеорологічні ракети, і космічні метеорологічні системи, котрі щодоби збирають стільки ж інформації про атмосферу, скільки добувають її всі наземні станції світу. Метеорологи вивчають сигнали приладів, встановлених серед торосів і на захмарних піках. Синоптичні пости Курильських островів і Каліфорнії сумлінно помічають перші ознаки тайфунів, що утворюються біля берегів Чілі та Японії,— тих самих тайфунів, які потім дістають грайливі імена «Анджела», «Бетсі», «Вільма», «Мері» і далі за абеткою.

ПОГОДА Й КЛІМАТ

ЩО ТАКЕ ПОГОДА?

Ми до цього часу користувалися поняттями «погода», «клімат», а що ми розуміємо під цими термінами? В самому загальному випадку під погодою розуміють фізичний стан атмосфери в тому чи іншому місці в певний момент часу. Описується фізичний стан атмосфери рядом характеристик, які називають метеорологічними елементами. Таким чином, можна сказати, що погода характеризується станом ряду метеорологічних елементів, а також наявністю певних метеорологічних явищ. До найважливіших метеорологічних елементів відносяться тиск, температура й вологість повітря, напрям і швидкість вітру, хмарність. Отже, можна сказати, що погодою в широкому розумінні цього слова називають конкретні значення температури, тиску, вологості атмосфери, напряму і сили вітру — словом, того, що відчуває, на що реагує



організм людини. І нам іноді невтямки, яким вражаючим за масштабами був двобій стихій, що породив ці конкретні прояви погоди. Характеризують погоду і так звані метеорологічні явища. До найважливіших з них можна віднести сніг, дощ, туман, а також ряд оптичних і електричних явищ в атмосфері.

Існують і інші характеристики стану атмосфери, які доповнюють уявлення про погоду, а саме: прозорість, видимість, електричний стан, вміст солей тощо, але вони не відносяться до основних — тих, що визначають стан погоди. Тому далі ми обмежимося розглядом лише основних характеристик і їх ролі в процесах формування погоди.

Отже, погода характеризується складним комплексом метеорологічних елементів і явищ, тісно пов'язаних між собою. Кожен конкретно спостережуваний комплекс метеорологічних елементів і явищ відображає не просто механічну їх сукупність, а певний стан повітряного середовища — випадок погоди, який з часом зазнає змін. Таким чином, під випадком погоди слід розуміти погоду, яка спостерігається в певному місці і в певний момент часу.

За дуже короткі проміжки часу погода змінюється мало. Спостереження за характеристиками погоди ведуться не в усіх випадках безперервно, і тому миттєве спостереження за погодою відносять до деякого більш чи менш тривалого проміжку часу або ж визначають її з декількох спостережень за цей проміжок як середнє. За найменший проміжок часу в метеорологічній практиці беруть годину. Проте відомості про погоду за годину потрібні не завжди. Вони важливі, наприклад, для авіації і не мають значення для сільського господарства.

Особливо часто в метеорології користуються середньою оцінкою погоди за добу з уточненням деяких характеристик, наприклад температури в години максимуму й мінімуму її значень.

Таким чином, можна сказати, що найбільш характерною рисою погоди є її мінливість. Ні в кого з нас не викликає подиву той факт, що протягом тижня чи навіть одного дня тепла й суха погода змінюється негодою. Люди середніх широт звикли до того, що зима змінюється на весну й літо, а в будь-якому сезоні буває чергування теплих і холодних, сухих і дощових днів. Ми знаємо також, що, наприклад, в Середній Азії погода, якими б не були її «примхи», завжди тепліша й сухіша, ніж у Білорусії чи Прибалтиці. В Західній Європі зими звичайно м'якші, ніж в Сибіру, в тропіках на рівні моря ніколи не випадає

сніг, а на Чукотці чи Новій Землі не буває тропічних злив. Не може бути, наприклад, взимку в Сочі — 50°C , хоча в Якутську такі морози є звичайним явищем. Кожній місцевості властиві свої погодні умови, певні межі, в яких може змінюватися погода. Так, на Україні температура ніколи не була вищою ніж $+41^{\circ}\text{C}$ (в затінку), а взимку не спускалася нижче ніж -41°C .

КЛІМАТ

Погода звичайно дуже мінлива. Проте якою б не була вона мінливою, існує певне поєднання типів погоди, яке найбільш часто зустрічається й повторюється з року в рік. Таке поєднання різноманітних типів погоди, яке спостерігається протягом багатьох років і є характерним для великої території, і називається кліматом даного району, території тощо. Таким чином, коли ми говоримо про погоду сьогоднішнього дня, місяця чи навіть року, то маємо на увазі саме погоду, а не клімат. Клімат — це багаторічний режим погоди. Уявлення про клімат ми звичайно дістаємо в результаті багаторічних спостережень за погодою, що проводяться на багатьох метеорологічних станціях світу. Ці спостереження являють собою ніби історичну довідку про типи погоди, що спостерігалися в даній місцевості протягом багатьох років, та про характер мінливості погоди й можливі межі цих змін в даному районі.

Існує два типи клімату:
морський
і континентальний.
Вони мають різний
характер залежно від
того, де знаходиться
місцевість, — у тропіках,
субтропіках, помірних
чи високих полярних
широтах.

Клімат так само, як і погода, характеризується сукупністю метеорологічних елементів і їх середніх значень за рік. Щоб скласти уявлення про клімат даної місцевості, підраховують середні багаторічні, середні за місяць, за день, крайні (найбільші і найменші) значення метеорологічних характеристик (температури, вологості, сили вітру тощо) для кожного географічного пункту; обчислюють імовірності настання тієї чи іншої погоди в даній місцевості в дану пору року тощо. Клімат можна визначати за допомогою погодних характеристик у вигляді конкретних описів можливих погод. Це й зрозуміло: якщо погоду можна описати, вказавши, якими були температура повітря, хмарність, вітер тощо, то клімат можна визначити за допомогою опису можливої погоди, характеристикою режиму різних типів погоди, характерних для даної місцевості. Клімат можна було б визначити як деяке середнє значення показників погодних умов — температури, швидкості і напрямку вітрів та кількості опадів, спостережуваних за певний проміжок часу. Всі вони є наслідком невлених рухів молекул азоту і кисню, як і інших «матеріалів», з яких складається

наша бурхлива атмосфера,—водяної пари і вуглекислого газу.

Клімат даного району залишається досить сталим з року в рік, хоча погода може різко змінитися за день чи навіть за кілька годин. Зима в тому чи іншому районі може виявитися більш чи менш суворою, одне літо може бути більш дощовим чи сухим, ніж інше. І все ж неправильно говорити, що клімат одного року відрізняється від клімату іншого. Коли ми говоримо, що клімат—це багаторічний режим погоди, то тим самим ми підкреслюємо те, що дуже добре висловлює проста народна приказка: «Рік на рік не схожий».

Проте сталість клімату різних областей нашої планети безумовно не означає того, що він зовсім не змінюється. Спостереження показують, що клімат, хоча й повільно, але змінюється. В даному випадку ми говоримо про зміну середньорічних погодних умов протягом ряду років чи за якийсь місяць з року в рік. Такі зміни відбуваються постійно й не є для нас чимось несподіваним.

Якщо заглянути в далеке минуле, то можна перекоонатися, що клімат не один раз змінювався. Вчені вважають, що за останні півтора мільйони років по всій Північній півкулі періодично наступали і відступали льодовики. Відомі найбільш сильні зледеніння—Міндельське, Рісське і Вюрмське. Останнє було найпотужнішим і тривалим на території нашої країни, у Сибіру. Наступ і відступ льодовиків свідчать про зміну клімату на протязі тисячоліть. Свідченням цих змін є такий факт: кам'яне вугілля добувається навіть за Полярним колом в пустинній тундрі, де зараз ліс не росте зовсім.

Історичні хроніки розповідають, що в X столітті ірландці й норвежці відкрили на півночі європейського континенту землю, покриту лісами, квітучими луками, і назвали її Гренландія—«Зелена земля». Незабаром її заселили колоністи, почали займатися там землеробством, тваринництвом, мисливством, рибальством. Так були заселені Гренландія і Ісландія. В середині XIII століття почалося похолодання, у зв'язку з чим різко погіршалися умови навігації. Льодовики, які сповзли з гір, згубили зелену рослинність на цих островах, і вони довго були позбавлені життя. З початку нашого століття льодовики в Гренландії почали швидко відступати, з-під них з'явилися залишки стародавніх поселень вікінгів, зруйнованих льодом і часом. Середня температура повітря за останні роки в Гренландії значно підвищилась.



Аномально тепла погода в середній смузі європейської частини СРСР викликається перенесенням повітря з Атлантики. На схід один за одним рухаються циклони, а південніше утворюється витягнута з заходу на схід смуга високого тиску. Сильні ж морози обумовлені перенесенням холодного повітря вздовж меридіану з Арктики.

Зміни клімату, безумовно, відбуваються і в наші часи. Багато вчених відмічають, що за останнє століття спостерігається загальне підвищення температури повітря. Потепління це почалось з кінця XIX століття. Особливо сильно проявилось воно в першій половині XX століття. Вчені вважають, що потепління охопило значні простори Північної півкулі, а можливо, і всієї Землі.

Загальне підвищення температури повітря відмічалось також і на багатьох територіях Радянського Союзу. Так, ще до Великої Вітчизняної війни вчені встановили, що в Полярному басейні температура води значно вища, ніж була в 1894 році, а лід — тонший. Якщо в 1901 році криголам «Єрмак» не зміг досягти північної околиці Нової Землі, то в 1935 році криголам «Садко» пройшов по чистій воді на 600 км північніше цього місця. В 1938 році той же криголам «Єрмак» досяг 83,5° північної широти. Особливо помітно (на 2—4° C) підвищилась за останні два десятки років зимова температура в районах Землі Франца-Йосифа, Шпіцбергена та в інших північних районах Радянського Союзу.

Проте бувають і такі зміни в звичайному перебігу погоди, які являють собою цілком виняткове для даних місць явище. Ці аномалії погоди не слід змішувати з незначними коливаннями звичайних погодних умов (бувають роки жаркі, сухі, дощові, холодні тощо), коли відхилення не виходять за певні межі, характерні для стану погоди у даній місцевості протягом кількох десятиліть. Аномалія погоди іноді продовжується кілька місяців і охоплює один-два сезони року. Аномалії бувають іноді такими значними, що викликають здивування в багатьох з нас. Нерідко вони повторюються два-три роки підряд, наприклад теплі зими чи дощові літа. В таких випадках говорять, що клімат змінився. Звичайно за здивуванням йде пояснення. Для цього намагаються залучити найновіші фактори — ядерні вибухи, створення великих водоймищ тощо. Так, наприклад, в 50-і і наступні роки нашого століття в різних районах земної кулі відмічались незвичайні (аномальні) умови погоди у вигляді сильних злив, дуже теплих зим тощо. В ці ж роки проводились серії атомних випробувань в атмосфері і під водою, особливо численні в США. Ось чому дуже часто в ці роки говорилося про зв'язок аномалій погоди з випробувальними вибухами термоядерної зброї і про вплив останніх на зміну клімату. До питання про метеорологічні наслідки вибухів ми ще повернемося пізніше, а зараз обмежимося лише по-



відомленням, що, за розрахунками радянського вченого академіка Є. К. Федорова, вибухи атомних чи водневих бомб не можуть привести до істотних змін у погоді, а тим більше кліматі навіть на території, яку знаходиться недалеко від місця вибуху.

І все ж треба сказати, що за останні роки спостерігаються зміни клімату, які сталися внаслідок дії людини. Знищення на великих територіях лісів і створення великих штучних водоймищ, на думку ряду вчених, викликали перерозподіл вологи в атмосфері; внаслідок розширення площ оброблюваних земель збільшилось видування ґрунту й забруднення атмосфери. Спалювання різних видів палива значно підвищило концентрацію вуглекислого газу в атмосфері. За розрахунками академіка А. П. Виноградова, люди, спалюючи паливо, вносять в атмосферу до десяти мільярдів тонн вуглекислого газу щороку. Інші вчені називають ще більші цифри. Молекули цього газу перешкоджають передачі в космічний простір теплоти, яку випромінює земна поверхня. Вуглекислий газ, що його викидає людство в атмосферу, може обгорнути земну кулю своєрідною ковдрою. Ця ковдра пропускатиме сонячні промені, але затримуватиме теплове випромінювання Землі: явище, назване «парниковим ефектом», викличе загальне зігрівання атмосфери.

Якщо теперішні темпи споживання енергії збережуться, то до 2030 року температура в масштабі планети зросте на 1—2° С. А що може бути років через двісті? Заглядаючи в це далеке майбутнє, академік М. М. Семенов пише: «Коли тепло термоядерних реакторів становитиме 10% від сонячної енергії, яка поглинається поверхнею Землі і океанів, а також нижніми шарами атмосфери, тоді середня температура на Землі підвищиться на 7° С».

Це означає, що клімат може стати таким, яким він був 70—100 млн. років тому, коли ще не було людей і на планеті «господарювали» динозаври. Таке потепління загрожує багатьма неприємностями. Воно викличе танення льодів Антарктиди й Гренландії; рівень Світового океану підвищиться на кілька десятків метрів. Значні площі суші опиняться під водою. Клімат стане дуже вологим.

Далеко не всі вчені погоджуються з цим прогнозом. Більше того, частина їх схиляється до думки, що на нашій планеті розпочався новий льодовиковий період. Прихильники цієї теорії твердять, що льодовикові періоди настають з інтервалом в 10 тисяч років і що саме зараз настав час для чергового різкого

Найістотніші зміни клімату Землі були пов'язані з встановленням на ній льодовикових періодів. Для пояснення причин зледеніння запропоновано понад 40 різних гіпотез. Одна з найбільш вірогідних ґрунтується на коливаннях циркуляції вод океанів і їх впливові на атмосферу.

похолодання. Цей прогноз — не претензія на оригінальність. Він знаходить підтвердження в тривожних звітках, які знаходять з 15 тисяч метеорологічних станцій, розкиданих по всьому світу. Про це ж говорять дані, одержані від метеорологічних супутників, кількість яких в небі постійно зростає.

Ось деякі з цих лиховісних ознак. З 1959 року середня температура нижнього шару земної атмосфери між 65 і 90° північної широти знизилась на 0,59° С (правда, останнім часом температура нібито почала підвищуватися). На 12% збільшилась в північній півкулі площа, вкрита взимку снігом і льодом. Зниження середньорічної температури води в Північному Льодовитому океані становить 1—2° С.

Треба сказати, що навіть незначне зниження середньорічної температури може призвести до катастрофічних наслідків. За розрахунками вчених, зниження середньорічної температури Землі на один градус приведе до такого зменшення виробництва продуктів споживання, що кожні чотири роки Індія і кожні п'ять років Китай страждатимуть від голоду.

На думку багатьох вчених, перспективи зниження температури на цей єдиний клятий градус цілком реальні. Дослідження, проведені в 1973 році спеціалістами НАСА (Національне управління з аеронавтики і досліджень космічного простору США) по вивченню атмосфери планети, наштовхують на висновок, що приблизно через 100 років на Землі наступить «нижня межа виживання».

Це не означає, що люди, тварини й рослини загинуть від холоду. Просто всім доведеться жити в значно гірших умовах, ніж ті, що існують зараз. Для сьогоденішнього покоління, говориться далі в доповіді НАСА, 100 років можуть здатися дуже віддаленим строком. Але для людства в цілому і різних видів живих істот — це грізне завтра.

Проте далеко не всі вчені поділяють цей песимістичний прогноз. У 1976 році двадцяти чотирьом кліматологам світу було задано питання: в якому напрямку зміниться клімат в найближчі десятиріччя? Відповіді були різними. Але більшість кліматологів дотримувались думки, що в найближчі двадцять років зміни клімату будуть дуже незначними.

ПОВІТРЯНИЙ ОКЕАН

ОБОЛОНКА ЗЕМЛІ



Всі ми, мешканці земної кулі, живемо на дні атмосфери — зовнішньої оболонки планети — і в іншому середовищі поки що жити не можемо. Атмосферне повітря оточує нас, входить до складу всіх організмів, що живуть на Землі. Воно справді повсюдне. Про повітря, в якому ми живемо, яким дихаємо і яке частенько і отруюємо, нас змушує пам'ятати погода. Вона народжується, розвивається, безперервно змінюється саме в повітряній оболонці нашої планети, і ніде, крім атмосфери, ми не можемо спостерігати її, радуватися їй і страждати від неї.

Земна куля з усіх боків обгорнута легенькою повітряною оболонкою.

Легенькою? Але ж її маса $5 \cdot 10^{15}$ т! Нескінченно високо, в яскравій блакиті літнього неба майже непорушно висять сріблясто-білі смуги хмар. Чи нескінченно? Ні. На висоті всього 10 км густина повітря становить лише третину від приземної, а на висоті 100 км — лише одну мільйонну. Тут, на висоті 100 км, атомам і молекулам повітря так просторо, що, наприклад, молекула азоту може вільно пролетіти близько 10 см, не зіткнувшись з жодною іншою молекулою чи атомом. Не те що поблизу поверхні Землі, де в 1 см^3 повітря міститься $2,7 \cdot 10^{19}$ молекул. При такій густині повітря довжина вільного пробігу молекули становить лише $6,5 \cdot 10^5$ см.

Якщо дивитися на нашу планету з далекого космосу, то вона має вигляд світної блакитної кулі, обриси якої розмиті сяючим серпанком. Ніби ковдра, цей серпанок огортає нашу Землю, відгороджуючи її від космосу. Він зберігає планету від згубних випромінювань Всесвіту, від смертоносних коливань температури, до яких призводить в космосі зміна дня й ночі. Він підтримує незгасний вогонь життя, живлячи його киснем. Примарно легка на вигляд газова оболонка Землі стає грізною перепоною для заблудлих з космічних далей «кам'яних гостей» — метеорів. В ній проходять важкі випробування вогнем теплозахисні пристрої космічних кораблів.

Це атмосфера. Перша оболонка нашої планети, її космічне передмістя. Саме в ній розташована планетна «машина погоди». Тут відбуваються основні атмосферні процеси, які дають знати про себе зливами й снігопадами, ураганами й грозами.

Дош і сніг, гроза й завірюха, ураган і тиша — все це прояви однієї і тієї ж могутньої повітряної стихії. І вони не випадкові, а зв'язані з рухами і змінами повітряного океану, які вивчає метеорологія. Скільки в повітряній оболонці Землі ще таємничого, скільки

грізних і красивих явищ вона породжує! Атмосфері зобов'язані ми чудовим сяйвом сонячної зорі, пишнобарвністю сходу й заходу Сонця, чарівними полярними сяйвами, що освітлюють вкриті білим покривалом снігу території полярних країн серед полярної ночі, білими ночами Ленінграда, блакиттю й усім багатством барв неба. А яка гарна наша планета з космосу! Космонавти з захопленням спостерігали не лише материки і океани, величні гори й моря, долини і ріки, але й запону хмар, незабутні за гамою фарб полярні сяйва та інші явища, що виникають в атмосфері. Атмосфера цікавить науку насамперед як кухня погоди. Саме в атмосфері розігрується той величний всепланетний спектакль за участю грізних сил природи, який сприймається нами як погода. Атмосфера — джерело благодатного дощу і спустошливих посух, сонячної погоди і гуркітливих гроз, страшних ураганів і смерчів. Вона несе добробут мільйонам людей або ж незліченні лиха, голод, руйнування.

Метеорологію називають ще фізикою атмосфери. Дійсно, вона вивчає всі спостережувані в атмосфері фізичні явища і процеси. Оскільки метеорологія вивчає фізичні явища, що відбуваються в повітряній оболонці Землі, коротко зупинимось на основних фізичних уявленнях про повітря.

СКЛАД АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Що таке повітря? З чого воно складається? В давнину повітря вважали однією з простих речовин, з яких складаються всі оточуючі нас тіла. Древньогрецький філософ Анаксімен навіть учив, що з повітря створено весь світ. Лише в XVIII столітті було встановлено, що атмосферне повітря являє собою досить складну суміш різних газів.

Де б ми не визначили склад повітря — над Арктикою чи над екватором, над сушею чи над морем, — вміст основних газів у ньому загалом однаковий, і відмінності дуже незначні. Чисте й сухе повітря, що не містить водяної пари, пилу та інших домішок, поблизу поверхні Землі містить за об'ємом 78,09% азоту, 20,95% кисню, 0,93% аргону, 0,03% вуглекислого газу. Кількість інших газів у повітрі мізерно мала. Крім того, в атмосфері завжди міститься змінна кількість водяної пари, яка може досягати 4%. Водяна пара відіграє важливу роль в атмосферних явищах, оскільки її конденсація дає початок утворенню хмар і опадів. Перетворення водяної пари супроводяться поглинанням чи виділенням великих кількостей теплоти. За наближеними підрахунками, в атмосфері постійно міститься не менше 10 тис. млрд. т водяної



В біологічному відношенні найактивніший газ атмосфери — кисень. Його кількість в атмосфері майже не змінюється. Це пояснюється тим, що неперервне споживання кисню тваринами при диханні зрівноважується виділенням його рослинами як побічного продукту фотосинтезу.

пари — в середньому 200 т над 1 га поверхні Землі. Раніше склад повітря визначався лише поблизу земної поверхні і на невеликих висотах. Який склад повітря високо над землею — вчені не знали, але припускали, що в нижній частині атмосфери постійні вітри перемішують повітря, тому воно тут однорідне, а дещо вище гази розташовуються в залежності від їх густини: більш густі — азот і кисень — переважають нижче, а більш легкі — водень і гелій — вище. На відстані близько 100 км від поверхні Землі — «в висотах безумовного спокою», непідвладних земним стихіям, згідно з цими міркуваннями атмосфера мала складатися переважно з гелію і водню. Перші проби повітря на великих висотах були взяті в 30-х роках нашого століття при польотах стратостатів. Пізніше це робили за допомогою автоматичних приладів і ракет. Аналіз повітря дав несподівані результати. Виявилось, що процентний вміст газів, які входять до складу повітря, до висоти 100 км істотно не змінюється, а залишається майже таким, як і біля земної поверхні. Тільки починаючи з висоти 100 км дещо зменшується кількість найбільш густого газу — аргону (в порівнянні з кількістю кисню й азоту).

Майже постійний газовий склад атмосфери в першій сотні кілометрів пояснюється тим, що в ній відбувається хаотичний вихровий (турбулентний) рух, який викликає перемішування газів не лише в нижніх, але й у верхніх її шарах. Так, за даними ракетного зондування, спостережень за свіченням хмар і рухом метеорних слідів, встановлено, що у високих шарах атмосфери переважають сильні вітри, які супроводжуються турбулентним рухом повітря. Повітряний океан ніколи не знає спокою. Безперервний рух повітря перешкоджає розділенню газів відповідно до їх густини, і процес повільного дифузного проникнення одних газів в інші практично стає неможливим. Приблизно до висоти 500 км зберігається переважно киснево-азотний склад атмосфери. Хоча поступово (через те, що високі шари атмосфери мало захищені від космічного впливу і в них йдуть процеси дисоціації і іонізації) в складі атмосфери переважаючим стає атомарний кисень, з'являється атомарний азот. Істотна зміна складу повітря відмічається лише на висоті біля 600 км. Тут починає переважати гелій. Гелієвий пояс атмосфери, або, як його назвав ще в 1911 році академік В. І. Вернадський, «гелієва корона Землі», простягається приблизно до висоти 1600 км від поверхні Землі, а далі, вище 23 тис. км, переважаючим стає водень.

Зі збільшенням висоти над рівнем моря насиченість кольору неба зростає: від блакитного поступово переходить до фіалкового. У стратосфері і вище колір неба стає чорно-сірим, а потім чорно-фіалковим. При великому запиленні повітря чи великій кількості водяної пари небо набуває білястого відтінку, а при суцільній хмарності здається сірим.

Так поступово газова оболонка, що оточує Землю, переходить в міжзоряний газ, який складається на 76% по масі з водню і на 23% — з гелію. Саме ці два елементи є найбільш поширеними у Всесвіті.

Ми живемо на дні повітряного океану — на земній поверхні. А де ж все-таки його зовнішня поверхня, де кінчається атмосфера Землі? Як далеко простягається наша повітряна оболонка, що так надійно захищає нас від непроханого вторгнення космосу з його холодом, випромінюванням і безперестанним бомбардуванням космічними тілами? Точно назвати її товщину важко. Густина повітря, поступово зменшуючись, наближається десь на висотах в кілька тисяч кілометрів над Землею до густини міжзоряного газу (10^{-21}кг/м^3). Ось там і закінчується газова сфера Землі. Достовірно реєструється вона на висотах до 1100—1200 км, оскільки в атмосфері на цих висотах ще спостерігаються деякі фізичні явища: згоряння метеорних тіл, полярне сяйво, явище сутінок тощо. Побічними методами встановлено, що сліди газу є на висотах до 20 тис. км. Вище поки що наявності газів виявити не вдалося, але теоретичні розрахунки показують, що сліди атмосфери повинні простятися до висоти 42 тис. км над екватором і 28 тис. км над полюсами. До цих висот земне тяжіння здатне ще утримати окремі частки повітря, які беруть участь в русі Землі. Всі ці сотні й тисячі кілометрів над Землею заповнені дуже розрідженим розсіяним газом.

Крім газів у повітрі містяться також найдрібніші тверді й рідкі частки. З газоподібних домішок в складі атмосферного повітря особливе значення мають вуглекислий газ, водяна пара і озон.

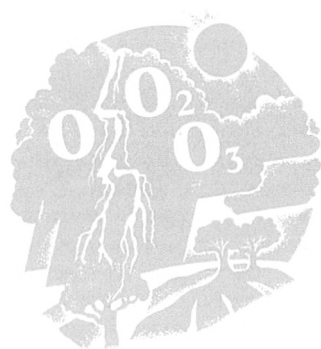
Кількість вуглекислого газу в атмосфері не є сталою, а змінюється в залежності від місцевості, часу доби, висоти над рівнем моря тощо. В промислових районах цього газу завжди більше (в середньому 0,03%), ніж в сільській місцевості, над лісами чи водоймищами. Наприклад, над Антарктикою у повітрі знаходиться близько 0,02% вуглекислого газу, тобто майже на третину менше звичайної кількості. В шарі повітря, що безпосередньо прилягає до поверхні Землі, кількість вуглекислого газу зазнає і добових змін. Вночі його дещо більше, ніж вдень. Пояснюється це тим, що вуглекислий газ поглинається рослинами в світлий час, а вночі поглинання припиняється. Промислові об'єкти й тварини виділяють його безперервно.

Вся рослинність земної кулі протягом року бере з атмосфери близько 550 млрд. т вуглекислого газу і повертає в неї близько 400 млрд. т кисню.

За останнє століття у зв'язку з бурхливим розвитком промисловості атмосфера помітно збагатилась на вуглекислий газ внаслідок спалювання вугілля, нафти і продуктів їх переробки.

Цікаво, що акселерацію — спостережуваний в останні десятиріччя прискорений і посилений ріст дітей, особливо в містах, — деякі вчені пояснюють підвищенням вмісту вуглекислого газу в повітрі. Навіть незначне збільшення вмісту вуглекислого газу в повітрі значно посилює процес дихання, починається швидке зростання грудної клітки і відповідно — всього організму.

СМАК ПОВІТРЯ



Особливий інтерес для людини становить газ озон. «Озон» грецькою мовою означає «той, що сильно пахне». Цей газ надзвичайно важливий для життя на Землі. Він утворюється в основному на висоті від 15 до 50 км (з максимумом близько 23 км) під дією ультрафіолетових променів Сонця. В дуже незначних кількостях озон утворюється й біля самої поверхні Землі. Після грози ми з насолодою вдихаємо чисте, свіже повітря. Цього приємного «присмаку» йому надає озон. Він являє собою видозміну атмосферного кисню. В молекулах атмосферного кисню міститься по два атоми, а молекула озону складається з трьох атомів. Під дією ультрафіолетового випромінювання Сонця молекули кисню (O_2) розпадаються на атоми (O) і потім окремі атоми приєднуються до молекули, утворюючи триатомні молекули озону (O_3). При грозових розрядах теж відбувається розпад і відновлення молекул кисню, а тому в незначних кількостях утворюється і озон. На великих висотах, де утворення озону відбувається під безперервного дією ультрафіолетового випромінювання Сонця, його кількість більша. Кількість озону змінюється також в залежності від пори року. Весною атмосфера містить більше озону, ніж восени. В полярних широтах, наприклад, максимум кількості озону припадає на місяці після закінчення полярної ночі.

Загальна кількість озону в атмосфері незначна. Коли б можна було зібрати його в один шар при нормальному атмосферному тискові і температурі 0°C , то товщина цього шару становила б всього 2—3 мм. Але, незважаючи на таку мізерну кількість, озон відіграє дуже важливу роль в регулюванні температури в атмосфері і для життя на Землі. Справа в тому, що озон поглинає більшу частину ультрафіолетових променів сонячного випромінювання і захищає рослинний і тваринний світ від надмірного опромінення. Коли б в атмосфері не було озону, все живе на Землі

так сильно опромінювалося б сонячними променями, що не могло б існувати. В невеликих дозах ультрафіолетові промені викликають пігментацію шкіри людини (загар) і вбивають деякі види бактерій, Але якщо ультрафіолетового випромінювання багато, то воно затримує ріст рослин і виявляється шкідливим для живих організмів.

З існуванням озону тісно пов'язані вертикальний і горизонтальний розподіли температури в стратосфері. Так, взимку в високих широтах під час полярної ночі в шарі озону відбувається випромінювання, в результаті чого повітря охолоджується. Внаслідок цього знижується тиск і формується зимовий стратосферний циклон, який викликає західну циркуляцію повітря над помірними і високими широтами.

Влітку, в умовах полярного дня, в шарі озону відбувається поглинання сонячного тепла і прогрівання повітря, підвищується температура й формується літній стратосферний антициклон, який викликає східну циркуляцію над всією літньою півкулею.

ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

Вище ми вже говорили, що в атмосфері завжди міститься значна кількість домішок. Найчастіше вони такі маленькі, що неозброєним оком їх не видно. Більші ж частинки ми бачимо, наприклад, в променях сонячного світла, що проникає крізь невеликі отвори в темну кімнату. Ці частинки за своїм походженням дуже різноманітні. Вони народжуються всюди. Руйнуються й вивітрюються скелі й ґрунт, хмари куряви піднімаються до неба. Головними постачальниками пилу в нижні шари атмосфери є безводні пустелі й степ, де часто бувають пильні бурі, під час яких вітер підхоплює і переносить на величезні відстані грандіозні маси землі. Маса піднятої в повітря і рознесеної по інших місцях куряви може досягати мільйонів тонн, іноді утворюються пильні замети, подібні до снігових.

Весною 1960 року пильна буря охопила Північний Кавказ, Ростовську область і південь України. Буря була настільки сильною, що доводилося припиняти польові роботи, автомашини повільно пересувалися з увімкненими фарами навіть удень. Швидкість вітру досягала 34 м/с, важко було дихати від куряви, яка проникала крізь зачинені вікна й двері.

В 1968 році в Англію прилетів червоний пил з Сахари. Маса «посилки» становила мільйони тонн. Під час другої світової війни африканський пил летів ще далі. Він випурхував з-під гусениць танків, що біглися в Сахарі, і зависав аж над Карибським морем.



Підраховано, що 1000 працюючих автомобілів щоденно виділяють у повітря 3,2 т вуглекислого газу, 180—360 кг вуглеводнів, 45—135 кг окислів азоту, а також сірку і в менших кількостях інші домішки.

Як не дивно, моря й океани теж є постачальниками пилу. Над широкими просторами морів і океанів повітря насичене часточками солей. При утворенні хвиль на морі бризки води підхоплюються вітром, вода швидко випаровується, а найдрібніші частинки солі залишаються в повітрі в завислому стані й переносяться на материки.

У високі шари атмосфери багато пилу й попелу надходить під час вулканічних вивержень і вибухів. Вулканічний пил може злітати при виверженнях на висоту 40—50 км. Повітряні течії розносять його на величезні простори, і він може довго лишатися в повітрі, утворюючи дуже високі хмари. При виверженні вулканів кількість пилу й попелу буває такою великою, що вони можуть затьмарити сонячне світло. Так було, наприклад, в 1883 році при виверженні вулкана Кракатау в Індонезії. Вулкан перетворив на пил гору висотою в 420 м, і викинув у атмосферу на висоту 32 км біля 36 млн. т пилу, попелу й водяної пари, які кілька років трималися в повітрі. Через кілька днів на відстані 2500 км від місця виверження вулкана пил осідав на палуби кораблів у такій кількості, що його доводилося кілька разів на день згрібати лопатами.

Зі збільшенням висоти кількість пилу в повітрі, звичайно, зменшується. Проте й зверху, з міжпланетного простору, атмосфера дістає також чимало космічного пилу. Щоденно в верхніх шарах атмосфери згоряє величезна кількість метеорів, які спалахують від тертя в атмосфері, залишаючи за собою попіл і пил. За підрахунками вчених Інституту геохімії й аналітичної хімії імені Вернадського АН СРСР, щорічно на нашу планету осідає від 2 до 5 млн. т космічного пилу. За останні півмільярда років Земля «поважчала» більше ніж на мільйон мільярдів тонн.

Але сьогодні людина в процесі своєї господарської діяльності починає в ряді випадків «змагатися» з вулканами: хто більше викине куряви в атмосферу. Так, в промислових центрах Англії, яка спалює щороку близько 180 млн. т вугілля, щорічно осідає на кожен квадратний метр поверхні близько 1,2—1,4 кг сажі й пилу. У великих містах багато кіптяви дають автомобілі. Заводські труби й вихлопні труби автомобілів викидають в атмосферу разом з димом шкідливі для здоров'я гази (окисли вуглецю, азоту, сірчаний ангідрид тощо). На одному з «перших» місць за станом забруднення повітря знаходиться американське місто Лос-Анджелес. За теоретичними підрахунками вчених, в атмосфері цього міста стільки отруйного газу CO,



В СРСР здійснюється широке коло заходів по нейтралізації шкідливих для людини побічних явищ виробничої діяльності, запобіганню забруднення повітря, водойм і ґрунту, по раціональному використанню природних ресурсів.

що в такій атмосфері людина жити не може. А нічого, живуть... Теоретично не можна жити, а практично — живуть! Ця загадка легко пояснюється. Отруйний газ СО, на відміну від нешкідливого CO_2 , нестійкий. Через кілька діб СО перетворюється на CO_2 , і загроза швидкого отруєння замінюється віддаленою перспективою задухи.

Безперечно, найбільша кількість пилу, диму й шкідливих речовин спостерігається в повітрі промислових районів та міст, проте пил може переноситися течіями повітря й на дуже великі відстані. Одного січневого ранку 1972 року жителі південних районів Норвегії, виглянувши в вікно, буквально остовпіли від подиву: сніг на вулиці був оксамитно-чорним. Аналізи показали, що дивний колір снігу викликаний частинками сажі, перенесеними повітряними течіями з промислового Руру. Цей випадок серйозно стурбував норвезьку громадськість. Норвежці звикли вважати, що їх країна з її засніженими гірськими вершинами, прозорими ріками й великими лісовими масивами знаходиться досить далеко від індустріальних районів Європи. Проте з'ясувалося, що в норвежців не так вже й багато підстав бути спокійними за чистоту оточуючого середовища в їх країні. Отруйні відходи промислових підприємств Європи вже стали причиною загибелі риби в кількох ріках, що змусило серйозно побоюватися за долю норвезьких лісів.

Іноді забруднення повітря може проявлятися й так. Волосся на головах жителів англійського містечка Бартон, особливо в тих, що працювали на місцевому заводі хімічних препаратів, раптом почало змінювати свій колір. Природний колір волосся став змінюватися на мишасто-сірий, жовто-зелений і навіть блакитний. Це викликало тривогу населення — нікому не хотілося бути хамелеоном. Швидко з'ясувалося, що причина зміни кольору волосся — гази, які виділяються при роботі хімічного заводу. Саме в цей час тут проводилися досліді по виробництву препаратів для боротьби з бур'янами, і лише після енергійних протестів громадян Бартон небезпечні дослідження було припинено.

Зараз в усьому світі вчені вивчають наслідки забруднення атмосфери. В Радянському Союзі та інших країнах ведеться наполеглива боротьба за чистоту повітря. Повітря вважається чистим, якщо кожен його кубічний сантиметр містить не більше 5 тис. пилинок. За хвилину людина робить в середньому 16 вдихів об'ємом 500 см^3 кожен. Таким чином, навіть коли вона вдихає чисте повітря, то в організм попадає

40 млн. пилинок за хвилину. А повітря деяких міст запилене в 40—50 разів більше в порівнянні з нормою чистого повітря. Недаремно останнім часом народився досить дотепний, хоча й похмурий афоризм: «Або люди зроблять так, що в повітрі стане менше диму, або дим зробить так, що на землі стане менше людей».

ЯКА МАСА «НЕБА»?



Про те, що повітря, як і всі інші тіла, має масу, в наш час, мабуть, знають всі. Один кубічний метр повітря на рівні моря при температурі 0°C має масу приблизно 1 кг 290 г. Можливість існування маси повітря припускали ще стародавні вчені Арістотель і Лукрецій. Арістотель навіть зробив першу спробу підтвердити на досліді існування маси повітря. Для цього він зважив спочатку порожній козячий міхур, а потім, надувши його повітрям, зважив удруге. Вчений не без підстав вважав, що в другому випадку міхур важитиме більше. Проте дослід не підтвердив цього припущення, і ми зараз добре розуміємо чому. При наповненні міхура повітрям збільшувалася виштовхувальна (архімедова) сила міхура якраз на значення сили тяжіння повітря в міхурі. Але Арістотелеві не був відомий закон Архімеда, і він не міг цього передбачити. Дослід Арістотеля міг дати позитивний результат лише тоді, коли б йому вдалося досить сильно стиснути повітря в міхурі (збільшити густину повітря), але для цього треба було мати нагнітальний насос, якого в Арістотеля бути не могло.

Честь відкриття маси повітря належить Галілеєві. Він вирішив перевірити, чи не змінюється маса наповненої повітрям пляшки при нагріванні. Зробивши цей простий дослід, вчений переконався, що нагріта пляшка важить менше, ніж холодна. Галілей пояснив це тим, що при нагріванні повітря розширилося, частина його вийшла з пляшки і її маса зменшилась. Так було спростовано колишнє хибне уявлення про невагомість повітря.

Але якщо повітря має масу, то воно має тиснути на всі предмети, що знаходяться на Землі. Яке ж значення цього тиску? Правильну відповідь вдалося знайти учневі Галілея — Торічеллі.

Розповідають, ніби в 1640 році у Флоренції герцог Казімо II Медічі задумав спорудити на терасі парку басейн з водою, яку передбачалося перекачувати насосами з сусіднього озера. Але палац герцога стояв високо на горі і насоси того часу не могли підняти воду вище, ніж на 10 м (ми тут користуємося



сучасними одиницями виміру довжини, але треба мати на увазі, що метрична система мір була запропонованадесь через півтора століття після того). Будівельники звернулися за поясненням до придворного математика герцога, знаменитого, але вже дуже старого й сліпого Галілея, проте й він не зміг розв'язати цього завдання.

Правильне пояснення було дано Торічеллі, який прийшов до висновку: насоси накачують воду, використовуючи атмосферний тиск. Повітряний океан тисне на поверхню води в озері і вганяє її у трубу насоса, з якої повітря відкачано поршнем. Атмосфера має певну товщину, а отже, створює певний тиск на поверхню води і не може підняти більше, ніж стовп заввишки 10 м.

Атмосферний тиск поблизу земної поверхні безперервно змінюється—то зменшується, то збільшується. Проте ці коливання дуже незначні, лише в дуже рідких випадках тиск зменшується до 700—705 мм рт. ст., в основному ж залишається весь час близький до свого середнього значення—760 мм рт. ст., або близько 10^5 Па, яке приймається за нормальний атмосферний тиск.

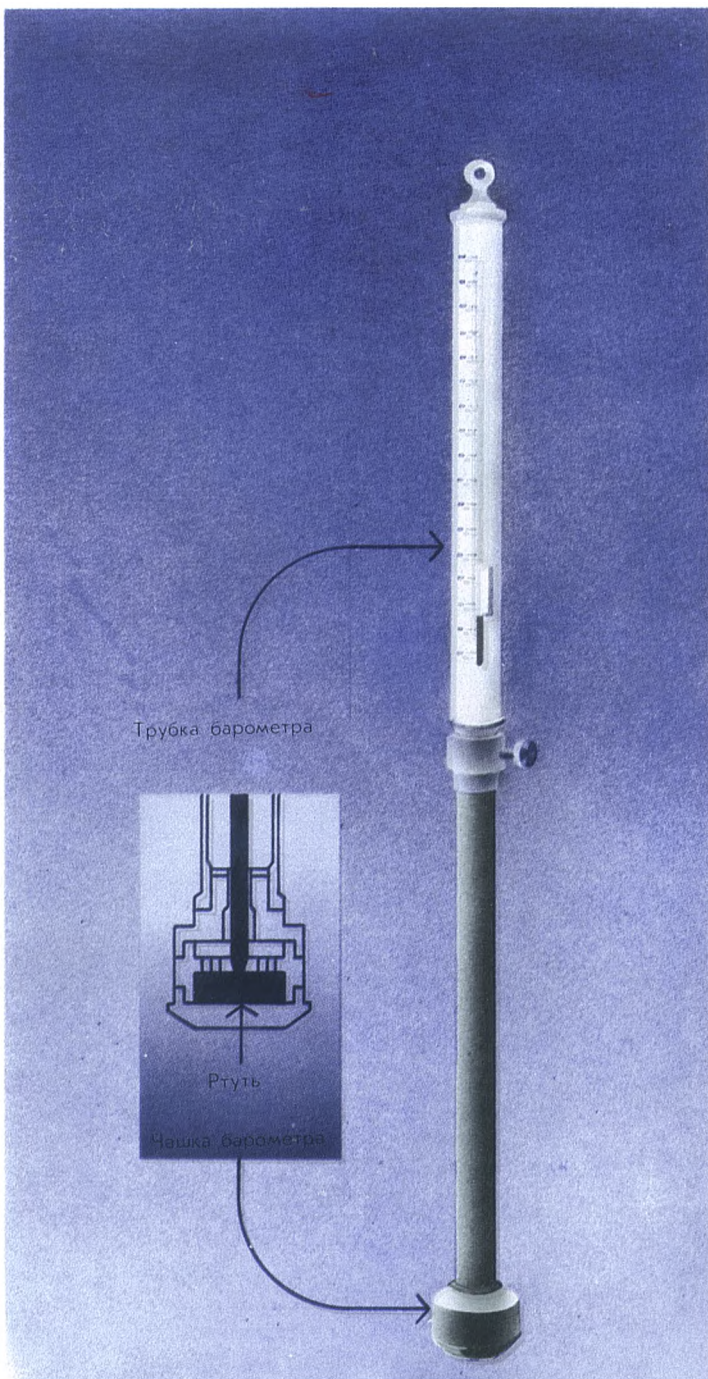
Знаючи нормальний атмосферний тиск на рівні моря, неважко підрахувати, з якою силою тисне повітря на поверхню Землі і яка маса атмосфери. Нормальний атмосферний тиск дорівнює приблизно 10^5 Па, тобто на кожен квадратний метр поверхні Землі тисне сила приблизно 100 000 Н. Поверхня Землі $S = 4 \cdot \pi R^2 \approx 5 \cdot 10^{14}$ м², де $R = 6370$ км—середній радіус Землі. Тоді сила тиску атмосфери $P = 4\pi R^2 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 5 \cdot 10^{19}$ Н. Якщо виразити цю силу тиску в більш звичних для нас одиницях сили—тоннах, то дістанемо близько 5 000 000 000 000 000 Т. «Невагоме», на перший погляд, повітря, що оточує нашу Землю, має масу $m = P/g \approx 5 \cdot 10^{18}$ кг, або понад 5 квадрильйонів тонн. Проте ця грандіозна маса становить всього близько однієї мільйонної маси всієї Землі.

ЯК ВИМІРЮЮТЬ ТИСК АТМОСФЕРИ НА ЛЮДИНУ?

Якщо ми підрахуємо, якої сили тиску повітря зазнає поверхня людського тіла, то одержані цифри вразять своєю неправдоподібною величиною. Поверхня тіла людини середнього зросту становить приблизно 1,5 м². Отже, на поверхню тіла людини атмосфера тисне з силою понад $1,5 \cdot 10^5$ Н. На долоню людини, площа якої становить приблизно 15 см², повітря тисне з силою 1500 Н, що становить вагу двох дорослих людей. Ми не відчуваємо цього тиску, тому що повітря оточує нас рівномірно, має доступ в порожнини

Рис. 1 Чашковий ртутний барометр.

Чашковий ртутний барометр
як найточніший прилад
для вимірювання тиску
застосовується на
стаціонарних наземних
метеорологічних
станціях.





Барометр-анероїд використовується, головним чином, у польових, експедиційних, військових та інших умовах, для яких ртутний барометр занадто громіздкий і крихкий.

організму, зрівноважуючи зовнішній тиск. Тільки те, що в усіх органах людського тіла є повітря під атмосферним тиском, врятовує нас від розплющування. Наш організм пристосувався до тиску повітря і погано переносить різкі його зміни: зменшення при підніманні вгору (при польоті на літаку чи сходженні на гірську вершину) і збільшення при опусканні вниз (в глибокі шахти). Цілком здорова людина легко переносить піднімання до висоти 3500—4000 м. Коли людина піднімається на висоту понад 4 км, то в неї можуть з'явитися небезпечні для життя порушення: починається «гірська хвороба» — стає важко дихати, іноді лопаються кровоносні судини, починається кровотеча, запаморочення голови. Висота в 6 км вважається критичною для здоров'я людини. Піднімання вище може здійснюватися безпечно лише при наявності спеціальних пристосувань. Ось чому на сучасних висотних літаках кабіни пілотів і салони для пасажирів робляться герметично закритими, непроникними для повітря. В них штучно підтримується тиск, близький до тиску біля поверхні Землі.

Вимірюють атмосферний тиск за допомогою барометрів, при цьому найчастіше використовують чашкові ртутні барометри і барометри-анероїди.

Чашковий ртутний барометр (рис. 1) являє собою вертикально встановлену й запаяну зверху скляну трубку, яка нижнім відкритим кінцем занурена в чашку з ртуттю. У верхній частині трубки над поверхнею ртуті створюється високий вакуум, тому атмосферний тиск на ртуть в чашці зрівноважується тиском стовпа ртуті в трубці барометра.

В ряді випадків більш зручним у користуванні є барометр-анероїд (рис. 2), який проте поступається перед ртутним в точності показань. Атмосферний тиск зрівноважується в ньому не тиском ртутного стовпа, а пружною силою. Основною частиною цього приладу є металева коробка з гофрованою поверхнею, з якої майже повністю відкачане повітря. Атмосферному тискові, який стискає коробку, протидіє зовнішня пружина, яка її розтягує. В результаті кожного значенню атмосферного тиску відповідає певне положення рівноваги системи коробка — пружина. Зміни форми коробки за допомогою системи важелів передаються стрілці приладу. На циферблаті анероїда звичайно укріплюють маленький вигнутий термометр. Щоб тертя в передавальному механізмі не впливало на положення стрілки приладу, перед відліком атмосферного тиску слід легенько постукати пальцем по склу.

Рис. 2 Барометр-анероїд:
а — схема будови; б —
зовнішній вигляд (шкала,
проградуєвана в мм. рт.
стовпа).

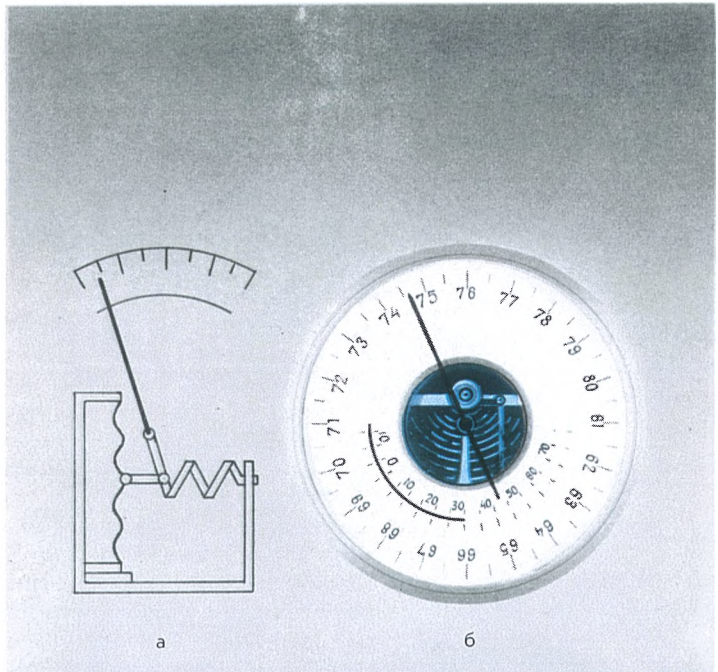


Рис. 3 Схема будови
барографа.



Якщо в барометрі-анероїді замінити шкалу тисків обертовим барабаном з самописцем, то одержимо барограф (рис. 3), тобто барометр, який записує свої показання. В середину барабана встановлено годинниковий механізм який обертає барабан з частотою одного оберту за добу (чи за тиждень). Самописець креслить на паперовій стрічці барабана неперервну криву, яка показує тиск в будь-який момент часу і послідовні зміни його протягом всього оберту барабана.

«ПОВЕРХИ» НЕБА

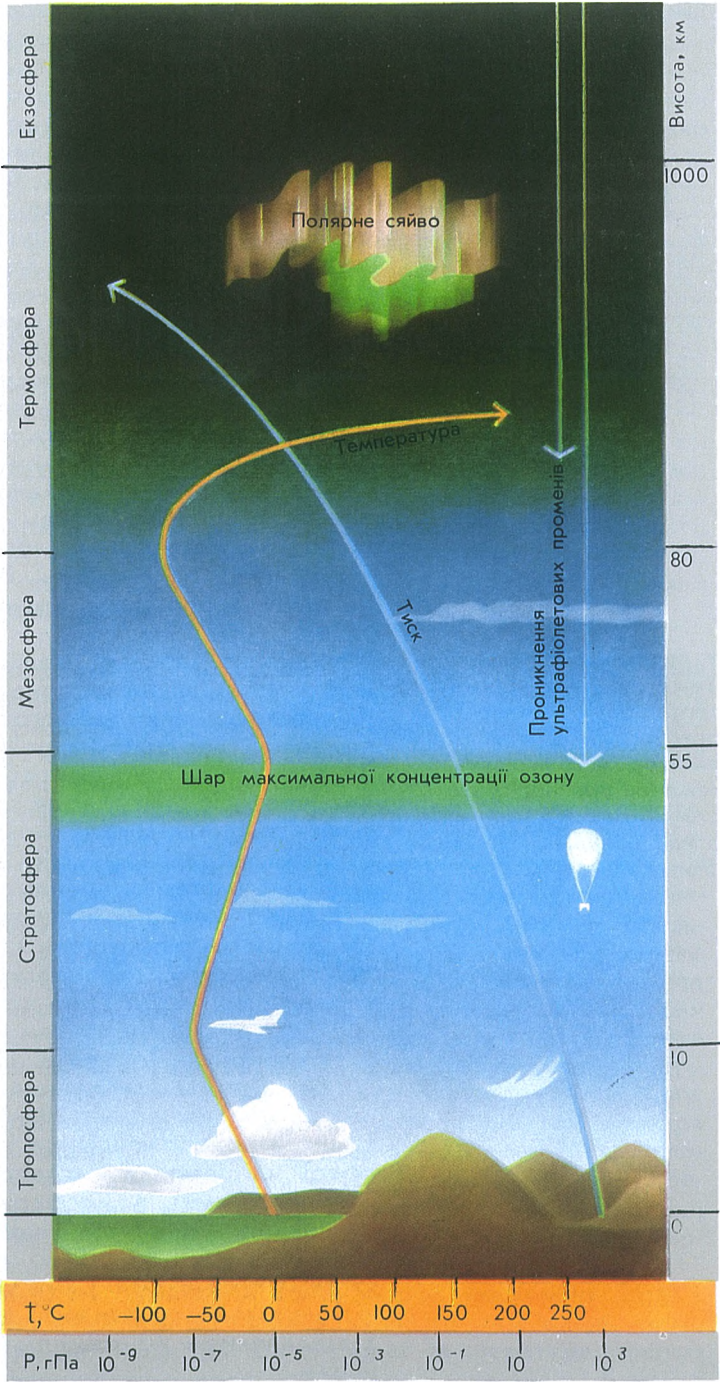


Атмосфера — білосніжне вбрання нашої Землі; поки що ми ще не знаємо планети, яка б могла похвалитися таким же чудовим вбранням. Коли-небудь, можливо, люди її виявлять, але нам з вами доведеться задовольнятися атмосферою бабусі Землі. Скажемо ж їй за це велике людське спасибі і розглянемо її будову.

До недавніх пір для детального вивчення був доступним лише тонкий приземний шар повітря. І лише після того, як на озброєння геофізиків надійшли ракети й штучні супутники Землі, вчені змогли експериментально досліджувати всю товщу атмосфери. Тепер ми можемо дати досить достовірний загальний її опис. Вивчення прискерків і ряду інших явищ, дослідження за допомогою геофізичних ракет та штучних супутників показало, що атмосферу можна умовно поділити на ряд шарів різної товщини, кожному з яких притаманні деякі спільні для всього шару властивості. В той же час один шар відрізняється від іншого температурою, вітром, вологістю та іншими елементами.

В сучасній метеорології вертикальний поділ атмосфери на сфери здійснюється відповідно до характеру зміни температури повітря з висотою, а поділ іоносфери — за характером іонізації шарів. У 1962 році Всесвітньою метеорологічною організацією встановлені такі назви шарів атмосфери (рис. 4): тропосфера (в середньому до висоти 11 км), стратосфера (від 11 до 50—55 км), мезосфера (від 50—55 до 80—85 км), термосфера (від 80—85 км приблизно до 1000 км), екзосфера (вище 1000 км). Зрозуміло, що такий поділ атмосфери на шари в певній мірі умовний, але він допомагає з'ясувати важливі фізичні особливості повітря в різних шарах і природу атмосферних явищ, що дуже важливо для прогнозу погоди.

Рис. 4 Вертикальний розріз атмосфери.



ТРОПОСФЕРА



У напрямі від поверхні Землі до верхньої межі тропосфери температура повітря знижується. Над екватором мінімальна температура повітря становить близько — 62°C , а над полюсами — близько — 45°C .

Почнемо подорож по атмосфері від рівня моря вгору. Нижній її шар — тропосфера. Яка у нас з вами буде погода, «вирішує» тропосфера: в цьому шарі міститься понад 90% всієї водяної пари, вуглекислого газу, а також весь аерозоль. Аерозоль — це частинки диму, пил пустинь, спори рослин, морська сіль тощо, які потрапили в атмосферу. Без аерозолі неможливою була б конденсація водяної пари, тобто не було б хмар, туманів, дощів і снігу. Але аерозоль хороший тоді, коли його в міру. Зайвина ж його шкідлива, як і всякий лишок, це відчувають жителі Токіо і Лондона, Нью-Йорка і Лос-Анджелеса, проклинаючи смог, що навис над їхніми містами.

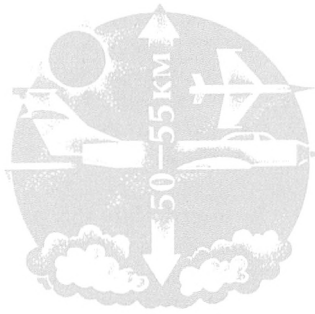
Фізичні властивості тропосфери в значній мірі визначаються впливом земної поверхні, яка є її нижньою межею. Найбільша висота тропосфери спостерігається в екваторіальній і тропічних зонах. Тут вона досягає 15—18 км, порівняно мало зазнаючи добових і сезонних змін. Над полюсами й прилеглими до полюсів широтами верхня межа тропосфери лежить в середньому на висоті 6—10 км. В середніх широтах товщина шару тропосфери коливається від 6—8 до 14—16 км.

Підвищення верхньої межі тропосфери (тропопаузи) над екваторіальними зонами пояснюється підніманням теплого повітря, нагрітого в найжаркішому поясі землі. Вертикальна потужність тропосфери значно змінюється в залежності від характеру атмосферних процесів, часу доби, сезону, пори року тощо. Навіть за добу верхня межа тропосфери над даним пунктом чи районом може опуститися чи піднятися на кілька кілометрів, що пов'язано, головним чином, із змінами температури повітря.

Особливістю тропосфери є те, що від поверхні землі до тропопаузи температура повітря знижується в середньому на $0,6^{\circ}\text{C}$ на кожні 100 м підняття. Уявіть собі, що ви жарким літом сідаєте у літак і вилітаєте з розпеченого Ташкента. Піднявшись на висоту 8—10 км, з подивом слухаєте повідомлення стюардеси, що за бортом літака $20\text{—}30^{\circ}$ морозу. Це зниження температури пояснюється тим, що повітря в тропосфері нагрівається і охолоджується переважно від поверхні Землі. Атмосфера майже прозора для сонячних променів, мов віконне скло. Вона пропускає сонячні промені до земної поверхні, яка й нагрівається цими променями. Саме від нагрітої земної поверхні і нагріваються прилеглі до неї шари повітря. Тому з віддаленням від земної поверхні повітря є холоднішим.

Відповідно до надходження сонячної енергії температура повітря знижується від екватора до полюсів. Так, середня температура повітря біля поверхні землі на екваторі досягає $+26^{\circ}\text{C}$, над полярними широтами взимку -34 чи навіть -36°C , а влітку — близько 0°C . Це означає, що різниця температур між екватором і полюсом зимою становить 60° , а влітку — лише 26° . З висотою різниця температур екватор — полюс зменшується. Наприклад, на висоті 5 км над екватором температура змінюється від -2 до -4°C , а на цій же висоті в Центральній Арктиці — від -37 до -40°C взимку і від -19 до -20°C влітку. Таким чином, різниця температури повітря взимку становить $35-36^{\circ}\text{C}$, а влітку — $16-17^{\circ}\text{C}$. Саме більшою різницею температури екватор — полюс пояснюється більш інтенсивний перебіг атмосферних процесів взимку, ніж влітку. Цим же пояснюється й той факт, що переважаючі західні вітри взимку в тропосфері мають більші швидкості, ніж влітку. До того ж швидкість вітру, як правило, з висотою зростає, досягаючи максимуму на верхній межі тропосфери.

СТРАТОСФЕРА



Продовжимо підіймання вгору атмосферою. Над тропосферою лежить шар повітря, який називають стратосферою. Вона простягається до висоти 50—55 км. Стратосфера відокремлена від тропосфери «державним кордоном» — тропопаузою.

Відкрито стратосферу на початку нашого століття. За фізичними властивостями стратосфера різко відрізняється від тропосфери вже хоча б тим, що в ній температура повітря, як правило, підвищується з висотою. В нижній частині стратосфери до висот близько 35 км середня температура залишається майже сталою, але різною над різними поясами Землі: над екватором близько -80°C , над середніми широтами біля -55°C і над Арктикою близько -45°C . Проте дійсна температура іноді зазнає різких неперіодичних змін. Вперше це помітили в лютому 1952 року, коли над Берліном протягом двох діб температура на висоті 26 км підвищилась з -68 до -25°C , а потім так само різко знизилась. Ці коливання температури дістали назву «берлінського феномена». Пізніше аналогічні коливання температури в стратосфері спостерігалися не раз в різних місцях земної кулі.

Якщо на тропопаузі лютує мороз, досягаючи іноді в зоні екватора 80° нижче нуля, то чим вище, тим... тепліше. Вище 35 км середня температура повітря підвищується і досягає максимуму на висоті близько

Для розрахунку польотів надзвукових літаків необхідно мати дані про режим температури і вітру в стратосфері, про характер розподілу, озону, який в основному визначає підвищення температури в стратосфері.



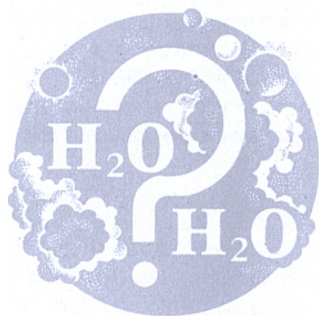
МЕЗОСФЕРА

55 км. Це пояснюється тим, що саме тут проходить форпост озонового захисту життя на Землі від жорсткого випромінювання Сонця. В результаті поглинання озоном ультрафіолетового випромінювання температура повітря на рівні 50—55 км може іноді досягати значень, характерних для тропічних широт. В стратосфері густина і тиск повітря з висотою також зменшуються. Тут майже зовсім немає водяної пари, і хмари можна побачити дуже рідко — в основному поблизу межі з тропосферою. В середній стратосфері на висотах 20—30 км іноді (переважно взимку) бувають так звані перламутрові хмари. Ще зовсім недавно вважали, що стратосфера є порівняно спокійним середовищем, в якому горизонтальні рухи повітря незначні, а вертикальні рухи зовсім відсутні. Тому гадали, що при таких умовах не може бути перемішування газів, а різні гази, з яких складається повітря, розміщені в стратосфері шарами у відповідності з їх густиною. Звідси й назва стратосфери — шарувата («стратус» — шаруватий). Але пізніші дослідження показали, що в стратосфері, як і у верхній тропосфері, мають місце сильні вертикальні і горизонтальні рухи повітря, внаслідок чого гази інтенсивно перемішуються. Тому склад повітря в стратосфері такий же, як і в тропосфері.

В стратосфері спостерігаються сильні, досить стійкі вітри. Найменші швидкості вітру (6—8 м/с) спостерігаються в нижніх шарах стратосфери, а вище йде зростання швидкостей. Так, на висоті 40 км спостерігаються швидкості до 70 м/с, на висоті 60 км — до 140 м/с, а поблизу верхньої межі стратосфери швидкість може досягати 100—200 м/с. В нижній частині стратосфери вітер має західний напрям, в середній і верхній частинах стратосфери — східний.

Пора відправлятися далі вгору. З висот 50—55 км над рівнем моря починаються володіння третього шару — мезосфери, для якого характерне швидке зниження температури з висотою. Морози тут вже космічні, супутники й ракети зареєстрували абсолютний мінімум для атмосфери — 143°С. Чесно кажучи, холоднувато. Поблизу верхньої межі мезосфери температура досягає від —74 до —90°С. Тут, на висоті 80—85 км утворюються видимі з Землі в при- смерки продовгуваті, блискучі, тонкі сріблясті хмари. В Північній півкулі між 45 і 70° вони спостерігаються в при- смерки переважно влітку (в червні — липні). В мезосфері вітер відзначається великою мінливістю. Взимку тут переважають західні вітри з максимальни-

ДЕЩО ПРО ЗАГАДКУ СРІБЛЯСТИХ ХМАР



ми швидкостями близько 100 м/с на висотах 60—65 км, а влітку — східні з максимальними швидкостями до 70 м/с на висотах 55—60 км.

Походження сріблястих хмар досі не розкрито повністю. Спочатку вчені вважали, що ці хмари утворюються внаслідок забруднення верхніх шарів атмосфери продуктами вулканічних вивержень, які розсіюють промені Сонця після заходу його за горизонт. Справді, сріблясті шлейфи часто з'являлися після виверження вулкана Кракатау. Але так було не завжди. Загадкові хмари з'являлись і тоді, коли вулкан практично не діяв, найчастіше після падіння на Землю великих метеоритів. Це наштовхнуло деяких вчених на думку, що сріблясті хмари є скупченням не тільки вулканічного, а й космічного пилу. Але як масивні пилинки можуть нагромаджуватись і утримуватись у дуже тонкому шарі розрідженого повітря? Більш детальні систематичні спостереження показали, що сріблясті хмари — досить часте явище. Вони з'являються майже щороку і довго не зникають з неба, хоч перед цим не було ні вивержень вулканів, ні падіння метеоритів.

Учені давно помітили зв'язок між низькими температурами у високих шарах атмосфери влітку і найбільшою частотою появи сріблястих хмар. Було висунуто так звану «конденсаційну» гіпотезу їх походження, за якою світло розсіюють крапельки води або сніжинки або ж частинки пилу, вкриті рідкою чи твердою водяною оболонкою. Такої точки зору дотримувався відомий радянський вчений академік І. А. Хвостиков. Він, зокрема, розглядав сріблясті хмари як нагромадження дрібнесеньких частинок льоду, для утворення яких на висоті 80—85 км є всі умови. Залишалося тільки встановити, чи є водяна пара в мезосфері і якщо є, то звідки вона береться. Перші ракетні зондування високих шарів атмосфери виявили підвищену концентрацію водяної пари на висотах 80—85 км.

Отже, для «конденсаційної» гіпотези все ніби складалося сприятливо. Проте встановлено, що процесові конденсації водяної пари в мезосфері дуже перешкоджає ультрафіолетове випромінювання Сонця. Хоч сама пара може надходити в мезосферу від поверхні Землі або з космічного простору, це випромінювання руйнує молекули води, тому вода тут не може перебувати у молекулярному стані.

Для більш детального вивчення природи сріблястих хмар з 1962 року в ряді країн (СРСР, Швеція та ін.) розпочато ракетне зондування тієї зони атмосфери,

У Північній півкулі сріблясті хмари спостерігаються на широтах 45 — 70° тільки в теплу пору року. За зовнішнім виглядом розрізняються чотири типи цих хмар: серпанок, смуги, гребінці, вихори.

де утворюються ці хмари. Спеціальний ракетний пристрій (пастка) захоплював частинки, з яких складаються хмари. З дев'яти запусків ракет, проведених в Швеції, тільки в одній спробі були виявлені тверді мінеральні частинки із вмістом заліза та нікелю, мабуть, позаземного походження. Аналогічні результати одержано і радянськими вченими. Детальний аналіз виявив на захоплених частинках хмар сліди льодової оболонки, яка могла утворитись в результаті намерзання на цих частинках водяної пари. Проте й ці досліді не дали відповіді на запитання про причину утворення сріблястих хмар, оскільки залишається відкритим запитання, чому інтенсивне ультрафіолетове проміння на цих висотах не руйнує молекул води і чому водяна пара осідає на метеоритних частинках.

Дуже цікавого висновку дійшов шведський учений Г. Вітт. На його думку, світло розсіюють на великих висотах не метеорні пилинки, а водяні, що утворюються внаслідок конденсації молекул води на заряджених частинках (іонах), які виконують роль ядер конденсації. Це щось подібне до другого варіанту «конденсацийної» гіпотези. Але і цей висновок не розв'язує питання про походження сріблястих хмар.

Рідкісне явище природи — сріблясті хмари — ще залишається загадковим, і його дослідження тривають.

ДАЛІ ПРО БУДОВУ АТМОСФЕРИ

Вище мезосфери на висотах від 80—85 до 800 км розміщена термосфера, для якої характерним є швидке підвищення температури з висотою. В термосфері до висоти 100 км температура зростає в середньому на 2°С при підніманні на 1 км. За допомогою ракет і штучних супутників Землі встановлено, що вже на висоті 150 км температура повітря досягає 220—240°С, а на рівні 500—600 км — перевищує 1500°С. Розрахунки температури за ступенем гальмування штучних супутників Землі показують, що на рівні 600 км і вище температура термосфери може досягати 2000—3000°С. Встановлено також, що температура цих шарів протягом доби може зазнавати значних змін.

Чому ж температура атмосфери на такій великій відстані від поверхні Землі така висока? Це явище здається на перший погляд парадоксальним. Як може зростати температура шару повітря, який знаходиться на відстані сотень кілометрів від Землі?

Щоб зрозуміти, чому це так, ми повинні пригадати, що розуміється під «температурою повітря».



У термосфері в кожному кубічному сантиметрі повітря містяться десятки й сотні тисяч молекул легких газів, тоді як поблизу поверхні землі їх близько сотні мільйонів мільярдів.

Температура газу визначається середньою кінетичною енергією атомів чи молекул, а «усереднюється» ця енергія в ході їх зіткнень. В нижній, найгустішій частині атмосфери, зіткнення молекул відбуваються надзвичайно часто, і молекули миттєво обмінюються кінетичною енергією. Так, при нормальних умовах молекула азоту, найбільш поширеного в повітрі газу, щосекунди зазнає близько 5 000 мільйонів зіткнень з іншими молекулами. Саме тому кінетична енергія молекул в густому середовищі в середньому однакова. Якщо виділити якийсь об'єм газу, який не одержує і не віддає теплоти (адіабатично ізольований), то в ньому встановлюється стан термодинамічної рівноваги.

А які зіткнення газових молекул на висоті 200—300 км, якщо густина газу там приблизно така ж, як в дуже хорошому (за лабораторними поняттями) вакуумі (близько $3,5 \cdot 10^{-6}$ Па)? На висоті 300 км панує таке розрідження, що молекулі повітря до зіткнення з іншою молекулою потрібно пролетіти в середньому близько 10 км. При такій густині середовища температура стає просто мірилом швидкості, точніше кажучи, кінетичної енергії молекул. При таких умовах температура не може характеризувати стан газу.

Тому прямі методи вимірювання температури, які ґрунтуються на встановленні рівноваги між надходженням теплоти до термометричного тіла і віддачею її оточуючому середовищу, можливо застосовувати, і то з невеликою точністю, лише до висот 60—70 км. Вище 70 км температуру повітря безпосередньо виміряти не можна, тому її розраховують за даними вимірювання тиску, густини тощо. Але при цьому температурі надається вже не звичайний повсякденний смисл. Вона вже не виражає ступінь нагрівання повітря, а характеризує стан окремих частинок (молекул, іонів, електронів). Високі температури у верхніх шарах термосфери показують лише, з якою великою швидкістю рухаються молекули в цьому дуже розрідженому середовищі. Тому при температурах 1000—2000° С середовища пролітаючий на цій висоті супутник не нагрівається подібно до того, як людина не відчуває високої температури при сліпучо яскравому освітленні електричних ламп, хоча нитка розжарювання лампи миттєво нагрівається до кількох тисяч градусів.

В термосфері згоряє, не досягаючи поверхні Землі, більшість метеорних тіл. В основному тут же згоряють штучні супутники Землі, закінчуючи своє життя на орбіті.

ЕЛЕКТРИЧНЕ ДЗЕРКАЛО АТМОСФЕРИ



Цікавою особливістю атмосфери на висоті більше 80 км є її іонізація, тобто утворення в ній величезної кількості електрично заряджених частинок — іонів. Більша частина газів на цих висотах знаходиться в атомарному стані. Під дією ультрафіолетового і рентгенівського випромінювань Сонця в розріджених верхніх шарах атмосфери з атомів вибиваються електрони. Втрачаючи один чи кілька електронів, атом перетворюється в позитивно заряджений іон. В таких випадках говорять про іонізацію газу. При великій концентрації іонів і вільних електронів газ стає електропровідним. Оскільки іонізація газів є характерною для нижньої частини термосфери, останню називають також іоносферою.

Електропровідні шари іоносфери відіграють роль дзеркала, від якого відбиваються надіслані з земної поверхні радіохвилі. Саме завдяки цьому можливий дальній радіозв'язок на коротких радіохвилях. Короткі радіохвилі відбиваються від заряджених іонів іоносфери і повертаються до земної поверхні, потім знову відбиваються вгору і так, зигзагоподібно, обходять всю земну кулю.

Сучасні радіотехнічні методи дозволяють «промацувати» всю товщу атмосфери, точно визначати висоту іонізованих шарів, потужність і густину іонізованого повітря в кожному шарі. Такі спостереження ведуться на спеціальних іоносферних станціях, де одержують інформацію про стан іоносфери і умови проходження радіохвиль. Останнім часом радянські вчені досліджують іоносферу за допомогою штучних супутників серії «Космос». Аналогічні дослідження ведуться за допомогою супутників і вченими США.

ШАР РОЗСІЮВАННЯ ГАЗІВ

Над термосферою на висотах понад 800 км знаходиться останній з поки що відкритих шарів — екзосфера, або шар розсіювання газів. Звідси молекули легких газів, долаючи сили земного тяжіння і магнітного поля, відлітають в космос за багато тисяч кілометрів від Землі. Екзосфера поступово переходить в міжпланетний простір. До недавніх пір дані про екзосферу одержували в основному шляхом теоретичних розрахунків, тому що цей шар був порівняно мало вивчений.

За даними спостережень і теоретичними розрахунками, температура в екзосфері з висотою зростає, мабуть, до 2000°C , газу тут настільки розріджені, що частинки їх, рухаючись з величезними швидкостями, пробігають сотні кілометрів без зіткнень, тобто практично майже не зустрічаються одна з одною.



Визначити, де саме кінчається атмосфера і починається космос, важко, тому що з висотою густина повітря зменшується поступово і сама атмосфера плавно перетворюється майже у вакуум, в якому зустрічаються лише окремі молекули. За спостереженнями автоматичних міжпланетних станцій, лише на висотах 200—3000 км густина повітря наближається до мізерних значень, характерних для космосу.

Ще порівняно недавно вважали, що умовна верхня межа атмосфери пролягає на висоті близько 1000 км. Проте розрахунками за даними гальмування штучних супутників Землі й міжпланетних космічних кораблів встановлено, що на висотах 700—800 км в 1 см³ міститься до 160 тисяч, а на висоті близько 1000 км — до 100 тисяч іонів атомарного кисню й азоту. У зв'язку з цим висота умовної верхньої межі атмосфери значно відсунулася далі в космічний простір.

При високих температурах на умовній межі атмосфери швидкість частинок газу досягає 12 км/с, тобто другої космічної швидкості, достатньої для подолання земного тяжіння. Ці частинки розсіюються в міжпланетному просторі. З боку, протилежного Сонцю, зона розсіювання витягується довгою смугою слідів атмосферних газів. Ця частина зони розсіювання називається газовим хвостом Землі.

Отже, ми з вами окинули поглядом всю товщу атмосфери знизу догори, переконалися, що атмосфера являє собою «багатоповерхову споруду» і кожен її шар має ряд притаманних йому властивостей, характеризується своїми явищами, які часто можна спостерігати з Землі. Так, полярні сніга відбуваються в іоносфері; метеори можуть проникати і в верхню частину стратосфери; хмари розвиваються в тропосфері, зливи і грози — переважно в її середній і нижній частинах, а тумани — біля земної поверхні.

Багато таємниць неба люди розкрили після того, як вчені дістали можливість за допомогою нової техніки вивчити той чи інший шар атмосфери. Нижня частина атмосфери — тропосфера — вивчається вже давно, і відомості про неї увійшли не лише в вузівські, але й у шкільні підручники. Практичне значення цих досліджень досить очевидне. Вони потрібні авіації: сучасні швидкісні літаки літають тепер у верхніх шарах тропосфери. Потрібні вони і для надійного прогнозування погоди. А вивчення верхньої атмосфери — від стратосфери й вище — почалося порівняно недавно. В цій молодій науці зараз відбувається процес інтенсивного нагромадження знань. Ви можете запитати: а для чого це потрібно? Верхня атмосфера хоча й досить далека від нас, але відіграє дуже важливу роль в житті на Землі. Саме вона на далеких підступах до планети вступає в поєдинок з каскадами випромінювань, які йдуть від Сонця і із космосу. Саме вона дозволяє радистам на полярних станціях в Антарктиді тримати прямий зв'язок з усіма материками і навіть з полярними станціями поблизу Північного полюса. Без детальних даних про фізичні властивості

газової оболонки Землі на великих висотах був би неможливим надійний прогноз руху штучних супутників Землі. Людина й сама почала обживати верхню атмосферу: траси космічних кораблів пролягають в сотнях кілометрів від Землі.

ЗЕМЛЯ І СОНЦЕ

СОНЯЧНЕ ОПАЛЕННЯ ЗЕМЛІ

Ще в сиву давнину люди помітили зв'язок, який існує між чергуванням пір року, зміною дня й ночі й положенням Сонця на небі. Холодна погода чи тепла, сніг чи відлига, посуха чи дощ, оновлення природи навесні й угасання її восени — все це викликається збільшенням чи зменшенням потоку живильних сонячних променів.

Невидиму машину атмосферних рухів приводить в дію Сонце, від якого на поверхню Землі надходить енергетичний потік потужністю в 200 трильйонів кВт. Приблизно третина цієї радіації відбивається назад в космічний простір хмарами чи світлозабарвленими ділянками земної поверхні, решта поглинається атмосферою чи ґрунтом, перетворюючись у їх внутрішню енергію. За добу поверхня земної кулі дістає від Сонця більше тепла, ніж його могло б дати все пальне, спалене людством за 1000 років при теперішній річній витраті. Проте ця гігантська енергія становить всього лише одну двомільярдну частку всієї кількості енергії, яку випромінює Сонце.

Потік енергії від Сонця невичерпний. Воно шле своє тепло вже кілька мільярдів років. Щосекунди 4 млн. т сонячної речовини розсіюється в міжпланетному просторі у вигляді різних випромінювань: гамма-променів, видимого світла, рентгенівських, ультрафіолетових і інфрачервоних променів, радіохвиль. На дозвіллі можете підрахувати, яку велетенську масу випромінює Сонце за рік. Але маса Сонця така грандіозна ($1,99 \cdot 10^{30}$ кг), що це зменшення маси не позначається істотно на кількості випромінюваної енергії.

Значна частина фантастично величезної кількості енергії Сонця затримується атмосферою, проте немало енергії доходить і до поверхні Землі. Під її впливом відбувається випаровування води, а отже, і утворення хмар. І ось вже мільйони тонн води, перекачані випаровуванням з поверхні океанів і морів в черева хмар, сходять лавиною дощу десь в Індії, зливаються сніжними протуберанцями завірюхи над антарктичним плато, проносяться над пальмами Куби шаленим торнадо. Всі ці явища відбуваються при величезних витратах енергії. Наприклад, процеси, які



підтримують існування звичайної купчастої хмари, мають потужність в кілька мільйонів кіловат!

Сонячне тепло чинить великий вплив і на циркуляцію повітряних мас в атмосфері. Процес цей тісно пов'язаний з нагріванням поверхні Землі і переміщенням значних за об'ємом повітряних мас з областей високого тиску в області низького. Отже, і звичайний за силою вітер, і ураганний — це результат нагрівання земної поверхні в одному районі планети і охолодження — в іншому.

Потужність потоку променистої енергії Сонця прийнято характеризувати інтенсивністю радіації (випромінювання). Сонячна радіація раніше ніж досягти земної поверхні проходить довгий шлях в земній атмосфері. На цьому шляху вона значною мірою поглинається і розсіюється атмосферою. Інтенсивність радіації в різних точках земної поверхні і в атмосфері буває різною залежно від стану атмосфери й товщі повітря, через яку проходять сонячні промені, часу доби, географічної широти місця тощо. Наприклад, у вигляді прямого сонячного проміння в ясний липневий полудень до кожного квадратного сантиметра горизонтальної поверхні щохвилини надходять такі кількості тепла: бухта Тиха (80° північної широти) — 2,72 Дж, Ленінград — 4,39 Дж, Київ — 4,51 Дж, Алма-Ата — 4,93 Дж. Але у всіх точках на межі атмосфери інтенсивність радіації однакова. Численними дослідженнями для найрізноманітніших точок над поверхнею Землі встановлено, що кількість сонячного тепла, яке надходить щохвилини на кожен квадратний сантиметр поверхні, розташованої перпендикулярно до променів Сонця, при середній відстані Землі від Сонця дорівнює приблизно 7,86 Дж/хв. Ця величина називається сонячною сталою і має велике значення для метеорологічних досліджень. Проте значення сонячної сталої дещо змінюється в залежності від відстані між Сонцем і Землею і коливань сонячної активності. Відомо, що Земля, рухаючись навколо Сонця по еліпсу, то дещо наближається до Сонця, то віддаляється від нього. Відстань від Землі до Сонця змінюється від 147 млн. км (1 січня) до 152 млн. км (1 липня). Ці зміни відстані від Землі до Сонця викликають річні коливання надходження променистої енергії Сонця і величини сонячної сталої, які становлять $\pm 3,5\%$ від її середнього значення. Так, на 1 січня значення сонячної сталої буде 8,15, а на 1 липня — 7,61 Дж/(см² · хв).

СОНЦЕ В ПЛЯМАХ



Сонячна стала змінюється також в залежності від змін сонячної активності, які є наслідком бурхливих рухів мас газу на поверхні Сонця і в його атмосфері.

Іноді магнітна стрілка компаса починає без усякої видимої причини тремтіти, відхилятися від положення рівноваги то в один, то в другий бік. Радіоприймач на коротких хвилях раптом замовкає. В телефоні виникають якісь шуми й тріски. На небі в полярних широтах з'являються полярні сяйва. Явища ці можуть продовжуватися кілька годин і навіть днів. Вчені з'ясували, що все це — сліди магнітних бур. Причина їх — Сонце. Воно ніколи не буває спокійним. На його сліпучій поверхні астрономи зуміли роздивитися плями, що з'являються і зникають, яскраві спалахи, протуберанці, які викидаються на мільйони кілометрів. Вперше сонячні плями були відкриті в 1843 році німецьким любителем астрономії аптекарем Г. Швабе. Правда, далеко не всі люди зразу повірили в існування сонячних плям. Пригадуєте, що писав чеховський герой Війська Донського відставний урядник з дворян Василь Семи-Булатов вченому сусідові: «Вы сочинили и напечатали в своем умном сочинении, как сказал мне Герасимов, что будто бы на самом величайшем светиле, на солнце, есть черные пятнушки. Этого не может быть, потому что этого не может быть никогда».

Допитливим людям, мабуть, хотілося б знати: чи багато плям на Сонці? Очевидно, їх там видимо-невидимо. Люди, «тямуші» в небесних і земних таємницях, твердять, що всі курйози, які трапляються з ними, пов'язані з появою плям на образі нашого денного світила.

Бравий солдат Швейк, наприклад, конфіденційно розповідав своїм товаришам правдиву історію, яка скоїлась з ним у місті Чешські Будейовіці. «Одного разу з'явилась на сонці пляма,— повідомляв він їм по секрету,— і в той же самий день мене побили в трактирі».

Правда, трактирна прочуханка пішла Швейкові на користь. Він став більш обережним і обачним у своїх діях. «З тих пір перед тим, як кудись піти, я дивлюсь... чи не з'явилась знову якась пляма». Мудрий висновок! Справді, невже так важко людині підняти голову і подивитись на сонечко?

Температура сонячних плям менша від температури поверхні Сонця і становить приблизно 4500°C , тому вони мають темніший вигляд. Зі збільшенням числа сонячних плям сонячна стала спочатку швидко зростає,

Нині надійно встановлена наявність 11-, 22-, і 80-річного циклів сонячної активності. Вплив сонячної активності на динаміку верхньої атмосфери, іоносфери, магнітосфери тощо не викликає сумнівів. Питання про можливість впливу сонячної активності на погоду і клімат гостро дискутується вченими. Останнім часом астрофізики намагаються опрацювати методи розрахунку змін сонячної активності залежно від розташування планет, які дозволили б прогнозувати ці зміни.

потім це збільшення уповільнюється і при дальшому зростанні числа плям сонячна стала зменшується. Зростання сонячної сталої викликає невелике підвищення температури для Землі в цілому. Одинадцятирічний період повторюваності виникнення сонячних плям викликає таку ж періодичність в деяких інших процесах в атмосфері.

Вчені вже давно досліджують зв'язок між сонячною активністю (яка проявляється в появі не лише плям на сонячній поверхні, але й протуберанців, факелів, сонячних спалахів) й атмосферними процесами з метою використання його для поліпшення прогнозів погоди. Активні процеси на Сонці супроводяться випромінюванням потужних потоків заряджених частинок — корпускул. Вони мчать з швидкостями порядку 2000 км/с. Наштовхнувшись на верхні шари земної атмосфери, потік корпускул викликає зміну їх електричного й магнітного станів. Так виникають магнітні бурі — відображення «життєдіяльності» Сонця в земній атмосфері. Це у верхніх її шарах. А в нижніх? Чи досягають корпускули тропосфери? І якщо досягають, як вони впливають на процеси, що там відбуваються?

Питання про вплив сонячної активності на земну погоду і клімат належать до числа найменш вивчених. Багато різних думок, іноді таких, що взаємно виключають одна одну, існують з цього приводу. Деякі вчені зовсім заперечують можливість такого впливу, інші намагаються знайти між явищами, що відбуваються на Сонці, і змінами погоди безпосередній зв'язок, треті, визнаючи існування такого зв'язку, вважають, що він проявляється через великий проміжок часу.

«Примхи» Сонця вже не один раз спростовували старанно складені з урахуванням земних умов прогнози погоди. Особливо невдалими були вони в 1971—1972 роках, коли сонячна активність замість поступового затухання після максимуму 1968—1969 років знову проявилась рядом різних спалахів. З'являлись величезні групи плям, деякі з них було видно неозброєним оком, виникали величезної сили плазмові вибухи — сонячні спалахи. Все свідчило про те, що зима 1971—1972 року і наступне літо будуть незвичайними, але Гідрометеоцентру не вдалося скласти прогнози з урахуванням цього.

ВПЛИВ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ НА АТМОСФЕРУ ЗЕМЛІ



ЩО ЩЕ ВПЛИВАЄ НА НАДХОДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ?

Як же можуть впливати активні утворення на Сонці на земну атмосферу і, зокрема, на метеорологічні явища? Видимі плями, спалахи вказують, що в даному місці Сонця з'явилась надмірна (в порівнянні із звичайною), так звана «геоактивна радіація». Це посилене випромінювання в ультрафіолетовій і рентгенівській частинах спектра, а також потоки частинок різної енергії. Вплив геоактивної радіації на верхні шари земної атмосфери, нічим не відгородженої від такого впливу, цілком зрозумілий. Значно складніше уявити механізм впливу цього випромінювання на нижні шари земної атмосфери. Вченими було запропоновано немало моделей зв'язку сонячної активності з метеорологічними явищами.

Детальні дослідження метеорологів привели до висновку, що характер загальної циркуляції повітря, її швидкість дуже залежать від сонячної активності. Циркуляція повітря земної атмосфери є чинником загальнопланетним. Погода і клімат — це місцеві явища, але вони також регулюються циркуляцією повітря в атмосфері. Оскільки циркуляція залежить від сонячної активності, то й погода також залежить від неї.

Водний режим на нашій планеті у великій мірі залежить від погодно-кліматичних умов, від характеру загальної циркуляції повітря, а через неї — від сонячної активності. Кількість опадів, таким чином, контролюється також діяльністю нашого світила.

Надходження сонячної енергії до земної поверхні певним чином залежить від форми і руху земної кулі. Річна сума сонячної енергії, одержуваної поверхнею землі, змінюється в межах від 210 кДж/см² у полярних районах до 840 кДж/см² в тропічних.

Чим пояснити ці відмінності в річних кількостях сонячної енергії, одержуваних окремими ділянками земної поверхні? Причиною їх є рух Землі навколо Сонця як центра нашої планетної системи, обертання Землі навколо своєї осі, а також куляста форма Землі. Рух Землі навколо Сонця викликає чергування пір року, що проявляється у зміні висоти Сонця над горизонтом, а також у тривалості дня й ночі, які чергуються внаслідок обертання Землі навколо своєї осі.

Кількість одержуваної окремими ділянками Землі сонячної енергії залежить насамперед від кута падіння сонячних променів. Чим прямовисніше падають сонячні промені (тобто чим більша висота Сонця над горизонтом), тим більша кількість сонячної енергії



падає на одиницю площі. Зі зменшенням кута падіння променів (під яким тут ми розуміємо кут, утворюваний променями з земною поверхнею) зменшується й кількість сонячної енергії, що припадає на одиницю поверхні. Це зменшення обумовлене двома причинами. По-перше, чим менший кут падіння сонячних променів, тим на більшу площу розподіляється даний потік світла, і тим менше енергії припадає на одиницю поверхні (рис. 5). По-друге, чим менший кут падіння променів, тим довший шлях проходить промінь в атмосфері. А при проходженні крізь земну атмосферу сонячне випромінювання поглинається, розсіюється і в результаті послаблюється. Чим довший шлях пройде сонячне проміння через земну атмосферу, тобто чим нижче Сонце над горизонтом, тим більшим буде ослаблення сонячного проміння. Коли Сонце своїм нижнім краєм знаходиться майже біля горизонту, сонячне проміння проходить в атмосфері шлях майже в 35 разів довший, ніж коли Сонце знаходиться в зеніті.

Протягом року найбільша висота Сонця над горизонтом спостерігається в районі екватора і найменша — в районі Північного й Південного полюсів Землі. В дні весняного й осіннього рівнодення (21 березня і 23

Рис. 5 Зі зменшенням кута падіння променів зменшується кількість енергії, що падає на одиницю поверхні.

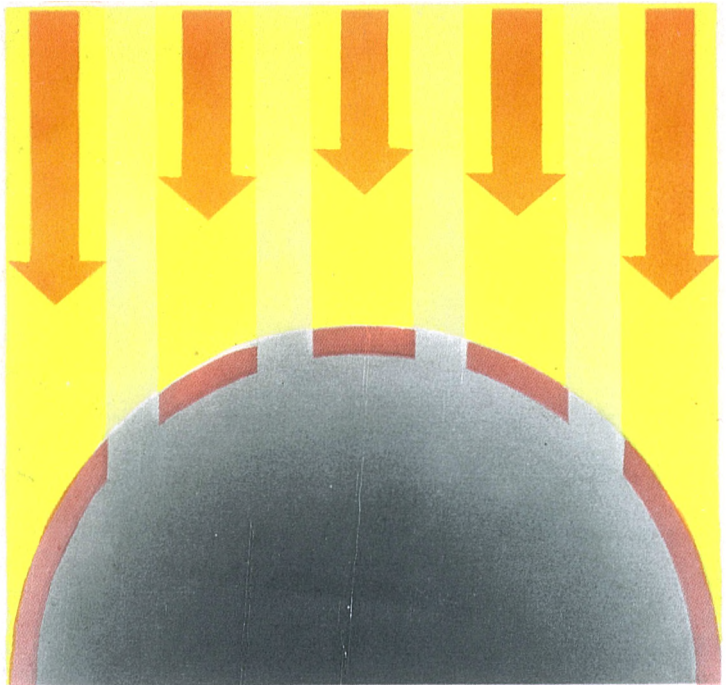
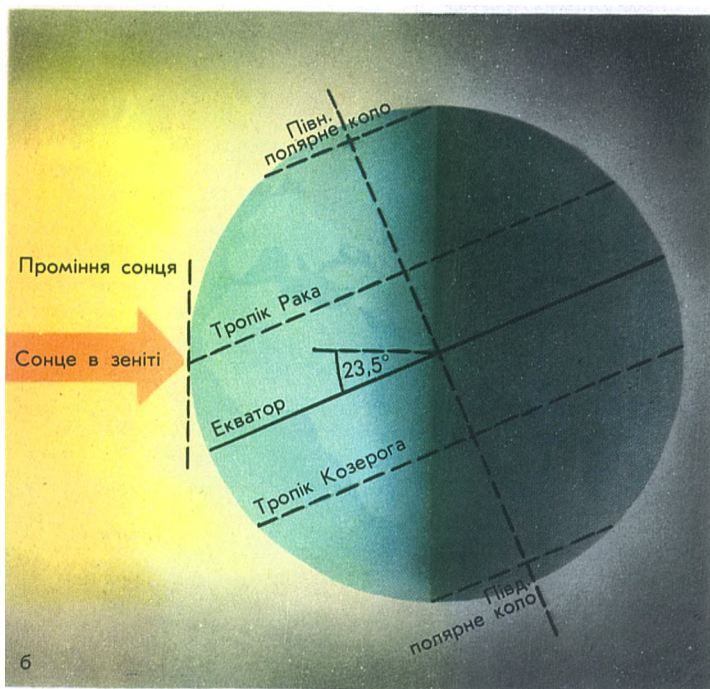
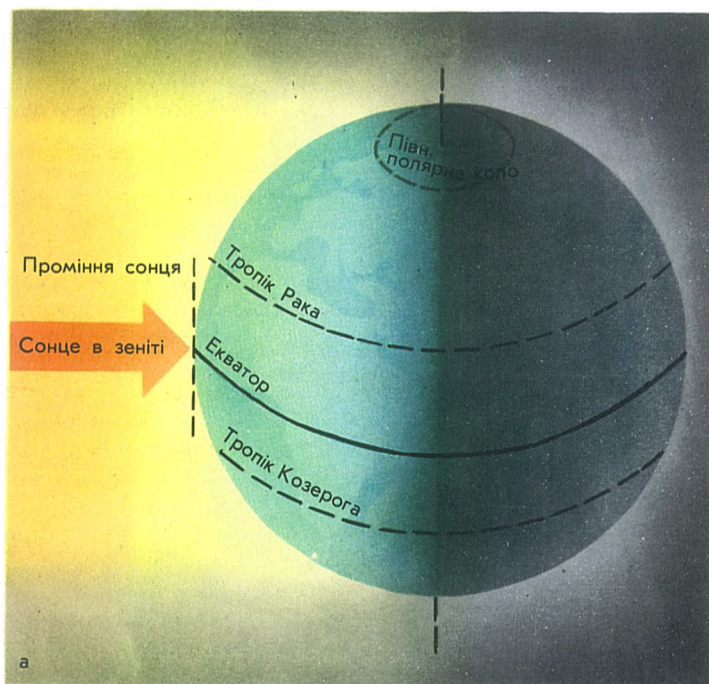


Рис. 6 Положення Землі у відношенні до сонячного проміння в різні сезони року:

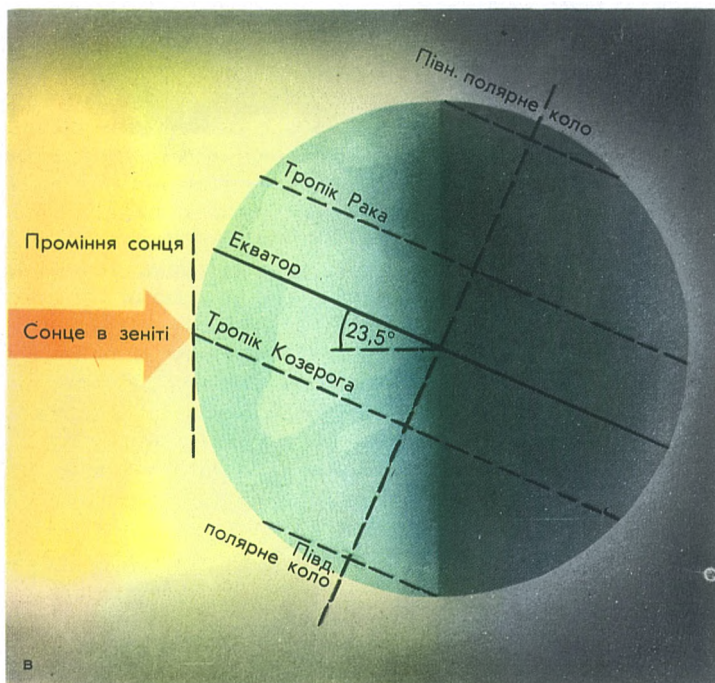
а — в день весняного і осіннього рівнодення; б — в день літнього сонцестояння; в — в день зимового сонцестояння.



Тривалість дня літнього сонцестояння в Ташкенті становить близько 15 год, у Києві — близько 16, в Москві трохи більше — 17 і в Ленінграді — близько 18,5 год, а тривалість дня зимового сонцестояння в цих містах дорівнює відповідно 9 год, близько 8, менше 7 і приблизно 5,5 год.

вересня) опівдні на екваторі Сонце буває в зеніті, а на полюсах — на горизонті (рис. 6, а). В день літнього сонцестояння (22 червня) в північній півкулі висота Сонця на екваторі досягає $66,5^\circ$, на північному тропіку (тропік Рака) — 90° , а на Північному полюсі — лише $23,5^\circ$. В цю пору року в Арктиці Сонце не заходить за горизонт, там настає полярний день, а в Антарктиці в цей час починається полярна ніч (рис. 6, б). В день зимового сонцестояння (22 грудня) в Арктиці Сонце знаходиться за горизонтом. В цей період там стоїть полярна ніч, а в Антарктиці — полярний день (рис. 6, в).

Значні коливання температури викликає добове обертання Землі навколо своєї осі. Вранці, зі сходом Сонця, надходження сонячної енергії починає перевищувати власне випромінювання земної поверхні, тому температура земної поверхні підвищується. Найбільше нагрівання спостерігається тоді, коли Сонце піднімається над горизонтом найвище. З наближенням Сонця до горизонту його промені стають все більш похилими до земної поверхні і нагрівають її все менше. Після заходу Сонця надходження енергії припиняється. Нічне охолодження земної поверхні триває до нового сходу Сонця.



ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ЗЕМЛІ



Сонце, Місяць, зорі чудово видно крізь атмосферне повітря, і це створює враження, що повітря цілком прозоре. Тим часом прозорість повітря істотно впливає на надходження променистої енергії Сонця до земної поверхні.

Частина енергії сонячних променів поглинається атмосферою й перетворюється в інші види енергії, головним чином у її внутрішню енергію. В атмосфері відбувається щось подібне до того, що спостерігається при проходженні сонячних променів крізь скло теплиць: скло нагрівається дуже слабо, зате ґрунт нагрівається сильно. Частина сонячної енергії розсіюється хмарами, молекулами повітря, завислими в повітрі дрібнісінькими часточками пилу. Цю частину сонячної енергії, яка надходить на поверхню Землі після розсіювання її атмосферою й хмарами, називають розсіяною радіацією. Та частина сонячної радіації, яка проходить крізь атмосферу без розсіювання, називається прямою радіацією. В районах пустинь, де переважає ясна погода, основним джерелом нагрівання земної поверхні є пряма сонячна радіація. Там, де частіше буває хмарна погода, істотне значення має розсіяна радіація.

Розсіювання сонячного світла — надзвичайно важливий атмосферний процес. Завдяки йому ми бачимо і «колір неба», і зміну забарвлення зорі, а також оточуючі предмети навіть при затемненому Сонці. Молекули повітря по-різному розсіюють різного кольору світло. Особливо сильно розсіюються промені синього і блакитного світла. Цим пояснюються блакитний і синій кольори неба.

Розсіюючи сонячне світло, атмосфера Землі відбиває частину його в космічний простір. Подібно до того, як Місяць вночі світить відбитим від його поверхні сонячним світлом, так і Земля світить в космічний простір, відбиваючи сонячне світло атмосферою, хмарами й земною поверхнею.

Досягнувши земної поверхні, сонячна радіація частково відбивається нею, а частково поглинається, нагріваючи земну поверхню. Здатність поверхні відбивати сонячну радіацію називають альбедо. Вимірюється ця величина в процентах у відношенні до кількості сонячної радіації, яка надходить на земну поверхню. Коли говорять, що альбедо свіжого снігу дорівнює 80—85%, це означає, що 80—85% всієї радіації, яка падає на снігову поверхню, відбивається від неї (рис. 7). Альбедо трав'яної рослинності і піску значно менші (відповідно 26 і 30%). Це означає, що трава поглинає 74% сонячної енергії, а пісок — 70%. Погли-

Рис. 7 а Відбивання й поглинання сонячних променів поверхнею снігу та трави.

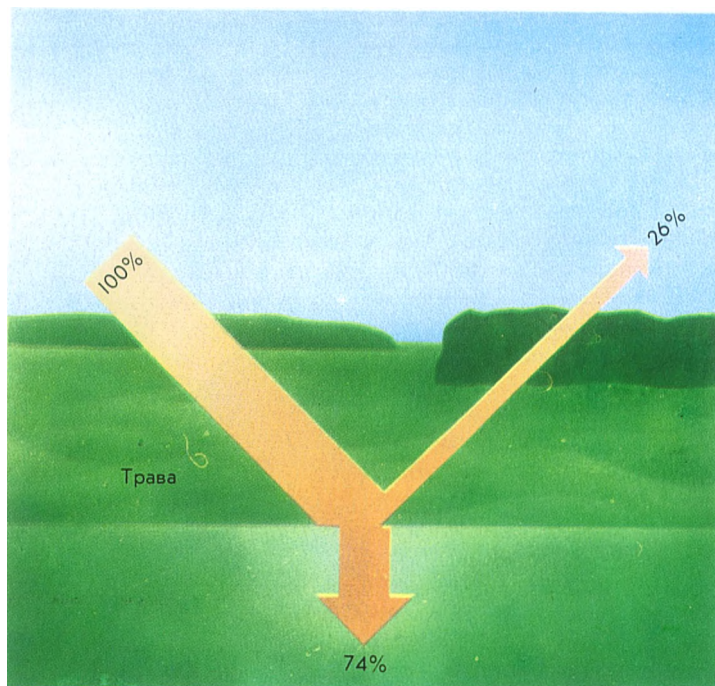
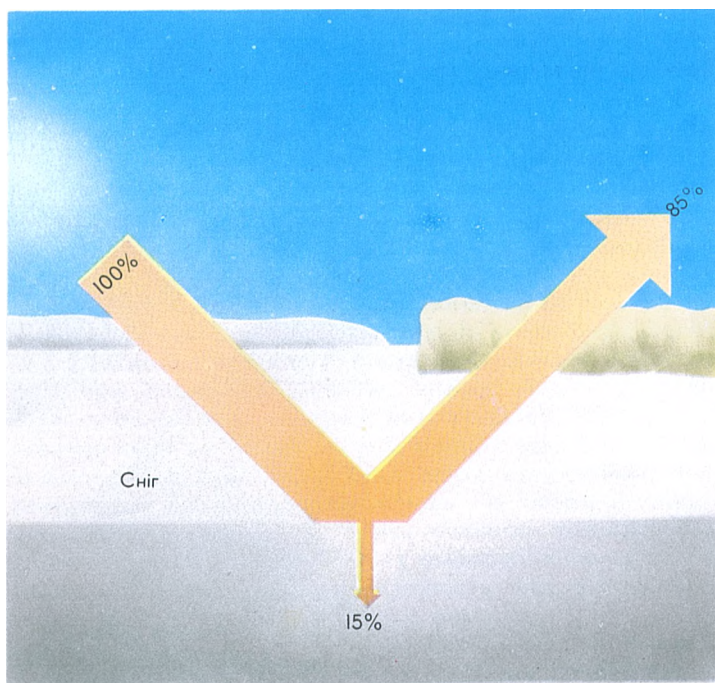
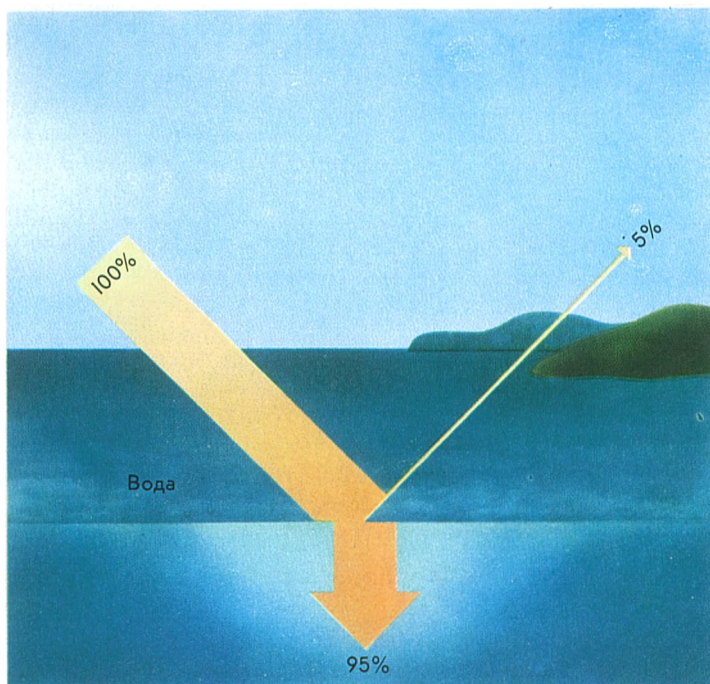
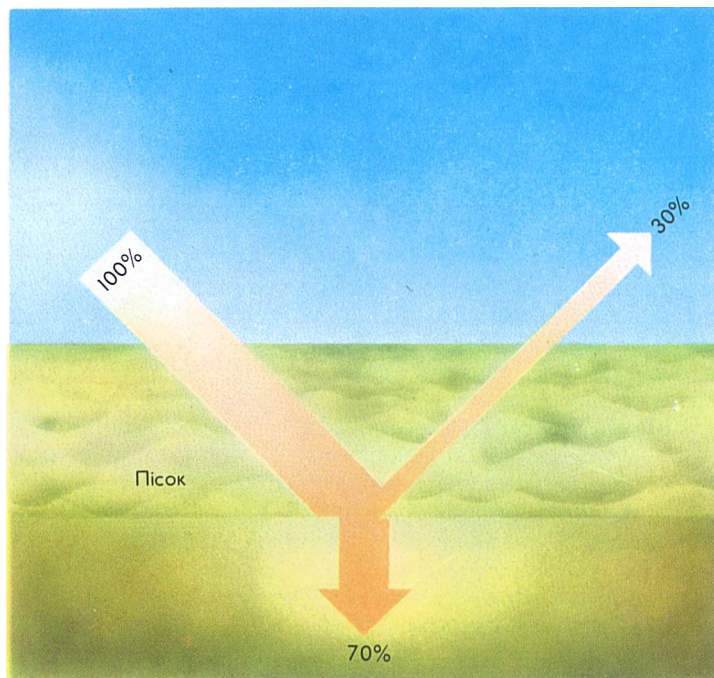


Рис. 7 б Відбивання й поглинання сонячних променів поверхнею піску та води.



Нагріта Земля випромінює інфрачервоні промені, які інтенсивно поглинаються атмосферою. Ця здатність атмосфери затримувати теплове випромінювання і охороняти Землю від швидкого охолодження обумовлює оранжерейний (парниковий) ефект, завдяки якому температура повітря біля поверхні Землі в цілому для земної кулі дорівнює $+16^{\circ}\text{C}$.

нута енергія витрачається не тільки на нагрівання земної поверхні, а й на випаровування води, на ріст рослин тощо. Найбільшу здатність поглинати сонячну енергію має вода. Вода морів і океанів поглинає близько 95% сонячної енергії, яка падає на їх поверхню, тобто альbedo води становить всього 5%.

Діставши певну частку сонячної енергії, земна поверхня і атмосфера, як і будь-які інші нагріті тіла, випромінюють енергію: поверхня — в бік атмосфери, а атмосфера — в усі боки, в тому числі і в міжпланетний простір. Теплове випромінювання земної поверхні є одним з джерел нагрівання атмосфери Землі. Проте основна частина теплоти надходить в атмосферу більш складним шляхом: значна кількість поглинутої поверхнею теплоти витрачається на випаровування води з океанів, морів, озер, річок, боліт тощо. Водяна пара, піднята у вищі шари атмосфери, конденсується там, перетворюючись в хмари й опади. При цьому виділяється велика кількість теплоти. Одночасно з втратою теплоти на випромінювання земна поверхня дістає певну її кількість від випромінювання самої атмосфери.

Процес надходження й витрачання сонячної енергії, нагрівання й охолодження всієї системи атмосфера — Земля описується її тепловим балансом (рис. 8). Якщо прийняти річне надходження сонячної енергії на верхню межу атмосфери за 100%, то баланс сонячної енергії виглядатиме так: відбивається від Землі й повертається назад в космічний простір 42% енергії, причому 38% відбивається атмосферою і 4% — поверхнею Землі. Решта (58%) поглинається: 14% — атмосферою і 44% — ґрунтом.

Нагріта поверхня Землі віддає назад всю поглинуту нею енергію. При цьому випромінювання енергії землею поверхнею становить 20%, на нагрівання повітря й випаровування вологи витрачається 24% (5,6% — на нагрівання повітря і 18,4% — на випаровування вологи). Ось так виглядає розподіл енергії за статтями балансу.

Ми розглянули загальні характеристики теплового балансу земної кулі в цілому. Насправді ж для різних широтних поясів, для різних поверхонь тепловий баланс буде далеко не однаковим. В результаті цього й температура повітря в різних місцях атмосфери виявляється різноманітною.

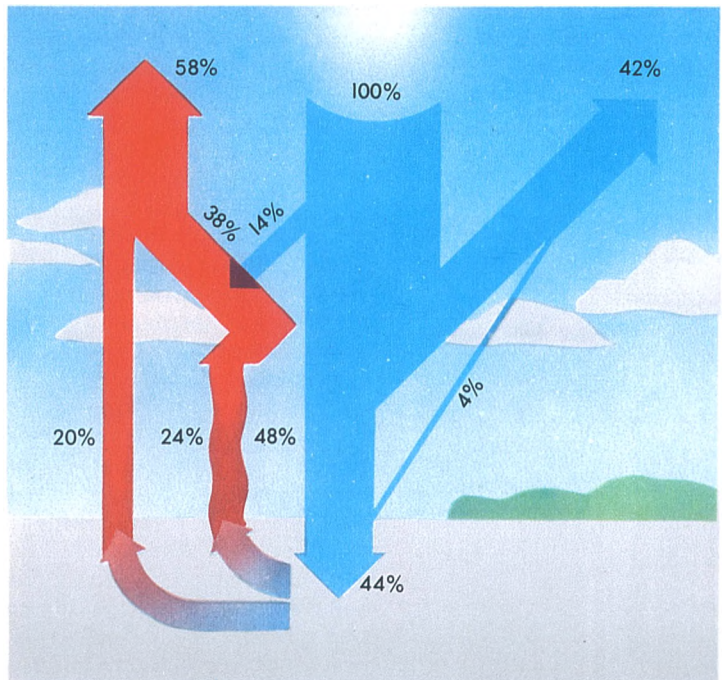
Температура повітря в різних місцях земної кулі залежить від характеру її поверхні. Нерівна поверхня нагрівається сильніше, ніж гладенька. Вдень в долинах повітря нагрівається як від дна, так і боків до-

лини, мало перемішується вітром і тому температура буває тут вищою, ніж над пагорбами, де вітер вільно перемішує повітря. Вночі охолоджене випромінювання повітря вершин пагорбів стікає в долини, збільшуючи там загальне охолодження від випромінювання ґрунтом. Досить істотно на здатність поглинати теплову енергію ґрунтом впливає його колір, ступінь шорсткості тощо. Зоране поле нагрівається сильніше, ніж покриті озиминою, піщаний берег річки — сильніше, ніж вкритий кущами, тощо. Суша нагрівається швидше, ніж вода, і швидше охолоджується.

Крім того, температура повітря в різних місцях земної кулі значною мірою залежить від перенесення теплоти морськими й повітряними течіями. Так, одна з найбільших течій Тихого океану — тепла течія Куро-Сіво приносить в Японське море велику кількість теплоти й зумовлює теплий клімат Японських островів.

Поруч з Куро-Сіво, але в протилежному напрямі, проходить холодна течія Ойя-Сіво. Відома в Атлантичному океані тепла течія Гольфстрім виходить з Мексиканської затоки з температурою води вище $+28^{\circ}$. Завдяки цій течії клімат Північно-Західної Єв-

Рис. 8 Схема теплового балансу земної кулі.



ропи значно тепліший, ніж будь-якого іншого місця земної кулі під тими ж широтами. Якби не існувало цього, безперервного й потужного потоку теплої води, то весь Скандинавський півострів вкрився б кригою.

Істотно впливають на температуру повітря й повітряні течії, які постійно існують в атмосфері. Нерідко ми чуємо по радіо чи читаємо в газетах, що різке похолодання в центральних і південних областях Європейської частини Радянського Союзу пояснюється проникненням далеко на південь великих мас холодного повітря або що різке потепління викликане надходженням теплого повітря з району Середземного моря.

На основі розрахунків надходження й витрат сонячної енергії метеорологи прагнуть пояснити особливості складної циркуляції атмосфери й гідросфери, дослідити тепло- й водообіг та багато інших процесів і явищ, які відбуваються у повітряній та водяній оболонках земної кулі.

СТИХІЯ АТМОСФЕРНИХ РУХІВ

ЗАГАЛЬНА ЦИРКУЛЯЦІЯ АТМОСФЕРИ

Земна поверхня нагрівається Сонцем нерівномірно, і саме ця нерівномірність надходження сонячної енергії в різних широтних зонах земної кулі (більше — на екваторі і в тропіках, менше — в високих широтах) породжує атмосферну циркуляцію великого масштабу, яка шляхом переносу величезних мас холодного й теплого повітря вздовж меридіанів вирівнює температурну різницю між високими і низькими широтами Землі. Крім того, навіть в одній і тій же широтній зоні сонячна радіація засвоюється неоднаково. Материки й океани, ліси й пустелі, засніжена й позбавлена снігу поверхня землі неоднаково поглинають і відбивають сонячну радіацію. В результаті виникає циркуляція малого масштабу: наприклад, сезонні вітри між материками й океанами, морем і берегами, горами й долинами тощо.

Нічого цього б не було, коли б усі частини поверхні діставали однакову кількість сонячного тепла. Стихія атмосферних рухів породжена «несправедливістю» в розподілі на Землі цього основного її «блага».

Чому ж і як виникають вітри, які в одних районах бувають північними, в інших південними, західними чи східними, де стійкими, а де різко змінними? Найпримітивніше уявлення про те, чому виникають вітри, можна дістати, якщо пригадати, як опалюються наші будинки, наприклад за допомогою радіаторів.



Циркуляційні зони, що оточують земну кулю, однорідніші над океанами, ніж над сушею, тому що поверхня океанів більш однорідна, ніж поверхня суші. Внаслідок неоднакового співвідношення площ континентів і океанів у північній півкулі циркуляція атмосфери складніша, ніж у південній.

Радіатори не випадково встановлюють під вікнами: холодне повітря від вікон, як більш густе, опускається вниз до радіаторів і нагрівається, а витіснюване ним тепле й більш легке поширюється по кімнаті й піднімається вгору. Так виникає елементарна циркуляція теплого й холодного повітря.

Дещо схожа циркуляція повітря виникає й на Землі. Нагрітий приземний шар повітря в екваторіальній смузі піднімається вгору й рухається до полюсів, створюючи біля екватора постійну зону низького тиску, а на місце теплого повітря від полюсів припливають холодні маси повітря. Така циркуляція могла б виникнути на Землі, коли б вона була однорідною і до того ж ще й не оберталася навколо своєї осі. В північній півкулі холодне повітря сповзало б до півдня й біля поверхні Землі постійно дули б північні вітри, а витиснене ним тепле повітря з екваторіальних широт піднімалося б угору й змішувалося у високих широтах, тобто вітер виявився б південним. Коли б Земля була гладенькою, нерухомою кулею, то атмосфери північної і південної півкуль вели б себе як окремі циркуляційні зони (рис. 9). Проте планета наша аж ніяк не гладенька і не стоїть на місці. Земля обертається, і щойно намальована ідеальна схема через інерцію повітряних мас ближча до замкнених просторових спіралей, ніж до плоских овалів. Проста система циркуляції насправді набирає форму трьох циркуляційних зон.

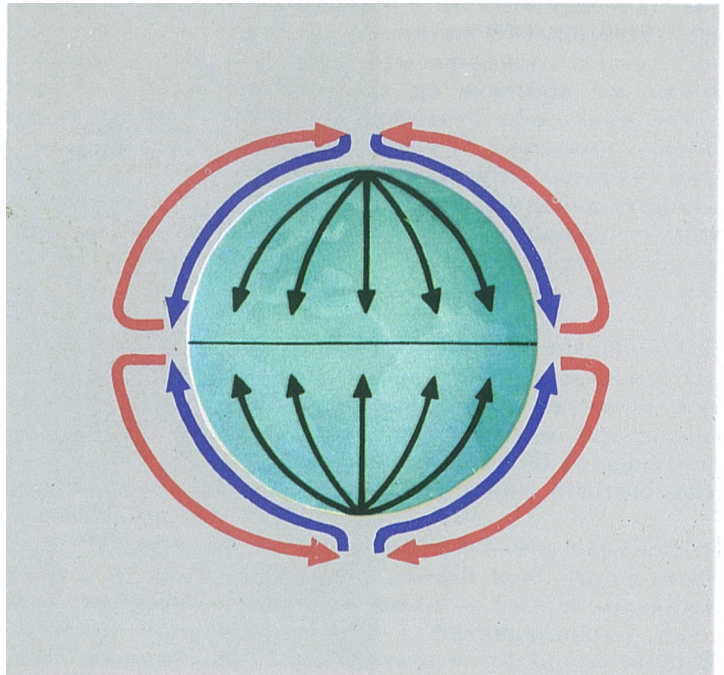
Під впливом обертання Землі повітряні потоки відхиляються в північній півкулі вправо, а в південній — вліво. Це можна пояснити так. Кожна часточка поверхні Землі в районі екватора внаслідок її добового обертання мчить в просторі з швидкістю близько 464 м/с. В міру наближення до полюсів часточка (разом з поверхнею Землі) за добу описує менше коло (зменшується довжина паралелей), і тому на широті, наприклад, Києва часточка поверхні Землі мчить в просторі з меншою швидкістю. Ще ближче до полюсів шлях, пройдений часточкою за добу, ще зменшується. В цьому обертанні бере участь і атмосфера Землі. Тепер уявімо собі, що часточка повітря з районів екватора, де швидкість обертання її разом з Землею була більша, починає переміщуватися вздовж меридіана в напрямку до північного полюса. Чим північніше, як ми вже знаємо, тим меншою стає відносна швидкість руху повітря з заходу на схід. Тому часточка, яка надходить сюди з екваторіальною (більшою) швидкістю обертання, буде обганяти повітря, що обертається тут повільніше, і відхилятиметься

ся по відношенню до меридіана вправо. Те ж саме має місце, наприклад, при запусках ракет чи стрільбі з гармат. Якщо запустити ракету в напрямі від екватора до полюса, то вона опуститься на землю правіше, тобто східніше цього меридіана.

Якщо ж часточка повітря рухається від полюса на південь, то вона щоразу попадає в райони із зростаючою лінійною швидкістю руху атмосфери і тому «відстає» від меридіана, тобто повертається вправо від початкового напрямку руху, але на цей раз вже на захід, оскільки рух спрямовано з півночі на південь. Утворювані таким чином вітри північно-східного напрямку в північній і південно-східного в південній півкулі називаються пасатами.

Нагріте над екваторіальною зоною вологе повітря в міру підняття вгору охолоджується, що викликає конденсацію в ньому водяної пари і, як наслідок цього, тропічні зливи. На висоті приблизно 4 км і вище повітря, що піднялося, «розпливається» на північ і південь. Внаслідок обертання Землі ці потоки відхиляються і утворюють антипасати: південно-західний в північній півкулі і північно-західний в південній.

Рис. 9 Циркуляція атмосфери на Землі в припущенні, що Земля однорідна й не обертається навколо своєї осі.

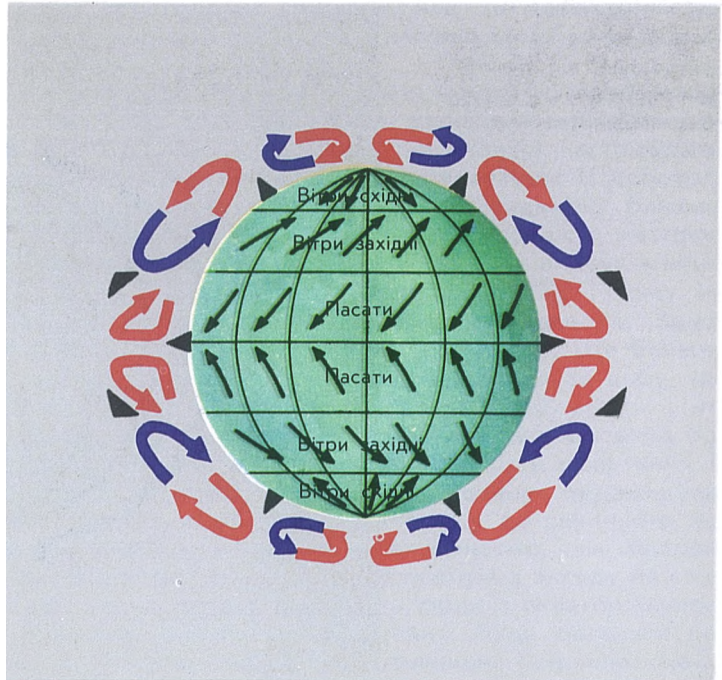


Загальна схема циркуляції атмосфери показана на рис. 10.

В північній півкулі антипасати, які спрямовані спочатку в напрямку до полюса, поступово відхиляються на схід.

Коли ці маси повітря досягають приблизно $30\text{--}35^\circ$ широти, вони починають рухатися майже точно на схід, заважаючи дальшому надходженню повітряних мас до полюсів. Таким чином, на цих широтах відбувається нагромадження повітря, яке ще посилюється при зустрічі антипасатів з потоком повітря з більш високих широт. Нагромадження повітря веде до його опускання і збільшення атмосферного тиску біля поверхні Землі. Так, біля широти $30\text{--}35^\circ$ утворюються в обох півкулях зони високого тиску, які оточують Землю на південь і північ від екватора. Повітря, що опускається до поверхні Землі, сухе й тепле, і саме тому поблизу тропічних зон високого тиску утворилися на суші величезні пустині Африки, Азії, Америки і Австралії. Поблизу поверхні Землі частина повітря, що опустилася, прямує до полюсів, породжуючи теплі південно-західні вітри в північній півкулі і північно-західні — в південній. Вони відомі під назвою «пере-

Рис. 10 Схема загальної циркуляції атмосфери.



Субтропічну зону високого тиску з її слабкими вітрами називають часто «кінськими широтами». Ця назва виникла в епоху освоєння Індії й Америки. Армади парусників часто подовгу дрейфували в цих підступно тихих широтах, тому доводилося економити їжу і питну воду. Першими жертвами ставали коні, яких викидали за борт.

важаючи західні вітри». Друга частина повітря прямує до екватора, утворюючи північно- і південно-східні пасати. Ці пасати стикаються біля екватора і в значній мірі взаємно знищуються, тому в зоні їх зустрічі вітри звичайно слабкі й не постійні за напрямом, що послужило основою для назви цієї зони екваторіальною зоною затишку.

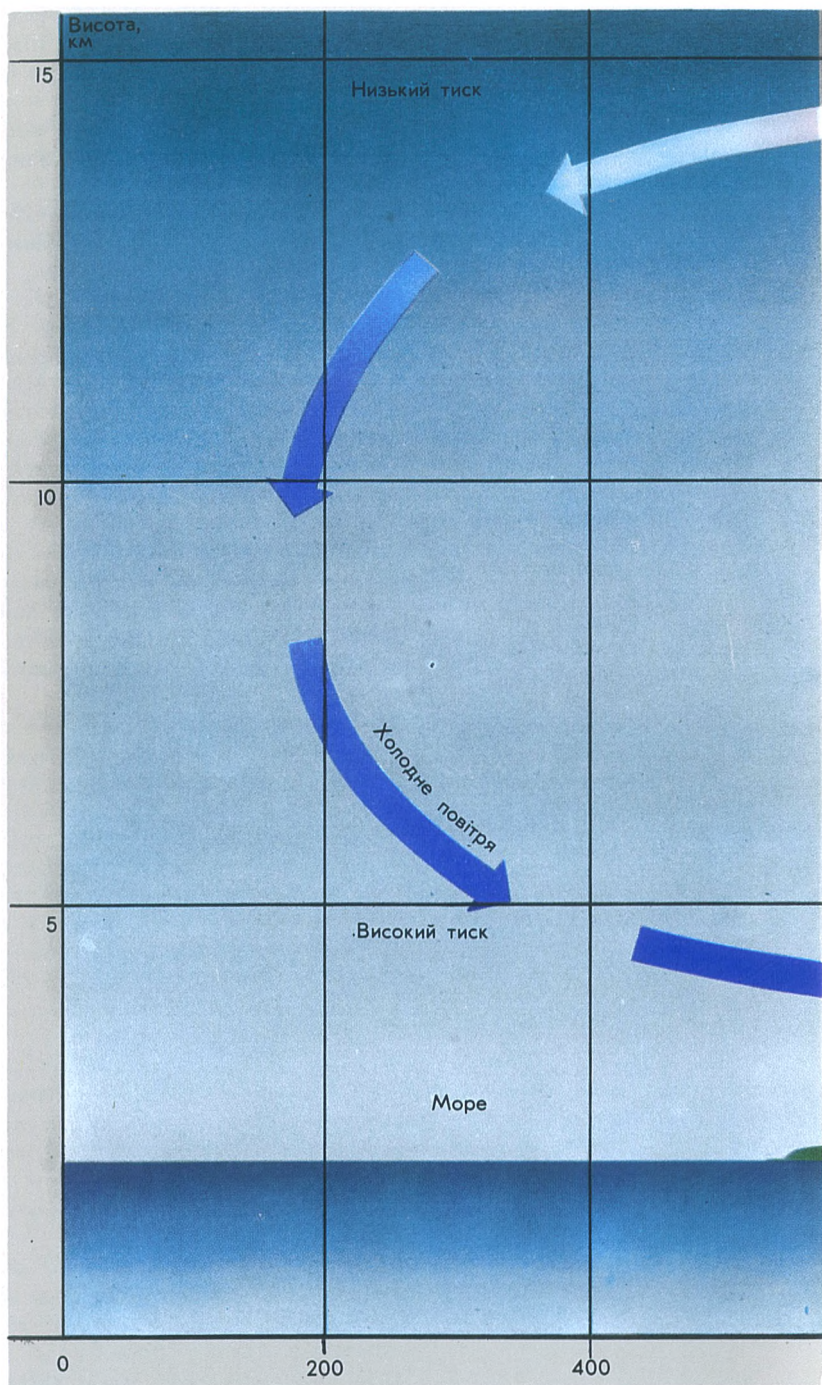
Таким чином, на межах областей високого тиску, звернених до полюсів, у північній півкулі дмуть південно-західні і західні вітри, а в південній півкулі на південній межі зони високого тиску виникають західні і північно-західні вітри. На південь від цієї зони в антарктичних водах розташований суцільний пояс дуже низького тиску. Внаслідок цього північно-західні вітри 40-х і 50-х широт південної півкулі є дуже сталими, сильними, а в холодну для цієї півкулі пору року нерідко досягають ураганної сили. Не випадково ці широти вважаються найбільш неспокійними на земній кулі і носять назву «ревучих сорокових» і «несамовитих п'ятидесятих» широт. Суцільне кільце океану, над яким лютує постійно вітер, охоплює тут всю земну кулю і сприяє виникненню хвиль гігантських розмірів, які досягають висоти 26 м, хвиль, які не мають рівних ніде в інших краях світового океану.

Славиться своїми штормами й Антарктида. Над антарктичним льодовим континентом розміщується постійна зона підвищеного атмосферного тиску. Повітря тут рухається з півдня до екватора, на північ, і, відхиляючись внаслідок добового обертання Землі вліво, створює над Антарктидою (її берегами і частиною антарктичних вод, що обмивають материк) систему дуже сталих і сильних вітрів південно-східного напрямку. В південну полярну зиму швидкість цих вітрів нерідко досягає 200—290 км/год. Ніде в іншому місці нашої планети поблизу поверхні землі такі вітри не спостерігаються.

На північ від зони підвищеного тиску в північній півкулі картина розподілу вітрів менш правильна. Це пояснюється як несиметричністю розташування зон підвищеного й зниженого тиску відносно географічних координат, так і впливом теплої течії Гольфстрім, яка не дає надмірно охолоджуватися повітрю цих широт.

Вітер виконує геркулесову роботу — він переносить грандіозні маси повітря по земній кулі. Адже маса всієї повітряної оболонки землі — багато мільйонів мільярдів тонн — перебуває в безперервному русі. Щоб змусити такі маси рухатися, та ще й іноді з

Рис. 11 Вертикальний розріз літнього мусона.



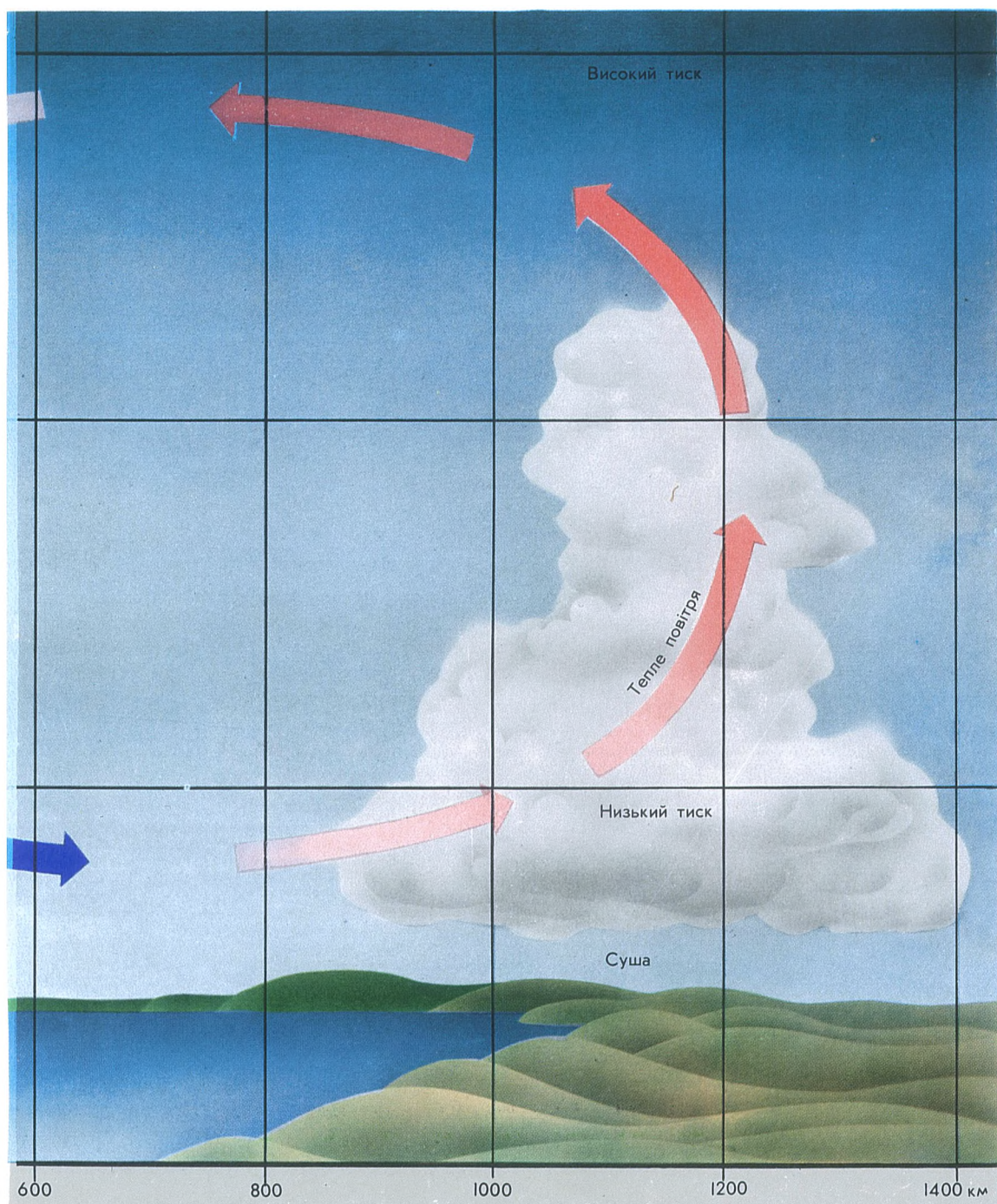
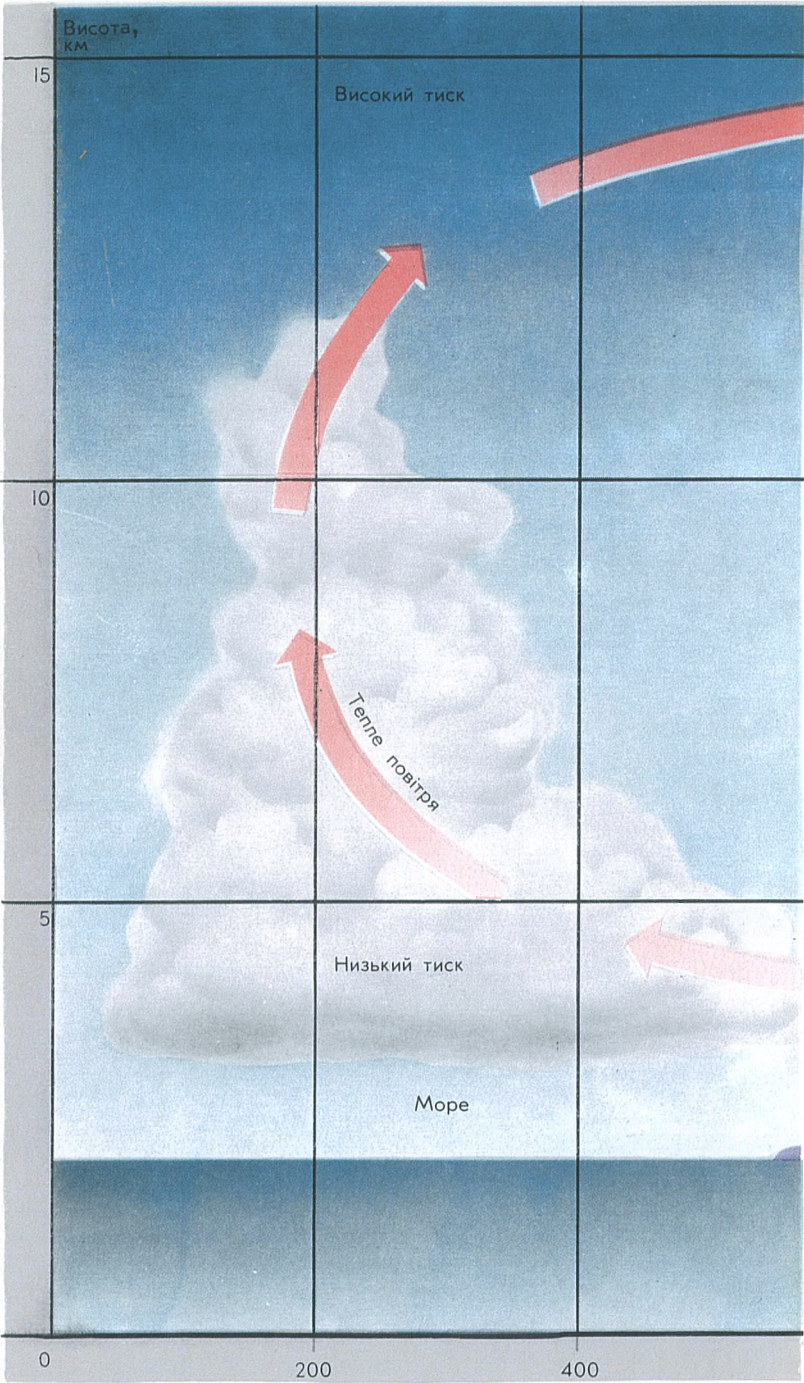
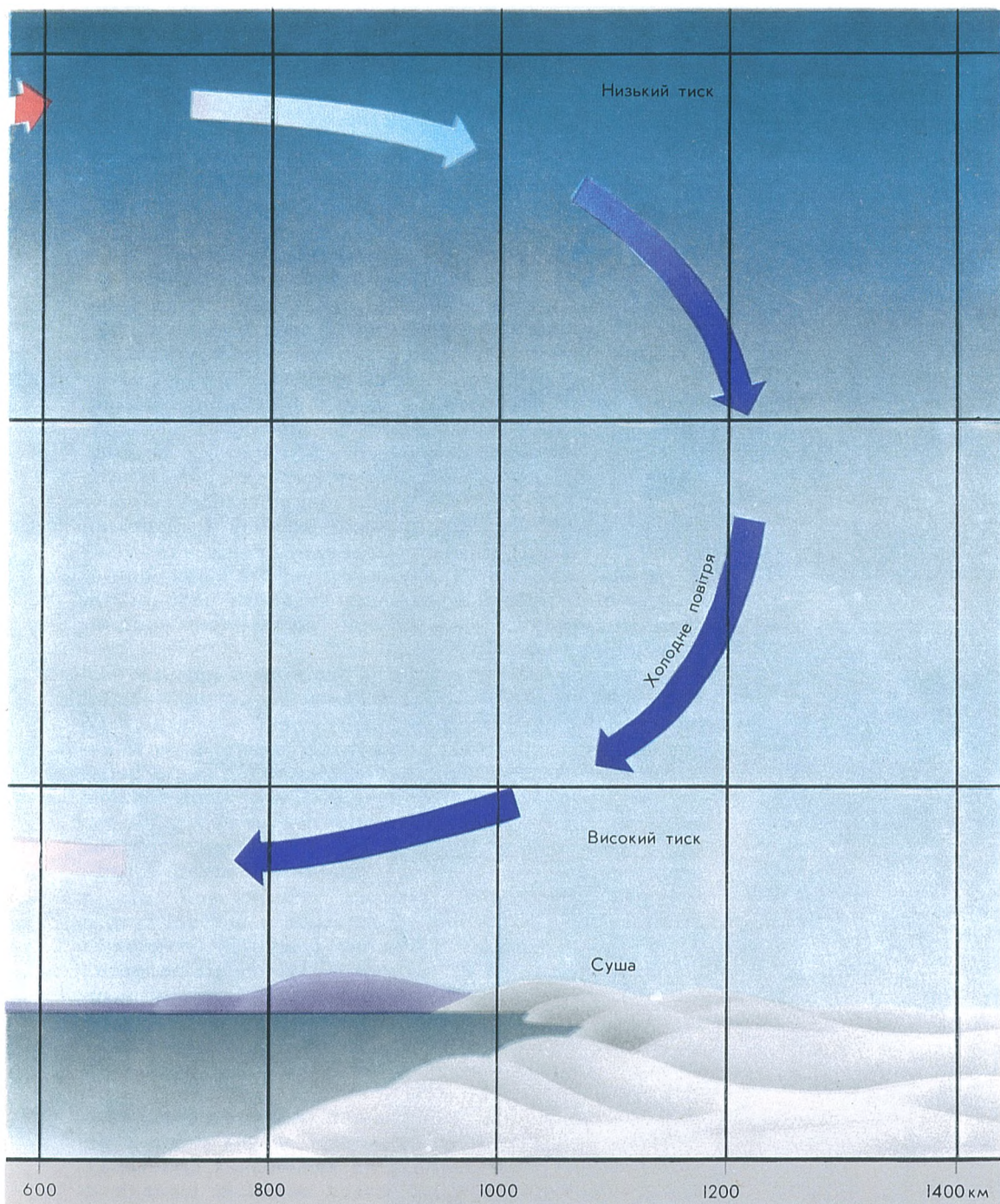


Рис. 12 Вертикальний розріз зимового мусона.





дуже великими швидкостями, необхідна грандіозна енергія. За підрахунками вчених, енергія вітру в три тисячі разів перевищує енергію вугілля, що спалюється на земній кулі. І постачає на Землю цю енергію Сонце.

ВІДОМІ ВІТРИ Й УРАГАНИ



Мусони мають велике значення для сільського господарства, оскільки ведуть до чергування дощових і посушливих періодів, викликаних зміною напрямків повітряних течій.

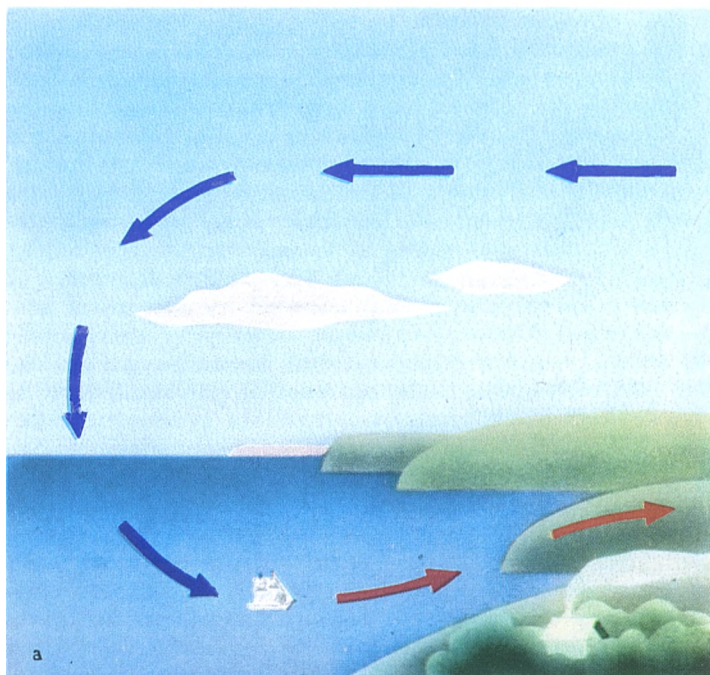
Розглянута нами схема загальної циркуляції атмосфери в значній мірі є ідеалізованою. Для спрощення ми на певний час залишили поза увагою ту обставину, що Земля — не гладенька однорідна куля, що моря й суша нагріваються по-різному, що на Землі є гори. А гори — не така вже й дрібна деталь. Про них забувати не можна. Взяти, наприклад, Уральський хребет. Він не дуже високий. І все ж він, ніби перегородка, затримує теплі потоки, що йдуть через нашу країну з заходу на схід. Отже, й Уральський хребет частково винен у тому, що в Сибіру взимку холодно.

Внаслідок різниці температур континентів і океанів, наявності гір і долин тощо на загальну циркуляцію накладаються ще деякі менші циркуляції. Особливо значними є ці зміни в північній півкулі. В південній півкулі материки займають невелику площу, і тому тут збурення загальної циркуляції бувають незначними. Розглянемо найбільш важливі складові частини загальної циркуляції атмосфери, обумовлені неоднорідністю земної поверхні.

В теплу пору року поверхня материків нагрівається сильніше, ніж вода. Це приводить до досить значної різниці в тиску атмосфери над сушею й морем і до виникнення особливої циркуляції повітря, яку називають мусонною. Походить ця назва від старогрецького слова «маунсін» (сезонний). Дійсно, для мусонів характерний яскраво виражений сезонний хід. Літом, коли сильніше нагрітий суходіл, з моря дме вологий вітер — літній мусон, який приносить щедрі опади (рис. 11). Взимку ж, навпаки, утворюється потік з холодної суші на більш тепле море у вигляді сухого й холодного зимового мусону (рис. 12). У верхніх шарах на висоті від 500 м до 2 км виникають зворотні, компенсаційні потоки повітря, які називають антимусонами. Мусон є типовим явищем для початку літа, коли суходіл нагрітий сильніше, ніж море, й тому «втягує» більш холодні маси холодного морського повітря.

Завдяки тривалому збереженню великої різниці температур між суходолом і морем значна різниця атмосферного тиску виникає на величезних просторах. Тому мусони характеризуються великою швидкістю

Рис. 13 Схе-
ма
виникнення бриза:
а — бриз морський; б — бриз
береговий (стрілками показано
циркуляцію повітря).



Різниця температур суші й моря вдень більша, ніж вночі. Тому нічний береговий бриз слабкіший за денний морський. Береговий бриз сповільнює зниження температури над сушею і тому уповільнює охолодження повітря на узбережжі увечері.

вітру й далеко поширюються як в глиб материка, так і над відкритим морем. Особливо сильний мусон спостерігається в Південному Китаї і на берегах Індійського океану — так званий індійський мусон, що виникає завдяки існуванню великої поверхні суші азіатського континенту. Мусонні вітри зустрічаються також на узбережжі Чорного моря. Взимку мусони дмуть на північному узбережжі Західної Європи, біля берегів морів вздовж траси Північного морського шляху і на узбережжі Далекого Сходу.

В меншому масштабі явище, подібне до мусонних вітрів, спостерігається на берегах морів. Внаслідок різниці температур суші й води морів виникають періодичні вітри місцевого значення — бризи. Нагріте повітря над сушею розширюється й піднімається вгору, а на його місце з боку моря припливає більш холодне повітря. Приплив повітря на сушу і її нагрівання створюють зони високого тиску в верхніх шарах повітря над сушею. Це викликає вгорі зворотний потік повітря (з суші до моря). Виникає постійний кругообіг повітря. Так літнього ясного дня на березі моря виникає прохолодний вітер — морський бриз (рис. 13, а). Вночі суша охолоджується швидше, ніж вода, і холодне повітря над нею рухається в бік теплішої в цей час водяної поверхні. Так виникає береговий бриз (рис. 13, б).

За своєю природою бриз нагадує мусон, але перший за масштабами значно менший і охоплює лише невелику смугу материка й моря вздовж берега. Так, на узбережжі Балтійського моря денний бриз може проникати в глиб суші на 20—30 км, а нічний поширюється кілометрів на десять у відкрите море. Денний бриз може досягати сили свіжого чи навіть сильного вітру, але нічний бриз звичайно дуже слабкий. Бризи можуть спостерігатися також на берегах великих озер і широких рік.

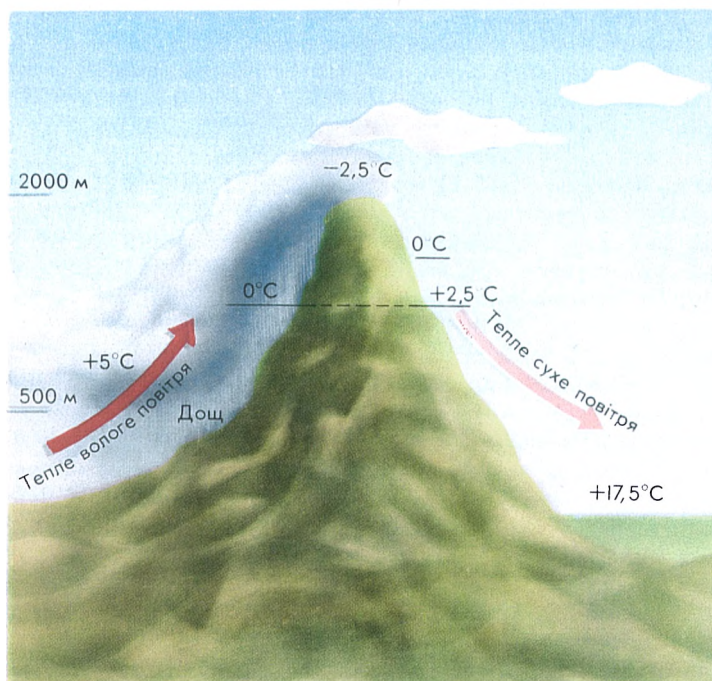
В теплу погоду часто спостерігаються вітри, що вдень дмуть з ущелин угору, а вночі, навпаки, вниз по схилах гір. Це обумовлено тим, що вдень повітря в долинах нагрівається як від дна долини, так і від її схилів і виявляється теплішим за вільну атмосферу на тому ж рівні. Нагріте повітря піднімається з долини по схилах гір і утворює вітер, який виникає вранці, а вдень дме з долини вгору по схилах. Такий вітер називається долинним. Вночі холодний потік повітря стікає по гірських схилах в долину гірським вітром. Ці вітри звичайно не досягають великої швидкості, хоча взимку можуть досягати значної сили, особливо у вузьких долинах.

ФЕН



Познайомимося ще з одним, досить своєрідним вітром — феном, сухим, теплим вітром, що дме з гір. Фен виникає там, де повітряні маси перевалюють через гори і з великою швидкістю скочуються в долини (рис. 14). Повітряний потік, зустрічаючи на своєму шляху гірський хребет, піднімається по його схилах і, попадаючи в умови все більш низького тиску, охолоджується. Коли повітря досягає рівня, на якому воно охолоджується настільки, що починається конденсація водяної пари, то утворюються хмари, а потім і опади. Піднімаючись вище, вологе повітря завдяки розширенню охолоджується приблизно на півградуса на кожні 100 м підняття. Залишивши вологу на схилах, повітря досягає вершини гори вже сухим. Коли ж повітря опускається з гори сухим, то його нагрівання внаслідок стискання відбувається більш інтенсивно (на 1° на кожні 100 м), ніж охолодження при підйманні. Виходить, що, переваливши через гори, повітря не тільки позбулося на повітряних схилах запасів вологи, а ще й нагрілося до температури, вищої за ту, яку воно мало до того, як перевалило через гори. Це й є причиною того, що з гір дме дуже теплий, сухий вітер — фен. Вологість

Рис. 14 Схема виникнення фена.



повітря може бути такою низькою, що вона впливає на самопочуття людини, викликаючи в неї надмірне роздратування.

Таким чином, на тому боці гори, де повітряні маси підіймаються по схилах угору, випадають рясні дощі. Але оскільки при типово феновій погоді повітряні маси дуже теплі і в процесі підймання досягають висоти приблизно 8 км, то за один-два дні через гори переноситься на цій висоті з феном така кількість льодових хмар, що й на протилежному боці гори настає хмарна погода з опадами. Отже, фен завжди є провісником настання дощової погоди.

Особливо часто фен спостерігається на північній окраїні Альп або ж в їх передгір'ях. Поблизу Інсбрука фен часто називають ще турецьким вітром. Вітри типу фену зустрічаються і в інших місцях земної кулі: над південним заходом Чорного моря, в Кутаїсі, Ташкенті, Гренландії, Китаї, Японії тощо. На півдні Туркменистану гарячий вітер типу фену називають гармсіль. В скелястих горах Америки індіанці називають цей вітер чінук — «пожирач снігу», тому що навесні, звалиюючись з гір, чінук викликає випаровування снігу, залишаючи сухою землю й траву.

В південній Каліфорнії сухий теплий вітер називають Санта-Анна.

НЕСАМОВИТА БОРА

В старогрецькій міфології крилатий бог північного вітру називався Бореєм. Звідси й пішла назва одного з вітрів — бора. Бора часто «гостює» в гірських країнах, головним чином поблизу узбережжя. Давно відома бора (так звана «немере») на березі Адриатичного моря — поблизу Трієста, в Далмації. У Франції її називають інакше — «містраль». В Радянському Союзі добре відомі новоземельська бора (так званий «мисливський вітер»), бори на узбережжі Байкалу (сарма і харахаїха), на кавказькому узбережжі Чорного моря в районі від Геленджика до Анапи. Але особливо жорстокою буває бора в Новоросійську. Звичайно вона лютує взимку чи восени. Швидкість вітру часто перевищує 40 м/с, іноді досягаючи 60 м/с. Під час бори температура взимку нерідко опускається нижче —20° С.

Розглянемо коротко механізм виникнення новоросійської бори. В холодні місяці року внаслідок різниці температур між поверхнею моря і поверхнею материка атмосферний тиск над Чорним морем знижується (утворюється циклон), а на північ від Чорного моря (над Кубанською низиною) тиск підвищується (утворюється антициклон). Виникненню ураганної



В Новоросійську
в середньому 32 дні на
рік вітер дме
з швидкістю понад
15 м/с, а 156 днів на
рік — з швидкістю понад
10 м/с.
Нерідко вітер
тут досягає швидкості
60 м/с.

сили бори в районі Новоросійська сприяє розташування тут гірських хребтів. Гірський хребет Варада — продовження Кавказького хребта — тягнеться тут паралельно узбережжю (вздовж північно-східного берега Цемеської бухти), піднімаючись на 400—650 м, і стає греблею на шляху холодних повітряних мас, які йдуть з Кубанської низовини до Чорного моря. Холодне повітря нагромаджується в котловані перед хребтом, внаслідок чого атмосферний тиск тут зростає. А над морем тиск залишається нижчим. Тепле повітря піднімається над морем, виникає сильна течія, яка «засмоктує» повітря з материка. В центральній частині хребта, якраз над Цемеською бухтою, знаходиться Мархотський перевал. Він служить ніби воротами для північно-східного вітру в Новоросійськ. Висота його — 430 м над рівнем моря. Поки відбувається нагромадження холодного повітря за горами, дві різні повітряні маси мирно співіснують по сусідству, зовні нічим не проявляючи свого «антагонізму». Тим часом циклон над Чорним морем «відсмоктує» тепле повітря з Цемеської бухти. І ось настає момент, коли рівновага повітряних мас по ту й іншу сторони хребта вже не може залишатися стійкою. І тоді вже починають клубочитися хмаринки над хребтом Варада...

Перші сильні пориви холодного вітру... Ці «розвідники» північно-східного вітру швидко витісняють тепле повітря, що застоялося, з бухти. Дим від труб цементних заводів вже стелється в бік моря. Опускаючись все нижче, він досягає поверхні води, з якої піднімаються смерчі водяних бризок.

Густе свинцево-сіре пасмо хмар над Мархотським перевалом ніби завмирає. Потік холодного повітря з гір посилюється з кожною хвилиною, і ось уже вітер ураганної сили накидається на спустілі вулиці міста й причали порту. У бухті здійснюються гігантські хвилі.

З борою не можна жартувати. Взимку, коли бора звичайно в повній мірі проявляє свій наперзний характер, вона може заподіяти багато неприємностей. Траплялось, що бора скидала з рейок навантажені вагони, рвала швартови (троси), якими кораблі кріпляться до пірса, й викидала їх на берег. В грудні далекого 1899 року бора засипала місто снігом, а будинки на набережній покрилися льодом товщиною близько... двох метрів! Деякі кораблі, покрившись льодом, затонули, інші були викинуті на берег. До речі, льодовий подих бори вже не відчувається на відстані кількох кілометрів від берега і саме тому

звичайно кораблі поспішають при перших поривах вітру вийти у відкрите море.

Чи не можна знайти способи приборкання руйнівної бори? Розповідають, що в свій час англійські інженери пропонували царському уряду знищити бору. Вони бралися даром знести хребти поблизу Новоросійська. Треба думати, що крім гуманних цілей автори цієї пропозиції переслідували й корисливі. Справа в тому, що англійці просили дозволу вивезти все, що буде знесено. А відомо, що породи, з яких складається хребет Варада, є дуже цінною сировиною для виробництва цементу.

Пізніше пропонувалися й інші проекти боротьби з борою. Зокрема, пропонувалося прорити під Мархотським перевалом горизонтальні тунелі, які б не давали холодному повітрю нагромаджуватися в долині за хребтом, діючи як «запобіжні клапани». Пропонувалося побудувати на Мархотському перевалі навіс з трампліном, спрямованим в бік міста. Таким способом мріяли «перекинути» через місто холодне повітря і тим самим уберегти його від руйнівних дій ураганного вітру, спрямувавши лють вітру в пустинні, малонаселені райони узбережжя. Пропонувалося також підігрівати повітря за хребтом на досить великій площі з метою руйнування потоку північно-східного вітру, що рухається до хребта, конвекційними течіями.

Необхідність боротьби з борою і в наш час залишається актуальною, тому вчені й винахідники продовжують працювати над проектами приборкання цього вітру.

МІСЦЕВІ ВІТРИ

Існує багато місцевих вітрів, які несуть ту чи іншу погоду і мають назви, пов'язані з географічними особливостями місцевості. В Андах, наприклад, існує сильний перевальний вітер — хунта, а в Аргентині дме холодний памперо. Памперо — сухий вітер, а суракон (в Болівії) приносить дощі. Широко відомий теплий вітер сірокко в Італії, але в Ізраїлі, Аравії й Месопотамії його знають як сухий вітер пустині. В Середній Азії дме пекучий з пилом вітер афганець, який в Афганістані називають кара-буран, що означає «чорна буря». Дме афганець день, два, а іноді й чотири доби підряд. На Іранському нагір'ї поганой слави зажив так званий «вітер ста двадцяти днів». Він починає дути наприкінці травня чи на початку червня й дме з північного заходу протягом 120 днів безперервно, стихаючи лише на ніч.

Сильні сухі вітри з піском і пилом особливо часто проносяться над аравійськими й африканськими пу-



стинями. Серед них особливе місце посідає самум, місцевий вітер Аравії й Монголії. Слово «самум», або «сам», перекладається з арабського як «отруйний». Коли дме самум, температура повітря досягає $55\text{—}60^\circ\text{C}$. Хмара пилюки закриває горизонт. Від спеки і задухи люди втрачають свідомість, а іноді й помирають. Єдине, що відрізняє самум від багатьох інших ураганів пустині,— його дивовижна короткочасність. Він дме всього 15—20 хв. А ось знаменитий ураган хамсин, що лютує в Сахарі, означає в перекладі з арабського «п'ятдесят». Кажуть, що цю свою назву вітер дістав за те, що не перестає дати 50 днів. В Сахарі відомі повітряні бурі мехелі, іріфі, уахдж. На берегах Байкалу схожий з борою вітер звать по-різному: сарма—поривчастий вітер, що вилітає з долини річки Сарми на простори Байкалу з швидкістю 40 м/с, харахаїха (від назви однойменної ущелини), культук (від назви затоки), всім відомий баргузин (від назви однойменної річки). Споріднений з борою вітер на півдні Франції, в гирлі Рони, має назву містраль. Виникає цей вітер внаслідок своєрідної будови долини річки, в яку з прилеглих гір стікає холодне повітря. Цей вітер, що дме з півночі, користується сумною славою через руйнування, які він наносить.

ЦИКЛОНИ Й АНТИЦИКЛОНИ



Кому не доводилося чути таємниче слово «циклон»? Слухаючи прогноз погоди по радіо чи телебаченню, ми дізнаємося, що в наступні дні погода зіпсується, тому що насувається циклон. Багато хто думає, що циклон— дуже сильний вітер. Проте це не завжди так. Правда, в циклонах є місця, де вітер досягає великої сили, але в кожному циклоні є й таке місце, де вітру майже немає або навіть панує повний спокій. Циклон — це зона низького тиску, охоплена системою кругових вітрів.

Взагалі кажучи, циклон являє собою грандіозний порівняно плоский атмосферний вихор. Повітря в такому вихорі рухається по спіралі навколо центра, повільно до нього наближаючись. Причиною цього є знижений тиск в центральній частині. Через те, що теплі, вологі маси повітря линуць угору, навколо центра циклону (ока) нагромаджуються хмари високої густини. Це район найдужчих вітрів, швидкість яких може досягати 270 км/год. В північній півкулі обертання повітря відбувається проти годинникової стрілки з деяким завихренням до центра. В антициклонах в північній півкулі, навпаки, повітря обертається за годинниковою стрілкою.

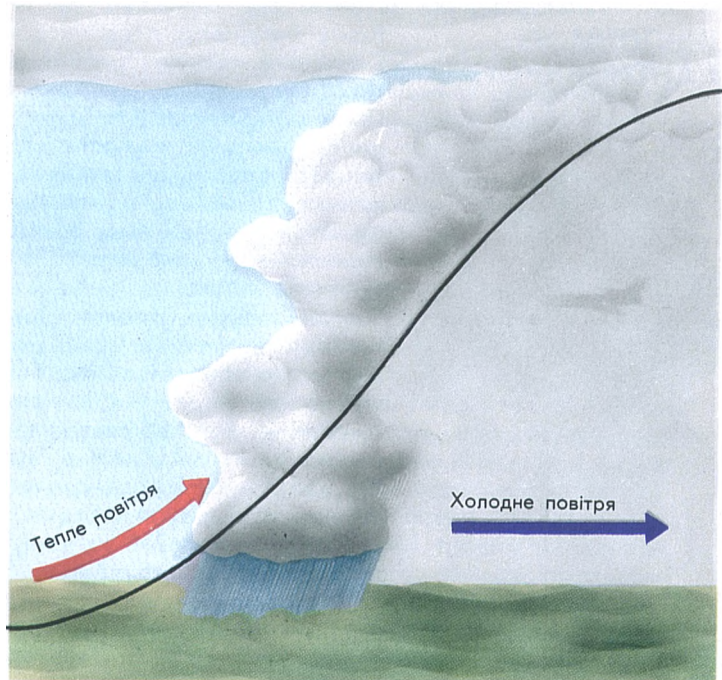
Циклони бувають різних розмірів. Діаметр антициклону може досягати кількох тисяч кілометрів. Великий циклони здатний охопити відразу всю Європейську частину континенту.

Висота цього вихору часто досягає стратосфери, тобто піднімається до висоти 9—12 км. Великі вихори можна виявити на висотах 20—25 км.

В циклонах і антициклонах південної півкулі циркуляція повітря має зворотний напрям: за годинниковою стрілкою в циклонах і проти годинникової стрілки — в антициклонах. Але чому в циклоні й антициклоні маси повітря обертаються? Чому циклони несуть хмарну, дощову погоду, а антициклони — сонячну? Що змушує величезні маси вологого повітря в циклоні підніматися високо вгору? Щоб дістати відповіді на ці запитання, нам потрібно спочатку познайомитися з так званими атмосферними фронтами.

Ми вже говорили про те, що тепле тропічне повітря рухається від екватора до полюсів і на своєму шляху зустрічає холодне повітря помірних широт. Оскільки властивості теплового й холодного повітря різко відрізняються, то природно, що ці маси повітря не можуть відразу змішатися. В місці зустрічі різних повітряних

Рис. 15 Схеми виникнення атмосферного фронту.



Найбільша висота фронтів в середніх широтах 8—12 км. Нерідко вони досягають тропопаузи.

мас виникає чітко виражена смуга — перехідна зона між масами повітря з різними фізичними властивостями, яку в метеорології називають фронтальною поверхнею, чи зоною. При перетинанні цієї уявної поверхні з земною поверхнею утворюється так звана лінія атмосферного фронту. Існування фронтальних поверхонь було встановлено в роки першої світової війни норвезькими метеорологами Вільгельмом Б'єркнесом, його сином Якобом і двома молодими вченими Сульбергом і Бергероном. В той час, як задержувати лідери європейських націй ламали голови над схемами кровопролитних битв, четверо норвежців схилялись над іншими картами — їх схеми відображали хід одвічної війни повітряних течій, теплих і холодних мас повітря. При дослідженні структури циклонів, що перетинають Європу, було встановлено, що надзвичайно важливою для формування погоди є поверхня розділу теплих і холодних повітряних мас в циклоні. Цю розділову поверхню вони назвали фронтом.

Для вчених, що працювали в дні, коли шаленіла війна, було природним ввести в науку саме цей термін.

Рис. 16 Система хмар теплового фронту.

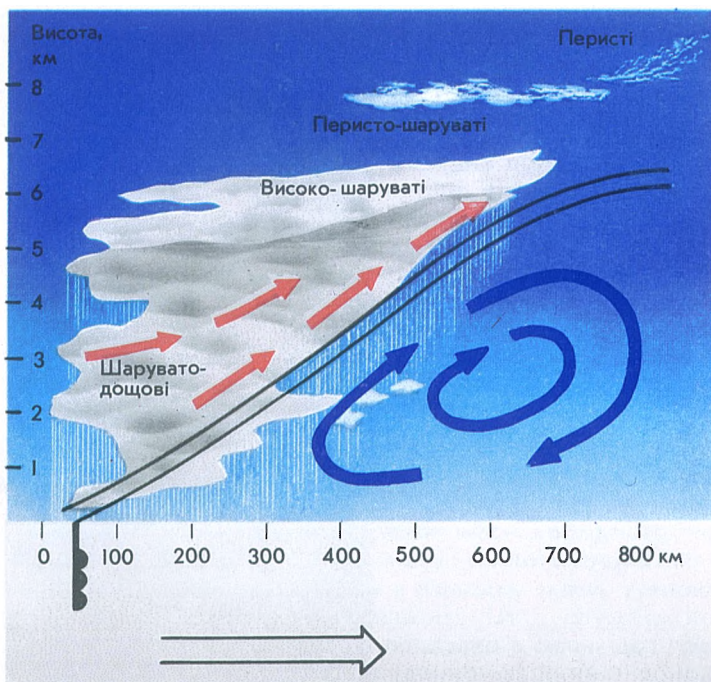
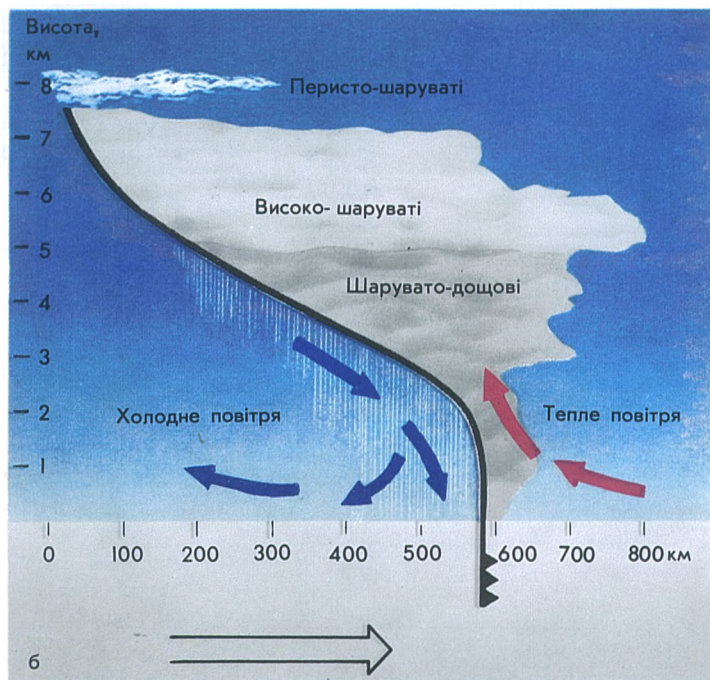
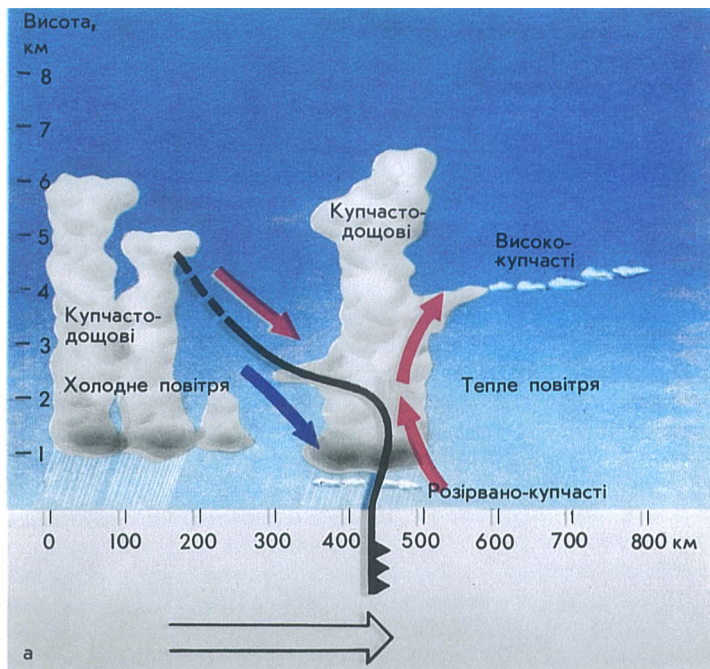


Рис. 17 Хмари холодного фронту:

а — при нестійкому стані повітряних мас; б — при стійкому стані повітряних мас.



В будь-яку пору року атмосферні фронти змінюють погоду там, куди приходять. Кожному фронтові завжди передують особливі погодні умови. Погода в районі фронту і після його проходження залежить від типу цього фронту і характеру зустрічі повітряних мас.

Поверхня, що розділяє маси повітря помірних широт і тропіків, називається полярним фронтом, а повітря помірних широт і арктичне повітря, яке займає центральну частину полярних широт,— арктичним фронтом. Оскільки густина теплого повітря менша, ніж густина холодного, то фронт являє собою похилу площину, яка завжди має нахил в бік холодного повітря під дуже малим кутом до поверхні землі. Холодне повітря, як більш густе, при зустрічі з теплим підпливає під нього і, мов клином, піднімає його вгору (рис. 15). Уявляючи собі фронт між повітряними масами, необхідно завжди мати на увазі, що це— уявна поверхня, нахилена над землею. Лінія атмосферного фронту, яка утворюється при перетинанні цієї поверхні з земною поверхнею, відмічається на картах погоди.

Зустрівшись, холодні й теплі маси повітря продовжують свій рух в бік маси, яка рухалася з більшою швидкістю. Одночасно переміщується і фронтальна поверхня, що розділяє ці маси повітря. В залежності від напрямку руху фронтальної поверхні розрізняють холодні й теплі фронти. Атмосферний фронт називають холодним, коли наступає холодне повітря рухається швидше відступаючого теплого і фронт переміщується в бік вищих температур. Після проходження холодного фронту настає похолодання. Коли тепле повітря наступає і фронт переміщується в бік низьких температур, фронт називається теплим. Після проходження теплого фронту настає потепління.

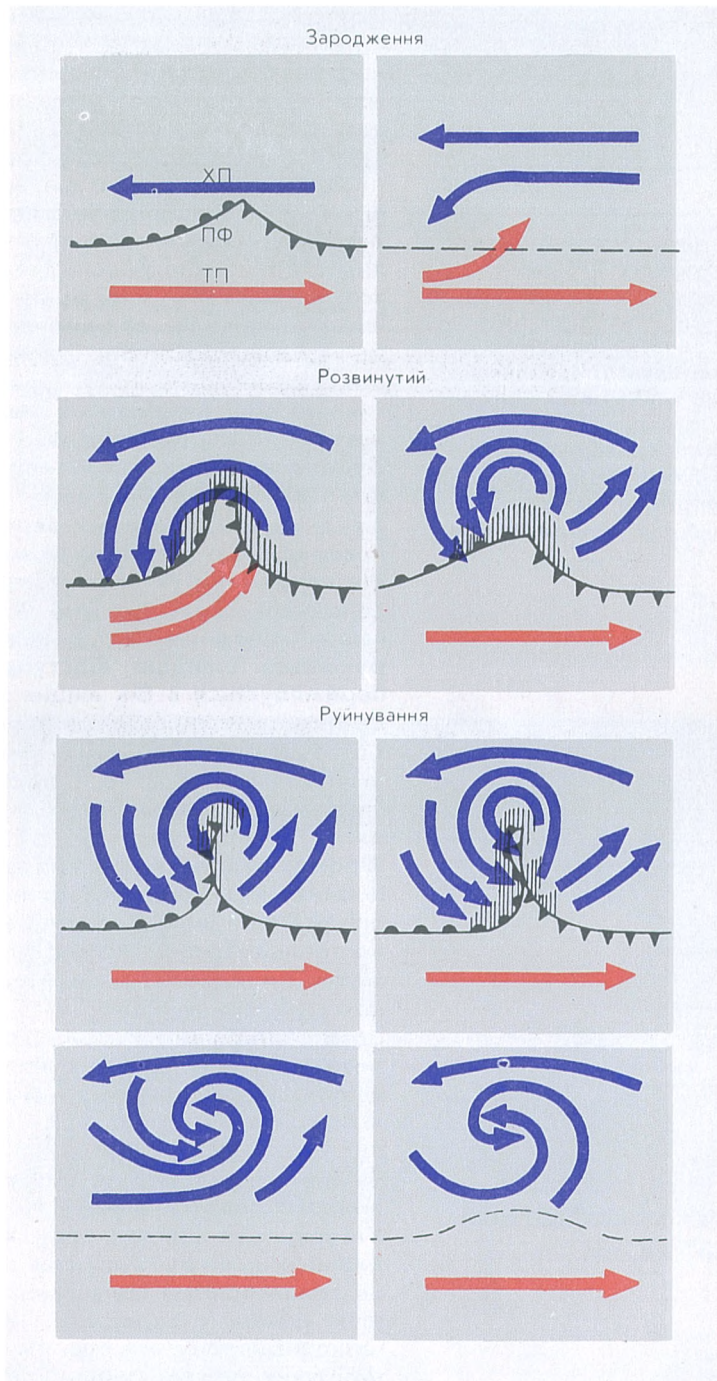
Фронти мають велике значення для погоди, тому що поблизу них утворюються потужні хмари і випадають опади— сніг взимку і дощ влітку. На рис. 16 показано теплий фронт і його систему хмар, а на рис. 17 — хмари холодного фронту при нестійкому (а) і стійкому (б) станах повітряних мас.

Щоб передбачити погоду, треба знати характеристики повітряних мас, місце їх зіткнень, тобто метеорологічні фронти, напрямки і швидкості пересування останніх.

ЯК ВИНИКАЮТЬ І РОЗВИВАЮТЬСЯ ЦИКЛОНИ

На фронтах, тобто в місцях зустрічі теплого й холодного повітря, виникають і розвиваються циклони. Утворюється циклон тоді, коли маса холодного полярного повітря зустрічає масу теплого вологого і це тепле повітря вривається в холодну масу, утворюючи «язык» у холодному фронті. Це і служить початком циклону. На рис. 18 показано в плані два протилежних потоки: теплий південно-західний і холод-

Рис. 18 Стадії розвитку циклону від хвилі до висотного утворення (ХП — холодне повітря; ПФ — полярний фронт; ТП — тепле повітря).





ний північно-східний. Фронтальна поверхня нахилена в бік холодного повітря. Ковзаючи один відносно одного, ці потоки з різними температурами й густинами повітря створюють хвилю на фронтальній поверхні, а отже, і на лінії фронту, яка нагадує собою дугу, звернену угнутістю в бік теплового повітря. Відрізок цієї дуги, розташований в передній, східній частині циклону, є теплим фронтом, західна ж частина, розташована в тилівій частині циклону, є холодним фронтом. У проміжку між теплим і холодним фронтами в циклоні можуть бути й зони хорошої погоди, яка звичайно триває лише кілька годин. Таке прогинання лінії фронту супроводжується зменшенням тиску біля вершини хвилі.

Утворена хвиля, переміщуючись звичайно на схід, північний чи південний схід, деформується. Язик теплового повітря проникає далі на північ, утворюючи добре виражений теплий сектор циклону. В передній частині теплового сектора тепле повітря напливає на більш холодне й густе повітря. При підйманні відбувається конденсація водяної пари і утворення потужної шарувато-дощової хмарності і опадів (дощу чи снігу) обложного типу. Ширина зони таких фронтальних опадів буває влітку близько 300, взимку — 400 км. На відстані кількох сотень кілометрів перед теплим фронтом біля земної поверхні висхідний потік повітря досягає висоти 10 км і більше, на якій волога конденсується, утворюючи льодові кристалики. З них утворюються ряди білих перистих хмар. Таким чином, перисті хмари часто віщують про наближення теплового фронту циклону.

Вологе, тепле повітря теплового сектора, проходячи над більш холодною поверхнею Землі, утворює низьку шарувату хмарність, тумани, мряку. Отже, після проходження теплового фронту настає тепла хмарна погода з південними вітрами, серпанком чи туманом. Потім наближається холодний фронт. Вздовж нього холодне повітря підпливає під тепле й витісняє його вгору. Утворюються купчасто-дощові хмари, проходять грози, зливи, які супроводжуються сильним вітром. Ширина зони опадів холодного фронту становить близько 70 км. Після цього приходить тилова частина циклону, що приносить сильні вітри й прохолодну з купчастою хмарністю погоду. Коли ж холодне повітря віджене на схід тепле, встановлюється ясна погода. На рис. 19 схематично показана погода в циклоні.

Ми розглянули першу стадію циклону (хвильовий циклон). В міру проникнення язика теплового повітря

Теплі fronti
утворюються тоді, коли
тепле й вологе повітря
насувається на
холодніше й сухіше.
Тепле повітря рухається
вгору «клином»
холоднішого повітря,
внаслідок чого
розвивається потужна
хмарність, і випадають
опаді.

в масу холодного він виявляється все більше оточеним холодним повітрям, а тепле повітря витісняється вгору. Це створює в центрі циклону зону зниженого тиску, куди спрямовується навколишнє повітря, набуваючи в північній півкулі під впливом обертання Землі обертального руху проти годинникової стрілки. Саме завдяки обертанню Землі навколо своєї осі вітри в циклонах спрямовані не до центра циклону, а по дотичній до кола, описаного навколо цього центра.

Циклон розвивається, при цьому вітри в охопленій ним зоні посилюються. Але холодне повітря рухається в циклоні з більшою швидкістю, ніж тепле, тому холодний фронт поступово наздоганяє теплий і розміри теплового сектора зменшуються. Нарешті, холодний фронт циклону зливається з теплим, утворюючи так званий фронт оклюзії (рис. 20). Теплового сектора немає більше біля поверхні землі, де залишається лише холодне повітря. Тепле ж повітря піднімається вгору, де воно охолоджується і звільнюється від запасів вологи, які випадають на землю у вигляді дощу чи снігу. Різниця температур холодного й теплового повітря зникає. Циклон починає згасати. Але пов-

Рис. 19 Погода в циклоні.

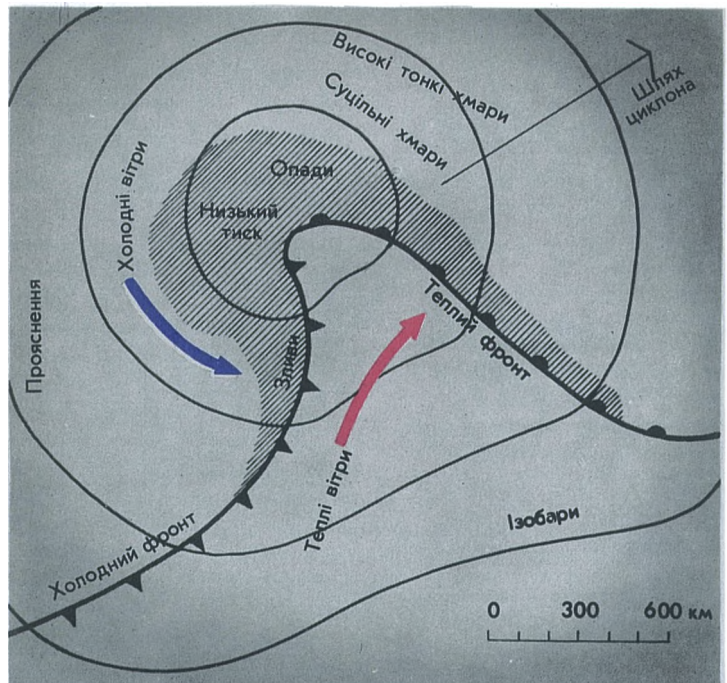
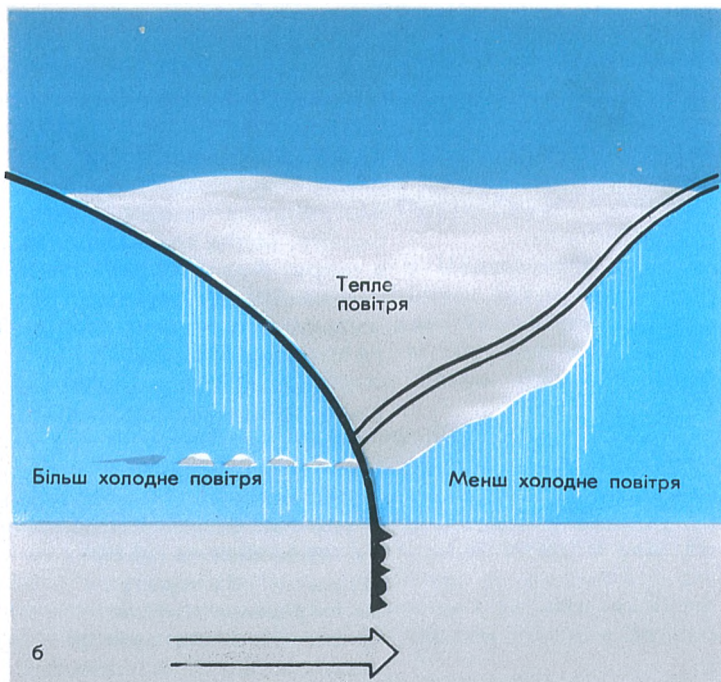
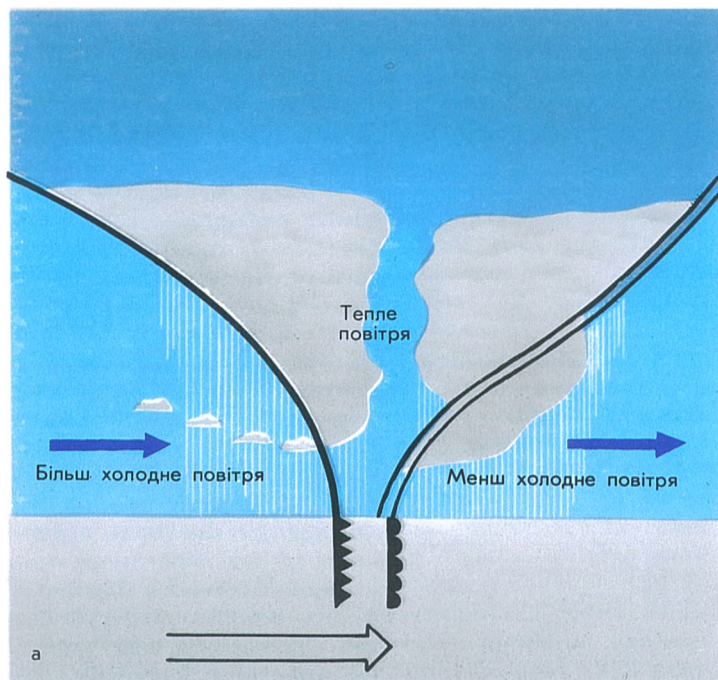


Рис. 20 Схема утворення фронту оклюзії при змиканні холодного й теплого фронтів:

а — до змикання; б — після змикання.



Тиск у центрі циклонів, які розвиваються над Європою, становить 735—750 мм рт. ст., іноді він падає до 712 мм рт. ст. Чим нижчий тиск у центрі, тим потужніший циклон, тим сильніші вітри в його системі.

ної однорідності в цій повітряній масі немає. Слідом за цим циклоном на фронті в гребні нової хвилі виникає другий. Циклони завжди йдуть серіями, причому кожен наступний циклон проходить дещо південніше попереднього.

Отже, насувається циклон. Ще задовго до різкої зміни погоди на небі з'являються обережні мазки високих перистих хмар. Поступово вони сплітаються в білосніжну тонку сітку, яка не заважає сонцю яскраво світити: ці милі хмарки — грізні провісники того самого фронту, на якому в жорстоку битву вступають тепло й холод.

Пригадуєте, як писав про виникнення циклонів Олесь Гончар у романі «Циклон»: «Без попереджень з'являються циклони. Розшаленілася десь там стихія, в темні вируючі надра її незабаром буде кинута й ваші життя. Все страхітливе вдирається без попереджень: раптово і вщент розкришується усталений спокій дня, не відбудуться чиїсь побачення, недочитані відкинуто книжки, на півстрічці обірвано фільми,— все падає у своїй значності, здрібнюється, меркне, а натомість росте тільки грізна правда циклону, правда стихії, що насувається, що подих її вже чути...

Не визнаючи кордонів, циклони ходять по всій планеті. Ще коли тут по луках серед квітів² в повені сонця табірні виховательки водили табунці щебетливих малят, може тоді з космічних висот кимось було вже помічено, як починається творення лиха, як десь на широтах Атлантики вже починає формуватись циклон».

В помірних широтах, в тому числі й на більшій частині території нашої країни, циклони найчастіше переміщуються з заходу на схід, приходячи з Атлантичного океану. Тепле вологе повітря таких циклонів надходить з моря. Холодне повітря приходить в їх тил з більш північної частини океану або з арктичних країн і морів, покритих льодами. Нерідко циклони переміщуються в помірні широти з субтропіків. Тепле повітря таких циклонів має дуже високу температуру і викликає в помірних широтах як взимку, так і влітку значне потепління. В циклонах, що розвиваються, холодне арктичне повітря може проникати далеко на південь і викликати різке похолодання в південних широтах. В той же час тепле повітря в передній частині циклону, проникаючи далеко на північ, приводить до підвищення температури в північних широтах і навіть за Полярним колом.

Циклони майже завжди в русі. Швидкість їх переміщення може бути різноманітною, зменшуючись в міру

старіння циклону. Найчастіше вони рухаються з швидкістю 30—40 км/год, проходячи за добу відстань 1000—1500 км і більше. Проте часто вони можуть рухатися з швидкістю 70—80 км за годину й навіть більше, проходячи за добу 1800—2000 км. При такій швидкості циклон, який сьогодні шаленів в районі Англії, через добу може бути вже в районі Ленінграда чи Білорусії й принести різку зміну погоди. В міру наближення центра циклону тиск повітря знижується — «барометр падає», віщуючи дощ. Але якщо вологість недостатня або температура повітря висока, барометр може й «помилитися».

Трапляються випадки, коли циклон, що досить швидко рухався, раптом сповільнюється і стає малорухомим. На території, зайнятій малорухомим циклоном, встановлюється прохолодна погода з дощами, яка може стояти доти, поки зростання атмосферного тиску в циклоні не приведе до його зникнення.

Вітри в циклонах іноді досягають ураганної сили. Найчастіше це спостерігається над північними районами Атлантики і Тихого океану, а також на північному заході Європи, де циклони розвиваються дуже інтенсивно. Незліченні лиха принесли циклони народам країн Західної й Південної Європи зимою 1953 року. Снігові бурани надзвичайної сили пронеслися над Францією, Італією, Югославією, Румунією, Албанією, Угорщиною. Сильні снігопади спостерігалися навіть в Північній Африці — в Алжирі.

На Україні особливо лютували циклони влітку 1969 року, викликавши сильні зливи, бурі, повені. В Карпатах і на півночі Молдавії за одну добу випала місячна норма опадів, що привело до різкого підвищення рівня води в річках Дністрі, Пруті, Случі.

ТРОПІЧНІ ЦИКЛОНИ

Слово «ураган» народилося в Центральній Америці (на караїбській мові воно означає «сильний вітер»). В нас це слово вживається в двох значеннях. Під ураганом розуміють тривалий вітер, здатний нанести руйнувань. Друге значення слова «ураган» — тропічний циклон.

Тропічний циклон — багатоликий, імен і паспортів у нього, мов у спритного злочинця, якого розшукує міжнародна поліція Інтерпол: американці називають його ураганом, мешканці багатьох країн басейну Тихого океану — тайфуном («сильний вітер з усіх боків»), індійці — просто циклоном, а австралійці свій тропічний циклон іменують навіть з якоюсь ніжністю: віллі-віллі. Є ще вест-індські урагани, урагани Зеленого Мису тощо.

Страшна сила таїться в тропічних циклонах. В них створюються величезні перепади тиску і виникають дуже сильні, часто ураганні вітри, які до того ж супроводжуються страшеними зливами й грозами.

На Філіппінах відмічено випадання 1168 мм дощу за добу. За підрахунками американських вчених, в одному з тропічних циклонів, який пронісся над Флорідою, за добу в результаті конденсації опадів виділилась енергія, в 250 тисяч разів більша за ту, яку мала атомна бомба, скинута на Хіросіму. В одному з ядерних випробувань на атолі Бікіні було піднято в повітря 10 млн. т води, а тропічний ураган за кілька годин вилив на Пуерто-Ріко 2,5 млрд. т дощу, тобто в 250 разів більше! Ось і говори після цього про владу Людини над силами Природи!

Тропічні циклони (або тайфуни) разом з землетрусами і виверженнями вулканів ділять сумну славу найжахливіших лих на Землі. Можливо, тому, що наслідки землетрусів і вулканів залишаються на суші і ще довго нагадують про трагедію, що сталася, ми знаємо про Помпею значно більше, ніж про великий тайфун 1281 року, який розкидав флот нащадка Чінгісхана Хубілая і врятував Японію від завоювання монголами, або про тропічний ураган 1493 року в Атлантиці, який ледве не завадив Колумбові відкрити Америку.

Руйнівна сила тропічних циклонів надзвичайно велика. Швидкість вітру досягає 250 км/год. Зареєстровані випадки, коли швидкість вітру досягала навіть 360 км/год. За такої швидкості вітер тисне на кожний квадратний метр перпендикулярної до нього поверхні з силою в кілька тисяч ньютонів і не тільки руйнує кам'яні будинки, а й переносить масивні речі на десятки кілометрів.

Навіть сучасним кораблям важко боротися з тропічними ураганами, тому вони поспішають уникнути їх. Якщо своєчасно попередити корабель про наближення і шлях циклону, то йому досить відійти вбік від цього шляху на одну-дві сотні кілометрів і можна бути спокійним. Діаметр тропічного циклону звичайно не перевищує 100—180 км і лише під кінець «життя», вже у вищих широтах, досягає 500—1500 км.

18 грудня 1944 року в Тихому океані на відстані 550 км на схід від Філіппінських островів без жодного пострілу тайфуном була виведена з ладу бойова ескадра 3-го флоту США. Три міноносці перекинулися і затонули, важких пошкоджень дістали два авіаносці, легкий крейсер і 22 інших кораблі. Розбито і втрачено 146 літаків.



«ХРЕЩЕННЯ» УРАГАНІВ



В 1960 році служба погоди США склала 4 постійні списки імен тропічних циклонів з 21 імені в кожному. Щороку використовують один з цих списків по черзі. В 1979 році ці списки доповнено чоловічими іменами.

З 1953 року кожному тропічному циклону для зручності їх обліку дають в Північній півкулі красиві англійські жіночі імена, але від цього вони не стають менш небезпечними. Цікава історія виникнення цієї традиції. В ранній період завоювання американського континенту іспанці давали ураганам імена тих святих, в чиї дні вони виникали. Пізніше урагани позначали координатами, а ще пізніше — літерами англійського алфавіту. В 1941 році американський письменник Джордж Р. Стюарт написав роман «Шторм». Один з героїв роману, дивак-синоптик, назвав тихоокеанський шторм, про який там розповідалося, Марією. З його легкої руки бюро погоди вже в 1953 році почало офіційно давати ураганам жіночі імена. Таким чином, перший ураган в році дістає ім'я Аліса, Альма чи Аббі або якесь інше, але яке обов'язково починається з першої літери алфавіту. Друга буря буде названа вже Бетті, Бетсі чи Брендою, третя — Габі або Грета і так далі.

Дещо інакше пояснюється історія виникнення традиції давати тайфунам жіночі імена в Австралії. Десь понад 80 років тому синоптична служба австралійського штату Квінсленд почала давати ураганам, що проносилися над країною, імена відомих політичних діячів. Але ті відразу почали вбачати в цьому «підрив свого престижу» і бурхливо заперечували. Тоді співробітники бюро почали називати урагани іменами дружин цих діячів, а потім вже — жіночими іменами взагалі.

Один синоптик не без гумору сказав, що давати ураганам жіночі імена цілком логічно, бо жодна жінка не буває схожою на іншу і всі однаково легковажні й непостійні. Цікаво, що в 1973 році «група боротьби за права американських жінок» виступила проти «дискримінаційної традиції» давати ураганам виключно жіночі імена. Проте ця «кампанія за рівноправність» спочатку не увінчалася успіхом: було опубліковано список жіночих імен, які по чергово присвоювалися ураганам.

Більш пощастило в цьому відношенні австралійкам. З 1975 року з «дискримінаційною практикою» давати ураганам лише жіночі імена в Австралії покінчено. Метеорологічним службам країни було надіслано спеціальний циркуляр, який рекомендував присвоювати ураганам і чоловічі імена.

Рішення про це було прийняте вченими-метеорологами після того, як ураган з жіночим ім'ям Тресі повністю зруйнував австралійське місто Дарвін. З 1978 року почала присвоювати чоловічі імена тропічним ураганам і метеорологічна служба США. Проте

присвоєння ураганам чоловічих імен не робить їх «лагіднішими». Ураган «Девід», що в 1979 році пронісся над Америкою, був одним з найважливіших ураганів цього століття. В США від нього загинуло 12 чоловік, тисячі людей залишилися без жител, матеріальні збитки оцінено в 60 млн. доларів. Ще більше лиха завдав «Девід» Домініканській Республіці, де число жертв перевищило 1000 чоловік, понад 225 тис. чоловік залишилися без житла.

Тепер існує правило виключати з ужитку на кілька років назву кожного особливо жорстокого урагану.

„ОКО“ ТАЙФУНУ



Зона незворушного спокою в центрі урагану — результат зміни напрямку сил, які повинні були б «звалитися» на зону низького тиску, а замість цього, «обмануті», можуть лише кружляти в страшній люті навколо неї, народжуючи руйнівні вітри, яким не вдається проникнути в центр. Ось чому в центрі тайфуну існує зона майже чарівного спокою, яку називають «оком» бурі. «Око» являє собою чашу з випуклими стінками з хмар, в якій спостерігається слабкий вітер або штиль, небо ясне або частково вкрите хмарами, тиск дорівнює 0,9 від звичайної величини.

«Око» тайфуну може бути від 5 до 200 км в діаметрі — в залежності від стадії розвитку тайфуну. У молодого тайфуну діаметр «ока» звичайно 35—55, а в розвинутого — вже 18—30 км. В стадії ж затухання тайфуну «око» знову зростає. Чим яскравіше виражене «око», тобто чим менша хмарність і вища температура (приблизно на 6—12°) в порівнянні з температурою оточуючого повітря, тим «шаленіший» тайфун.

Чи є в природі щось грандіозніше за тайфун: ясне спокійне небо над криницею із створених шаленим вихором, пронизаних зигзагами блискавок, стінок висотою в два Еверести? Але лихо тому, хто опиниться на дні цієї криниці...

Зародившись в екваторіальних широтах, тайфуни прямують на захід, а потім (в північній півкулі) повертають на північний захід, північ і північний схід. І хоча кожен тайфун не повторює точно шляху іншого, більшість з них рухається по кривій, яка має форму параболи. Швидкість тайфунів збільшується в міру просування на північ. Якщо поблизу екватора і в напрямі на захід вони переміщуються з швидкістю всього 17—20 км/год, то після повороту на північний схід їх швидкість іноді досягає 100 км/год. Проте трапляються випадки, коли, несподівано обманюючи всі прогнози й розрахунки, тайфуни то зовсім зупиняються,

то шалено кидаються вперед. В тайфуні вітри найсильніші біля центра. Замикаючи всю систему навколо «ока», вітри шалено кружляють з швидкістю до 425 км/год, поступово сповільнюючись в міру віддалення від центра.

ЗАХИСТ ВІД УРАГАНУ



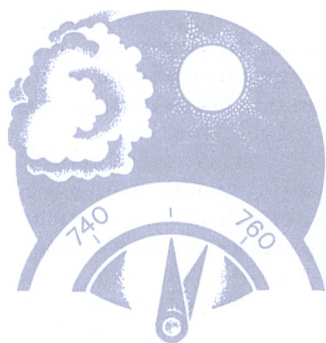
Руйнівні урагани лютують щороку. Всього на земній кулі за рік спостерігається в середньому не менш як 70 тропічних циклонів з штормовими й ураганними вітрами, з них близько 20 тайфунів — у Тихому океані. Жителям тропіків завжди треба бути готовими до зустрічі з безпощадною силою циклону. Підраховано, що серед усіх метеорологічних катастроф на тропічних урагани й спричинені ними повені припадає до 80 % людських жертв.

Людство не може залишатися безпорадним перед таким ворогом, воно шукає й знаходить засоби боронитися. Тут і протиураганне зміцнення будівель, і порівняно нескладне, але досить ефективне спорудження штучно насипаних горбів, де рятуються від смертельної небезпеки мешканці навколишніх селищ. Тут і система прогнозування та попередження, що ґрунтується на новітній техніці. В усьому світі відповідні служби стежать за погодою і передають телеграми-блискавки про її стан. Телеграми з поміткою «Шторм» йдуть поза всякою чергою. Фотографії хмарного покриву, що передаються з штучних супутників Землі, дозволяють простежити, де зароджуються і якими шляхами рухаються надзвичайно небезпечні циклони, і оповістити населення про наближення небезпеки. Тому тепер подібні сюрпризи погоди вже не такі страшні, як в минулому. Коли у вересні 1961 року супутник «Тайрос-3» виявив зародження урагану «Карла», в американських штатах Техас і Луїзіана вдалось евакуювати півмільйона жителів і загинуло тільки 46 чоловік.

Звичайно, впоратися з ураганом нелегко, його люте «око» й далі підстерігає свої жертви. Але настане час, коли об'єднаними зусиллями люди приборкають дику стихію.

ЩЕ РАЗ ПРО ЦИКЛОНИ Й АНТИЦИКЛОНИ

Циклони помірних широт не такі грізні. Іноді вони теж можуть принести немало руйнувань, але в цілому їх діяльність швидше благотворна. Роль циклонів полягає насамперед у тому, що тепле повітря переноситься ними далеко на північ, а маси холодного повітря просуваються далеко на південь. Таким чином, серія циклонів є основним механізмом, який забезпечує обмін повітрям між широтами. Саме



циклонам зобов'язана Європа тим, що її зими не такі суворі, а вологість влітку достатня для вирощування різноманітної рослинності.

Вище ми вже розглядали, як змінюється погода при проходженні циклону. Нагадаємо, що після проходження через певний район теплового фронту настає потепління й опади звичайно припиняються. Проте потепління триває недовго, тому що слідом за циклоном поширюються потоки холодного повітря. Попереду такого потоку холодного повітря звичайно розміщується вузька (завширшки в десяток кілометрів) й довга смуга потужних хмар, улітку — із зливами, грозами і шквалами. Вал холодного повітря, просуваючись на південь швидше, ніж відступає тепле повітря, витісняє маси теплового повітря, які, охолоджуючись при підйманні вгору від земної поверхні, утворюють потужні купчасто-дощові хмари з щедрими короткочасними опадами. Влітку проходження холодного фронту супроводжується грозою, яка охоплює довгу смугу повітря вздовж фронту.

Під час проходження холодного фронту вітер, посилюючись, повертає вправо: якщо перед наступом фронту вітер дув з заходу, то після фронту він звичайно дме з півночі чи північного заходу. Отже, в центрі циклону сходяться «кінці» холодного й теплового фронтів: на сході від центра циклону панує погода теплового фронту, на заході — погода холодного фронту. Слідом за холодним фронтом приходить холодне повітря й настає похолодання, а оскільки холодне повітря густіше, то його поширення супроводжується зростанням тиску, що вказує на те, що наближається зона високого тиску — антициклон.

В центрі антициклону тиск повітря найвищий, і повітря рухається від центральної частини до периферії антициклону, закручуючись за годинниковою стрілкою. Таким чином, в антициклоні відбувається розтікання повітря від його центра вбік, при цьому на місце повітря, що розтеклося в приземному шарі, опускається повітря з вищих шарів атмосфери. При опусканні повітря потрапляє під більший тиск, стискається й нагрівається. В результаті нагрівання повітря хмари, якщо вони були, розсіюються. Антициклон діє подібно до велетенської повітряної сушарки. Навіть купчасті хмари, що утворилися вдень при висхідних потоках від нагрітої землі, до вечора випаровуються і ніби «тануть», зникаючи безслідно. Тому в центральній частині антициклону встановлюється ясна погода з блакитним небом, по якому зрідка пропливають легкі й швидкі хмаринки.

В антициклонах в стадії їх розвитку тиск у центрі досягає 772—780 мм рт. ст., але іноді може перевищувати 795 і навіть 800 мм рт. ст. Такі антициклони виникають головним чином над Азією взимку.

Стоїть суха й жарка погода. Влітку вночі в антициклоні прохолодно, ясно й тихо — «безмовна українська ніч». Вдень у зв'язку з нагріванням земної поверхні невтопним Сонцем виникають вертикальні потоки теплого вологого повітря (конвекція), внаслідок чого можуть утворюватися легкі купчасті хмари. Іноді при дуже сильній конвекції купчасті хмари можуть перерости навіть і в купчасто-дощові, виникнути грози. Взимку в антициклонах ясна погода супроводжується лютими морозами.

Але буває й так, що небо в антициклоні вкрите суцільною смугою сірих хмар, з яких повільно падають сніжинки. Слабкий вітер не заважає їх польоту. Така погода нерідко спостерігається в центральній частині Сибіру взимку, коли над усім Сибіром у холодному повітрі поширюється великий антициклон, який покриває багато тисяч квадратних кілометрів.

Антициклони переміщуються взагалі повільніше, ніж циклони, — в середньому з швидкістю до 25 км за годину й часто подовгу можуть затримуватися на одному місці. Найчастіше антициклони насуваються на нашу країну взимку з північного, а влітку з південного заходу. Лише сибірські антициклони приходять до нас взимку із сходу.

Кожен циклон чи антициклон в середньому існує 3—5 днів, переміщуючись іноді за цей час на багато тисяч кілометрів і викликаючи раптові різкі зміни погоди. Характерна особливість більшої частини районів помірних широт — часте чергування циклонів і антициклонів. Останнє обумовлює вже кліматичну характеристику цих районів — часту зміну напрямків вітру, чергування ясної і хмарної погоди, часті коливання температури і, як наслідок, короткочасні потепління й похолодання тощо.

В окремі роки створюються такі умови, що в одні й ті ж райони частіше звичайного надходять, наприклад, антициклони. Тут вони застоюються, влітку в умовах ясної сонячної погоди повітря в них швидко прогрівається і висушується. Так починає виникати нестача вологи в ґрунті, яка з часом може перерости в засуху.

Щорічно над Європою проноситься до сотні серій циклонів. Їх рух здається хаотичним, але якщо нанести шляхи циклонів на карту, то в цьому хаосі виявиться певна закономірність. Існує район, в якому більша частина циклонів починає свій шлях. Він являє собою ніби центр циклонів Атлантики. Як і все в повітряному океані, що не знає спокою, цей центр не має фіксованого місця на планеті. Але якщо нанести

на карту розподіл атмосферного тиску в північній півкулі в середньому за багато років, то чітко виявиться район найбільш низького тиску — мінімуму: поблизу Ісландії, приблизно в двохстах кілометрах від Рейк'явіка. Це і є Ісландський мінімум, центр циклонів. Проте центр циклонів не залишається на місці. В окремі роки він долає вздовж меридіана до 5000 км і виявляється то десь поблизу тропіка Рака, то зовсім поряд з Північним полюсом. Ще далі він відхиляється по широті — може бути над Канадською Арктикою, а іноді і в межах Радянського Союзу, в районі Карського моря. Трапляється, що Ісландська область низького тиску зникає зовсім. Таке, правда, спостерігається рідко — всього з десять таких років було за сторіччя, але саме ці роки запам'яталися в Європі жорстокими засухами.

Тепер, коли ми набули певних знань щодо циркуляції атмосфери, багато таємниць погоди перестають бути такими загадковими для нас. Але перед тим, як знайомитися з принципами передбачення погоди й складання прогнозів, треба розглянути ще кілька питань.

УТВОРЕННЯ ХМАР І ОПАДІВ

ВОДА В АТМОСФЕРІ

Стоять жаркі літні дні. Палючі промені Сонця при безхмарному небі висушують землю. Задушливе гаряче повітря насичене дрібнісіньким пилом. В'яне і жовкне листя рослин, позбавлене необхідної для життя вологи. Людей і тварин мучить спрага. Посуха... Ще день-два — і вигорить хліб на полях, загибель загрожувє врожаєві.

Але ось на горизонті з'являється невелика хмарка, вона швидко росте, насувається, закриває небо. Відразу темніє, стає холоднувато. І ось з'являються перші вісники дощу. Під суцільним шаром можуть бути пошматовані клаптики хмар, спочатку невеликі, потім все більші. Ці клаптики хмар — незаперечна ознака того, що дуже швидко, найпізніше через 15—20 хв, піде дощ. Налітає різкий порив вітру, хмари пронизує блискавка, друга, лунають могутні перекоти грому і, нарешті, падають перші краплі дощу.

Звідки ж береться в атмосфері вода? Як утворюються хмари? Чому буває дощ, град чи сніг?

Вода надходить в атмосферу, випаровуючись з поверхонь океанів і морів, озер і рік, вологого ґрунту, лісів і лук. Долаючи силу земного тяжіння, потужна теплова машина, що приводиться в дію енергією Сонця, щороку піднімає з поверхні земної кулі в атмосферу 519 тис. км³ (або мільярдів тонн) води. За



З ЧОГО СКЛАДАЮТЬСЯ ХМАРИ

Кількість водяної пари в повітрі характеризується відносною вологістю, значення якої щодня повідомляють у зведеннях про погоду. Вона являє собою відношення (в процентах) кількості пари, яка міститься в повітрі, до кількості насиченої пари при цій температурі.

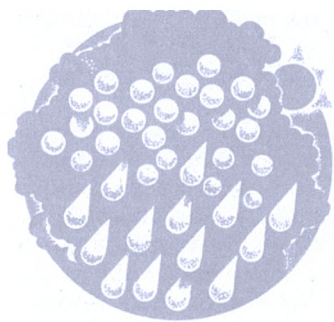
наближеними підрахунками, в атмосфері знаходиться в середньому взимку $13\,080\text{ км}^3$ води, а влітку — близько $14\,540\text{ км}^3$, або в 11 разів більше, ніж міститься води в усіх ріках світу.

А тепер давайте порівняємо дві цифри: кількість опадів за рік (519 тис. км^3) і загальну кількість води в атмосфері (13 тис. км^3). Кількість опадів за рік майже в 40 разів перевищує кількість води в атмосфері, а це означає, що 40 разів на рік, чи кожні 9 діб, вода в атмосфері повністю змінюється, тобто кругообіг води в атмосфері дуже інтенсивний. Кругообіг води робить можливим життя на суші, підтримує запаси води і течії рік. В цьому кругообігу атмосфера відіграє основну роль. Вона поглинає водяну пару, переносить її в повітряних потоках і знову перетворює у воду, поливаючи земну поверхню дощами чи покриваючи снігом.

Хто не милувався чудовою картиною літнього неба, коли серед безмежної блакиті плывуть хмари, виблискуючи під променями сонця подібно до засніжених вершин високих гір? Чи їх поглядів не привертало до себе пасма високо-купчастих хмар чи напівпрозоре покривало високо-шарових хмар? Важко передати відчуття пасажира швидкісного лайнера, коли повітряний гігант, пронизавши хмари, мчить над ними. Захопленому поглядові відкривається велична картина: на безмежній відстані у всі боки плывуть хмари, створюючи химерні пухкі пагорби, височини й рівнини, які вражають то білизною й свіжістю, то стають сірими, похмурими й гнітючими.

І красиві білі хмари, і похмурі свинцево-сірі, що закривають сонце в негоду, складаються з дрібнісіньких прозорих водяних краплинок. Діаметри краплинок в хмарах різного роду коливаються від $2 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^1$ мм. Крапля діаметром в $2 \cdot 1^1$ мм — це дощова крапля, вірніше, краплинка мряки. Такі краплинки падають з швидкістю менше 10^3 м/с, тобто менше 1,3 м за півгодини. Ось чому хмари майже «не падають». Перисті хмари, що плавають на великих висотах, складаються з найдрібніших льодових кристаликів. Кожна така краплинка плаває в повітрі подібно до пушинки, дуже повільно, непомітно для ока опускаючись вниз, але раніше, ніж досягти землі, вона повністю випаровується.

Найменша кількість водяної пари спостерігається в полярних широтах під час сильних похолодань (менше 0,1 г в 1 кг повітря). Холодні маси арктичного повітря містять дуже мізерну кількість водяної пари,



тому їх вторгнення в середні широти супроводжується сухою, ясною погодою. Чим вища температура повітря, тим більше в ньому може бути водяної пари. Так, у повітрі середньоазіатських пустинь, де іноді дуже жарко, може бути вологи значно більше, ніж у повітрі Ленінграда. І все-таки повітря в пустині сухіше, тобто відносна вологість менша. Низька відносна вологість спостерігається над тропіками, в центральних частинах материків. Значні температури тут вимагають значної кількості водяної пари для підтримання високого рівня відносної вологості. Джерел же випаровування на материках в цих широтах немає в достатній кількості.

Кількість водяної пари, потрібної для насичення певного простору, не завжди однакова й залежить від температури. Чим вища температура, тим більше водяної пари потрібно для насичення повітря. Так, наприклад, 1 м^3 повітря при температурі -30°C може містити лише 1 г водяної пари, при 0°C — не більше 5 г, а при температурі 30°C кількість пари збільшується до 31 г, тобто стає майже в 6 разів більшою, ніж при температурі 0°C . Очевидно, що доти, поки відносна вологість менша 100%, тобто поки повітря не насичене водяною парою; конденсація не відбувається. Щоб зробити навколишнє повітря насиченим, тобто домогтися 100%-ної вологості, потрібно або випарувати в це повітря додаткову кількість води, або знизити температуру повітря до рівня, при якому почнеться конденсація, тоді почнуть утворюватися крапельки роси, туману.

ВИПАЛА РОСА

Влітку, пройшовши увечері по траві, ми помічаємо, що вона мокра, хоча дощу в цей день не було. І тут вся справа в охолодженні, яке й «намочило» траву, тому що в теплу пору року в ясну й тиху погоду увечері після заходу сонця, а також вночі, коли нагрівання припиняється, поверхня землі й прилеглий до неї нижній шар повітря починають охолоджуватися. Відносна вологість в приземному шарі починає швидко зростати. Температура, при якій водяна пара, яка знаходиться в повітрі, починає насичувати простір, називається точкою роси. При дальшому охолодженні відбувається пересичення водяної пари і її надлишок перетворюється у воду. Найбільш охолодженими на земній поверхні будуть предмети, які швидко випромінюють своє тепло. На таких охолоджених предметах, як тільки їх температура знизиться до точки роси, починає конденсуватися водяна пара. На тоненьких стеблинах трави, по краях і на волосинках



широких листків трави й кущів утворюються дрібні-сінькі водяні намистинки, які бувають спочатку невидимими, а потім збільшуються, утворюючи краплини роси. Утворений наліт води на траві ми часто помічаємо лише наступного ранку, коли промені сонця освітлюють краплини і, відбиваючись від них, спалахують всіма барвами райдуги. Ми говоримо тоді про росу й різнобарвні краплини роси.

Роса буває тим ряснішою, чим більша вологість повітря і чим сильніше охолоджуються вночі ґрунт і наземні предмети. Особливо рясною буває роса після дощу, а також пізнім літом, коли в повітрі ще достатньо тепла й вологи, а довгі ночі сприяють сильному охолодженню земної поверхні. Особливо багато роси випадає перед сходом Сонця, коли температура повітря мінімальна. Вранці з підвищенням температури краплинки роси починають випаровуватися.

При сильному вітрі роси звичайно не буває, а якщо й буває, то в дуже незначній кількості й вона швидко випаровується. Це тому, що вітер, перемішуючи приземне повітря з теплішим повітрям вищих шарів, підвищує температуру й забирає водяну пару. Невеликий вітер, навпаки, може сприяти утворенню густої роси. Слабке перемішування повітря при ледь помітному вітерці підводить до охолоджених поверхонь нові порції вологого повітря, і краплини роси збільшуються.

Необхідне для утворення роси охолодження може мати місце лише в безхмарну чи малохмарну ніч, тому що в таких умовах земна поверхня легко віддає нагромаджене за день тепло і охолоджується. При похмурій погоді суцільна хмарність обкутує землю ніби зігріваючою ковдрою і перешкоджає її охолодженню до точки роси, тому роса й не утворюється.

Роса є досить надійною прикметою майбутньої погоди. Якщо вранці є роса, то вночі не було або майже не було хмар, а це є ознакою хорошої погоди. Рясне випадання роси віщує суху погоду. Якщо ж вранці роси немає, то ми, безперечно, помітимо на небі хмари, які закривали його протягом всієї ночі і перешкоджали утворенню роси, що може віщувати дощ. Недаром кажуть: «Велика роса вранці — на добру погоду, нема роси — на дощ». Звичайно, ці прикмети не завжди підтверджуються: погода залежить від багатьох факторів, у тому числі і від таких, які не впливають на виникнення роси. Так, наприклад, наявність вранці роси не перешкоджає розвитку місцевих гроз після полудня.

ІНІЙ І ПАМОРОЗЬ



В холодну пору року (пізно восени чи на початку зими), коли ртутний стовпчик термометра вранці опускається нижче нуля, після ясної ночі на травинках утворюються вже не краплинки води, а малесенькі кристалики льоду. Земля, висохлі стеблинки трави, гілки дерев тощо покриваються білявим, схожим на цукор, льодовим нальотом — інеем. Але іній відразу ж зникає, коли полуденне сонце розтоплює його. Іній можна спостерігати й весною, а іноді навіть в кінці травня, коли він утворює «білий сніг на зеленому листі». Підкреслимо: іній не «випадає», а «росте» в результаті охолодження приземних шарів повітря при зниженні температури нижче нуля. Появу інею можна розцінювати як більш вірний вісник хорошої погоди в день спостереження, ніж випадання роси.

Цікаво, що іній буває також і взимку. Це твердження, мабуть, викличе в читача подив — хто не знає, що взимку часто гілки дерев, дрти ліній електропередачі тощо покриваються товстим шаром інею. Справа в тому, що ми в багатьох випадках помилково називаємо інеєм інше красиве зимове вбрання — паморозь, про яку розповімо пізніше. Так от, коли при-

Рис. 21 Паморозь на деревах.



дивитися до поверхні снігу після ясної морозної ночі, то можна помітити на цій поверхні кристалики інею.

В холодну пору року іноді кам'яні стіни будинків, мармурові колони й металеві предмети покриваються суцільним твердим нальотом снігових кристалів. З'являється цей наліт звичайно тоді, коли після кількох морозних днів настає потепління. Коли тепле й вологе повітря стикається з дуже охолодженими предметами, то воно охолоджується й надмір водяної пари осідає у вигляді твердого нальоту. Якщо ж предмети не дуже сильно охолоджено, то вони покриваються краплями води.

А тепер про паморозь. На відміну від інею, паморозь зю називається білий наліт ніжних, пухких, снігоподібних льодових кристалів, що утворюється переважно на гілках дерев, хвої, дротах, кущах, на гострих краях предметів тощо при значному морозі, тумані і слабкому вітрі з навітряного боку предметів (рис. 21). Особливо рясно утворюється паморозь при тумані. В цьому випадку навіть хвойний ліс, який звичайно зеленіє на світлому фоні снігу, покривається білосніжним, іскристим покривалом паморозі. Кристали паморозі часто осідають на гілках дерев і дротах таким товстим сніговим шаром і так обважнюють їх, що слабкіші гілки обламуються, а дроти можуть обірватися. Особливо сильним є утворення паморозі в горах; вона прикриває виступи скель, стовпи й споруди шаром товщиною до 1 м.

ЯК УТВОРЮЮТЬСЯ ХМАРИ?

Роса, іній, паморозь утворюються безпосередньо на земній поверхні. Але основний процес конденсації водяної пари з утворенням хмар, туманів, дощу, снігу тощо, до розгляду якого й перейдемо, відбувається у вільній атмосфері. Насамперед, як це не парадоксально, в атмосфері взагалі не повинно було б існувати хмар, коли б повітря було ідеально чистим. Водяна пара, якщо вона чиста, складається з окремих молекул, які можуть вільно переміщуватися в тих же умовах, що й молекули повітря. Вони розсіюються в атмосфері, пробираючись між молекулами кисню й азоту, неминуче весь час стикаючись одна з одною.

Якій найменшій кількості молекул водяної пари притаманні властивості рідкої води? Фізики відповідають: 100—1000 молекулам. Отже, найдрібніша краплинка, яку можна собі уявити, має діаметр $2 \cdot 10^{-5}$ мм, і коли б вона могла існувати, в ній містилось би всього лише 130 молекул води.



Деякі хмари утворюються при змішуванні двох мас повітря, які мають різну температуру. Проте головним процесом утворення хмар є адіабатичне охолодження повітря при його піднятті вгору.

Можливість зіткнення в атмосфері двох молекул води, звичайно, є. Ймовірність одночасного зіткнення трьох-чотирьох молекул вже надзвичайно мала. Якщо ж розраховувати на одночасне зіткнення хоча б десяти молекул — це майже те ж саме, що вірити в чудо.

Проте (на щастя!) тут на сцену виступає новий фактор — домішки, які засмічують повітря і відіграють роль центрів, або ядер конденсації. Вони і є якраз тією основою, яка виконує функцію акумулятора молекул пари в міру їх зіткнення, і утримує їх, поки не відбудеться конденсація в справжньому розумінні цього слова. Атмосфера при будь-якій заданій температурі не може містити більше молекул водяної пари, ніж дозволяє пружність насиченої пари. Як тільки досягається точка роси, надлишок молекул пари справжньою лавиною, тисячами і сотнями тисяч осідає на ближніх, найбільш «сприйнятливих» ядрах конденсації. Таким чином, за якусь частку секунди утворюється краплинка. А на відстані 1—2 мм від неї, на іншому сприятливому зародку відбувається аналогічний процес. І так народжується хмара. Взагалі природа зробила непогано, забезпечивши атмосферу, крім газів, масою засмічуючих домішок.

Таким чином, краплинка дощу лише на перший погляд здається прозорою, мов сльоза, чистою, мов кристал. Насправді ж це далеко не так. Разом з дощем чи іншими опадами на землю падає невидимий пил, кіптява, мікроорганізми, які до дощу «плавали» в повітрі. Так, наприклад, опади в Києві містять (в міліграмах на літр дощу): натрію — 3,71, кальцію — 4,81, магнію — 4,43, хлору — 6,06, сірчаної кислоти — 16,74, гідрокарбонатного іона — 15,15. Сума хімічних домішок становить понад 50 мг/л. В середньому на кожний гектар землі в околицях Києва разом з опадами щороку випадає 55 кг хлористого натрію.

Отже, в результаті конденсації водяної пари у повітрі з'являються дрібнісінькі краплинки води. Якщо конденсація відбувається поблизу земної поверхні, то утворюється туман. Якщо ж конденсація відбувається на значній висоті, — хмари. Принципової різниці між туманом і хмарами немає. Іноді хмари опускаються так низько, що «зачіпляються» за високі пагорби, будови. Туман — це хмара біля земної поверхні, а хмара — це туман на деякій висоті від землі.

Метеорологи навчилися підраховувати вміст рідкої води в хмарах різного виду. Підрахувавши масу

хмари, мимоволі дивуєшся, що в нас над головами вільно плавають тисячі, а то й мільйони тонн води! «Молода» купчаста хмара в стадії формування, основа якої дорівнює 1 км^2 , а висота 2 км, містить щонайменше 1000 т води. А грозова купчасто-дощова хмара, яка має площу основи кілька квадратних кілометрів і висоту 6—8 тис. м, може містити від 50 до 360 тис. т води (в залежності від пори року і географічної широти).

Цікаво, що в більшості випадків хмари навіть на висотах, де температура нижча 0° , складаються з найдрібніших рідких краплинок, тобто з переохолоджених краплин. Встановлено, що краплини в хмарах можуть не замерзати при температурах до -30 , -40 і навіть -50°C . Але як тільки такі хмари стикаються з деякою поверхнею, наприклад літаком, водяні краплинки миттєво замерзають і, якщо поверхня літака не обігрівається, можуть швидко покрити його шаром льоду.

Проте звичайно переохолоджені водяні краплинки в хмарі вже при 8 — 10° морозу починають перетворюватися в малесенькі гексагональні (шестигранні) кристали льоду, які при певних умовах стають зародками сніжинок. При падінні крізь хмару на льодових кристаликах — сніжинках намерзають переохолоджені краплинки води. Таким чином, кристали зростають і перетворюються в гексагональні сніжинки. Але хоча всі сніжинки гексагональні, серед них не можна виявити двох цілком однакових.

«ЗА ТУМАНОМ НІЧОГО НЕ ВИДНО»

Туман давно відомий людині як неприємне явище погоди, пов'язане з відчуттям надмірної вологості, похмурості. Кожному приємніше бачити яскраве сонце й блакитне небо. В умовах нашого клімату в холодний період на Україні буває до кількох десятків туманних днів. За туман домовилися вважати таке скупчення краплинок води або льодових кристаликів, коли предмети стають невидимими за кілометр через вологе помутніння атмосфери (погана видимість може бути і через забруднення атмосфери димом, курявою, під час заметілі). Таке зменшення видимості дуже ускладнює роботу сучасного транспорту, особливо авіації. Густі ж тумани, коли предметів не видно за сотні чи навіть за десятки метрів, роблять функціонування сучасного транспорту в таких умовах майже неможливим.

Особливо славиться своїми туманами Лондон. Бувають дні, коли суцільний туман заповнює всі вулиці й площі цього величезного міста. Іноді густина



туману буває такою великою, що люди по вулицях рухаються з простягнутими вперед руками, щоб не вдаритися об стіни будинків або не зіткнутися з такими ж пішоходами.

Більш слабе помутніння вологого повітря, при якому видимість збільшується до 10 км, називають серпанком, або млою.

Тумани виникають з різних причин. Але майже завжди утворення туману відбувається в результаті зволоження або зниження температури чи засмічення вологого повітря гігроскопічними речовинами. За умовами утворення розрізняють тумани трьох типів: радіаційні, що утворюються внаслідок нічного охолодження земної поверхні, адвективні, що утворюються при насуванні теплої маси повітря на холодну підстилаючу поверхню, і тумани випаровування.

При вологій погоді, після дощів, ясним, тихим осіннім вечором, коли виразно відчувається похолодання і на траві з'являються перші, майже невидимі краплинки роси, над луками, руслами струмків, ставками чи озерами помітно тонке, ніби дим, покривало, яке поступово густіє і, нарешті, закриває землю білим, що злегка переливається, покривалом поземного туману, який низько стелиться над землею. Найбільшої густини поземний туман досягає перед сходом Сонця. В місцевостях з нерівним рельєфом можна помітити, що поземний туман утворюється раніше в низьких і сирих місцях: в долинах, на дні яких часто течуть невеличкі річки або є болота. Вночі при місячному освітленні помітно, як покривало туману, переливаючись, повільно стікає в низькі місця, збільшуючи густину раніше утвореного там туману. Перед сходом Сонця туман витягується тонким, низьким шаром, в кілька метрів заввишки. В такі дні ранками по небу тягнуться низькі, мутні, волокнисті хмари, імла огортає лісові далі. Та ось сходить Сонце, і його тепле проміння вмить висушує, розвіює, «випиває» туман.

Умови утворення поземного туману випромінювання (радіаційного) схожі з умовами утворення роси. На протязі ночі при ясному небі ґрунт сильно охолоджується за рахунок випромінювання. Найближчий до землі шар повітря теж охолоджується, що приводить до перетворення водяної пари в краплинки туману на ядрах конденсації. Утворення туману починається поблизу земної поверхні, але дальший його розвиток може відбуватися при охолодженні більш високих шарів повітря. Отже, туман «росте» знизу, і поети не завжди мають рацію, говорячи, що «туман лягає».

До річі, туман починає розсіюватися також знизу. Якщо у вересні чи жовтні вранці при безхмарному небі зійде Сонце, то його промені проникають крізь туман, досягають земної поверхні, зігрівають її і тим самим викликають розсіювання туману. Залишки туману у вигляді окремих клаптів можуть деякий час триматися на висоті 100—200 м. У зв'язку з цим часто створюється помилкове враження, що туман піднявся знизу вгору. Насправді ж Сонце, нагрівши приземні шари повітря, звільнило їх від туману, верхні ж товщі туману нагрівання не зазнали і збереглися.

Пізно восени, в листопаді чи навіть в грудні, коли Сонце навіть опівдні не піднімається високо над горизонтом, його косі промені вже не можуть розсіяти туман, а лише роблять його менш густим біля землі. Надвечір, з похолоданням, він знову стає густішим. Так виникають тумани, які утримуються іноді кілька діб.

Особливо густі й потужні тумани випромінювання можуть утворюватися при тихій морозній погоді. Якщо температура повітря нижча —20° С, туман складається з кристаликів льоду, хоч відомі випадки, коли й при 40-градусних морозах тумани складаються з крапельок води.

Туман може виникати й тоді, коли тепла й волога повітряна маса напливає на холодну поверхню землі. Відбувається повільне й спокійне перемішування двох повітряних мас, тепле повітря охолоджується, й починається конденсація водяної пари. Тоді говорять про тумани переміщення (адвективні). Охолодження від земної поверхні завдяки перемішуванню повітря поширюється на велику висоту, внаслідок чого в усьому охолодженому шарі виникає високий (до 500 м і більше) і густий туман. Такі тумани виникають взимку при русі теплого тропічного повітря на північ. Так, взимку дуже часто з півдня через Чорне море на Україну, де перед цим довгий час стояли морози, приходить тепле й вологе повітря. Потрапляючи на охолоджену засніжену поверхню суші, повітряні маси сильно охолоджуються знизу, і в результаті цього значна частина України вкривається суцільним покривалом туманів. Ці тумани на відміну від туманів випромінювання утворюються не тільки в ясну погоду, але й в хмарну, не тільки при відсутності вітру, але навіть навпаки — завжди при наявності вітру. Вдень ці тумани не розсіюються, як це буває з туманами випромінювання.

Коли туман тримається тривалий час, охолодження, продовжуючись, веде до випадання з повітря

У великих промислових центрах (Лондон, Нью-Йорк, Лос-Анджелес) часто тумани змішуються з димом і утворюють шкідливий для здоров'я людей смог. Особливо небезпечний смог для людей з хворим серцем чи легенями.

вологи — знаходячись в такому тумані, ми помічаємо, що наше волосся й одяг стають вологими; більше того; маленькі краплини туману буквально в нас на очах повільно осідають. Цей туман називають ще змочуючим, а опади, що випадають, називають не дощем, а мжичкою, чи мрякою.

НАРОДЖЕННЯ ХМАР



Пливуть по небу хмари... Мало хто звертає увагу на ці грандіозні то білі, то сірі, то зовсім темні маси, які плавно ковзають по небу. Люди різних професій ставляться до хмар по-різному: поети вбачають в них традиційний символ вічної й скороминучої краси природи, мореплавці й землероби — всього лише прикмети наступної погоди, до того ж часто помилкові. І, очевидно, лише спеціалісти-метеорологи по-справжньому розуміють, яку величезну роль в житті нашої планети відіграють хмари. Хмари вмирають і знову народжуються, підлягаючи складним законам природи: вони відрізняються одна від одної і мають свої назви. Познайомившись з життям хмар, ми зробимо ще один крок по шляху пізнання грандіозних явищ природи і процесів, які відбуваються в оточуючому нас світі.

Хмари, подібно до туману, також являють собою скупчення водяних краплин або кристаликів льоду в атмосфері. Повітря в атмосфері знаходиться в постійному русі: повітряні потоки, по-різному насичені водяною парою, піднімаються вгору, опускаються вниз, переміщаються по горизонталі. Над нагрітими ділянками земної поверхні температура повітря підвищується, воно розширюється і піднімається вгору. Виникає висхідний потік. На місце теплого повітря припливає густіше холодне повітря. Стикаючись з нагрітою землею поверхнею, воно теж нагрівається і піднімається вгору. Попадаючи в менш густі шари, нагріте повітря розширюється і охолоджується. В результаті на деякій висоті повітря охолоджується до точки роси. При дальшому піднятті й охолодженні надлишок водяної пари конденсується в дрібненькі водяні краплинки, які й утворюють хмару. В залежності від характеру земної поверхні повітря нагрівається неоднаково і піднімається не відразу на великій площі. Тому й хмари утворюються не суцільні, а окремими купками у вигляді білих скупчень, схожих на вату чи бавовник.

Конденсація водяної пари в атмосфері супроводжується виділенням теплоти, що надає висхідному потокові нової енергії, підтримуючи його рух. Оскільки на випаровування затрачується грандіозна кількість теп-

лової енергії, то виділення енергії при конденсації має надзвичайно важливе значення в утворенні хмар. З початком конденсації в масі повітря, яке піднімається, починає збільшуватися різниця температур між нею й оточуючим середовищем, що веде до більш інтенсивного підняття цієї маси вгору. А це супроводжується дальшою конденсацією і бурхливим зростанням маси хмар.

Основною причиною утворення хмар є адіабатичне розширення, яке здійснюється при висхідному русі повітря. Швидкість його невелика, в середньому близько 0,03—0,05 м/с. Але оскільки процес підняття чи опускання мас повітря відбувається тривалий час, висхідний рух великих об'ємів повітря в утворенні хмар і опадів відіграє величезну роль. Якщо вважати, що середня швидкість підймання становить 0,03 м/с, то за добу маса повітря може піднятися більш ніж на 2,5 км і при звичайних умовах охолонути на 20—25° С.

При великій вологості повітря такого охолодження досить для утворення потужної хмарності і випадання щедрих опадів.

ВИДИ ХМАР



В літній теплий день, ближче до полудня чи після полудня, в часи найбільшого нагрівання земної поверхні часто можна бачити хмари, які плывуть по небу у вигляді білосніжних гірських вершин з плоскими темними основами. Називаються такі хмари купчастими. Виникають вони на вершинах висхідних потоків. Оскільки у висхідному потоці конденсація водяної пари починається на певному рівні, то основа купчастої хмари здається плоскою. Купчасті хмари густі й розвиваються у вертикальному напрямі. Контури цих хмар звичайно різко забарвлені, при прямому освітленні сонячним промінням вони мають білосніжний колір. Купчасті хмари — це хмари теплої пори року. Складаються вони з краплинок води, але, як правило, опадів з них не буває. На кінець дня купчасті хмари поступово тануть і надвечір лише рештки їх верхніх частин фіалковими мазками завмирають на небі.

Купчасті хмари утворюються в середньому на висоті 800—1000 м і поширюються вгору до двох кілометрів. В залежності від вертикальної потужності вони поділяються на три типи. Плоскі купчасті хмари (або хмари хорошої погоди) мають вигляд окремих білих шматків вати, розкиданих по синьому небу (рис. 22). Як вертикальна, так і горизонтальна протяжність їх становить від кількох сотень метрів до двох кіломет-

рів. Розташовуються вони на висоті 1—2 км над поверхнею землі. Але якщо нагрівання земної поверхні посилюється, то купчасті хмари можуть розростися вгору до висоти 3—4 км, утворюючи потужні купчасті хмари (рис. 23), вершини яких часто схожі на цвітну капусту. Якщо плоскі купчасті хмари до полудня бурхливо ростуть вгору, набуваючи вигляду вертикальних стовпів, то можна чекати сильної грози з градом, урагану.

Вершина потужної купчастої хмари може досягати області негативних температур (нижче 0°C), де переохолоджені краплини води починають замерзати і перетворюватися на кристали льоду. Вцьому випадку виникають так звані купчасто-дощові (грозові) хмари (рис. 24). Вершини таких хмар складаються з кристаликів льоду, тоді як нижня частина хмари складається з краплинок води. Зледеніла вершина хмари витягується в напрямі пануючих на цих висотах вітрів, утворюючи щось схоже на ковадло (рис. 25). Якщо з'являється «ковадло» і стоїть задушна й жарка погода, то це означає, що ось-ось хлине злива в супроводі, можливо, грози чи граду. Найбільшого розвитку купчасто-дощові хмари досягають на кінець дня, коли

Рис. 22 Плоскі купчасті хмари.



Рис. 23 Потужні купчасті хмари.



Рис. 24 Купчасто-дощові (грозові) хмари.



З 80-х років минулого століття при класифікації хмар використовувалися їхні фотографії. Нині форми хмар і хмарних систем визначають, користуючись Міжнародним атласом хмар.

Ї починається гроза. Висота цих хмар може досягати 5—7 км, а в тропічних широтах — 12—16 км. Надвечір, коли злива і гроза припиняються, небо звільняється від хмар, і тільки вечірні шаруваті хмари застигають на горизонті. Десь далеко ще спалахує вечірня заграва — далека гроза.

В купчасто-дощових хмарах кристалики льоду ростуть внаслідок конденсації водяної пари, злипаються в сніжинки і під дією сили тяжіння опускаються вниз. Сильні висхідні потоки повітря всередині хмари знову піднімають сніжинки вгору. Під час цього руху переохолоджені водяні краплинки осідають на сніжинках, сніжинки ростуть, злипаються одна з одною і, нарешті, досягають такої маси, що долають опір висхідного потоку повітря і падають на землю. В теплу пору року, попадаючи в тепліше повітря, ці сніжинки швидко тануть і випадають у вигляді краплин води. У холодну пору року вони випадають у вигляді лапато-го снігу чи білих непрозорих зерен (так звана «крупа»).

Низькі сірі хмари, що покривають суцільним безформним покривалом весь небозвід, називаються шаруватими (рис. 26). Утворюються вони при піднятті (або

Рис. 25 Грозова хмара з «ковадлом».



розсіюванні знизу) потужного туману. Шаруваті хмари виникають також і досягають особливо потужного розвитку при натіканні теплого (тропічного або морського помірних широт) повітря на холодне, розташоване вузьким клином біля земної поверхні. Шаруваті хмари надають небу похмурого, одноманітного вигляду. Це хмари поганої погоди. Складаються вони з дрібненьких краплинок води, і з них звичайно випадають мрячливі опади.

Шарувато-купчасті хмари — це густі хмари у вигляді сірого хвилястого шару з темними центральними частинами. Часто такі хмари вкривають все небо і надають йому хвилястого вигляду (рис. 27). Іноді з цих хмар можуть випадати мрячливі опади у вигляді дощу.

Шарувато-дощові хмари являють собою безформні, однорідні дощові хмари темно-сірого кольору. Складаються вони з великої кількості сніжинок і крапель різних розмірів.

Шарувато-дощові хмари приносять затяжні обложні опади (сніг чи дощ) на великій території. Саме такі хмари вкривають небо в похмурі осінні дні. Часто з них мрячить дрібний, неприємний дощик.

Рис. 26 Шаруваті хмари.



Високо-шаруваті хмари нагадують густе волокнисте суцільне покривало різної прозорості (рис. 28), яка має сіруватий або голубуватий колір. Коли ці хмари не густі, то крізь них, мов крізь матове скло, видно Сонце, але воно вже не яскраве, а з розмитими краями. Високо-шаруваті хмари складаються з дрібнісіньких крапель води. Найбільш густі з цих хмар іноді дають слабкі опади. В окремих випадках видно лише смуги дощу, який випаровується, не долітаючи до земної поверхні.

Дуже різноманітні форми мають високо-купчасті хмари. Найбільш характерними з них є пасма плоских хмар з просвітами блакитного неба. Іноді окремі хмари розташовані у вигляді валів чи хвиль, перетнутих прямолінійними просвітами (рис. 29). В цих хмарах можна спостерігати цікаве оптичне явище, так званий «вінець», особливо гарний уночі: коли край або тонка частина хмари проходить перед Сонцем або Місяцем, то навколо світила утворюється невелике кольорове кільце. З цих хмар опадів майже ніколи не буває.

Хмари верхнього ярусу носять спільну назву перистих за їх зовнішній вигляд, який нагадує завиті, білосніжні

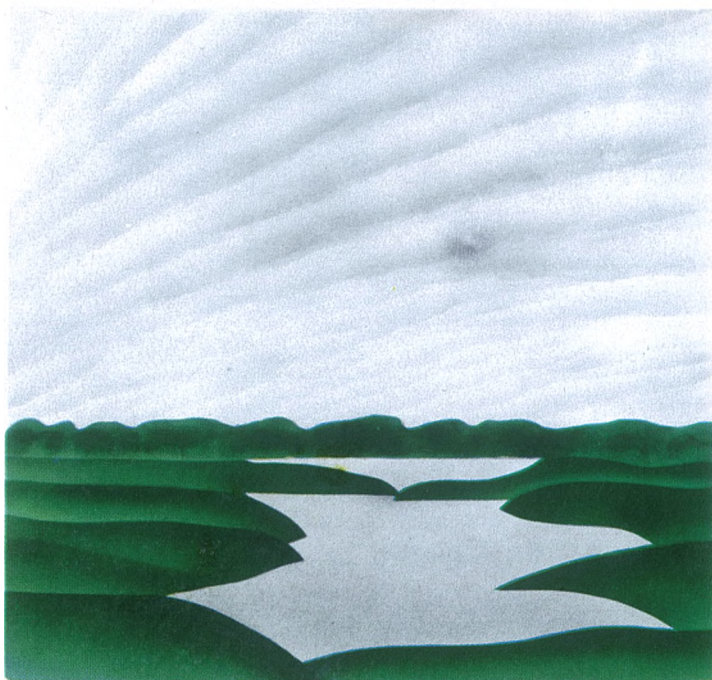
Рис. 27 Шарувато-купчасті хмари.



Рис. 28 Високо-шаруваті
хмари.



Рис. 29 Високо-купчасті
хмари.



пір'їни (рис. 30). Утворюються вони на висоті 6—10 км. Всі перисті хмари являють собою скупчення кристаліків льоду.

Перисті хмари мають красиві форми: волокон (ниток), що виходять з однієї частини горизонту, розходяться по небозводу і знову сходяться в протилежній частині горизонту (завдяки ефекту перспективи); хвилястих тонких пасм шовковистого волосся; нагадують своїм виглядом білі кінські гриви, пухнаті хвости тощо. Іноді волокна розміщаються у вигляді паралельних ниток, тонких і довгих гілочок, величезних ком чи гачків, безладно розкиданих по небу гігантських пір'їн. Крізь ці хмари майже завжди просвічують Сонце чи Місяць, зорі. Хоча перисті хмари на вигляд тонкі, розріджені, вони можуть мати значну товщину — 2—3 км і більше.

Якщо перисті хмари розташовуються на небі хаотично, мов окремі розідрані клапті, що не мають ніякого зв'язку з перисто-шаруватими чи високо-шаруватими, то їх називають перистими хмарами хорошої погоди. Якщо перисті хмари розташовуються смугами чи зв'язані з перисто-шаруватими чи високо-шаруватими, то вони звичайно є вісниками поганої погоди.

Рис. 30 Перисті хмари.



Перисто-шаруваті хмари мають вигляд тонкого білястого шару, часто схожого на серпанок, що покриває все небо і надає йому молочно-білого кольору (рис. 31); іноді вони мають волокнисту структуру у вигляді заплутаної павутини. У перисто-шаруватих хмарах часто спостерігається красиве оптичне явище — велике білувате кільце навколо Сонця чи Місяця, яке зветься «гало». Ці хмари часто є ознакою наближення поганої погоди. Виникнення в перисто-шаруватих хмарах гало свідчить про те, що на висоті знаходиться тепле повітря. В помірних широтах це звичайно буває передня частина (фронт) збурення, за яким часто йдуть дощові хмари. Але якщо ми знаходимося не на осі хмарної системи, а в північній її частині, біля межі системи, то над нами може проходити лише край покривала перисто-шаруватих хмар, тобто лише середніх і високих, які аж ніяк не зіпсують погоди наступного дня.

Перисто-купчасті хмари мають вигляд маленьких білих кульок чи дрібних білих пластівців без тіней, розташованих у вигляді правильного малюнка (рис. 32). Ці хмари розвиваються з перисто-шарува-

Рис. 31 Перисто-шаруваті хмари.



Починаючи з другої половини XIX століття, метеорологи у всьому світі дають хмарам назви, користуючись єдиними міжнародними термінами.

тих і мають незначні розміри. З перистих хмар якщо й бувають опади, то вони ніколи не доходять до землі.

Всі розглянуті нами види хмар утворюються в нижньому шарі атмосфери, не вище 10—12 км в помірних широтах і 16—18 км в екваторіальній зоні. На висотах близько 22—30 км іноді утворюються дуже тонкі прозорі хмари, які дістали назву перламутрових. Нерідко вони мають яскраве райдужне забарвлення. Походження й структура цих хмар ще до кінця не з'ясовані. Припускається, що вони складаються з переохолоджених водяних крапель або дрібних кристалів льоду.

На дуже великих висотах спостерігаються так звані сріблясті хмари, про які ми вже розповідали.

Різні види хмар дістали певні позначення, і якщо ви захочете прочитати наукову статтю, присвячену хмарам, то зустрінетеся з великою кількістю зовні хитромудрих латинських скорочень. Для прикладу наведемо уривок з описом ранкових спостережень за хмарами: «5 годин 40 хвилин. На північному заході з'являються і швидко зростають Си — мов смолоски-

Рис. 32 Перисто-купчасті хмари.



пи, що здіймаються з імлі, якою затягнуте повітря... 6 годин 55 хвилин. Від великої купчастої хмари лишилося типове коваadlo... 7 годин 43 хвилини. На півдні та південному сході вежі *As cast* розвинулися у вузькі, але дуже високі купчасті хмари (у вигляді свіч)... 7 годин 55 хвилин. Свічі тануть і стають майже прозорі».

Чим не поетичний опис процесу розвитку хмар, але що означають ці «Си», «*As cast*» та інші скорочення, якими щедро пересипаються наукові праці в галузі фізики хмар? Виявляється, що за цими латинськими літерами криються ті ж небесні каравани нав'ючених верблюдів, грудасті буйволи, підстьобувані батогами блискавок, башти, казкові багатирі з довгими бородами злив, отари овець, казкові вершники, що їх бачить кожен із нас, коли задерє голову вгору. Вони передають основні види хмар, зрозумілі фахівцям. Так, шаруваті хмари дістали назву *Stratus*, купчасті — *Cumulus* від латинського «*cumulus*» — «пагорб», «купа». Перисті хмари називають «*Cirrus*», що у вільному перекладі з латини означає «кучер», «завій». Шарувато-купчасті хмари — довгі хвилі баранців з високими вежами — дістали назву *As cast*.

Основні види хмар під дією вітру й температури вигадливо, мов скло в дитячому калейдоскопі, утворюють всю різноманітність форм хмар.

ЯКА ПОГОДА БУДЕ ЗАВТРА?

ПРО СИНОПТИЧНІ КАРТИ



Старезний дідусь на призьбі, який за примхами застарілого ревматизму міг повідомити, що нині кисті, а отже, буде дощ чи гроза, став майже обов'язковою прикрасою більшості репортажів, нарисів, статей про метеорологію. Поряд з дідусем-«синоптиком» часто зображували раніше старовинний гучномовець, який під зливою оптимістично твердив про настання ясної сухої погоди.

Ми дружно і без особливої злості лаємо синоптиків, особливо коли прогноз обманув наші сподівання. Але зізнайтесь, чи часто ви йдете на роботу, а тим більше відправляєтесь за місто на рибалку чи по гриби, не прослухавши прогнозу погоди на завтра? Як же передбачають погоду майбутнього дня?

Тепер, коли ми набули певних знань про погоду, ми спроможні розібратися в багатьох таємницях передбачення погоди.

Методи складання добових прогнозів погоди у всіх країнах майже однакові. Основним способом прогнозування зараз є синоптичний, який ґрунтується на аналізі так званих синоптичних карт. На таких картах в точках, які відповідають розміщенню метеорологіч-

них станцій, нанесені умовними позначеннями всі основні метеорологічні характеристики. Ця карта є ніби миттєвою фотографією стану погоди на тій чи іншій території. Вона дуже важлива для вивчення процесів, що визначають погоду, і, як ми це побачимо далі, для побудови прогнозу погоди. Познайомимось коротко із складанням синоптичних карт і загальними принципами завбачення погоди.

Почнемо з того, як же вивчається фактичний стан погоди безпосередньо перед складанням прогнозу і на великій території. Величезна маса метеорологів світу майже на 20 тис. метеорологічних станцій, розташованих в різних районах земної кулі, одночасно через кожні 3 год, в обумовлений міжнародною угодою час, в будь-яку погоду виходять для спостережень з олівцем і книгою для запису. Метеоролог не чекає, поки зтихне вітер, ущухне дощ чи послабне мороз. Ніякий ураган не береться до уваги. Що ж він спостерігає? Температуру ґрунту й повітря, напрям і силу вітру, видимість, ступінь хмарності, тип хмар і їх висоту, вологість повітря, атмосферний тиск, кількість опадів, атмосферні явища тощо.

Дані спостережень записуються у вигляді спеціальної метеорологічної телеграми. Але записується ця телеграма не словами, а єдиним міжнародним кодом у вигляді набору цифр. Коли б спостерігач писав телеграму словами, йому потрібно було б написати сотні слів. Скільки дорогоцінного часу забрали би у нього запис і передача! А він же не один. Лише в нашій країні метеорологічних станцій кілька тисяч, і коли б кожна з них 4 рази на добу передавала по кілька сотень слів, то всі телефонні й телеграфні лінії були б майже повністю зайняті зведеннями про погоду. Ні про що інше не було б можливості говорити. Тому телеграми записують і передають у вигляді умовного набору цифр, за допомогою яких позначають кожен метеорологічний елемент. Завдяки цьому замість довгої словесної телеграми виходить коротенька цифрова, причому цю телеграму зможе прочитати метеоролог будь-якої країни, якою б мовою він не розмовляв. Телеграма передається у бюро погоди відповідних центрів. В нас такими центрами є Ташкент, Київ, Хабаровськ та інші міста. В Радянському Союзі відомості з цих і відповідних міжнародних центрів Європи, Північної Америки, Азії, Середземного моря, Північної Африки тощо надходять у Гідрометцентр СРСР в Москві. Сюди ж надходять телеграми з аерологічних станцій про стан погоди на різних висотах над рівнем моря.

Дані про погоду за спостереженнями метеорологічних станцій в установлені строки майже неперервним потоком надходять у зашифрованому вигляді в органи Служби погоди. Ці дані наносяться особливими значками на приземні і висотні карти погоди, які потім аналізуються.



Одержані в бюро погоди і Гідрометцентрі СРСР метеорологічні телеграми розшифровують. За допомогою умовних позначень й цифр спеціалісти наносять відомості з усіх станцій за один і той же строк спостережень на бланк німєї географічної карти. Так складається карта погоди. На карті біля точки, що позначає якесь місто, пишуть, якими були температура і атмосферний тиск, малюють значок хмарності, особливою стрілкою вказують напрям і швидкість вітру. Міжнародні позначки, що застосовуються для карт погоди, показані на рис. 33. На цих картах видно, куди рухаються теплі маси тропічного повітря, холодні маси арктичного, як іде двобій цих гігантів, як утворюються «западини» атмосферного тиску (циклони) і «пагорби» (антициклони), як вигинаються, мов гігантські хвилі, атмосферні фронти... Карта погоди буває готовою вже через 1,5—2 год після спостережень, виконаних на метеорологічних станціях.

Географічна карта з нанесеною на ній погодою називається синоптичною картою. Коли синоптична карта готова, її передають для аналізу метеорологу-синоптику, який аналізує, або, як звичайно кажуть, обробляє її. Завдання синоптика полягає в тому, щоб на основі всіх наявних даних спостережень скласти чітку картину процесів, що розвиваються в атмосфері. Для цього синоптик повинен обробити синоптичну карту — насамперед виділити різні маси повітря і провести між ними межі — фронти. Над синоптичними картами, які нагадують всім відомі з школи контурні карти, сидять синоптики і старанно малюють кольоровими олівцями звивисті криві і умовні позначення. На синоптичній карті теплий фронт проводять червоним олівцем, холодний — синім. Потім виділяють місця з опадами — зеленим олівцем, місця з туманами — жовтим і місця з грозою — червоним. Після цього сполучають місця з однаковим тиском чорними лініями — ізобарами — і таким способом виділяють ділянки з високим і низьким тиском. У центрі ділянки низького тиску — циклону — ставлять букву Н, а в центрі високого тиску — антициклону — букву В. Так в загальному і спрощеному вигляді виглядає аналіз синоптичної карти. Призвичаєне око спеціаліста легко читає таку «татуйовану» карту, визначаючи розташування зон високого й низького тиску (циклонів і антициклонів), фронтові поділи тощо.

Синоптичні карти розробляють у бюро погоди кожні 6 год, тобто по чотири великі синоптичні карти на добу. В Москві такі карти складають для території

Рис. 33 Найважливіші
синоптичні позначення.

	мряка		територія, на якій встанови- лась дощова погода	Величина хмарності:	
	дощ		територія, на якій йде сніг		небо безхмарне
	сніг		туман		1/10 неба покрито хмарами
	заметіль		туман, що просвічує		2/10–3/10
	град		димка		4/10
	зливові опад		ожеледь		5/10
	гроза		теплий фронт холодний фронт		6/10
	блискавка	В – високий тиск. Н – Циклон низький тиск. Антициклон			7/10–8 10
	сильний вітер		пиловий вихор		9/10
	смерч		пилова буря		10/10
					неба не видно

всієї Європи, Північної Атлантики (за даними корабельних спостережень), Північної Африки і Близького Сходу.

Вже давно постійними помічниками метеорологів стали ЕОМ. Це пов'язано з проблемою обробки величезної кількості інформації. Щодня в Гідрометцентр СРСР надходять відомості з 10 тис. метео- і 600—800 аерологічних станцій. Впоратися вручну з обробкою такого обсягу відомостей за той короткий строк, що його має синоптик для складання прогнозу, неможливо. А електронно-обчислювальна машина, «проковтнувши» ці відомості, за лічені хвилини обробляє їх у вигляді спеціальних синоптичних карт, які телетайпом передаються в республіканські Бюро погоди, де проходить їх додаткова обробка та аналіз з урахуванням географічних особливостей території.

СИНОПТИЧНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ



Добре, одержано свіжу, припустимо навіть, абсолютно достовірну «фотографію» погоди на сьогодні. Залишається дрібниця — передбачити, якою стане ця «фотографія» завтра, через 3 доби, через тиждень — в залежності від потреби. Ось тут і починається найбільш відповідальне і таємниче, схоже на гадання (незважаючи на участь у подіях космічних супутників і ЕОМ).

Існують два основні методи прогнозування: чисельний і синоптичний. Чисельний — це прогнозування за формулами, торжество математики, головне сподівання метеорологів на підвищення точності прогнозів в майбутньому. Про цей метод ми розповімо пізніше. А зараз про синоптичний. Просто кажучи, синоптичний метод — це передбачення погоди людиною-спеціалістом.

Черговий інженер-синоптик схиляється над картою погоди, складеною за даними спостережень світової мережі метеорологічних станцій, які щойно надійшли з телетайпної стрічки. Голубе поле карти, помережане чорними позначками елементів погоди з рідкими проблисками червоних знаків гроз і залитих зеленим кольором зон опадів, перетинають ізобари — лінії однакового атмосферного тиску. В деяких місцях ізобари утворюють концентричні кола і погнуті еліптичні фігури, в центрі яких атмосферний тиск або падає, або, навпаки, зростає. Це циклони й антициклони.

Погляд інженера-синаптика ковзає по карті, відмічаючи фронти, зони опадів, циклонічні й антициклонічні зони. З'ясовуючи межі поширення хмарних систем,

він звертається до наявної інформації, визначає тенденцію розвитку елементів погоди — температури й тиску повітря, хмарності, враховує регіональні особливості, виявлені багаторічними спостереженнями за погодою, екстраполює дані, заповнюючи невисвітлені в метеорологічному відношенні місця.

В розпорядженні синоптиків є перевірені методики, формули, за якими вони розраховують переміщення повітряних мас, вираховують, яка буде температура повітря, кількість опадів. Отже, синоптик повинен мати великі знання і солідний досвід. Але не тільки. Повітряний океан виключно різноманітний в своїх проявах. Тому синоптик, оперуючи поки що нечіткими, неозначеними величинами і зв'язками, повинен, крім чітких математичних побудов, звертатися до таких важковловлюваних понять, як асоціативна пам'ять, інтуїція. Йому необхідний і талант.

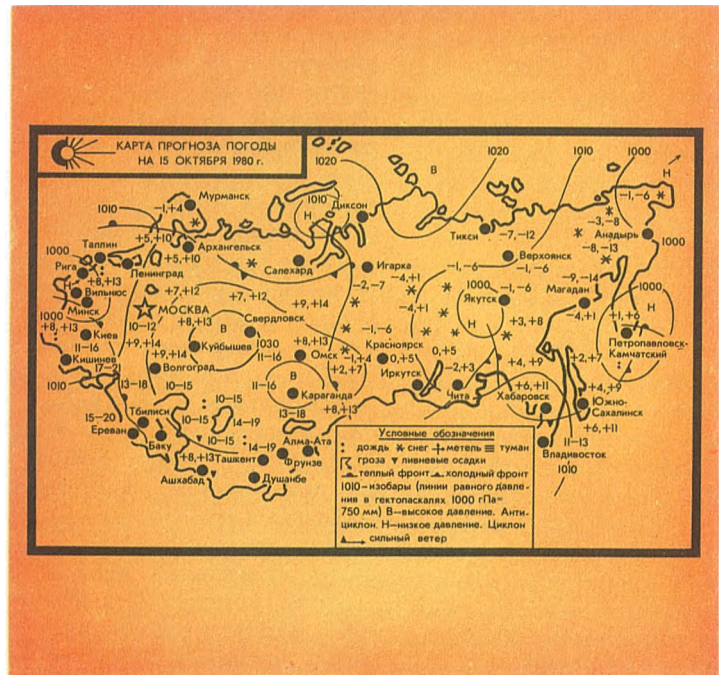
Коли аналіз синоптичної карти завершено, синоптик може перейти до завбачення погоди на найближчий час — на 1—2 доби. Для завбачення погоди, наприклад, на наступну добу, синоптик порівнює щойно складену синоптичну карту з попередніми, ніби читає сторінки з життя атмосфери. Послідовно він дізнається про хід боротьби холодних і теплих повітряних мас, бачить, як народжуються і зникають циклони й антициклони, куди і з якою швидкістю вони рухаються, несучи з собою ясну й теплу погоду чи непогоду, холод, бурі й шторми. Потім, припустивши, що циклони й антициклони, теплі й холодні фронти будуть протягом наступної доби рухатися приблизно з такою ж швидкістю і в тому ж напрямку, синоптик визначає, де всі вони перебуватимуть протягом наступної доби і куди яку погоду вони принесуть.

Проте такий розрахунок надто грубий і його не завжди можна застосувати: циклон чи антициклон поступово змінює свою структуру; швидкість і напрям його руху теж змінюються. Тим часом навіть незначна помилка в розрахунку майбутнього положення циклону чи антициклону веде до серйозних помилок в передбаченні погоди. Для підвищення точності прогнозів дуже важливо мати відомості про явища, які відбуваються на різних висотах над землею. Справа в тому, що повітряні течії на висоті 3—5 км над землею відіграють вирішальну роль для руху, посилення й послаблення приземних циклонів і антициклонів. З напрямку і швидкості верхнього «ведучого потоку» над приземним циклоном чи антициклоном синоптик може судити про напрям і швидкість руху зони певного атмосферного тиску в той чи інший момент часу.

Карти погоди бувають основні й допоміжні. Основні містять майже всі дані про погоду на великій площі. Допоміжними є карти з даними окремих елементів погоди, наприклад, опадів, температури тощо. Часто складання карт залежить від виду прогнозу. Для прогнозів на добу основні карти складають 4 рази на добу.

Верхні течії дають можливість визначати й те, як змінюватиметься тиск в тій чи іншій області. Тому одночасно з приземними картами погоди — синоптичними — складаються й аналізуються висотні карти погоди, або карти баричної топографії. Такі карти складаються чотири рази на добу і містять дані про тиск, температуру, вологість повітря, напрям і швидкість вітру на різних висотах. На цих картах, як і на синоптичних, проводять ізобари, виділяють циклони і антициклони; крім того, враховують напрям і швидкість теплих і холодних повітряних течій на різних висотах. Таким чином, замість однієї лише приземної карти погоди (синоптичної), яка служила майже єдиною основою для складання прогнозів погоди 40 років тому, тепер для цієї мети синоптик має в своєму розпорядженні більші можливості. За допомогою приземних і висотних карт погоди та інших допоміжних даних він вивчає просторову структуру атмосфери, розвиток атмосферних процесів і погоди за минулу добу. Останнім часом для більш глибокого аналізу стану атмосфери почали використовувати дані спостережень метеорологічних супутників Землі. За фотознімками

Рис. 34 Карта прогнозу погоди (з газети «Известия»)



хмарності, що передаються радянськими супутниками системи «Метеор», американськими — системи «Метеосат», виявляють розташування фронтів і циклонів, визначають стадії їх розвитку. І в результаті копіткої роботи народжуються скупі рядки прогнозу: «...Завтра по Києву буде хмарно з проясненнями, часом невеликі опади, переважно у вигляді снігу. Вітер північно-східний, 5—7 м/с. Температура вночі 5—7° морозу, вдень близько 0°...», а також карта прогнозу погоди (рис. 34).

Така в загальних рисах і в дещо спрощеному вигляді та схема, за якою синоптик складає прогноз погоди. Цей метод прогнозу називається синоптичним, або оглядовим.

ЧОМУ БУВАЮТЬ НЕПРАВИЛЬНІ ПРОГНОЗИ ПОГОДИ?

Точність прогнозу погоди залежить насамперед від знання фізичних закономірностей розвитку атмосферних процесів і в певній мірі — від досвіду роботи синоптика. Прогнози погоди порівняно легко складаються й добре підтверджуються в тих випадках, коли зміна метеорологічних процесів є відносно невеликою. Коли ж відбувається перебудова основних повітряних течій і так званих полів тиску й температури, то це супроводжується виникненням і руйнуванням атмосферних фронтів і вихорів. З перебудовою повітряних течій змінюють напрям руху циклони, антициклони — відбувається зміна погоди. З такими випадками звичайно бувають пов'язані невдалі прогнози погоди. Прогноз не підтверджується, коли неправильно розраховано траєкторію і швидкість переміщення циклону й антициклону або фронтів, а також ступінь їх розвитку, не враховано можливості посилення й послаблення їх, а отже, загострення чи розмивання атмосферних фронтів, неправильно визначено ступінь прогрівання й зволоження повітря і розвитку нестійкості тиску в атмосфері, з чим пов'язані зливи й грози або, навпаки, охолодження повітря і утворення туманів тощо.

Найбільш поширені помилки в передбаченні погоди пояснюються в основному такими причинами.

Правильний прогноз погоди на тривалий час можна підготувати, якщо добре відомі «початкові умови» на всій планеті. В перекладі на звичайну мову це означає: в момент складання прогнозу треба детально знати, що відбувається в атмосфері Землі, не «прогавити» назрівання якихось конфліктів у погоді; вони можуть перерости в атмосферні катастрофи, наприклад надовго заблокувати нормальне переміщення повітря, завадити йому переправляти вологу і опади з



заходу на схід, з океану на континент. Не знаючи стану Атлантичного океану й атмосфери над океаном і Західною Європою, неможливо завбачити погоду на європейській частині території СРСР.

Яким великим не є число даних метеорологічних спостережень, які дістає зараз в своє розпорядження синоптик, їх все ж буває не досить для повної характеристики атмосферних процесів. До того ж ті близько 20 тис. метеорологічних станцій світу, про які ми згадували, розподілені по поверхні земної кулі дуже нерівномірно — їх значно більше в густонаселених районах, ніж у віддалених, важкодоступних місцях. Нарешті, частина помилок неминуче пов'язана з самим методом складання прогнозів за синоптичними й висотними картами погоди. Аналізуючи карту погоди, синоптик враховує головні, але далеко не всі фактори, що характеризують погоду. До того ж синоптик аналізує карту погоди майже виключно якісно і суб'єктивно, а тому, навіть знаючи причини явищ і маючи всі дані, не можна передбачити погоду абсолютно точно, а доводиться обмежуватися лише наближеною оцінкою майбутньої погоди. Тому багато спеціалістів вважають, що успіх прогнозу залежить насамперед від інтуїції і таланту синоптика, який дає прогноз. Сама процедура прогнозу є актом «домислювання» недостаючої інформації.

Варто звернути увагу ще на одну важливу обставину. Зведення погоди складаються по областях. Але деякі елементи погоди за розмірами значно менші, ніж територія області. Бюро погоди повідомляє, що у Києві і по області можливі опади. Дійсно, над якоюсь частиною території проходить грозова хмара. В тих же районах області, де грози не було, вважають, що синоптик помилився.

А чи не можна передбачити погоду таким же точним математичним методом, яким астроном передбачає сонячне чи місячне затемнення?

ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУ

Метеорологи давно шукали заміни якісних методів прогнозу погоди об'єктивними кількісними методами. Останнім часом особливо перспективними вважаються чисельні методи прогнозування погоди. Газети й журнали часто-густо посилаються на цей новий метод. Що ж таке чисельний прогноз?

Дехто вважає, що це особливо точний прогноз, складений електронно-обчислювальними машинами. Невтаємниченим людям часто здається, що відомості про погоду, зібрані більше ніж за 100 років у різних країнах, можна піддати статистичній обробці і на ос-



нові одержаних даних з високим ступенем ймовірності передбачити погоду. Проте чисельні методи зовсім не зв'язані із статистикою. Мова йде про фізико-математичний метод попереднього складання карт зміни властивостей атмосфери на різній висоті для великих районів, наприклад для всієї півкулі.

Метод математичних прогнозів сам по собі не новий. Ще в 1904 році норвезький вчений Вільгельм Б'єркнес (його називають основоположником динамічної метеорології) опублікував загальну програму таких розрахунків. Проте на той час було ще дуже мало даних про кліматичні умови у вільній атмосфері. Крім того, вчені погано знали закони, за якими змінюється стан атмосфери. Тому зазнали невдачі досліді й англійського метеоролога Леві Річардсона, який під час першої світової війни опрацював «метод попереднього розрахунку поля тиску» і для прикладу в 1922 році поспробував розрахувати зміну атмосферного тиску й прогноз погоди для Європи на 6 год вперед. Чисельний результат його розрахунків виявився зовсім нереальним, проте запропонований ним принцип розрахунку зміни поля тиску за кроками, тобто через малі проміжки часу, ліг в основу сучасних чисельних методів прогнозу.

В Радянському Союзі успішні спроби розрахунку майбутніх (через добу) значень атмосферного тиску, температури повітря й сили та напрямку вітру були проведені в 1940 році в Головній геофізичній обсерваторії під керівництвом І. О. Кібеля. Але розрахунки прогностичних карт велися вручну, тому трудомісткість методу й недостатня точність одержуваних результатів ускладнювали впровадження чисельних методів завбачення погоди в широку практику служби погоди.

Але ось з'являються електронні обчислювальні машини, і їм доручають аналіз погодних умов. Сам аналіз відразу стає об'єктивним, а прогноз кількісним. На обчислення машина витрачає 8—10 хв. Спочатку машини обмежувалися дослідженням так званих баротропних умов, при яких сила вітру не залежить від висоти повітряних потоків. Дальші пошуки привели до того, що почали враховуватися теплообмін між океаном і атмосферою, вплив суші і конденсаційні процеси при утворенні хмар і опадів.

Ідея чисельного методу прогнозування зводиться до математичної інтерпретації закономірностей атмосферних процесів. З цією метою підбирають систему рівнянь, які описують ці надзвичайно складні закономірності найбільш близько до дійсності. Голов-

Сучасний чисельний прогноз погоди стосується лише трьох елементів: тиску, температури повітря і характеристик вітру. Хмарність, вологість, опади тощо не враховуються в цих прогнозах значною мірою тому, що невідомо, як математично описати процеси, які обумовлюють ці елементи.

на трудність підбору полягає в тому, що рівняння, які описують атмосферні процеси, дуже складні і містять багато невідомих. Пошуки відповіді метеорологічної задачі на ЕОМ починають з визначення чисельного методу її розв'язання і програмування. Математична інтерпретація атмосферних процесів, подана у вигляді диференціальних рівнянь, інтегралів, логарифмічних, показникових і трансцендентних функцій, замінюється робочими формулами, які зводяться до виконання чотирьох основних дій арифметики. Інформація, яка надходить з метеостанцій про погоду, і складена програма обчислень переносяться на перфокарти чи перфострічки і служать основою майбутніх розрахунків. Інформація, нанесена на перфокарту електромеханічним, фотоелектричним чи іншим способом, вичитується пристроєм введення і надходить в пам'ять машини. До електронних машин сконструйовані приставки, які видають за 4—5 хв карти з надрукованими значеннями метеоелементів і проведеними ізолініями.

Більшість синоптиків уважно і з співчуттям ставиться до чисельних прогнозів погоди, слідує за їх розвитком. Але, безперечно, зустрічаються серед синоптиків і скептики.

— Який же це прогноз? — говорять вони. — Адже при його складанні ви нехтуєте багатьма важливими факторами. Ви, наприклад, не враховуєте припливів тепла до рухомих мас повітря, щоб полегшити розв'язання рівнянь. Ви вважаєте, що реальний вітер збігається з геострофічним — вітром «надуманим», який рухається без прискорення. І ще багато якими факторами ви нехтуєте або ж замінюєте їх наближеними. А ось ми, синоптики, враховуємо всі діючі фактори!

Вони, безперечно, помиляються, ці скептики. Коли прогноз складається суб'єктивно, коли він не є результатом обчислень, то дуже важко встановити, що і як враховується в цьому прогнозі. Важко не лише особі, яка спостерігає все це збоку, але й самому авторові прогнозу — синоптику. І потім, якщо синоптик вважає, що він все враховує, то чому ж тоді він іноді помиляється і як йому удосконалювати свої методи прогнозу? Інша справа — чисельний прогноз. При чисельному прогнозі цілком ясно, які ефекти враховуються, а які ні. Тим самим легко скласти собі уявлення про межі застосовності тієї чи іншої схеми чисельного прогнозу.

Причин неточності чисельних прогнозів сьогодні в основному три: по-перше, це неповнота фізичної

схеми прогнозу, неточне врахування в ній тих чи інших факторів, що впливають на погоду; по-друге, недостатня кількість або ж недостатня точність даних спостережень в початковий момент прогнозу; по-третє, наближений спосіб розв'язання рівнянь. Проте вже зараз розробляються такі методи розв'язання прогностичних задач, які не вели б до досить значних помилок.

ДОВГОСТРОКОВІ ПРОГНОЗИ ПОГОДИ

До цього часу ми говорили в основному про прогноз погоди на строк до 3 діб. Але якщо не завжди можна з повною гарантією передбачити погоду на півдобу чи на добу, то чи можна говорити про прогнози погоди на довгий строк — декаду, місяць чи навіть на сезон? Виявляється, можна. Довгостроковий прогноз повинен дати лише загальну характеристику майбутньої погоди, без вникнення в деталі. Потрібно вказати, буде наступний період дощовим чи посушливим, теплим чи холодним, вітряним чи тихим тощо, але без опису погоди по днях.

Існує кілька методів довгострокових прогнозів погоди. По-перше, синоптичний. Він ґрунтується на підборі аналогів синоптичних процесів, що відбувалися в атмосфері в минулому, та визначенні найбільш імовірного шляху розвитку цих процесів у майбутньому. Іншими словами, синоптичний метод складання прогнозів погоди ґрунтується на гіпотезі, що атмосферні процеси, які визначають погоду на великий строк, обумовлюються великими за площею так званими центрами атмосферного тиску (баричними максимумами й мінімумами тиску), які спостерігаються в однакові сезони року приблизно в одних і тих самих областях земної кулі. В кожному окремому випадку положення їх зберігається протягом 6—8 діб. Вважається, що перші 2 дні цього періоду визначають розвиток процесів в частини його. Від розташування центрів тиску та їх інтенсивності залежить положення шляхів руху повітряних мас і фронтів, які їх розділяють, що, в свою чергу, визначає погоду на більшій частині поверхні земної кулі. На основі цього і складається прогноз погоди на решту періоду. Проте ці припущення не завжди виправдовуються.

По-друге, статистичний метод, який ґрунтується на встановленні зв'язків між явищами в атмосфері, океані і на поверхні суші в минулому і зараз (наприклад межа снігового покриву, розташування льоду в північних морях, відхилення від норми температури води в океані тощо) з елементами погоди (опаді, температура і т. д.). Цей метод допоміжний.



В останні роки
опрацьовується фізико-
статистичний метод
завбачення погоди
на тривалий час.
Тут використовуються
кореляції між явищами
в минулому (наприклад,
відхилення від норми
температури води
в океані, льодовитість
арктичних морів, явища
на Сонці тощо)
і шуканими явищами
в майбутньому.

Нарешті, третій, який вважається найбільш перспективним,— це чисельний метод, що ґрунтується на застосуванні до опису атмосферних процесів рівнянь гідродинаміки і термодинаміки. Він дуже складний і вимагає кількісного врахування всієї багатогранності процесів у атмосфері. Відповідні розрахунки під силу тільки найпотужнішим електронним обчислювальним машинам. Поки що він застосовується теж як допоміжний.

Прогнози погоди на місяць складаються в нашій країні, починаючи з 20-х років нашого століття. Хоча за півсторіччя, що минуло з того часу, методи прогнозування безперервно удосконалювалися, проте й зараз вони не мають доброї підтверджуваності. Основним при складанні довготривалих прогнозів погоди в органах Гідрометслужби СРСР є синоптичний. Для прогнозу погоди підбираються так звані карти-аналоги за попередні роки, тобто за роки, коли помітні риси розвитку атмосферних процесів у попередні місяці й сезони відбувалися аналогічно поточному рокові. Потім на основі аналізу процесів і додаткових даних висловлюються міркування про очікуваний розвиток процесів у наступному місяці.

На жаль, використовувані при складанні місячних прогнозів положення про розвиток атмосферних процесів і погоди протягом прогнозованого місяця не завжди підтверджуються. Ті чи інші статистичні зв'язки виявляються нестійкими, оскільки при їх встановленні не завжди використовуються об'єктивні способи оцінки. Ось чому місячні прогнози погоди бувають не точними. Підтверджуються вони на 70—75%.

За кордоном (в США, Англії, Японії) довгострокові прогнози погоди (терміном до одного місяця) випускаються в дослідному порядку. Метод їх складання близький до нашого синоптичного, підтверджуваність — не вища за нашу. Але й там швидкими темпами йде опрацювання чисельних методів. Неточність місячних прогнозів погоди привела до того, що в 1974 році після 15 років складання таких прогнозів французька метеослужба перестала публікувати місячні прогнози погоди.

До недавнього часу проблему довгострокових прогнозів намагалися розв'язувати сепаратно в різних країнах (і з однаковим успіхом), але тепер метеорологи всього світу прийшли до переконання, що таку «всепланетну операцію» можна здійснити лише об'єднаними зусиллями. І це не лише слова. Вчені розробили Міжнародну програму досліджень глобальних атмосферних процесів.

ЗАВБАЧЕННЯ ПОГОДИ ЗА МІСЦЕВИМИ ПРИКМЕТАМИ



Народний досвід виробив ряд ознак, за якими можна передбачити погоду на 6, а іноді й на 12—18 год чи навіть на добу. Правда, від таких передбачень вже не можна вимагати подробиць по частинах доби або по елементах погоди. Не можна, наприклад, завбачити, яка буде температура повітря, а тільки — похолодає чи потепліє.

Таких прикмет існує багато, і вони надзвичайно різноманітні. В основі їх лежать спостереження, які велися століттями, і тому прикмети при певних умовах можуть виявитися вірними. Ці прикмети, звичайно, нічого спільного не мають з забобонними і помилковими прикметами, частина яких пов'язана з релігійними віруваннями. Тепер уже мало знайдеш простаків, які вірять, що коли ввечері попереду стада корів йде біла корова, то це віщує добру погоду, а коли чорна — то непогоду. Але й зараз іноді намагаються пов'язувати погоду з фазами Місяця, передбачати погоду за зірками, хоча це так само помилково, як і передбачення «по корові».

Чимало є й самозванців від метеорології. Ведуть вони свій рід від численного в історії загону знахарів, віщунів, ясновидців. Поки метеорологія була «в дитячих пелюшках», цей люд справно вгамовував спрагу суспільства в пізнанні майбутньої погоди. Методика прогнозу, як правило, не афішувалась: чим більше туману й містики, тим сильнішим був психологічний ефект прогнозу.

В міру «змужніння» метеорології містика й гадання виходять з довіри в ділових людей. І самозванці негайно перебудовуються. На озброєння береться наукова термінологія, «мудра» до неможливості. На той же випадок, коли комусь спаде на думку поцікавитися методикою складання прогнозу, заготовляється відповідна методика. Спирається вона, як правило, на емоційно вражаючі і погано досліджені наукою об'єкти. Особливо поталанило об'єктам космічним — плямам на Сонці, Місяцю, кометам, ядрові Галактики. Спробуй доведи, що вони не впливають на погоду! Адже вчені самі говорять, що якийсь вплив, якісь складні зв'язки можливі. Вчені припускають, а самозванці знають точно.

На відміну від цих спекулятивних домислів численні народні прикмети погоди мають під собою багатовіковий досвід людства, і синоптики не ставляться до них зневажливо, а, навпаки, вчені намагаються осмислити кожну народну прикмету. В їх основі, як і в основі наукового прогнозування, лежить багато просторових і часових факторів, які визначають погоду.

ПОГОДА Й ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ



Коротко зупинимось ще на чутливості людини до погоди. Є багато людей, які внаслідок недуги, перелому кісток, ревматизму чи вогнестрільного поранення стають чутливими до погоди: перед зміною погоди вони відчують терпкий (ниючий) біль і з певним переконанням судять про майбутні зміни погоди. Біль виникає тоді, коли хороша погода змінюється дощовою. Відому роль при цьому відіграють сильне падіння тиску повітря, збільшення його вологості, а також електричні процеси в атмосфері.

Найвідчутніше дають про себе знати ці явища тоді, коли циклон змінюється антициклоном. При цьому змінюються властивості крові: наприклад, вона швидше зсідається, змінюється її кількісний склад — вміст цукру, кальцію, фосфору, натрію, магнію, тобто порушується нормальне функціонування ендокринних залоз. Для хворих ці зміни можуть носити драматичний характер; недарма існують періоди, коли має місце великий процент смертності, обумовлений різкими коливаннями погодних умов.

Тому не дивно, що зараз до санаторіїв систематично надсилаються прогнози погоди на кілька днів наперед. «Очікується третя група погод» — попереджує метеозведення, яке надсилається до санаторіїв Південного берега Криму з Ялтинського науково-дослідного інституту фізичних методів лікування і медичної кліматології імені І. М. Сеченова. Лікарі добре знають, що ця «група погод» позначається на самопочутті людей, хворих на гіпертонію, склероз судин серця і головного мозку, тих, хто переніс інфаркт. У здравницях ці люди беруться під особливий контроль. На час несприятливої погоди їм відмінюють активні діючі процедури, такі, як купання в морі чи басейні, далекі прогулянки, грязьові ванни. Оберігаючий режим і посилені дози фармакологічних засобів знімають негативний вплив метеофакторів. Завдяки цьому хворі люди відносно легко переносять труднощі, зв'язані з різкою зміною погоди.

Дещо незвично звучать прогнози погоди по польському радіо: «Наближається теплий атмосферний фронт. Треба чекати туману, сповільнення реакції і неуважності у водіїв». Ці попередження передаються біометеорологічною станцією при медичній академії в Кракові. Прогноз уважно слухають співробітники польської міліції, оскільки психічний стан водіїв впливає на безпеку вуличного руху.

А група психологів з штату Флоріда, зайнявшись статистичними підрахунками за декілька років, встановила цікавий факт: пора масових прогулів лекцій

ШТУЧНИЙ ВПЛИВ НА ПОГОДУ Й КЛІМАТ

ЧИ МОЖНА КЕРУВАТИ ПОГОДОЮ?

студентами починається приблизно за 2—3 доби до ураганів чи тайфунів. При цьому відмічено специфічну деталь: студенти скаржаться на пригнічений стан, при якому «гідко навіть дивитися на книги чи вислуховувати щось розумне». Чи не можуть вчені використати такий фактор для точного прогнозування стихійних лих?

Шалений темп нашого життя привів до того, що люди стали нервовішими і тому чутливішими до погоди.

Ще в сиву давнину люди замислювались над погодою, намагаючись змінити її чи принаймні передбачити. І не тільки замислювались — метали до хмар стріли, аби розсіяти їх. Але релігія вчила: тільки боги — злі чи добрі — можуть створювати погану чи добру погоду. Треба приносити їм жертви, молитися — і проясниться небо чи піде довгожданий дощ...

Найпростіший спосіб впливу на погоду знали у стародавньому Римі. Тут був спеціальний священний камінь, який постійно лежав за мурами Вічного міста, а в посуху його затягували на Форум, вважаючи, що це неодмінно викличе зливу. Свій, хоча й не перевірений експериментально, рецепт подає і славетна «Енеїда». Пригадуєте, як швидко зібрав своїх підлеглих Еол, хоча вони були не в гуморі («Борею недуж лежить з похмілля, А Нот поїхав на весілля, Зефір же, давній негодай, З дівчатами заженихався, А Евр в поденщики найнявся...»), а тоді

«Велів поганій быть погоді...

Все море зараз спузирило,

Водою мов в ключі забило...»

Траплялося, що впертих і незговірливих святих, які не прислухалися до молитов, мотузками витягували в поле, щоб вони особисто переконалися, як потрібен землі дощ. Для наочного роз'яснення святому своїх вимог віруючі опускали ікони в воду. Іноді застосовувалися й більш суворі заходи. На острові Сіцилія в 1893 році була тривала посуха. Ніякі молебни й хрестові ходи не допомагали — дощу не було. Тоді селяни, які прийшли на богослужіння в Палермо, суворо покарали святих, повернувши їх статуї обличчям до стін храму, статую святого Йосифа виставили за двері, а статую святого Андрія закували в ланцюги, загрожуючи втопити або повісити. «Дощ чи мотузка!» — кричав розгніваний натовп.

Перші спроби активно вплинути на погоду почалися давно. За твердженням грецького історика і письменника Плутарха (46—126 роки н. е.), спостерігалось



«А МЕНІ, БУДЬ ЛАСКА, ДОЩ»

посилення дощів після великих битв. Після винайдення пороху ця думка знову пішла в хід: струс атмосфери при вибухах, як раніше — внаслідок ударів мечів і взагалі шуму битви, був нібито причиною посилення коагуляції краплинок хмар та перетворення їх на великі краплини опадів. Посилались на те, що Бородинський бій, битва при Ватерлоо супроводжувались зливами. Тому в XVIII столітті в різних країнах, в тому числі в Росії, США, Австралії і в ряді країн Західної Європи, щоб викликати опади або розсіяти грозові хмари, почали стріляти по хмарах з гармат. Дощі іноді після стрілянини випадали, але не було впевненості, що їх не було б без артилерійської канонади.

Тепер розповідь про стрілянину з гармат по хмарах з метою їх розсіювання викликає в нас посмішку. Ми добре знаємо, що галасом дощу не викличеш. Досить уявити собі, скільки потрібно енергії, щоб утворилася грозова хмара, і буде зрозуміло: гарматним пострілом погоди ніяк не зміниш.

Здавна мріяли люди підкорити хмари, навчитися викликати або припиняти дощі. Про це читаємо в «Одісеї» Гомера, у пам'ятнику літератури арабського Сходу «Тисяча і одна ніч», у фольклорі інших народів. Нині за те, що протягом століть вважалося «божою справою», взялися вчені.

У повітрі завжди багато вологи, але дощ випаде тільки тоді, коли сконденсовані у хмарах краплинки стануть досить великими. Як же викликати дощ штучно? Існує два можливих шляхи викликати штучні опади — спрямований вплив на готові хмари і спроби штучного створення хмар. Кожен з нас бачив, як дощова хмара неначе чогось вичікує. В таких випадках дощ інколи йде, а іноді — ні. Чому це? Чи не можна допомогти природі у подібних випадках? Як дати хмарі той останній поштовх, що виведе її з непорухності, і вона подарує дощ саме тоді, коли він дуже потрібний?

В літніх хмарах, що бурхливо розвиваються, опади у вигляді дощу часто починаються внаслідок механічного укрупнення краплин, яке відбувається в результаті їх частих зіткнень. Зростання крапель відбувається і внаслідок конденсації водяної пари на вже утвореній краплі, і особливо інтенсивно (що для нас дуже важливо), коли при розвитку хмари вгору краплинки попадають в зону з негативними температурами і замерзають або якщо в хмарі з'являються кристалики льоду. В таких випадках краплі

ростуть швидко, попутно зливаючись з оточуючими, і випадають (в залежності від температури) у вигляді снігу чи дощу в нижніх шарах атмосфери. Якщо хмара росте дуже швидко і досягає зони з негативними температурами повітря, в центрі такої хмари внаслідок швидкого замерзання великих крапель може утворитися град.

Це і підказало шляхи впливу на такі хмари. Щоб викликати опади, необхідно створити в хмарі на висоті, де негативна температура, певну кількість кристаликів льоду, щоб «спровокувати» краплини хмари на інтенсивну кристалізацію.

Перші спроби впливу на хмари з метою їх розсіювання або для стимулювання опадів мають досить давню історію. 1784 року шотландський геолог Джеймс Хаттон подав королівському товариству Едінбурга доповідь, в якій доводив: дощ можна одержати шляхом охолодження насиченої водяної пари повітря. Висновок був правильний, але дуже загальний. В 20-х роках нашого століття дослідження активних впливів на погоду проводив в Ленінграді В. І. Віткевич. В 1931 році в Ленінграді було створено Інститут штучного дощу, пізніше перейменований в Ленінградський інститут експериментальної метеорології (ЛІЕМ). Вченими цієї й ряду інших науково-дослідних установ були проведені в 1934—1937 роках перші успішні досліді з активного впливу на хмари. Проте, незважаючи на досягнуті в 30-х роках перші сприятливі результати по одержанню штучних опадів, радянські вчені не вважали розв'язання проблеми успішним, оскільки під час проведення дослідів не були одержані опади в значній кількості. Вітчизняна війна змусила значно скоротити розмах досліджень, і лише після завершення війни вони знову почали розвиватися.

Досліді по активному впливу на хмари проводилися і в інших країнах. Перші успішні досліді були проведені в 1946—1948 роках американськими вченими Вінсентом Шефером, Ірвінгом Ленгмюром і Бернардом Воннегуттом. Вони «засівали» шаруваті переохолоджені хмари невеликої товщини сухим льодом, скидаючи його на хмари з літака. Через 15—20 хв після цього хмари в місцях «засіву» майже розсіювалися, а на землі спостерігався легкий снігопад. Перші ж успішні результати дослідів були широко розрекламовані в США, що створило враження, ніби проблема впливу на хмари розв'язана. В. Шефера оголосили творцем «нової» науки — експериментальної метеорології. З метою розробки питань впли-

Радянські вчені довели, що з хмари випадає значно більше води, ніж міститься в ній (іноді в 40 раз!). Хмара є не «резервуаром» а швидше насосом, який безперервно «засмоктує» водяну пару з висхідних потоків повітря.



ву на хмари в США було утворено кілька великих груп дослідників, які одержували кошти від військових організацій і широко користувалися авіаційною та іншою технікою.

Одночасно запопадливі ділки створили велику кількість комерційних компаній з умовними «метеорологічними» назвами, які займалися... «виробленням дощу». Почали укладатися контракти з фермерами, власниками підприємств і курортів з обіцянками викликати дощ чи забезпечити сонячну погоду на замовлення.

Реклама допомогла ділкам одержати кілька мільйонів доларів прибутку за рахунок довірливих фермерів. Проте через 3—4 роки обман став очевидним, і при уряді США був створений консультативний комітет для перевірки роботи «метеорологічних компаній». Комітет рекомендував більше розвивати наукові дослідження та скоротити діяльність комерційних підприємств.

В чому ж полягає механізм укрупнення (коагуляції) чи кристалізації краплинок хмари при введенні в хмару часточок твердої вуглекислоти? Хмари, які складаються з переохолоджених водяних крапель, можуть існувати тривалий час. Порушити цю рівновагу і перетворити краплі в кристалики льоду можна шляхом внесення в хмару згаданих вище речовин.

Часточки твердої вуглекислоти при випаровуванні охолоджуються майже до -80°C , і навколо них утворюються дрібнісінькі крижинки. Вони здатні рости до розмірів однієї мільйонної сантиметра, після чого можуть продовжувати своє зростання (незалежно від наявності штучного охолодження) внаслідок дифузного перенесення водяної пари з краплинок на кристалики. Це перенесення водяної пари пояснюється тим, що відносна вологість над крижинками завжди більша внаслідок низької температури їх поверхні, а отже, тиск суміші повітря й водяної пари менший, ніж над краплями. Це обумовлює «перекачування» водяної пари від більшого тиску до меншого. Отже, переохолоджені краплинки зменшуються внаслідок випаровування, а кристалики льоду зростають і перетворюються згодом в сніжинки, які випадають на землю. Таким чином хмара розсіюється (руйнується) і утворюються опади.

Цей процес найкраще здійснюється при температурі близько -10°C (частинки йодистого срібла викликають кристалізацію і при температурі нижче -5°C).

За підрахунками вчених, збільшення кількості опадів над обмеженими площами степової частини України внаслідок штучного впливу на шаровато-купчасті, шарувато-дощові і шаруваті хмари великої товщини може досягти 15% від середньої багаторічної їх кількості.

Двадцять років тому радянські вчені почали досліджувати можливості утворення опадів штучним шляхом. В Дніпропетровській області було створено експериментальний метеорологічний полігон Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту для проведення досліджень активного впливу на хмари. Для полігону було спеціально обрано степову зону України, де вологи часто не вистачає.

Для проведення експериментальних робіт використовували чотири літаки-лабораторії «Іл-14» з установками для введення в хмари твердої вуглекислоти чи йодистого срібла, які стимулювали випадання опадів. Спочатку вчені намагалися «видавити» дощ чи сніг з невеликих хмар, вважаючи, що з потужних хмар і так багато може випасти води. Проте згодом прийшли до висновку, що з великими купчасто-дощовими хмарами справу мати вигідніше. Потрібно було зміркувати, як підступитися до великої хмари. Маленькі хмаринки просто обсипали реагентом зверху, а як бути у випадку великої хмари? Розв'язок цієї задачі виявився досить хитро-мудрим.

Розшукавши потрібну хмару, літак повільно кружляє під нею, випускаючи струмину розпиленого йодистого срібла. Висхідні від землі теплі потоки повітря підхоплюють цю струмину, і хмара, мов пилосос, поглинає кристалики реагенту. За структурою вони такі ж, як лід, тому водяна пара, «обдурившись», осідає на «принаду» — додаткові зародки крижинок.

Через кілька хвилин після засівання хмари йодистим сріблом вершина хмари блідне, стає волокнистою й починає повільно осідати. Нижня межа, спочатку чиста й рівна, ніби розкуйовджується, і великі краплі дощу починають тарабанити по крилах, фюзеляжі літака, стікають по склу ілюмінаторів. Кількох грамів йодистого срібла буває досить для того, щоб з хмари середнього розміру «видоїти» тисячі тонн води.

Результати багаторічних досліджень показали, що на обмежених територіях цілком можливо збільшити кількість опадів. За підрахунками, виконаними в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті, вартість тонни штучно викликаних опадів не перевищує однієї копійки.

РОЗСІЮВАННЯ ХМАР І ТУМАНІВ



...Вранці 7 листопада 1952 року в столиці нашої Батьківщини Москві було хмарно. Екіпажі п'яти літаків (чотири «Лі-2» і один «Іл-12») дістали наказ — до початку параду небо над Красною площею має бути чисте: жодна хмара не повинна пройти до Москви. Літаки піднялися в повітря, пильно стежачи за напрямком руху хмар. Як тільки хмари прямували на столицю, літаки «солили» хмари дрібним порошком твердої вуглекислоти, і над Красною площею світило яскраве сонце.

Різні спроби розсіювання переохолоджених хмар починають успішно використовуватися для «розкриття» аеродромів від низької хмарності. В принципі це завдання слід вважати розв'язаним. Зараз на порядку денному стоїть завдання створити на всіх найважливіших аеродромах служби по розсіюванню хмар. Знайдені також способи розсіювання туманів взимку над аеродромами. Найкраще це вдається при розпиленні в переохолодженому тумані твердої вуглекислоти. Вуглекислота в цих випадках розпилюється спеціальними установками, розташованими в певних місцях на аеродромі.

Засіювання туману сухим льодом можливе і з літака, але в цьому випадку літак повинен злітати з сусіднього, не закритого туманом аеродрому. Ефект розсіювання туману таким способом настільки значний, що зараз багато великих аеродромів у нашій країні забезпечені спеціальними установками і пристосуваннями для розсіювання переохолоджених хмар і туманів, які закривають злітно-посадочні смуги. Наприклад, в Алма-Аті вже кілька років у холодне півріччя аеропорт «розкривається» від туманів.

Ви, мабуть, подумали, чому це автор говорить про аеродром в Алма-Аті, а не десь на Україні. Справа в тому, що тумани на Україні взимку і в перехідні сезони, як правило, спостерігаються при температурах близько 0°C або трохи вищих — метеорологи називають їх «теплыми», або малопереохолодженими. А розпилення сухого льоду, йодистого срібла чи свинцю в теплих хмарах чи туманах не дає позитивних результатів. Все ж на Україні в деяких аеропортах є необхідна техніка для штучного впливу на хмари і тумани, і в тих випадках, коли температура в них нижча -4°C , ведеться їх розсіювання.

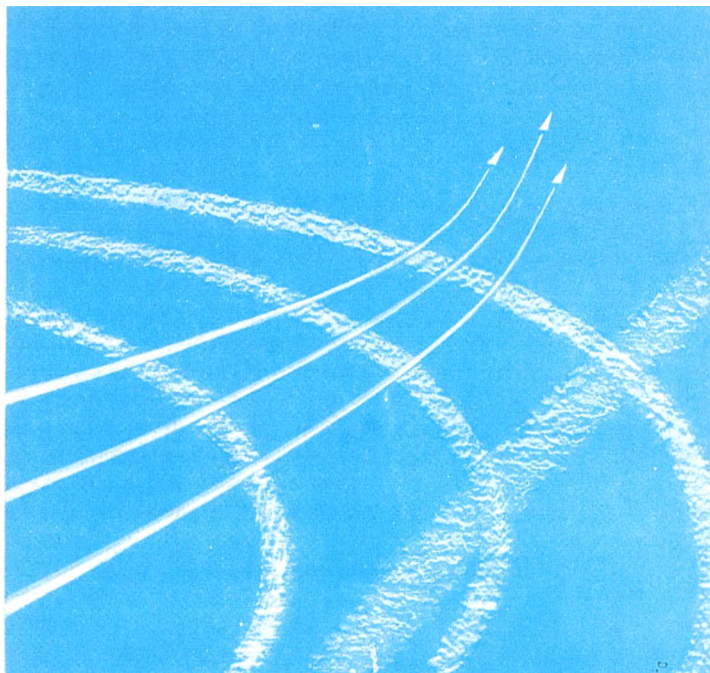
СТВОРЕННЯ ХМАР

Досі ми говорили про одержання додаткових опадів з недошових хмар за рахунок засівання їх певними речовинами-реагентами. А чи не можна штучно створювати дощові хмари і викликати дощ? Це запитання не випадкове. Адже навіть під час літньої спеки, коли все сохне, кількість вологи в повітрі досить значна.

До речі ми досить часто спостерігаємо штучні хмари. Ось в ясному небі несподівано з'явилися білі смуги (рис. 35), ніби хтось навмисне розкреслив його. Вони схожі на перисті чи перисто-купчасті хмари. Це слід від літаків, наслідок роботи їх двигунів, що викидають вихлопні гази, а разом з ними — вологу, яка конденсується в холодному повітрі великих висот. Штучні хмаринки тримаються на небі певний час і поступово зникають. Вони менш стійкі, ніж природні перисті хмари, і звичайно опадів не дають. Потужні хмари, які б давали дощ, створити важче, але їх вже починають створювати.

Так, на півдні Франції, на зеленому плоскогір'ї Ланземана французький вчений Андре Дессін змонтував установку для виробництва хмар — метеотрон. На землю укладаються металеві труби, що утворюють

Рис. 35 Сліди літаків на небі.





Агресивні кола Заходу прагнуть використати можливості штучного створення дощу для опрацювання планів ведення метеорологічної війни. Всесвітня Рада Миру у 1972 році звернулася з закликом боротися проти цих планів.

квадрат з стороною 125 м. Через кожний метр в труби вварюють встановлені вертикально нафтові пальники. Неподалік розташовується потужна насосна установка, поряд — дві величезні цистерни з дизельним паливом (газойлем). Пальники метеотрона спалюють за хвилину близько тонни палива, інтенсивно нагріваючи повітря. Тривалість дії метеотрона — 3 хв. Дію своєї установки А. Дессін продемонстрував в травні 1963 року шістдесятьом фізикам і метеорологам з дванадцяти країн, які на його запрошення прибули у Францію. За сигналом А. Дессіна з усіх пальників вирвалися вогняні стовпи, всередині квадрата загорівся пісок, і в чорних клубах диму завирувало полум'я. Але не це ефектне видовище привернуло до себе увагу присутніх — всі як один дивилися вгору. В небі над полум'ям метеотрона в сліпучо ясній блакиті чітко виднілися хмари, що зароджувалися. Як писав журнал «Сьянс е ві», «...це чудо сталося менш ніж за 5 хвилин». Принцип дії метеотрона досить простий. Нагріте повітря швидко піднімається вгору, там воно охолоджується; волога, що міститься в повітрі, починає конденсуватися, і в голубому небі з'являються легкі хмари. Їх стає все більше, вони перетворюються в темні купчасті хмари, з яких можуть випадати опади. Аналогічні досліді з метеотронами проводяться і в США.

Цікавий комплексний експеримент готується у Вірменії. Вчені вирішили допомогти озеру Севан, яке швидко міліє. Спеціалісти прагнуть осаджувати вологу з усіх хмар в цьому районі.

Небо над озерною гладінню борознитимуть спеціально обладнані літаки, приціл на хмари візьмуть зенітні гармати, які стрілятимуть снарядами, начиненими йодистим сріблом, запрацюють потужні аерозольні генератори. А на висоті 2300 м над рівнем моря з незвичайної установки, схожої на космічний корабель, — суперметеотрона під гуркіт реактивних двигунів з величезною швидкістю вирветься вертикально вгору струмина гарячого повітря.

Ідея суперметеотрона підказана самою природою. Той, кому доводилось спостерігати лісові пожежі, знає: іноді над стовпами диму, що здіймається в небо, з'являються купчасті хмари. В нашій країні вже є приклади, коли вдавалося гасити лісові пожежі за допомогою дощу, викликаного, зокрема, з хмар, які утворились в результаті таких пожеж.

Суперметеотрон складається з шести авіаційних турбореактивних двигунів, розташованих по колу в зір-

коподібному порядку на однаковій відстані один від одного. Двигуни сполучено з встановленою в центрі камерою, де струмини об'єднуються в єдиний потік. Цей потік спрямовується в спеціальну форвакуумну башту, де нагрівається до температури 1100°C — чим не мартенівська піч! Потім потік буде стрімко викинуто в атмосферу. При цьому його початкова швидкість повинна майже вдвічі перевищувати швидкість звуку. Може виникнути питання: звідки така швидкість? Висхідний потік утворюється завдяки двом ефектам: дії самих струмин і підйманню розжареного повітря, яке виштовхується холоднішим оточуючим повітрям. Струмини розжареного повітря піднімаються в атмосферу приблизно на 3 км. Охолоджуючись на висоті, вони можуть викликати появу хмар над Севаном і випадання дощу. Сьогодні дослідники вміють розсіювати тумани, захищати лани, виноградники і сади від градобою. Настане день, коли люди навчатимуться припиняти зливи і викликати опади з безхмарного неба.

„РОЗСТРІЛЯНІ“ ХМАРИ

Незабаром після другої світової війни селяни Північної Італії запускали в небо картонні ракети з пороховим зарядом. Це було перше поголовне захоплення активним впливом на стихійні сили природи. Пізніше були винайдені спеціальні протиградові ракети, начинені в більшості випадків тим же сухим льодом, йодистим сріблом та іншими реагентами. При вибуху такої ракети хмара «засівається» величезною кількістю найдрібніших часточок сухого льоду чи йодистого срібла. Один грам цих речовин утворює в хмарі при температурі -10°C близько 10^{12} льодових кристаликів, при цьому різко збільшується кількість «зародків» граду. Запас води в хмарі розподіляється між значно більшим числом градин, внаслідок чого вони не можуть сильно зростати в об'ємі. Дрібні ж градини і сніжинки, опускаючись в нижні шари хмари, тануть і випадають у вигляді дощу. І хоча цей спосіб не завжди дає належні результати, він досить поширений в деяких країнах, особливо в Італії й Франції. Протягом останніх 15—20 років в Італії запускалось кілька десятків тисяч протиградових ракет.

Проте цей спосіб боротьби з випаданням граду має істотні недоліки. При захисті того чи іншого району від градобою стрільба ракетами ведеться по всіх підозрілих хмарах, а при випаданні граду: під дією сухого льоду чи йодистого срібла засівається весь об'єм повітря над даним районом.



Основна ідея боротьби з градом полягає у введенні в градову хмару великої кількості шматочків льоду, щоб утворені кристалики залишалися дрібними і не росли.

В останні роки опрацьовано новий спосіб боротьби з градом. Основою для нього стали дослідження фізичної природи градової хмари, проведені під керівництвом професора Г. К. Сулаквелідзе співробітниками Високогірного геофізичного інституту Держкомітету СРСР по гідрометеорології та контролю природного середовища. Їхні дослідження показали, що в градовій хмарі вертикальна швидкість потоків повітря не на всіх висотах однакова. Існує висота, де вертикальна швидкість досягає 20 м/с і навіть більше. Висхідні потоки в такій хмарі, як відомо, підтримують у завислому стані або піднімають вгору краплини і градини, що весь час зростають в об'ємі. Чим більша вертикальна швидкість руху в градовій хмарі, тим більших розмірів можуть досягти градини. В результаті досліджень стало ясно, що максимальне число крапель, або, як кажуть метеорологи, «максимум водності» градової хмари, повинно лежати над максимумом вертикальної швидкості повітря в хмарі. Таким чином, вченим удалося виявити своєрідне «серце» градової хмари, яке є і найбільш вразливим місцем у всьому її величезному «тілі».

За допомогою радіолокатора можна не лише спостерігати градові хмари в цілому, але й досить точно визначати положення «серця» цієї хмари, тобто ділянки, при достатньому розвитку якої випадання граду стає неминучим. А якщо так, то є можливість засівати сухим льодом чи йодистим сріблом саме цю ділянку. Сам собою напрошується і метод введення реагенту в хмару—за допомогою зенітних гармат чи ракет. І при цьому є можливість стріляти не навмання, а вражати найбільш вразливе місце. Найбільш складно—вловити мить, коли в хмарі з'являються «зародки» майбутніх градин. Саме в цей момент і треба послати туди артилерійський снаряд, начинений спеціальним хімічним реагентом. При вибуху снаряд викине в хмару міриади штучних «зародків», які миттю почнуть одягатися в льодовий панцир. А оскільки навіть у великій хмарі запаси води обмежені, її не вистачить, щоб всі бусинки доросли до великих градин. Дрібні ж не страшні: поки долетять до землі—розтануть в теплому шарі повітря або, в гіршому випадку, просипляться сніговою крупою. Від неї посівам шкоди не буде. Але потрібна справді ювелірна робота, щоб потрапити «в яблучко».

Користуючись цим методом, працівники Високогірного геофізичного інституту вже ряд років охоро-

няють від граду виноградники Алазанської долини в Кахетії (Грузія). В загонах цього інституту по боротьбі з градом в 1970 році діяло близько 70 гармат, якими керували за допомогою 18 радіолокаційних станцій. Протягом всього градового сезону на територію району, який оберігали вчені, не впадо жодної градини.

За опрацювання й впровадження даного методу боротьби з градобоями з використанням протиградових ракет і снарядів ряду вчених було присуджено в 1969 році Державну премію СРСР.

Зараз в багатьох країнах поля й сади оточують протиградовими ракетними й зенітними установками. Не перший рік ведеться «зенітна війна» проти граду в Болгарії, Угорщині, Франції, США, Італії, Швейцарії, Канаді.

ПРИБОРКАННЯ УРАГАНУ

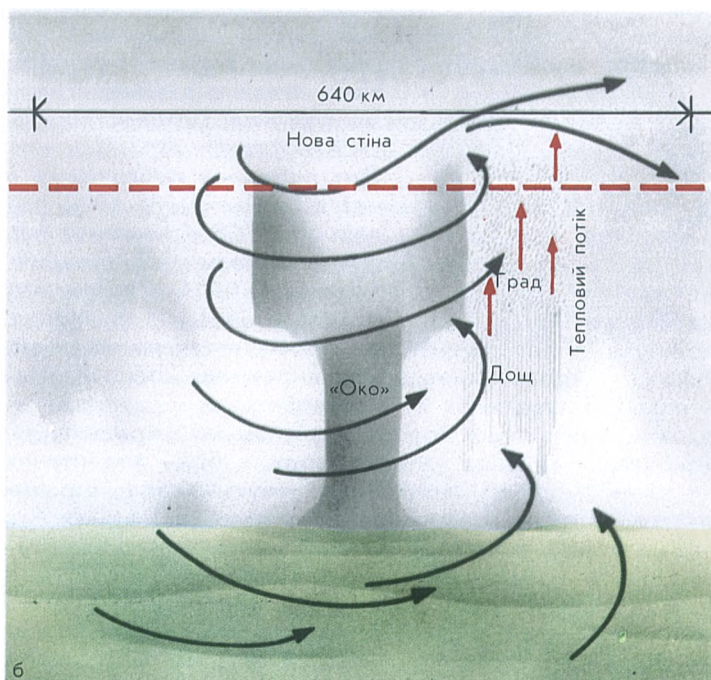
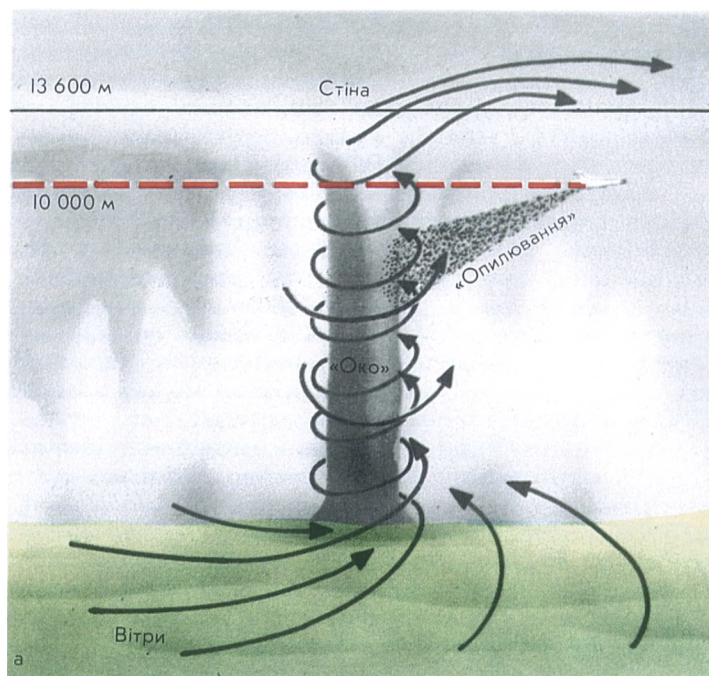


Вчені-метеорологи давно намагаються послабити силу ураганів. Особливо велику роботу в цьому напрямку ведуть американські вчені. Для цього вони, зокрема, пробують розпилювати в центрі урагану кристали йодистого срібла.

В останні роки проводилися досліді по приборканню ураганів за проектом «Несамовита буря». Суть цього проекту полягає ось у чому (рис. 36). Реактивний літак вривається в стіну хмар і починає скидати спеціальні бомби. Вибухаючи, кожна така бомба розкидає близько 180 г йодистого срібла. Стикаючись з краплями переохолодженої води, кристали йодистого срібла утворюють крижинки; при цьому виділяється теплота кристалізації. В результаті нагрівається «оцилене» таким способом повітря, і нижні його шари прямують вгору. Стіна хмар, що оточувала порожнину урагану, руйнується і витісняється більш сильними потоками повітря, які утворюють нову стіну хмар. Вона більш віддалена від центру урагану, внаслідок чого потоки повітря проходять довший шлях. Зміна структури урагану приводить до його послаблення: так сповільнюється обертання балерини, коли вона витягує руки в сторони.

Найбільш вдалим експериментом на цьому шляху вважається спроба «загнуздати» ураган «Деббі» в 1969 році. В боротьбі з ним взяли участь 13 літаків. Після першої обробки хмар швидкість вітру зменшилась на 30%. Наступного дня ураган знову почав набирати силу. Обробку хмар повторили; через дві доби швидкість вітру зменшилась на 15%. І що найдивніше — ураган не «звалився» на узбережжя, а «пішов» у відкритий океан.

Рис. 36 Руйнування урагану
«опилюванням»:
а — до «опилювання»;
б — після «опилювання».



ЧИ ЗМІНЮЄТЬСЯ КЛІМАТ ЗЕМЛІ?

Погода цікавить усіх. І кожна її примха — виключно морозна або м'яка зима, дуже холодне чи занадто жарке літо — викликає загальне здивування, розмови про те, що, мовляв, нічого подібного раніше не було.

Після тієї чи іншої примхи погоди в редакції газет, на студії телебачення надходять сотні листів з одним і тим же запитанням: що сталося з погодою? Найбільш забавним є те, що редакціям газет і журналів ось уже майже два століття доводиться відповідати на подібні запитання. Ще 150 років тому кілька російських журналів опублікували листи, в яких твердилось, що тодішні зміни погоди навіть порівняти не можна з попередніми, що вони віщують «кінець світу».

Причини подібних висловлювань зрозумілі. Хтось дуже точно підмітив, що старожили багато чого не пригадують. Дійсно, значні зміни погоди трапляються не так вже й часто. Звичайно вони відокремлені одна від одної багатьма роками. І люди, звичайно ж, погано пам'ятають, що й як було в минулому. Тому кожного разу їм здається, ніби відбувається щось дивовижне.

«Винуватцями» примх погоди значною мірою є океани, які зберігають гігантські запаси внутрішньої енергії. Особливо впливають на погоду зміни в атмосферній циркуляції. Атмосферні потоки іноді настільки відхиляються від своїх звичайних шляхів — а такі відхилення неминучі, тому що вся система рухлива і малостійка, — що це і веде до різких змін погоди.

Для прикладу розглянемо причини надзвичайно жаркої половини літа 1972 року, коли на Європейській частині СРСР в червні й липні стояла просто тропічна спека. В окремі дні липня в Москві термометр показував $+36^{\circ}\text{C}$. Температура води в Північній Двіні досягала $26,1^{\circ}$, а в Москві-ріці — $26,2^{\circ}\text{C}$. Ще ніколи тут вода так не нагрівалася. Чим же пояснювалась така тривала спека на великих просторах нашої країни?

В нормальних умовах влітку атмосферні течії йдуть з заходу, з боку Атлантичного океану вздовж широт. Вони несуть порції порівняно вологого й прохолодного повітря. І тоді в Європі встановлюється температура приблизно $20\text{—}25^{\circ}\text{C}$. Але іноді розвиваються так звані «блокуючі» ситуації. Шлях західним потокам перепиняє стійкий антициклон, який перешкоджає проникненню вологого морського повітря глибоко на континент. Ось такий «блокуючий» антициклон



Аномалії погоди, такі як дощове літо 1976 року в Східній Європі чи, навпаки, засушливе й жарке літо 1972 і 1975 років, прогнозувати неможливо, тому що невідомі причини їх виникнення.

і розвинувся на початку червня 1972 року над Європейською частиною СРСР. Він простягався до висоти 16 км. Режим погоди змінився. Далеко на північ і схід, сягаючи Уралу й узбережжя арктичних морів, поширилося повітря, нагріте в степах Прикаспію, Нижньої Волги, Західного Казахстану. Ці райони стали джерелом безперервного нагрівання атмосфери. Такий характер циркуляції повітря створив своєрідний механізм самопідтримування антициклону. Чим більше йшло на північ тепла, тим сильніше розвивався високий антициклон. А це в свою чергу створювало умови стійкої, ясної погоди в південних районах, де безперервно продовжувалося формування гарячих повітряних мас. Тому так довго трималася спека над одними й тими ж територіями СРСР. Самопідтримуваної системи подібної інтенсивності в атмосфері давно вже не спостерігалось. Одночасно з меридіональним рухом жаркого повітря на північ рухались компенсуючі зворотні порівняно холодні потоки з полярних районів. Ці потоки проходили над Західною Європою й Західним Сибіром, несучи великі запаси вологи. Ось чому того літа на Україні часто гриміли грози, шуміли зливи. А чи не пояснюються дивацтва погоди ще й тим, що людина «баламутить» атмосферу, запускаючи сотні штучних супутників, ракет тощо? Взагалі кажучи, такі думки досить поширені серед неспеціалістів, про що можна судити з листів, які надходять до редакцій багатьох газет і журналів. Думки про те, що запуски космічних кораблів якось впливають на погоду, досить поширені, хоча й наївні.

ПРОЕКТИ ПЕРЕТВОРЕННЯ КЛІМАТУ ЗЕМЛІ

За останні десятиріччя спочатку в фантастичних повістях і романах, а згодом у вигляді проектів з більшим чи меншим науковим і технічним обґрунтуванням з'явилися пропозиції змінити клімат тих чи інших районів Землі за допомогою перебудови систем океанських і повітряних течій, штучного знищення вікових нагромаджень льодів і снігів у полярних широтах тощо. І хоча досі проекти ці відносяться більше до наукової фантастики, ніж до практичної діяльності людини, вони є переконливим свідченням того, що слідом за космічними кораблями, з яких перші космонавти вперше дістали можливість окинути єдиним поглядом простори материків і океанів, в космос скерувалася думка людей «найземніших» професій, щоб звідти, зверху, по-господарськи оглянути Землю і прикинути, а чи не можна зробити її більш зручною і затишною.



Керування кліматом — мрія, що стала в наші дні глибоко привабливою ідеєю і разом з тим предметом вивчення. Ця проблема за своєю складністю майже не має аналогів у науці. Одна з багатьох причин криється в тому, що атмосфера Землі становить собою надзвичайно складну систему, яка виявляє до того ж надзвичайну нестійкість. В той же час оволодіння «секретами» погоди обіцяє грандіозні перспективи.

І немає нічого дивного в тому, що і в космосі людина шукає способів впливу на клімат Землі. Адже там, за межами атмосфери — на Сонці — знаходиться справжня «кухня земної погоди», саме там починаються процеси, які, досягаючи земної атмосфери, приводять до її руху, створюють урагани, змушують мчати по небу хмари, визначають, чим вони «звалюються» на оброблену землю: благодатними дощами чи згубним градом.

Почнемо з проектів «земних», тобто таких, що пропонують за рахунок зміни характеру земної (підстилаючої) поверхні досягти бажаних змін атмосферної циркуляції, а отже, і зміни погоди та клімату. Таких проектів було запропоновано багато. Тут ми зупинимось лише на найбільш цікавих з них.

Відомий норвезький вчений Фрітьоф Нансен в свій час запропонував добитися потепління клімату Арктики і прилеглих до неї районів. За задумом вченого, якщо розширити вузьку Берінгову протоку, то теплі води течії Куро-Сіво продовжать свій шлях в Арктику і викличуть тут підвищення температури. Інакше кажучи, за цим проектом у східній частині Арктики пропонувалося створити умови, аналогічні Західній Арктиці, яка обмивається теплими водами Гольфстріму.

Ідею Нансена своєрідно вдосконалив в 1948 році радянський інженер Олександр Шумілін: перекрыти греблею Берінгову протоку і насосами перекачувати теплі глибинні тихоокеанські води в Північний Льодовитий океан в більших об'ємах, ніж це здійснюється в існуючих умовах. В результаті температура арктичних вод мала б підвищитися і відбулося б пом'якшення клімату. Був також проект підігрівати потік тихоокеанських вод перед їх перекиданням в Льодовитий океан за допомогою ядерних установок.

Важко знайти більш палких прихильників тих чи інших проектів, ніж їх автори. В цьому ви можете перекоонатися, якщо прочитаєте книгу П. М. Борисова «Может ли человек изменить климат», випущену видавни-

Існує проект обігрівання
Далекого Сходу шляхом
зміни русла річки Амур.
Багатководний Амур
впадає у вузьку частину
Татарської протоки
і послаблює проникнення
теплої течії Куро-Сіво
в Охотське море. Якщо
течію Амуру змінити,
то теплої води в море
поступатиме більше
і на Далекому Сході
потепліє.

цтвом «Наука» в 1970 році. Звертаємо увагу, що в назві книги немає знаку запитання — автор не сумнівається в тому, що людина може змінити клімат.

Цікавий проект перетворення клімату значної частини Північної півкулі запропонувала група вчених Головної геофізичної обсерваторії ім. О. І. Воєйкова. Запропонована ними ідея дуже проста: вона ґрунтується на тому, що льоди Північного полярного басейну є льодами реліктовими, тобто залишилися від потужного загального зледеніння останнього льодовикового періоду. А якщо це так, то коли цей лід якийсь знищити, він не виникне знову, принаймні в сучасній геологічній епосі. Коли зникнуть льоди, то зменшиться відбивна здатність великої за розмірами поверхні і значна частина сонячного тепла, яке зараз відбивається білою поверхнею, буде поглинатися водою океану і морів. Це повинно привести до потепління Арктики й прилеглих до неї районів. Автори цього проекту пропонують і спосіб знищення льоду — чорніння якимсь порошком поверхні льоду, що веде до зменшення відбивної здатності його поверхні. Тоді поглинання сонячної енергії льодом зросте і лід розтане. Лід, що виникатиме взимку, буде зникати влітку під дією теплих променів Сонця, яке в Арктиці влітку не заходить.

Така зміна кліматичних умов — мрія мешканців Півночі. Але при всій привабливості цього проекту він потребує глибокого вивчення. Чи не приведе потепління на півночі планети до посилення засушливості у нинішній помірній зоні? Ще невідомо, зростуть чи зменшаться в результаті здійснення цього проекту сезонні й річні суми опадів і в яких районах.

Питання про доцільність всіх цих проектів залишається відкритим. Є думки, що коли розтопити льоди Арктики, потепліє клімат Північної півкулі, поліпшаться навігаційні умови в арктичних морях, лісова зона, можливо, наблизиться безпосередньо до арктичного узбережжя (хоча це не значить, що на ньому зацвітуть магнолії і цитрусові дерева, як схильні думати деякі мрійники). Але одночасно відбудеться підвищення рівня Світового океану на 8—10 м, внаслідок чого всі низини земної кулі будуть затоплені, посиляться континентальність клімату в помірних широтах, де зосереджені найбільша частина населення світу і найбільш розвинуті продуктивні сили сучасного суспільства тощо.

Ми розповіли тут лише про деякі аргументи «за» й «проти» знищення льодів Арктики, щоб показати,

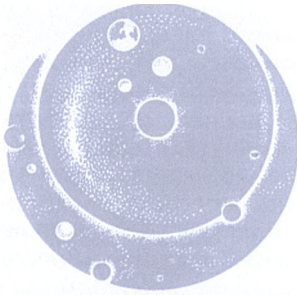
Існує багато проектів перетворення клімату, але з фізичної точки зору всі вони зводяться до перетворення надходження чи витрати теплоти або вологи, як кажуть метеорологи, до перетворення джерел і стоків теплоти й вологи.

наскільки це складна й багатогранна проблема. Наука поки що не має достатніх технічних засобів для розв'язання цієї проблеми, не може передбачити і всіх наслідків.

Цікавий проект пом'якшення клімату в Північній Америці було запропоновано американськими інженерами ще в 90-х роках минулого століття. Вони запропонували... пересунути теплу течію Гольфстрім ближче до східних берегів Північноамериканського континенту. Гольфстрім проносить щосекунди до 25 млн. м³ теплої води. Хоча ця течія народжується і проходить порівняно близько від Північної Америки, східні райони зовсім не відчувають благотворного її впливу. Щоб ліквідувати цю «несправедливість» природи, інженери фірми «Еллі Слопер» з чисто американським розмахом запропонували повернути течію на захід і обігріти нею східні береги США. Для цього пропонувалося перекрити протоку між півостровом Флорідою й островом Куба кам'яною дамбою довжиною 250 км, висотою 500 м, шириною 50 м і спрямувати теплі води Карібського моря через штучний широкий канал, який би відокремлював півострів Флоріду від материка. В результаті теплі води наблизилися б до найбільш населених районів США, зробивши їх клімат м'яким і вологим (субтропічним).

Як і слід було чекати, цей проект було зустрінuto американською пресою з захопленням, тоді як у Європі він викликав велику тривогу—адже його здійснення могло привести до значного похолодання в Європі. В 1912 році цей проект розглядався навіть в сенаті США. З технічної точки зору цей проект цілком здійсненний, але після старанного, всебічного вивчення він все ж був відхилений, правда зовсім не тому, що це могло вплинути на клімат Європи. Просто вчені-кліматологи швидко довели, що проектом не врахована система переважаючих вітрів. Оскільки вони спрямовані не з океану на материк, як у Європі, а з материка на океан, то зміщення теплих вод Гольфстріму на захід зовсім не пом'якшило б клімат Північної Америки, клімат змінився б лише на вузькій прибережній смужці.

Нещодавно директор відділу метеорологічних досліджень бюро погоди США Г. Уекслер запропонував скинути в полярний басейн і підірвати під водою кілька водневих бомб по 10 мегатонн кожна. Бомби нагріють воду, розтоплять льоди, і густі тумани й хмари покрийуть після вибуху Арктику й убережуть її на деякий час від охолодження. На думку



вченого, після знищення льоду всі північні порти трьох материків будуть доступними для навігації протягом всього року, значно посунеться на північ межа землеробства, а середня температура повітря в Нью-Йорку, Москві й Лондоні підвищиться.

А тепер кілька слів про зовсім фантастичні проекти зміни клімату на Землі.

Фантазія винахідників в цьому напрямку не має меж, і нерідко розрахунки вчених залишають далеко позаду фантазію романістів. Коротко розповімо лише про два проекти.

В 1959 році радянський інженер В. Б. Черенков запропонував створити штучну освітленість в нічний час на великій території земної кулі за допомогою кільця дрібних часточок пилу, яке б оберталося навколо Землі. «Кільце», схоже за формою на кільце Сатурна, мало бути орієнтоване так, щоб не затінити Землю і в той же час захоплювати й розсіювати сонячне проміння, яке проходить повз Землю. Кільце шириною в 500 км, розташоване від Землі на відстані 1000—1500 км, здатне спрямувати на поверхню нашої планети додатково приблизно 1300 млрд. кВт сонячної енергії, що відповідає потужності 580 тис. найбільших з нині діючих станцій. Кільце мало проходити над полюсами Землі, що дозволило б істотно змінити клімат і природу полярних районів земної кулі. В. Б. Черенков гадає, що коли створити таке кільце, то всі пояси нашої планети будуть придатні і зручні для життя. Проте обговорення технічних можливостей реалізації проекту показало, що з чисто інженерної точки зору він не витримує критики, не кажучи вже про те, що таке кільце заважало б проведенню астрономічних спостережень, а також дослідженням, які проводяться за допомогою штучних супутників Землі.

А один з провідних американських фізиків-теоретиків Фрімен Дж. Дайсон в журналі «Сайнс» опублікував 3 липня 1960 року статтю, в якій твердить, що на певній стадії свого розвитку людство вийде в сонячну систему для її реконструкції. В сонячній системі найбільший запас будівельного матеріалу має планета Юпітер. Прийде час, пише Дайсон, і маса Юпітера, «розібрана» й «перероблена» інженерами Землі, піде на створення гігантського сферичного купола чи футляра діаметром 150 млн. км. Всередині цього футляра знаходитимуться Сонце і частина міжпланетного простору з трьома планетами — Меркурієм, Венерою й Землею! Вся енергія, яку випромінює Сонце, буде поставлена на службу людям.

«Демонтаж» планети Юпітер і її «складання» на новому місці в реконструйованому вигляді вимагатимуть, за підрахунками американського вченого, 10^{37} Дж енергії, що становить восьмисотрічний дебет випромінювання Сонця. Дайсон вважає, що роботи по спорудженню «шкаралупи» почнуться через три чи чотири тисячі років. Чи буде колись здійснений проект Дайсона чи «перестановка меблів у міжпланетній квартирі» піде іншим шляхом, але можна не сумніватися в тому, що майбутнє людство, вільне від загроз війни й голоду, озброєне механізмами-автоматами небаченої потужності, рано чи пізно від переобладнання Землі приступить до перебудови сонячної системи.

КОСМІЧНИЙ ПАТРУЛЬ ПОГОДИ



Хоча морзянка, як відомо, й «співає» над Діксоном в будь-яку хуртовину, проте скласти уявлення про глобальну погоду за повідомленнями з віддалених одна від одної наземних метеостанцій досить важко, а іноді й просто неможливо. І лише метеорологічні супутники — «космічні очі», які обертаються навколо Землі, здатні простежити за погодою на всій планеті.

Супутники системи «Метеор», облітаючи за півтори години нашу планету, повідомляють про те, що «побачили» в повітряному океані: суцільну хмарність над Західною Європою, чисте небо над Сахарою і Кара-Кумами, зародження ланцюжка циклонів над Атлантичним і Індійським океанами, страхітливе завихрення — «око» тайфуна над Тихим океаном, паків льодові поля в Арктичних морях, антициклони над Уралом, сніговий ураган над антарктичним континентом.

В СРСР створені спеціальні метеорологічні супутники, які несуть на собі телевізійну апаратуру для передачі на Землю зображення хмарного покриву, а також прилади для вимірювання випромінювання, яке йде знизу, від різних ділянок земної поверхні і хмарних систем. Першим таким супутником був «Космос-122» (рис. 37), запущений 25 червня 1966 року. На цьому супутникові випробовувався комплекс приладів для одержання даних про розподіл хмарності, снігового покриву й льодових полів, температури поверхні Землі чи верхніх меж хмар тощо. З борту цього супутника можна було зняти панораму погоди в смузі приблизно в 1000 км. А за годину за допомогою супутника можна було «оглянути» понад 25 млн. км² території Землі, тобто близько 5% площі планети. Телевізійні знімки із супутника

Вперше метеорологічні вимірювання в космосі виконувала апаратура, встановлена на третьому радянському штучному супутникові, запущеному 15 травня 1958 року.

одержувалися настільки детальні, що іноді на них було видно навіть окремі хмари, площа яких менша за колгоспне поле. Наводимо зображення (рис. 38) потужного циклону, сфотографованого над Атлантичним океаном в районі острова Ньюфаундленд.

Наступний етап роботи над створенням експериментальної космічної метеорологічної системи був ознаменований запуском супутників «Космос-144» і «Космос-156» на близькі колові орбіти, що проходили на висоті 625—630 км над Землею (рис. 39). Встановлена на обох супутниках апаратура, а також наземний комплекс прийому, обробки й передавання метеорологічної інформації утворювали експериментальну космічну метеорологічну систему «Метеор» (рис. 40).

Метеорологічна космічна система «Метеор» безперервно діє вже багато років. За час її існування одержано багатий матеріал, який дозволяє вивчати закономірності глобальних метеорологічних утворень, опрацьовувати найновіші методи передачі інформації про стан атмосфери, розширяти можливості використання космічних апаратів в інтересах розвитку народного господарства. За допомогою

Рис. 37 Супутник «Космос-122».

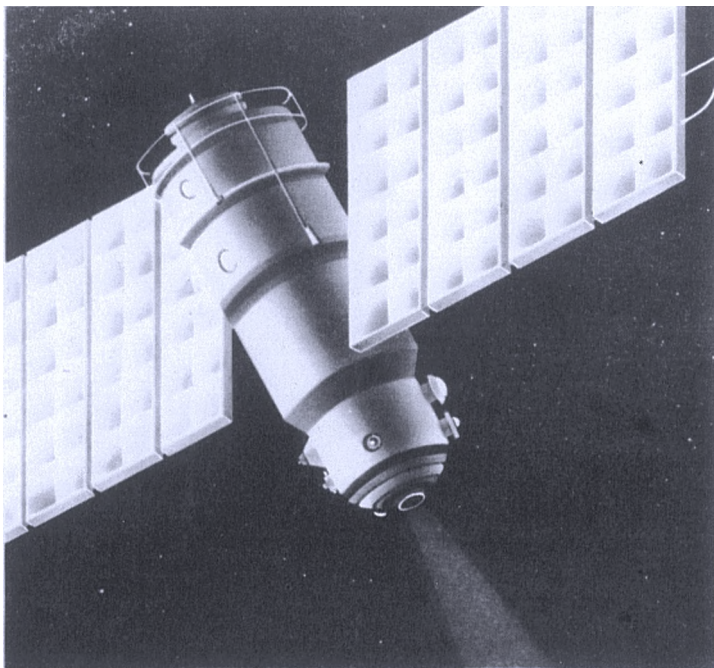
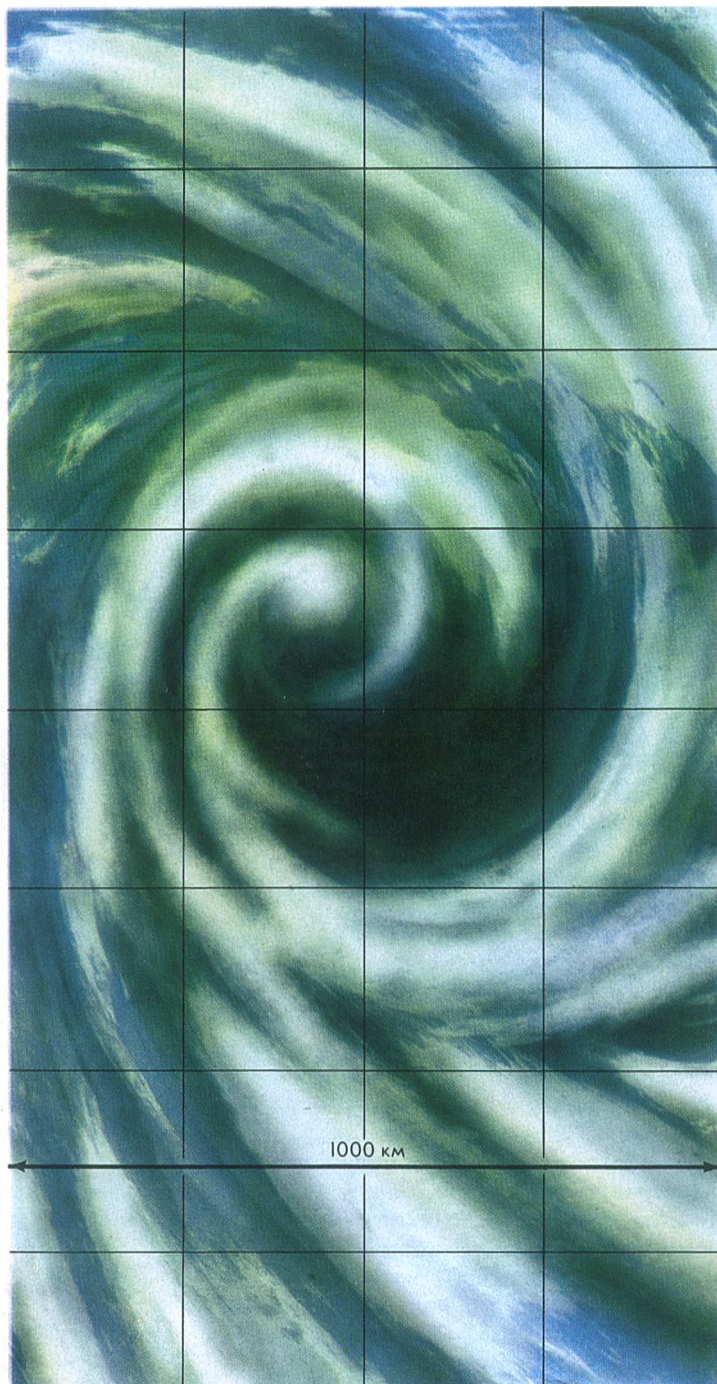


Рис. 38 Фотографія
потужного циклону.



«Метеорів» зареєстровані тисячі циклонів, уточнено місцезнаходження десятків тисяч атмосферних фронтів.

А тепер хоча б дуже коротко познайомимось з тим, як же влаштовані сучасні «космічні патрулі» погоди, як здійснюється зв'язок з космічними розвідниками. ...Вийшовши на задану орбіту, метеорологічний супутник розпрямляє крила, начинені величезною кількістю елементів, здатних перетворювати енергію сонячного випромінювання в електроенергію. Дві незалежні одна від одної системи орієнтації змушують його зайняти таке положення, при якому лінзи телекамер та інші реєструючі прилади спрямовано точно на Землю, а крила сонячних батарей електростанції — під найбільш вигідним кутом до сонячного проміння. За допомогою двох телевізійних камер супутники знімають на фотоплівку поверхню Землі (смугу в 1000 км), фіксуючи всі зміни хмар і крижаних полів. А прилади, що реєструють радіаційне й теплове випромінювання Землі (актинометрична й інфрачервона апаратура), «бачать» ще більшу територію — до 2500 км. Кадр за кадром

Рис. 39 Супутники «Космос-144» та «Космос-156».

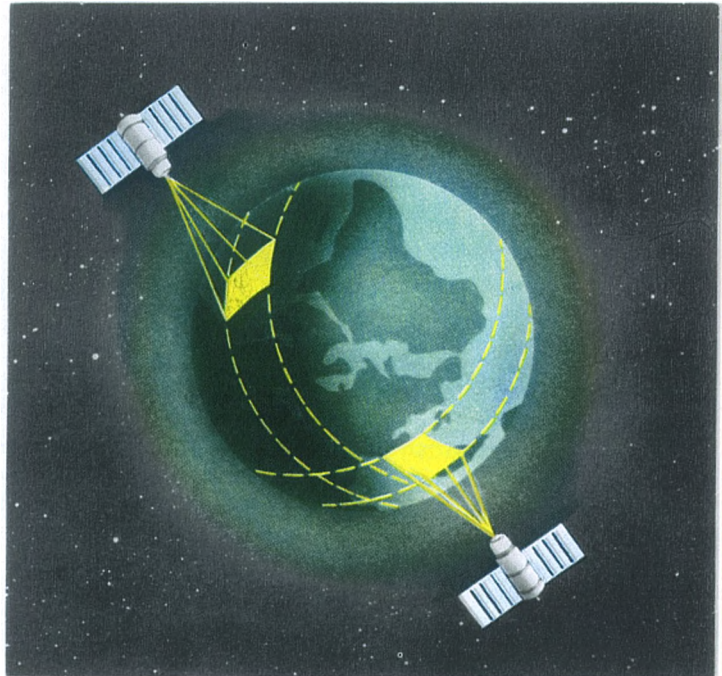
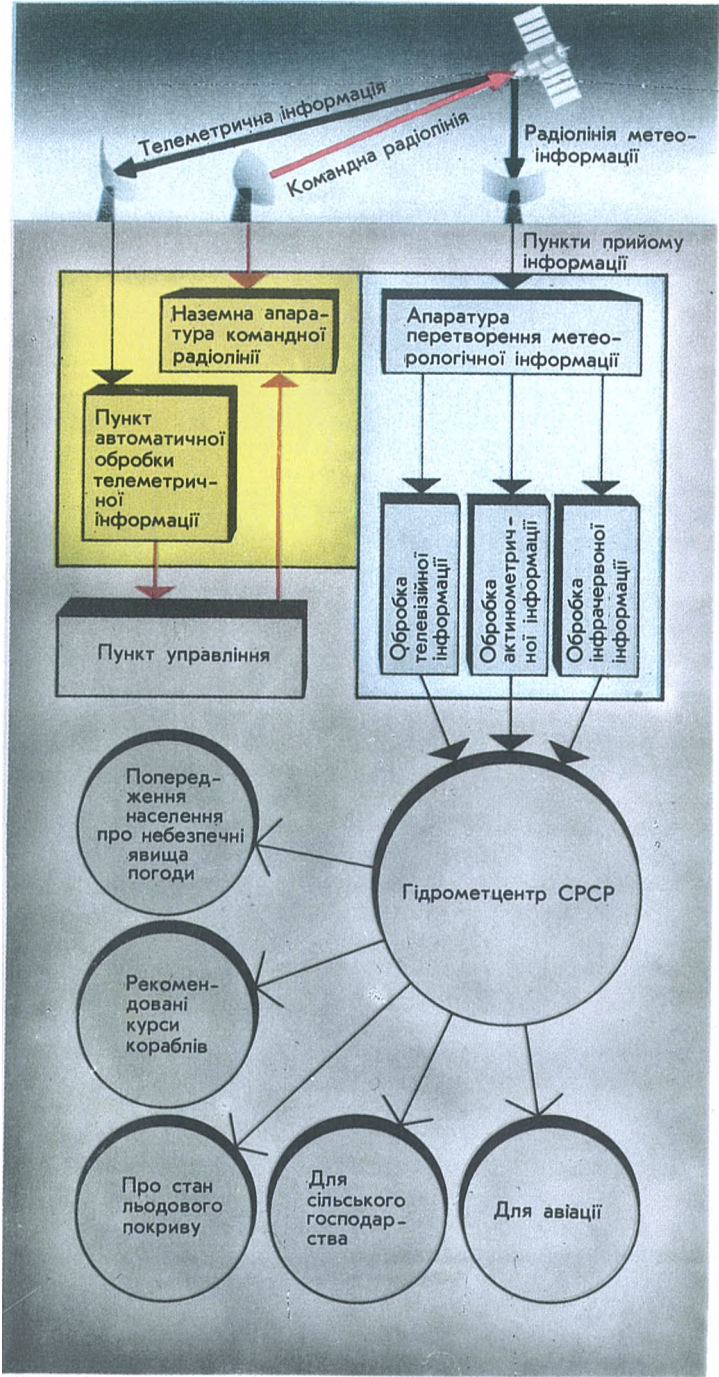


Рис. 40 Метеорологічна система «Метеор».



фотографує супутник земну поверхню і хмари і записує знімки на магнітну стрічку. В момент зв'язку із Землею знімки передаються в приймальний пункт і фотографуються з екрана телевізора.

Супутник «розмовляє» з Землею мовою цифр з такою швидкістю, що підтримати цю розмову можуть лише електронні машини. Тому у Гідрометцентрі існує спеціальна лабораторія реєстрації, обладнана всією необхідною радіоелектронною апаратурою. Неквапливо (якщо мати на увазі космічні швидкості) плывуть по телеекрану хмари, під якими вгадуються контури земних континентів, неквапливо обертаються рулони магнітної стрічки, відстукують цифри спеціальні друкуючі пристрої. Насправді ж машини здійснюють гігантську і за обсягом і за швидкістю роботу. Для нормального функціонування системи метеорологічних супутників необхідно при проходженні кожного з них над пунктами прийому в короткі строки обробити телеметричну інформацію, що містить метеорологічні дані й відомості про роботу бортової апаратури, тому телеметрична інформація вводиться в швидкодіючі ЕОМ. Практично відразу після закінчення сеансу зв'язку із супутником машини завершують обробку всіх телеметричних даних, редагують їх і видають у формі, зручній для використання. До надходження інформації із наступної орбіти метеорологічні дані повинні бути повністю опрацьовані й подані у вигляді графіків і карт для оперативної роботи служби погоди.

В черговий сеанс зв'язку супутник в швидкому темпі «вистрілює» так звану «запам'ятовану» інформацію, розповідає про те, що робиться «по той бік» Землі, і передає безпосередню картину стану атмосфери в зоні радіобачення. Метеорологи-автомати доповідають про форму й розподіл хмарності, про стан снігових і крижаних покривів, про температуру верхньої межі хмар, відкритих ділянок земної поверхні й поверхні океанів. Всі ці відомості у вигляді звичайних фотознімків з освітленого боку Землі і негативних зображень, одержаних вночі за допомогою інфрачервоної апаратури, надходять в лабораторію оперативної обробки. В цій лабораторії стикуються окремі фотографії, в результаті чого дістають гігантський фотомонтаж смуги огляду, який повторює орбіту супутника. Відретушовані, з сіткою географічних координат, ці монтажні надходять по фото-телеграфу в розпорядження радянських і зарубіжних синоптиків. На їх основі спеціалісти аналізують стан атмосфери обох півкуль.

Метеорологічні спостереження із супутників ведуться і в США.

Супутники відкривають цілком нові можливості в розширенні наших знань про атмосферні процеси. А знання й могутність одне й те ж, як справедливо зауважив один з філософів. Але тоді відразу ж виникає питання: чи будуть необхідними й надалі метеостанції, чи можна буде без них обійтися? Звичайно, метеостанції будуть потрібні і в майбутньому, хоча програма їх робіт може істотно змінитися. Не треба забувати, що поряд з забезпеченням прогнозів погоди по великих територіях і на великі строки потрібно врахувати й місцеві потреби: насамперед сільського господарства, місцевих авіаліній тощо. Для цих потреб необхідна інформація наземних станцій.

Ось ви й перегорнули останню сторінку книжки. Пора прощатися. На закінчення хотілося б висловити сподівання, що дана книжка хоч в якійсь мірі сприяла збудженню інтересу до фізики атмосфери, до читання науково-популярних книг про цікаві метеорологічні проблеми й явища.

До речі, і ще ось що. Мені ніколи не доводилось зустрічати метеоролога, який би розчарувався в своїй професії. До побачення, читачу!

ЩО ЩЕ ПРОЧИТАТИ



Вайсберг Дж.

Погода на Землі. Л., Гидрометеоиздат, 1980. 246 с.

Волеваха М. М.

Полювання за хмарами. К., Знання, 1969. 47 с.

Волеваха М. М., Мішутін Д. А.

Як завбачати погоду. К., Радянська школа, 1958. 42 с.

Волеваха М. М., Морозов Г. В.

Пригоди сонячного променя. К., Наукова думка, 1966. 76 с.

Волеваха М. М.

Вода й повітря нашої планети. К., Наукова думка, 1974. 158 с.

Волеваха М. М., Морозов Г. В.

Біографія клімату. К., Наукова думка, 1971. 84 с.

Волеваха М. М.

Чи можна керувати погодою. К., Товариство для поширення політичних і наукових знань Української РСР, 1961. 32 с.

Глебов П. А.

Наука о погоде. Л., Гидрометеоиздат, 1955. 112 с.

Гусев А. М.

Климат и погода. М., Наука, 1966. 122 с.

Леонов М. П.

Опади на замовлення. К., Знання, 1966. 40 с.

Погосян Х. П.

Атмосфера и человек. М., Просвещение, 1977. 160 с.

Погосян Х. П., Ситников И. Г.

Какая завтра будет погода? М., Военное издательство Министерства обороны СССР, 1967. 198 с.

Погосян Х. П.

Новое в изучении атмосферы. М., Знание, 1966. 62 с.

Прох Л. З.

Погода та клімат. К., Радянська школа, 1957. 160 с.

Прох Л. З.

Таємниці повітряного океану. К., Радянська школа, 1976. 168 с.

Прейфер Ф.

Погода интересует всех. Л., Гидрометеорологическое издательство, 1966. 268 с.

Хелл Томас.

Когда бушуют стихии. М., Гидрометеорологическое издательство, 1972. 174 с.

Шепфер З.

Какая будет погода. Л., Гидрометеорологическое издательство, 1963. 192 с.

Шталь В. А.

Физика атмосферы. М., Знание, 1965. 40 с.

Щербань М. І.

Зміна клімату Землі. К., Знання, 1978. 47 с.

Щербань М. І.

Промениста енергія Сонця і життя на Землі. К., Знання, 1956. 40 с.

ЗМІСТ

КОРОТКО ПРО ІСТОРІЮ РОЗВИТКУ МЕТЕОРОЛОГІЇ

ЗАМІСТЬ ПЕРЕДМОВИ	5
МЕТЕОРОЛОГІЯ В СИВУ ДАВНИНУ	10
МЕТЕОРОЛОГІЯ В РОСІЇ	12
ВЕЛИКИЙ АСТРОНОМ І БАЛАКЛАВСЬКА БУРЯ	13
ДОЛЯ ОДНОГО МЕТЕОРОЛОГА	14
МЕТЕОРОЛОГИ ПІДНІМАЮТЬСЯ ВГОРУ	15
СПОСТЕРІГАЧ НА ПОСТУ	17
РАДІОЗОНДИ Й СУПУТНИКИ-МЕТЕОРОЛОГИ	19

ПОГОДА І КЛІМАТ

ЩО ТАКЕ ПОГОДА?	20
КЛІМАТ	22

ПОВІТРЯНИЙ ОКЕАН

ОБОЛОНКА ЗЕМЛІ	27
СКЛАД АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	28
СМАК ПОВІТРЯ	31
ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ	32
ЯКА МАСА «НЕБА»? 35	
ЯК ВИМІРЮЮТЬ ТИСК АТМОСФЕРИ НА ЛЮДИНУ?	36
«ПОВЕРХИ» НЕБА	40
ДЕЩО ПРО ЗАГАДКУ СРІБЛЯСТИХ ХМАР	45
ДАЛІ ПРО БУДОВУ АТМОСФЕРИ	46

ЗЕМЛЯ І СОНЦЕ

СОНЯЧНЕ ОПАЛЕННЯ ЗЕМЛІ	50
СОНЦЕ В ПЛЯМАХ	52
ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ЗЕМЛІ	58

СТИХІЯ АТМОСФЕРНИХ РУХІВ

ЗАГАЛЬНА ЦИРКУЛЯЦІЯ АТМОСФЕРИ	63
ВІДОМІ ВІТРИ Й УРАГАНИ	72
ЦИКЛОНИ Й АНТИЦИКЛОНИ	79
«ХРЕЩЕННЯ» УРАГАНІВ	91
ЩЕ РАЗ ПРО ЦИКЛОНИ Й АНТИЦИКЛОНИ	93

УТВОРЕННЯ ХМАР І ОПАДІВ

ВОДА В АТМОСФЕРІ	96
ЯК УТВОРЮЮТЬСЯ ХМАРИ?	101
«ЗА ТУМАНОМ НІЧОГО НЕ ВИДНО»	103
НАРОДЖЕННЯ ХМАР	106
ВИДИ ХМАР	107

ЯКА ПОГОДА БУДЕ ЗАВТРА?

ШТУЧНИЙ ВПЛИВ НА ПОГОДУ Й КЛІМАТ

ПРО СИНОПТИЧНІ КАРТИ	117
СИНОПТИЧНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ	121
ЧОМУ БУВАЮТЬ НЕПРАВИЛЬНІ ПРОГНОЗИ ПОГОДИ?	124
ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУ	125
ДОВГОСТРОКОВІ ПРОГНОЗИ ПОГОДИ	128
ЗАВБАЧЕННЯ ПОГОДИ ЗА МІСЦЕВИМИ ПРИКМЕТАМИ	130
ПОГОДА Й ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ	131
ЧИ МОЖНА КЕРУВАТИ ПОГОДОЮ?	132
«А МЕНІ, БУДЬ ЛАСКА, ДОЩ»	133
РОЗСІЮВАННЯ ХМАР І ТУМАНІВ	137
СТВОРЕННЯ ХМАР	138
ЧИ ЗМІНЮЄТЬСЯ КЛІМАТ НА ЗЕМЛІ?	144
ПРОЕКТИ ПЕРЕТВОРЕННЯ КЛІМАТУ ЗЕМЛІ	145
КОСМІЧНИЙ ПАТРУЛЬ ПОГОДИ	150
ЩО ЩЕ ПРОЧИТАТИ	157

Гончаренко С. У.

**Г 65 Фізика атмосфери.— К.: Техніка, 1981.— с. 159
з іл. (Для допитливих).— Бібліогр.: с. 157.
В опр.: 1 крб. 60 к. 25 000 пр.**

У книзі в популярній формі розповідається про причини зміни погоди, про те, як передбачають погоду на завтра, через тиждень чи через рік, про те, що змушує небо бути то привітним і ласкавим, то похмурим і невеселим. Висвітлюється одна з найважливіших проблем сучасності — відшукування можливих шляхів перетворення клімату й погоди. Розрахована на широке коло читачів.

20401-145
Г М202(04)-81 159.81.1704010000

ББК 26.234.6
551.5

СЕМЕН УСТИМОВИЧ ГОНЧАРЕНКО,
канд. пед. наук

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

(На украинском языке)

Редактор **М. Д. Семененко**

Макет та художнє оформлення **Л. О. Дикарева і В. І. Діброва**

Художній редактор **В. Г. Павлютін**

Технічний редактор **С. В. Іванус**

Коректор **Т. Є. Царинська**

Информ. бланк № 1946

Здано до складання 23.01.81. Підписано до друку 31.08.81. БФ 02412. Формат 70Х90/16. Папір крейд. Гарн. журн. рубл. Друк офс. Ум. друк. арк. 11,7. Ум. фарб.-відб. 62,89. Обл.-вид. арк. 10,79. Тираж 25 000 прим. Зам. 1—34. Ціна 1 крб. 60 к.

Издательство «Техника», 252601, Киев, ГСП, Крещатик, 5.

Діапозитиви тексту виготовлено на Головному підприємстві РВО «Поліграфкнига». 252057, Київ, Довженка, 3.

Надруковано на книжковій фабриці «Жовтень». 252053, Київ, Артема, 25.



С.У.ГОНЧАРЕНКО

ФІЗИКА АТМОСФЕРИ

Погода... Мабуть, не знайти в наш час людини, яку б не цікавив стан погоди. Адже жодне явище природи так тісно не пов'язане з життям людини, як погода. Довгостроковий чи короточасний прогноз погоди потрібен всім — агрономам і пілотам, лікарям і геологам, кінооператорам і морякам, людям багатьох інших професій. Всі вони уважно вчитуються в прогнози, щоб дістати відповіді на різноманітні запитання. Чи не буде вночі заморозків? Буде наступний місяць сухим чи дощовим? Як уникнути зустрічі в океані з ураганом? На яких відрізках авіатраси літак зустріне суцільну хмарність, грозу чи град? Чи можна буде за умовами хмарності сісти на аеродром в кінці маршруту? Чи дозволить стан погоди в заздалегідь визначений день запустити космічний корабель? Нарешті, всіх щодня цікавить питання — яка погода буде завтра? У книжці у доступній і цікавій формі розповідається про те, як складають прогнози погоди і чому не завжди вони справджуються, як завбачити погоду за поведінкою звірів, птахів чи рослин, про можливості штучного впливу на погоду й клімат Землі. Прочитавши її, ви узнаете багато цікавого про будову і властивості земної атмосфери, про фізичні процеси, які в ній відбуваються, про утворення величезних вихорів — циклонів і антициклонів, виникнення хмар і опадів.