

## Тема 7. АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛЯЦІЯ

### План

1. Повітряні маси
2. Атмосферні фронти
3. Циркуляція атмосфери
  - 3.1. Причини нерівномірного розподілу тиску і циркуляції атмосфери
  - 3.2. Загальна циркуляція атмосфери
  - 3.3. Циклонально - антициклональна циркуляція
  - 3.4. Полярна циркуляція
  - 3.5. Пасатна циркуляція
  - 3.6. Тропічні циклони
  - 3.7. Мусонна циркуляція
  - 3.8. Струменеві течії
  - 3.9 Місцеві циркуляції й вітри

#### 1. Повітряні маси

Атмосфера складається з окремих повітряних мас. В певних умовах радіації над однорідною підстеляючою поверхнею формуються повітряні маси із певними властивостями: температурою, вологістю, тиском, прозорістю тощо. Ці властивості швидко змінюються на межі двох різних повітряних мас. Відповідно бувають теплі й холодні, сухі та вологі, морські й континентальні повітряні маси. На земній поверхні розрізняють основні географічні типи повітряних мас та їх морські та континентальні відміни.

А. Арктичне повітря /АП/. Континентальне арктичне повітря /КАП/ формується над крижаною Арктикою, Таймиром, басейном Колими, Чукоткою і північною Канадою - взимку, а континентальне Антарктичне повітря /КАнП/ - над Антарктидою. Це повітря характеризується низькими температурами, малою вологістю, великою прозорістю, стійкістю. Взимку воно приносить в помірні широти сильні морози, а навесні та восени заморозки. Морське арктичне повітря /МАП/ формується в основному в Європейській Арктиці, над вільними від криги морями і океаном й відрізняється більшою вологістю і дещо вищою температурою, при надходженні на охолоджений материк узимку воно викликає невелике короткочасне потепління.

Б. Помірне повітря /ПП/. Континентальне помірне повітря /КПП/ формується над материками помірних широт, узимку - сильно охолоджене і стійке з ясною морозною погодою, влітку сильно прогрівається. Морське помірне повітря /МПП/ формується над океанами в середніх широтах і переноситься західними вітрами та циклонами на материки; відрізняється великою вологістю й помірними температурами; взимку приносить відлигу, а влітку прохолодну похмуру погоду.

В. Тропічне повітря /ТП/. Континентальне тропічне повітря /КТП/ формується над материками в тропічних широтах /пустелі Сахара, Аравії, Тар, Калахарі/, а влітку в субтропіках і на півдні помірних широт /південь Європи. Середня Азія і Казахстан, Монголія, Північний Китай/; воно сухе,

запилене і має високу температуру. Морське тропічне повітря /МТП/ утворюється над тропічними акваторіями океанів і характеризується високими температурами і високою вологістю, хоча відносна вологість знижена.

Г. Екваторіальне повітря /ЕП/ формується в екваторіальних широтах, характеризується високою температурою та великим вмістом вологи як над сушею, так і над морями.

## **2. Атмосферні фронти**

Поверхню або смугу, яка поділяє повітряні маси, називають атмосферним фронтом. Поверхня фронту завжди нахилена, тут різко змінюються температури, вітер, вологість і тиск. Там, де фронтальна поверхня перетинається з землею поверхнею, проходить лінія фронту. Розрізняють теплі й холодні фронти. Якщо лінія фронту рухається в бік холодного повітря, що відступає у вигляді клина і звільняє місце для теплого повітря, яке, в свою чергу, піднімається вгору по схилу холодного повітря, такий фронт називають теплим. При висхідних потоках теплого повітря відбувається його адіабатичне охолодження, конденсація водяної пари, утворення хмар: перистих, перисто-шаруватих, високошаруватих і шарувато-дошових. Смуга фронтальної хмарності може сягати 800 км, в тому числі, шарувато-дошових хмар, які дають опади, до 800 км.

Якщо лінія фронту зміщується в бік теплого повітря, виникає тупий клин холодного повітря, перед яким відступає і пересувається вгору тепле повітря, фронт називають холодним. На цьому фронті висхідні підняття значно потужніші, й тут утворюються купчасто-дошові хмари з інтенсивними опадами і грозами, за якими йдуть шарувато-дошові хмари з опадами меншої активності, а потім високошаруваті і перисто-шаруваті - без опадів. Між основними географічними типами повітряних мас існують планетарні кліматичні атмосферні фронти; це Арктичний і Антарктичний фронти на межі арктичних і антарктичних та помірних повітряних мас; Помірні або Полярні фронти, які поділяють тропічні та помірні повітряні маси. Коли кінці помірних фронтів заходять далеко до тропіків, їх називають пасатними фронтами. Між тропічними повітряними масами південної та північної півкуль утворюється Тропічний фронт, його називають внутрішньотропічною зоною конвергенції, в якій зустрічаються тропічні повітряні маси, однакові за температурою.

Зміна пір року викликає значні коливання кліматичних фронтів. Так, помірний фронт північної півкулі взимку розміщений біля 30° пн.ш., а влітку - біля 50° пн.ш. Арктичний фронт на північному сході Євразії влітку піднімається до 70° пн.ш., а взимку опускається до 50° пн.ш. Зона внутрішньотропічної конвергенції в січні розміщена між екватором і 20° пд.ш., а в липні вздовж екватора до 10 - 30° пн.ш. на південному сході Азії /в Індії та Індокитаї/.

## **3. Циркуляція атмосфери**

### **3.1. Причини нерівномірного розподілу тиску і циркуляції атмосфери**

Основна причина формування баричних систем і циркуляції повітряних мас - це неоднорідність термічного поля Землі, в першу чергу - відмінності в тепловому режимі екватора і полюсів. За В.В.Шулейкіним, у тропосфері формуються теплові машини двох типів. В тепловій машині першого типу екватор і тропічні пояси - нагрівачі, а другого типу - це сезонні зміни теплообміну між материками і океанами, тут взимку материки - холодильники, а океани - нагрівачі. а влітку навпаки. Робота машини першого типу проявляється в широтно-зональній циркуляції атмосфери. а робота машини другого типу - в регіональній мусонній циркуляції.

Динамічна причина циркуляції атмосфери - це обертання планети навколо осі, внаслідок чого повітря, яке рухається, відхиляється вправо в північній півкулі й вліво - в південній. На планеті, яка обертається, виникає західно - східний перенос повітря, тобто зональна складова циркуляції атмосфери.

Однією з причин неоднорідності баричного поля і руху повітря є прихована теплота пароутворення, яка виділяється при конденсації водяної пари і переходить в повітря, завдяки чому рух триває.

### **3.2. Загальна циркуляція атмосфери**

Систему великомасштабних повітряних течій називають загальною циркуляцією атмосфери. В 1921 р. норвезький кліматолог Б'єркнес на основі синоптичних карт розробив схему циркуляції атмосфери, згідно з якою в кожній півкулі формуються три зональних кільця.

Перше кільце охоплює тропічні широти і включає висхідне підняття повітря над екватором, перенесення його до тропіків, опускання біля 30° широти /баричні максимуми/ і повертання до екватора пасатами. Друге кільце в помірних широтах складається з підняття повітря і переносу його через стратосферу в тропічні широти й до полюсів, а в тропосфері тут панує західний перенос з утворенням циклонів і антициклонів. Третє кільце розміщено біля полюсів, там повітря опускається і переноситься до Арктичного і Антарктичного фронтів, де

переважають висхідні рухи повітря. Загальна циркуляція включає до себе зональні й меридіональні складові частини, основними ланками яких є:

1/ Західно - Східний і Східно - Західний переноси повітряних мас, 2/ циклонічна і антициклонічна діяльність у помірних широтах; 3/ полярні циркуляції; 4/пасати; 5/мусони; 6/струменеві течії.

Західний перенос виникає завдяки тому, що баричний градієнт спрямований за меридіаном від тропіків до полюсів, а сила Коріоліса відхиляє повітряні маси в північній півкулі вправо, а в південній вліво, тобто з заходу на схід. Західний перенос охоплює в помірних широтах всю тропосферу, в полярних широтах верхню частину тропосфери, вище північно-східних і південно-східних вітрів нижньої тропосфери; в тропічних широтах над пасатами у верхній тропосфері також панують західні вітри, які іноді називають антипасатами, хоча генетичного зв'язку між ними немає.

Східний перенос включає північно-східні вітри в Арктиці та південно-східні - в Антарктиді. Вони віють від полярних областей високого тиску в бік мінімуму помірних широт і охоплюють нижні шари тропосфери. Від субтропічних антициклонів до екватора /мінімум/ дмуть північно-східні в північній півкулі й південно-східні - в південній півкулі вітри, які називають пасатами. Ближче до екватора східний /пасатний/ перенос охоплює всю тропосферу.

### **3.3. Циклонально - антициклональна циркуляція**

Вона характерна для помірних широт, де на атмосферних фронтах виникають збудження у вигляді хвиль довжиною до 1000 км, внаслідок чого холодне повітря проникає на південь, а хвиля теплої - на північ. Норвезький кліматолог В.Б'єркнес довів, що циклони виникають через хвилювання атмосферного фронту, і розробив теорію народження циклону. Життя циклону включає три стадії: народження, поглиблення і оклюзію. Народження циклону обумовлене адвекцією теплоти і холоду, а також адіабатичними і гідродинамічними змінами температури повітря. На хвилях збудженого фронту тепле повітря піднімається вгору по схилу холодного і внаслідок обертання Землі відхиляється вправо /на схід/. У центрі підняття теплої повітря формується область низького тиску, тобто центр циклону. Вітри дмуть до центра, відхиляючись за кривими лініями проти годинникової стрілки в північній півкулі та за годинниковою стрілкою в південній півкулі. Отже, циклон - це атмосферне збудження пониженого тиску з мінімальним тиском в центрі, з рухом повітря навколо центра проти годинникової стрілки в північній півкулі /за годинниковою стрілкою - в південній півкулі/ і з власною погодою. В циклоні утворюються два сектори: клиноподібний теплий з півдня й південного заходу і холодний, який займає схід, захід і північ від центра. В східній частині теплої сектора міститься теплий фронт, де тепле повітря піднімається по схилу холодного, а в західній частині - холодний фронт, де холодне повітря рухається за теплим і витісняє теплий сектор і всю область низького тиску, завдяки чому циклон зміщується з заходу на схід і північний схід, тобто з загальним західним переносом у помірному поясі. Швидкість руху циклону в середньому дорівнює 30 - 40 км за годину, а живе циклон 4 - 7 днів. Поглиблення циклону відбувається завдяки адвекції холодного повітря, циклон охоплює по вертикалі всю тропосферу і займає значну площу діаметром у кілька тисяч кілометрів. Оклюзія - це стадія заповнення центра циклону холодним повітрям, яке наздогнало теплий фронт, і тепле повітря витіснене повністю вгору. Циклони утворюються серіями по 2 - 4, відповідно хвилюванню лінії фронту. В середньому над Європою за рік проходять 60 серій циклонів. У південній півкулі їх шляхи проходять між Антарктидою і 40° пд.ш. У цілому циклони приносять хмарну, вітряну і дощову погоду, хоча є відмінності між різними секторами циклону.

Між циклонами, в тих частинах фронтальних хвиль, де тиск високий, формуються антициклони в середині одноманітної повітряної маси. Повітря в їх центрі опускається, адіабатичне нагріваючись, стає сухим. Тому переважає

ясна і суха погода, безхмарна або малохмарна. жарка влітку і морозна взимку. В центрі панує штиль, а по периферії дмуть слабкі вітри. В своєму розвитку антициклон спочатку охоплює тільки приземну частину тропосфери, потім росте вверх і по площі, нарешті повітря трансформується, оскільки змінюються його температура й вологість, і антициклон руйнується. Антициклони завжди йдуть разом з циклонами зі швидкістю близько 30 км за годину, але вони відхиляються на південний схід. Найбільш стійкими є антициклони Арктики і Антарктиди, які виникають над холодною поверхнею льоду і снігу.

Панування антициклонів у субтропічних максимумах пов'язане з опусканням тут повітря, яке піднялося над екватором, а також з відхиленням шляхів антициклонів помірних широт на південний схід, вони концентруються тут у субтропіках, через те що біля екватора сила Коріоліса незначна і не може змістити баричні максимуми, які зупиняються в тропічних широтах.

На межі циркуляції помірних і тропічних широт виникає зона змінної циркуляції на 35 - 40" північної і південної широти. Вона охоплює Середземне і Чорне моря, південь Середньої Азії, Центральну і Середню Азію, півострови Корею і Каліфорнію, південь Африки і Австралії, південь Чилі. Влітку тут панує тропічне повітря в зв'язку зі зміщенням тропічних баричних максимумів, а взимку - західний перенос морського помірного повітря.

#### **3.4. Полярна циркуляція**

Вона зумовлена термічними причинами і формуванням областей високого тиску біля полюсів. Баричні градієнти спрямовані від полюсів в бік мінімуму помірних широт, тому, відхиляючись за силою Коріоліса, в Арктиці переважають північно-східні, а в Антарктиді – південно-східні вітри. Вони більш стійкі й мають більшу швидкість в Антарктиді, особливо на її узбережжях "стокові" вітри. А в Арктику часто надходять циклони і тепле повітря а північної Атлантики, особливо влітку, тому тут східні вітри непостійні, а на узбережжях Америки і Євразії спостерігається незначна мусонна тенденція.

#### **3.5. Пасатна циркуляція**

Пасатна циркуляція обумовлена існуванням екваторіального баричного мінімуму і субтропічних максимумів тиску. Субтропічні максимуми не утворюють суцільних смуг, а складаються з окремих баричних систем. Екваторіальний мінімум також існує в середньому, тобто області високого і низького тиску тут безперервно виникають і зникають, але коливання тиску набагато менші, ніж у помірних широтах. У субтропічних антициклонах, як і в зовні тропічних, вітри дмуть від центрів до периферії, відхиляючись за годинниковою стрілкою в північній півкулі й проти неї - в південній. Пасати - це вітри екваторіальної периферії субтропічних антициклонів, північно-східні й східні - в північній півкулі, південно-східні й східні - в південній півкулі. Вони непостійні за тривалістю і проявляються тільки до висоти 1 - 2 км у стійких антициклонах. Вище 2 км над пасатами діє західний перенос,

вітри якого називають антипасатами. За сезонами екваторіальний мінімум і субтропічні максимуми зміщуються то в північну, то в південну півкулі, в липні екваторіальний мінімум в Індії досягає тропіка, а в січні - Північної Австралії. Це пов'язано з сильним нагріванням материка Євразії влітку і виникненням мусонної циркуляції між Індійським океаном і південною частиною Азії. вона підсилюється пасатами південної півкулі, які перетинають екватор. Таким чином, виникає субекваторіальний пояс змінної циркуляції й тропічних мусонів, які влітку приносять вологу з Індійського океану на південь Азії /Індостан та Індокитай/.

### **3.6. Тропічні циклони**

У тропіках на відстані  $10^\circ$  від екватора /там, де збільшується вплив сили Коріоліса/ формуються тропічні циклони. На відміну від циклонів помірних широт вони мають невеликий діаметр 200 - 400 км і дуже великі баричні градієнти, внаслідок чого вітер досягає сили штормів і ураганів (до 80 м/с), їх називають тропічними ураганами, або тайфунами, і вони супроводжуються грозами і тропічними зливами. Вони виникають там, де є різкий перепад температури, пов'язаний з виділенням великої кількості прихованої теплоти пароутворення. Райони народження ураганів Центральної Америки і тайфунів Південно-Східної Азії розміщені між  $5^\circ$  і  $20^\circ$  широти в кожній півкулі тільки над океанами, найчастіше влітку або восени. Тропічні циклони рухаються спочатку на захід, відхиляючись до  $20 - 30^\circ$  широти і тоді з заходу обходять субтропічний антициклон і повертають на північний схід у північній і південній схід - у південній півкулях. Це є точка повороту тропічного циклону, траєкторія руху якого має вигляд параболи з вершиною на заході. Швидкість руху тропічних циклонів 20 - 30 км за годину. В Тихому океані біля Філіпінських островів в середньому буває 28 тайфунів за рік, а між островами Зеленого мису і Центральною Америкою – в середньому 10 ураганів за рік.

### **3.7. Мусонна циркуляція**

Мусонна циркуляція обумовлена тепловою машиною другого роду (за В.В.Шулейкіним) і проявляється між океанами і материками, але вона не ізольована від загальної циркуляції, нагрівання і охолодження півкуль за сезонами, західного переносу і циклонічної діяльності.

Мусони - це стійкі атмосферні течії в певних великих географічних областях, переважаючий напрям яких змінюється від зими до літа і, навпаки, на протилежний. Вертикальна потужність мусонів в середньому 2 - 3 км, а вище панує західний перенос. Існують тропічні й зовні тропічні мусони. Там, де є інтенсивна циклонічна діяльність /Європа і Північний Захід Америки/, мусони відсутні. В помірному поясі мусони проявляються біля східних узбереж материків. Влітку над нагрітою Азією виникає понижений тиск. а над Тихим океаном, дещо на північ, зміщується Гавайський максимум. Взимку над материком формується стійкий. Азіатський максимум, а в Тихому океані /північна частина/ - Алеутський мінімум. Баричні градієнти між ними достатні для виникнення мусонів. Найбільш типові мусони спостерігаються на Далекому Сході, в Північному і Східному Китаї, в Кореї

та Японії. Зимовий мусон холодний і сухий, має північній і північно-західний напрям, а літній - південний і південно-східний - теплий, він несе насичене вологою повітря і рясні дощі.

Тропічні мусони обумовлені сезонним відмінами в нагріванні й охолодженні півкуль і в зміщенні баричного поля Землі (субтропічних максимумів і екваторіального мінімуму). Особливо потужні тропічні мусони в басейні Індійського океану, де сезонні зміни температури півкуль підсилюються великим материком Євразії - в північній півкулі, прогрітим улітку і охолодженим узимку. Мусонна циркуляція охоплює Індостан, Індокитай, Південний Китай, Індонезію, Індійський океан до Мадагаскару і Північної Австралії, субекваторіальну і Східну Африку. Погода мусону залежить від його напрямку і сезону. Літній мусон приносить з океану на материк дощову погоду, а зимовий дме з материка і несе суху погоду.

### **3.8. Струменеві течії**

Струменеві течії - це повітряні течії високої сили і протяжності в верхній тропосфері й нижній стратосфері, які мають еліптичний вертикальний переріз, швидкість 200 - 500 км/год, довжину кілька тисяч кілометрів і спрямовані завжди з заходу на схід. За Х.П. Погосяном, існують зовнішньо тропічні струменеві течії на висотах 8 - 12 км, субтропічні струменеві течії на широтах 25 - 30° і 10 - 15° на рівні тропопаузи /11 - 12 км/; екваторіальні струменеві течії тропопаузи над Південною Азією; стратосферні струменеві течії на 50 - 70° пн.ш. на висотах 25 - 35 км, обумовлені контрастами температури між помірними широтами і навколополюсною областю полярної ночі. Формування струменевих течій пов'язано з тропосферними фронтами, на яких біля земної поверхні виникають циклони і антициклони.

### **3.9 Місцеві циркуляції й вітри**

Під впливом рельєфу та інших властивостей підстеляючої поверхні в певних географічних широтах виникають місцеві вітри. Вони можуть бути результатом прояву місцевих циркуляцій або локальними хвилюваннями чи особливими властивостями вітрів загальної циркуляції атмосфери. Прикладами місцевих циркуляцій є бризи і гірсько-долинні вітри.

Бризи - це вітри біля берегової лінії морів і великих озер, які мають різку добову зміну напрямку. Вдень суша більше нагрівається, тиск падає, і дме морський бриз до висоти 500 - 1000 м. Вночі суша охолоджена, ізобаричні поверхні нахилені в бік суші, повітря над морем тепліше, піднімається вверх і перетікає зверху на сушу, на суші тиск підвищується, і дме береговий бриз з суші на море. Вертикальна потужність бризів до 1 км, вони поширюються на десятки кілометрів від берегової лінії на сушу або на море .

Гірсько-долинні вітри подібно до бризів також мають добову ритмічність. Вдень в гірських долинах повітря добре прогрівається від нагрітих схилів і піднімається вверх по схилах, і по долині дме вітер з прилягаючої до підніжжя гір рівнини. Вночі гірські схили охолоджуються, і повітря в гірській долині стає холоднішим, тут тиск більший, ніж на

прилягаючій рівнині, і виникає вітер, який дме вниз по схилах і по долині. Над льодовиками завжди панують інверсії температури і холодне повітря стікає вниз - дмуть стокові льодовикові вітри.

Під впливом орографії вітри загальної циркуляції вимушені обтікати гірський масив з боків або перевалювати через нього. Повернутий назустріч вітру схил називають навітряним, а протилежний - підвітряним. Найпоширеніші вітри в горах – це фен і бора. Фен - це теплий, іноді гарячий і сухий вітер, який дме а гір протягом доби. а інколи й тижня. Фен утворюється при перетіканні повітря через хребет. При піднятті на навітряному схилі повітря охолоджується на 1 °С на 100 м, а при досягненні рівня конденсації менш 1 °С на 100 м висоти, волога конденсується і випадає. На протилежному схилі сухе повітря спускається, нагріваючись на 1 °С на кожні 100 м висоти, і біля підніжжя буде мати вищу температуру, ніж до підняття навітряний схил. Фени виникають в циклонах і в антициклонах, які перетинають гірську країну. Коли антициклон перебуває над гірською країною, а для нього характерні опускання повітря, фени можуть виникати водночас на обох схилах, В Альпах, Скелястих горах, на Кавказі, в горах Середньої Азії та інших фени спостерігаються часто, до 80 - 100 днів за рік .

Бора - це штормовий холодний вітер, який дме з низькогірних перевалів вниз у холодну пору року. Якщо біля підвітряного схилу розміщене тепле море, виникає великий баричний градієнт, через те що повітря опускається з невеликої висоти, не встигає прогрітися і залишається холодним, і тоді вітри дмуть зі швидкістю 40 - 60 м/с. Бора має інші місцеві відміни: в Новоросійську і на Новій Землі – бора, на озері Байкал - сарма, на південному узбережжі Франції - містраль. Бора дуже небезпечний, він топить або викидає на берег кораблі, від нього все вкривається льодом.

За умов нестійкого стану атмосфери і сильної вертикальної конвекції виникають малі вихорі. Пилові вихорі часто з'являються над перегрітою поверхнею в пустелях, вони мають діаметри від 1 до 100 м і висоту до 1 км, рухаються зі швидкістю 20 - 30 км за годину. Повітря в вихорях закручується, як у циклонах, і водночас піднімається вгору. Великі вихорі над морем діаметром у кілька десятків метрів, які засмоктують воду, називають смерчами. Смерчі кожного року спостерігаються на Чорному морі. Найчастіше вихорі виникають в передній частині грозової хмари. Зверху і знизу наявні характерні лійкоподібні розширення. Вихорі над сушею діаметром до 100 - 200 м називають тромбами. Якщо над морем вихорі мають синьо-сірий колір, то над сушею - це чорні стовпи з розширеннями біля хмар і біля земної поверхні. Швидкість вітру досягає 50 - 100 м/с. На півдні США в середньому за рік спостерігається 200 потужних тромбів, які мають назву торнадо. В перекладі з іспанської "торнадос" означає "той, що обертається". Смерчі, тромби і особливо торнадо мають дуже велику руйнівну силу