

**ЛІС І АТМОСФЕРА. ЛІС І
ЗАБРУДНЕННЯ
АТМОСФЕРНОГО
ПОВІТРЯ**

Відомо, що атмосферне повітря, як екологічний фактор, відіграє у житті рослин важливу роль, обумовлюючи *фізіологічні і біохімічні* процеси (газовий склад атмосфери) та діючи як фізичний чинник (рух повітряних мас) складається із *азоту (78 %), кисню (20,95 %), та незначних часток аргону, гелію, водню, вуглекислого газу*, а також різних домішок техногенного і рослинного походження



Відомо також, що для росту і розвитку рослин потрібен у значній кількості **азот**, але вищі рослини не можуть засвоювати газоподібний азот із атмосфери. Тому для них він є інертним газом, хоча й є першоджерелом зв'язаного азоту.

Кількість кисню в атмосфері цілком достатня для забезпечення дихання усього живого на Землі. Найбільш важливим для вищих рослин, у тому числі і деревних, є вуглекислий газ, якого, у середньому, атмосфера має 0,03 % за об'ємом



Атмосферне повітря – це суміш газів: азоту (78,08 %), кисню (20,95 %), аргону (0,93 %) та вуглекислого газу (0,03 %). Крім цього, присутня незначна кількість неону (Ne), криптону (Kr) і ксенону (Xe), різні домішки (діоксид сірки SO_2 , аміак (NH_3) та ін.), а також газоподібні ароматичні виділення рослин. У повітрі міститься і певна кількість водяної пари



Вуглекислий газ – CO_2 (нічне поглинання) – серед екологічних факторів займає надзвичайно важливе екологічне значення, оскільки він має найважливіший безпосередній вплив на деревні рослини, бо через асиміляцію вуглекислого газу утворюється органічна речовина, яка на 40–50 % складається з вуглецю, хоча його концентрація значно нижча у порівнянні з азотом та киснем.

Він використовується рослинами при фотосинтезі; як ферментативний інгібітор дихання та інгібітор розкривання продихів; при нефотосинтетичному зв'язуванні CO_2 . В основному CO_2 поглинається в процесі фотосинтетичної діяльності лісу



Концентрація вуглекислоти у лісовому повітрі різна на різній висоті від поверхні ґрунту. Ліс суттєво впливає на концентрацію і розподіл CO_2 .

Шведський вчений **Люндегорд** (1925) встановив, що вміст вуглекислого газу у лісовому повітрі в 1,2–1,6 разів вищий у порівнянні з відкритим простором. Оскільки найбільша кількість CO_2 виділяється при диханні та розкладанні органічних речовин, то у лісове повітря цей газ надходить із ґрунту внаслідок дихання коренів рослин, життєдіяльності бактерій, грибів, актиноміцетів, ґрунтових тварин, які беруть участь у розкладанні органічних решток та гумусу. Якщо вміст вуглекислоти у повітрі відкритих просторів коливається у невеликих межах, то у лісі це помітніше.

Так, у лісі в шарі повітря від поверхні ґрунту і до висоти 1,5 м концентрація CO_2 досягає 0,07 %. Це важливо для піднаметової рослинності і підросту, які терплять від нестачі освітлення. В умовах підвищеної концентрації вуглекислого газу фотосинтез протікає досить активно і при меншій освітленості.

- ✓ **Концентрація CO_2** змінюється по вертикалі і найвища біля поверхні ґрунту, досягаючи 0,081 %. У середніх шарах повітря (між ґрунтом і кронами) її значення становить близько 0,04 %, а у верхів'ях крон – 0,022 %. Найнижча концентрація діоксиду вуглецю відмічена біля поверхні листя – 0,017 %.
- ✓ Причиною цього є споживання листям вуглекислоти для асиміляції вуглецю. Така велика **амплітуда вмісту CO_2 у лісовому повітрі** свідчить про відсутність його дифузії у вертикальному напрямі без дії інших процесів. Поновлення повітря вуглекислим газом на висоті крон дерев відбувається під дією слабкого вітру ($2\text{--}4 \text{ м/с}^{-1}$), який здатний створити у лісі турбулентні потоки повітря, що дозволяють піднятися більш важкому вуглекислому газу до рівня крон, де він використовується.
- ✓ **Основними джерелами утворення вуглекислого газу** є верхні горизонти ґрунту, в першу чергу лісова підстилка та гумус. Він потрапляє у повітря внаслідок життєдіяльності бактерій, грибів, ґрунтових тварин, а також, кореневого дихання рослин, що й обумовлює підвищену концентрацію у приповерхневих шарах повітря.
- ✓ **Причиною зменшення вмісту CO_2 в зоні крон** є його фізичні особливості (значна молекулярна маса, повільна дифузія) та асимілююча діяльність крон.
- ✓ На розподіл вуглекислого газу у лісовому повітрі впливають склад, будова, зімкнутість, густота деревостану, характер розміщення дерев (рівномірний чи нерівномірний) та ін

Концентрація вуглекислого газу у лісі залежить ще від ряду чинників:

- ✓ збільшується вночі, бо у цей час відсутній фотосинтез і найактивніше проходить процес дихання
- ✓ найнижча концентрація CO_2 у повітрі на рівні крон опівдні, коли фотосинтез максимально інтенсивний
- ✓ збільшення концентрації CO_2 має місце у період дощу та туману. У цей час знижується активність фотосинтезу, зменшується циркуляція повітря, а виділення CO_2 з ґрунту продовжується, що й забезпечує підвищення його концентрації у лісовому повітрі
- ✓ у густому, зімкнутому деревостані концентрація CO_2 вища, ніж у розрідженому.

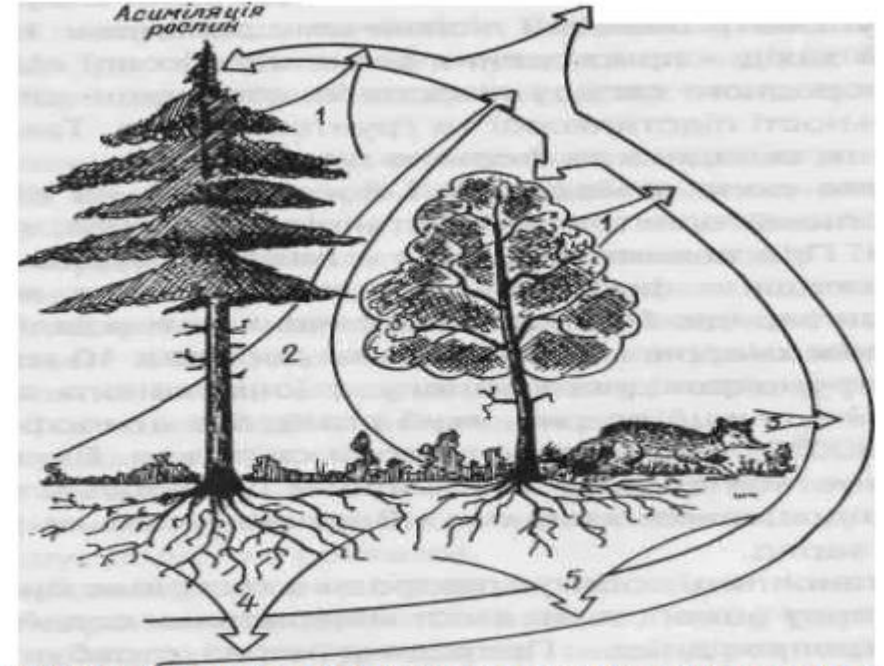


Рис. 9.2. Кругообіг вуглекислого газу в лісостанах та джерела його надходження у лісову середовище:

1 – дихання деревних рослин; 2 – розклад лісової підстилки;
3 – дихання тварин; 4 – дихання коріння; 5 – дихання ґрунту

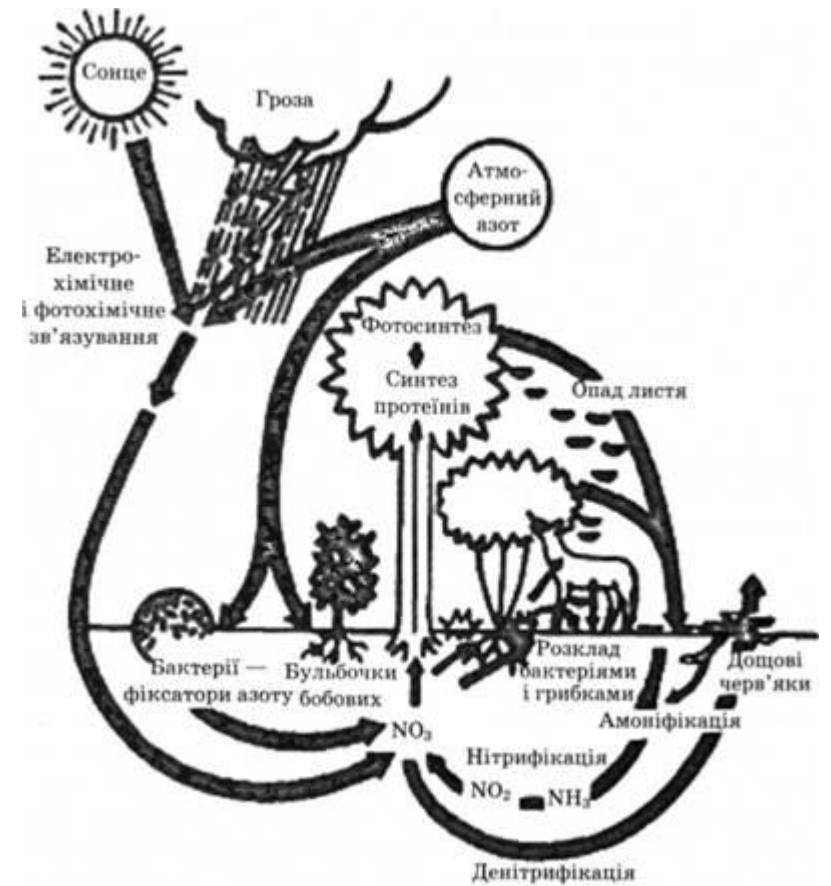
- ✓ З приповерхневого шару повітря вуглекислий газ переміщується в область крон завдяки дифузії, температурній конвекції, вітру і турбулентності повітря.
- ✓ Наштовхуючись на різні перешкоди у лісі, турбулентний потік повітря спрямовується вгору, сприяючи постачанню крон CO_2 . При цьому значну роль відіграє швидкість вітру.
- ✓ Слабкий вітер (до 0,5 м/с) покращує забезпечення крон вуглекислим газом, а за більшої швидкості спостерігається негативний ефект, оскільки основна маса CO_2 виноситься за межі крон в атмосферу.
- ✓ Питання щодо кількісного співвідношення атмосферного та ґрунтового вуглекислого газу у постачанні крон залишається нез'ясованим.
- ✓ Концентрація діоксиду вуглецю під наметом лісу вночі майже у два рази, складаючи 0,06 % за об'ємом і 0,09 % за масою, що пояснюється припиненням фотосинтетичної діяльності рослин та активізацією процесів дихання.
- ✓ Мінімальна концентрація CO_2 у лісі виявлена опівдні на рівні крон за максимальної інтенсивності фотосинтезу.
- ✓ Спостерігається зростання концентрації вуглекислого газу у дощову погоду та за наявності туману, тому що в цей час знижується фотосинтетична активність, послаблюється циркуляція повітря, а виділення CO_2 з ґрунту триває.

На продуктивність фотосинтезу суттєво впливає концентрація CO_2 у повітрі. Встановлено, що наявний вміст вуглекислоти у повітрі забезпечує належний рівень фотосинтезу. Навіть незначне збільшення вмісту діоксиду вуглецю при ослабленні освітлення (до певної межі) обумовлює посилення фотосинтетичної активності, особливо у тіньовитривалих деревних видів.

✓ Збільшення концентрації CO_2 у 3 рази (до 0,01 %) викликає адекватне збільшення продуктивності фотосинтезу у сосни звичайної. При зростанні концентрації CO_2 у 10 разів (до 0,03 %) продуктивність фотосинтезу збільшується менш інтенсивно. Особливо це відчутно для тіньовитривалих деревних видів. За концентрації вуглекислого газу понад 26,5 % асиміляційні процеси послаблюються або ж припиняються.

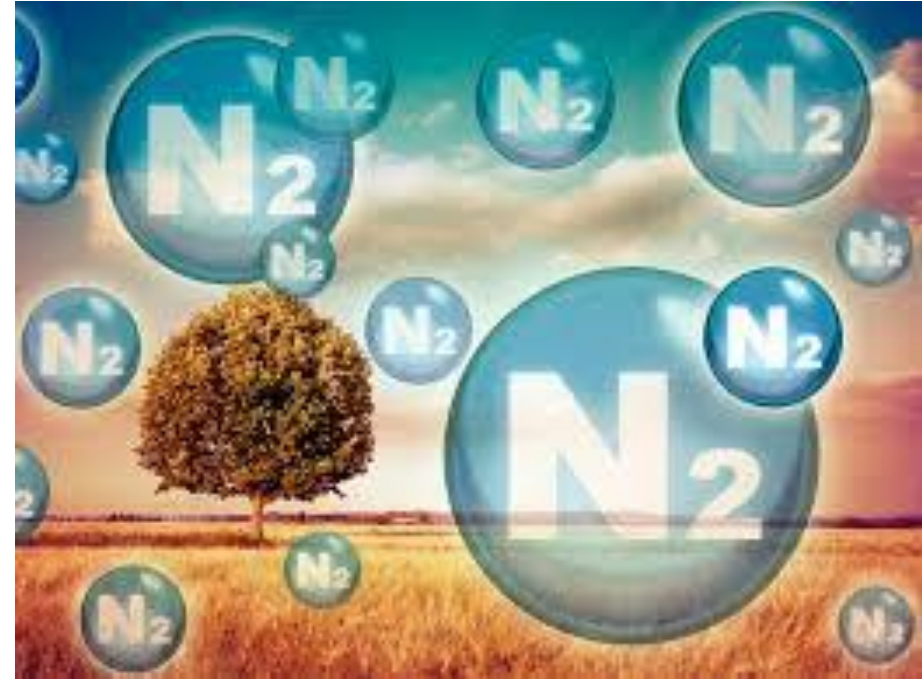
Отже, вміст CO_2 у лісовому повітрі можна регулювати певними лісівничими заходами. Найбільш доступний простий захід – прискорення розкладу лісової підстилки шляхом формування породного складу лісостанів, створення сприятливих умов для життєдіяльності підстилкової та ґрунтової біоти. Такі умови створюються у **мішаних**, складних за формою лісостанах.

Основним джерелом вільного молекулярного кисню на планеті є фотосинтез – біохімічна реакція, що виникла вже у другій половині архейської ери з появою на Землі автотрофних організмів. Головну роль у відтворенні ресурсів кисню та зменшенні вмісту вуглекислого газу у повітрі відіграють зелені рослини, в першу чергу ліси, які, займаючи 1/3 поверхні суші, продукують більше половини всієї біомаси



Азот, який є уособленням білкового життя у біосфері, в основному зосереджений в атмосфері, де його частка становить близько 78 %. Проте, у газоподібному стані він недоступний для деревних рослин. **Азот вступає у кругообіг** виключно через кореневу систему у вигляді **нітратів (NO_3)** та **амонію (NH^4)** або за допомогою симбіотичного зв'язку деревних рослин з азотофіксуючими бактеріями і грибами (актиноміцети).

Фіксація азоту в організмі рослин є основою формування амінокислот, з яких складаються білки. Далі азот у вигляді високоенергетичних білків споживають гетеротрофи, а в кінцевому підсумку він надходить у ґрунт з мертвою органікою. Органічні речовини, які містять зв'язаний азот, мінералізуються у процесі амоніфікації та нітрифікації, внаслідок чого нітратний та амонійний азот стає доступним для вищих рослин. Певною мірою перехід молекулярного азоту повітря у доступні форми відбувається під час грозових розрядів.



Ліси відіграють надзвичайно важливу роль у регулюванні газового складу атмосфери у планетарному масштабі, в тому числі у підтриманні відносно постійного вмісту кисню. Помітного збільшення концентрації кисню у лісовому повітрі не відмічено, проте, відбуваються певні якісні зміни. Лісове повітря збагачене **іонізованим киснем**, який корисний для здоров'я людини



У складі лісового повітря міститься багато різних летких хімічних сполук, які виділяються надземними та підземними органами рослин. Серед них виділяють окрему групу речовин – **фітонциди**, які згубно діють на патогенні мікроорганізми, гриби та комахи.



Засновником вчення про фітонциди **вважається Б.П. Токін** (1974). За його визначенням фітонциди (від грецьк. – рослина і лат. caedo – вбивати) – це вироблені рослинами бактерицидні, фунгіцидні, протистоксидні речовини, які є одним із факторів їхнього імунітету та відіграють важливу роль у взаємодії організмів у біоценозах.



За сучасним визначенням **фітонциди** – це біологічно активні речовини, що виділяються у процесі життєдіяльності рослин у навколишній простір, здатні викликати фізіологічні зміни в інших організмах.

Влітку 1 га листяного лісу виділяє в середньому за добу до 2 кг фітонцидів, шпилькового – 5 кг. Встановлено, що 1 га кедрового лісу виділяє у літній період 0,114–0,719 кг летких фітонцидів за день, сосновий – 0,118–0,441 кг, березовий – 0,028–0,310 кг

Виділення фітонцидів залежить від багатьох факторів. **Найактивніше** цей процес відбувається у період вегетації, восени сповільнюється, а взимку практично припиняється. **Найбільше** фітонцидів виділяють молоді органи рослин, а з віком ця здатність зменшується. На висоті 2250 м фітонцидоутворення у 2–3 рази інтенсивніше, ніж на рівнині.



- ✓ До **деревних видів з максимальною** фітонцидною активністю і широким спектром дії відносяться дуб північний, береза повисла, ялиця біла, сосна звичайна.
- ✓ **Низькою** фітонцидною активністю і вузьким спектром дії характеризуються бук лісовий, верба козяча, осика та ін.
- ✓ Серед **чагарників** високою фітонцидною активністю та широким спектром дії відзначаються бузина чорна, крушина ламка, черемха звичайна
- ✓ **трав'яних рослин** — ожина сиза, безщитник жіночий, щитник чоловічий.



Складовою частиною атмосферного повітря є **озон**, найбільша концентрація якого спостерігається на висоті 20–25 км. У приземні шари атмосфери він надходить у результаті перемішування повітряних мас, а середня щільність його біля поверхні землі, залежно від періоду доби та сезону року, становить 10–40 мкг/м³.

Концентрація озону в лісі змінюється залежно від біологічної активності рослин, густоти та віку деревостану, погодних умов, сезону року та ін.

У **соснових молодняках** вона у 2 рази вища, ніж у стиглих насадженнях. **Мінімальна концентрація озону** спостерігається у зимову пору року, а максимальна – навесні.

З підвищенням температури повітря зростає виділення рослинами терпенів, активізується їх окислення та утворення озону



Вітер — переміщення повітряних мас вздовж поверхні Землі, яке виникає в результаті нерівномірного горизонтального розподілу атмосферного тиску, зумовлюється нерівністю температур в атмосфері. Є окремі випадки вертикального переміщення повітряних мас, наприклад, у хмарах та у горах. Основними показниками є швидкість і напрям вітру. Швидкість вітру вимірюється у м/с^{-1} або км/год^{-1} . Окомірно її визначають за **шкалою Бофорта** у балах (від 0 до 12 балів). Напрямок вітру виражають у градусах або у румбах



Швидкість вітру не буває постійною. Так, швидкість і напрям вітру мають чітко виражений добовий хід: уночі швидкість вітру над поверхнею землі мінімальна, в інші години вона зростає, але над морем добових змін не відбувається. В умовах Східноєвропейської рівнини максимальна швидкість вітру спостерігається взимку, а мінімальна – влітку, хоча бувають і винятки

Шкала Бофорта

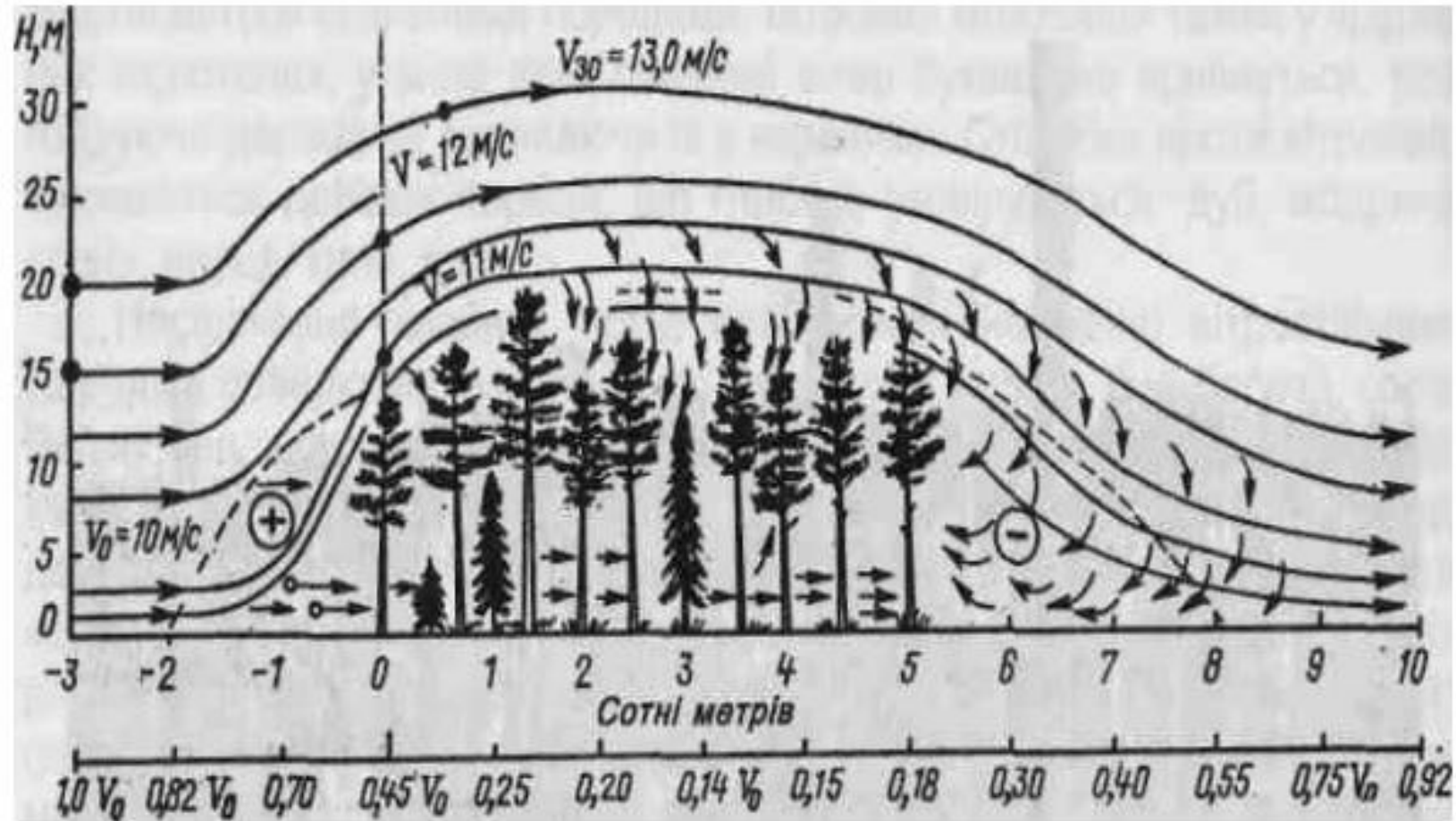
Сила вітру, бал	Назва вітру	Ознаки дії вітру	Швидкість вітру, м/с ⁻¹
0	штиль	дим піднімається вертикально	0-0,5
1	тихий	дим дещо відхиляється від вертикалі	0,6-1,7
2	легкий	шелест листя на деревах	1,8-3,3
3	слабкий	листя і дрібні гілки рухаються	3,4-5,2
4	помірний	гілки дерев гойдаються, піднімається пил, кусочки	5,3-7,4
5	свіжий	гойдаються великі гілки дерев, на воді з'являються	7,5-9,8
6	сильний	розгойдуються великі гілки	9,9-12
7	міцний	розгойдуються дерева невеликих розмірів	12,5-15,2
8	дуже міцний	розгойдуються великі дерева, ламаються гілки	15,3-18
9	міцний шторм (бура)	ламаються великі гілки і дерева	18,3-21,5
10	сильний шторм	дерева вивалюються з корінням	21,6-25,1
11	жорсткий шторм	великі порушення	25,2-29,0
12	ураган	викликає спустошливі дії	Більше 29

- ✓ **Ліс** становить собою могутню механічну перешкоду на шляху **горизонтального переміщення** повітряних мас. Зрозуміло, що **усередині лісу набагато тихіше**, ніж на відкритому просторі, і чим ліс густіший, тим меншою буде в ньому швидкість вітру, порівняно зі швидкістю на відкритому просторі.

На різних рівнях від поверхні ґрунту швидкість вітру у лісі різна

- ✓ Так, якщо в одноярусному лісі швидкість вітру у проміжному між поверхнею трав'яного покриву і пологом крон приблизно однакова, то в зоні крон вона збільшується і досягає максимуму над верхівками крон.
- ✓ На поверхні ґрунту та усередині живого надґрунтового покриву, як правило, спостерігається повне затишшя.
- ✓ Взагалі ж, зустрічаючи на своєму шляху щільне узлісся, вітер лише частково проникає всередину лісу, а основна маса повітря або спрямовується вздовж узлісся, або піднімається вгору і рухається понад лісом.
- ✓ Вже на підході до лісу повітряні маси утворюють зону з підвищеним тиском, свого роду «**повітряну подушку**», завдяки чому швидкість вітру знижується.
- ✓ За лісом, навпаки, утворюється зона з пониженим тиском, яка також викликає зниження швидкості вітру, а іноді й зміну його напрямку за узліссям на прямо протилежний. Тут відбувається завихрення.
- ✓ Зниження швидкості вітру перед лісом спостерігається з відстані у 10 висот деревостану, а за лісом відчутне зниження швидкості, як правило, відчувається на відстані 20–25 висот деревостану від узлісся

Профіль лісостану та розподіл швидкості вітру



Ефект зниження швидкості вітру деревостанами в основному використовується у **полезакисному лісорозведенні** (В.О. Бодров, 1958, 1961). У середині лісу швидкість вітру залежить як від сили його на відкритому просторі, так і від будови лісостану та фенологічного стану деревних рослин. Найсильніше гальмується швидкість вітру у межах крон дерев, якщо є нижні яруси. У лісостані вони також знижують швидкість вітру.

Вплив вітру на деревні рослини, на лісові насадження дуже різноманітний. Вітер відіграє неоднозначну роль у житті лісу, виявляючи як позитивний, так і негативний вплив. Від того, який характер вітру, тобто його швидкість, і які деревні види знаходяться під впливом вітру, можливі позитивні або негативні наслідки дії до вітру



Різnobічність впливу вітру на деревні породи зумовлюється тим, що **вітер діє як фізично, так і фізіологічно.**

- ✓ Приносячи **вологу з океану**, вітер діє на ліс **позитивно**, а якщо він спрямований з **глибини континенту**, то викликає посуху, чим **шкодить лісу**.
- ✓ **Вітер впливає** на газовий склад повітря, транспірацію, на зовнішній вигляд деревних рослин не тільки у надземній частині, але і в підземній.
- ✓ **Велика роль вітру в запиленні** деревних видів, у розсіванні насіння, фізичному випаровуванні вологи з поверхні ґрунту.



Він суттєво впливає на **фізіологічну діяльність** рослин, зокрема:

- ✓ прискорює транспірацію, а разом з нею активізує поглинання поживних речовин з ґрунту;
- ✓ вітер тим самим прискорює надходження води від коренів до листя, а разом з водою надходять і необхідні поживні речовини;
- ✓ підносить з нижніх приземних шарів до крон дерев вуглекислий газ, посилюючи асиміляційні процеси. Щоб процес транспірації проходив нормально, потрібно, щоб насичене вологою повітря, яке межує з листям, змінювалося більш сухим. Вважається, що оптимальною для транспірації швидкістю вітру є 2 м/с^{-1} . Збільшення швидкості викликає зниження продуктивності фотосинтезу.
- ✓ Особлива роль вітру у біології лісу полягає у запиленні рослин (анемофілія) та поширенні насіння (**анемохорія**).



- ❖ **Фізична дія вітру** позначається на морфологічних особливостях дерев, особливо на **формуванні крон**. **Сильні вітри** певного переважаючого напрямку обумовлюють розвиток односторонніх, прапороподібних крон. Це явище часто спостерігається на морському узбережжі та високогірних районах. Також, у таких дерев формується **ексцентриситет стовбура**, коли поперечний переріз стовбура має форму овала, довша вісь якого спрямована у напрямку переважаючого вітру.
- ❖ **Вітер впливає на висоту дерев**; із збільшенням його швидкості зменшується висота дерев і, відповідно, продуктивність лісових насаджень.
- ❖ **Під впливом вітру формується і коренева система дерев**; чим він сильніший, тим глибше корені проникають у ґрунт і розростаються у сторону, протилежну напрямку переважаючих вітрів.
- ❖ **Негативний вплив вітру** полягає і в обламуванні листків, плодів, гілок. Пружні гілки берези обхльостують більш ламкі гілки сосни і ялини, завдаючи механічних пошкоджень. У південних районах України на піщаних ґрунтах спостерігається засікання хвої молодих рослин сосни піщинками, що знижує приживлюваність лісових культур.
- ❖ **Вітер посилює фізичне випаровування** з поверхні ґрунту, здуває листя з лісосмуг, збіднюючи ґрунтові умови

Особливу турботу для працівників лісового господарства викликають такі явища, як **вітровал та бурелом**, що спричиняє великі втрати.

Вітровал — стихійне явище, яке полягає у вивалюванні дерев з корінням під дією сильного вітру (15 м/с^{-1} і більше), особливо у поєднанні з інтенсивними атмосферними опадами у вигляді дощу чи мокрого снігу.



Найчастіше вітровал зустрічається у ялинниках, які ростуть на дещо перезволожених ґрунтах, а також на так званих вітроударних схилах гір.

Вивалюванню дерев з корінням сприяє поверхнева коренева система, характерна для ялини. Можуть вивалюватися й дерева інших видів, якщо вони утворюють поверхневу кореневу систему через неглибокий ґрунт, який підстилається скельними породами.

Вітровал можливий також у зріджених лісостанах, у межі яких сильний вітер буквально вривається, розгойдуючи дерева та вириваючи їх з коренями. **Стійкими проти вітровалу вважаються деревні види, що глибоко укорінюються: дуб, модрина, сосна, ялиця, клен, граб.**



Вітровали найчастіше відбуваються у **стиглих і перестійних насадженнях**, проте можуть завдавати шкоду і **середньовіковим деревостанам**.

Найменш вітростійкими вважаються деревні види з поверхневою кореневою системою – **ялина, бук, береза, сосна Веймутова**, а найбільше пошкоджуються чисті ялинові лісостани у горах.

У рівнинних ялинниках вітровали спостерігаються переважно на неглибоких вологих та сирих ґрунтах через масове поширення кореневої губки. У старовікових насадженнях ялини ураженість гнилями досягає 60–90 % і за таких умов при поривах вітру понад 15 м/с^{-1} імовірність виникнення вітровалів та буреломів різко посилюється



Ялицеві деревостани і змішані ялиново-ялицеві та буково-ялицеві насадження відзначаються вищою вітростійкістю.

З хвойних видів найбільш вітростійка модрина, особливо на глибоких добре дренованих ґрунтах.

Сосна частіше пошкоджується буреломами, а в сирих лісорослинних умовах вона до того ж вітровальна.

Дуб, ясен, в'яз, клен, тополя вітростійкі, проте можуть пошкоджуватись вітровалами і буреломами при винятково сильних поривах вітру, особливо на ділянках з близьким заляганням ґрунтових вод і на мілких ґрунтах.



Бурелом — це зламані на будь якій висоті від поверхні ґрунту дерева. Найчастіше від бурелому потерпають деревні види з м'якою деревиною стовбура: ялиця, осика, липа — та породи з відносно глибоким укоренінням. Бурелому сприяє наявність стовбурних гнилей. Старі за віком дерева частіше терплять від бурелому, ніж молоді



Потрібно мати на увазі, що взаємодія вітру з лісом визначається **турбулентністю вітрового потоку**. Для лісу небезпечні пориви вітру, великі завихрення, які ламають та вивалюють дерева з корінням. Після опадання листя окремі дерева, а особливо групи дерев, що розташовані серед хвойної частини деревостану, пропускають небезпечні вихори усередину хвойного деревостану, нагадуючи собою «вибиту шибку» у вікні, через яку починається вітровал.



Вітер спричиняє й інші пошкодження лісовим насадженням. Так, при розгойдуванні дерев, що ростуть поруч, спостерігається взаємне **обхльостування крон**, при якому обламуються гілки, ошмигуються від хвої або листя, після чого дерево починає хворіти. Особливо часто таке явище спостерігається при сумісному рості у насадженні берези з сосною або ялиною. Береза у наших лісах є класичним деревним видом-обхльостувачем. При розгойдуванні вітром дерев може обриватися дрібне коріння, що також ослаблює стан дерев



Вплив лісу на вітер полягає в ослабленні його сили та швидкості, зміні напрямку. **Вітрозахисна функція** лісових насаджень широко використовується при створенні полезахисних лісових смуг.

Периферійна частина лісового масиву впливає на переміщення повітряних мас на сусідні відкриті ділянки, утворюючи навітряну та підвітряну сторони. За спостереженнями **Я.А. Смалька (1963) «вітрова тінь»**, яка утворюється поблизу лісових смуг, у навітряний бік поширюється на відстань, кратну 5–15 Н (висоти смуги), у підвітряний – на 30– 60 Н. Розмір «вітрової тіні» залежить від швидкості вітру, конструкції лісових смуг, ширини насадження, величини схилу, кута підходу вітрових потоків тощо



Вітровий режим всередині лісу здеревного виду, його складу, від породного складу, будови, зімкнутості та висоти деревостану, елементів морфології лісового масиву (вікон, галявин, полян).

У порівнянні з світлолюбними деревними видами деревостани тіньовитривалих видів, які відзначаються густішими, довшими та ширшими кронами, значно більше знижують швидкість вітру.

Дослідження М.С. Нестерова (1954) засвідчують, що у соснових насадженнях на відстані 50–55 м від узлісся швидкість вітру на 50 % нижча, ніж на відкритому просторі, а в ялинниках вона зменшується приблизно 90 % вже на віддалі 30–40 м від узлісся.



У лісі сила і швидкість вітру змінюються у вертикальному напрямку, зростаючи з висотою від поверхні ґрунту до вершин дерев.

Найнижча швидкість вітру спостерігається у приземних шарах повітря – біля 1 % від швидкості вітру на відкритому просторі. У верхній частині крон вона вища, оскільки нерівність поверхні намету, обумовлена неоднаковою висотою дерев, різною шириною та щільністю крон, сприяє утворенню турбулентних потоків повітря. Зміна вітру з висотою залежить, у першу чергу, від вихідної швидкості вітру.

Вплив слабого вітру помітний лише у просторі крон, а при збільшенні швидкості цей вплив посилюється і під кронами. Швидкість вітру всередині лісу залежить від фенологічного стану дерев, насамперед листяних деревних видів. Закономірно, що у лісі, який перебуває у безлистяному стані, швидкість вітру помітно зростає.

Пошкодження дерев грозовими розрядами (блискавкою) в лісівницькій літературі отримало **назву громобій**. Деревина ростучого дерева містить значну кількість води та мінеральні солі (електроліти), тому відзначається досить високою електропровідністю. **Грозовий розряд** проходить по стовбуру дерева по шляху найменшого електричного опору, з виділенням великої кількості тепла і перетворенням води у пару. При переході з рідкого агрегатного стану у пароподібний об'єм води збільшується приблизно у 1650 разів, внаслідок чого раптово створюється значний тиск у замкнутому просторі. При цьому дерева зазнають суттєвих пошкоджень: розщеплюються на тріски або розколюються навпіл.



Імовірність і ступінь пошкодження дерев залежить від багатьох факторів: деревного виду, вмісту вологи у дереві, висоти дерева, топографії та ін.

- ✓ Хвойні види, для яких характерні гостроверхі крони, пошкоджуються частіше, ніж листяні.
- ✓ З листяних видів блискавка більше влучає у деревні види з високим вмістом крохмалю у деревині – дуб, тополь, ясен, вербу. Липа, горіх грецький, бук містять багато жирних масел, тому чинять більший електричний опір і вражаються значно рідше.
- ✓ Частіше пошкоджуються дерева з потужними кореневими системами, оскільки великі корені мають вищу електропровідність через більший вміст вологи і площу дотику із землею



За класифікацією Е. Шталя виділено три групи деревних видів щодо пошкодження їх блискавкою.

- ✓ **Пошкоджуються сильно** — тополя, дуб звичайний, берест, ільм, ясен звичайний, робінія псевдоакація, хвойні види;
- ✓ **пошкоджуються середньо** — липа, вишня, горіх волоський, каштан їстівний;
- ✓ **пошкоджуються мало** — вільха чорна та сіра, клени, каштан кінський, бук, граб, черешня, береза.



Переважно блискавка влучає у поодинокі дерева на відкритому просторі, особливо на підвищених формах рельєфу. У лісових насадженнях найчастіше пошкоджуються найвищі дерева, а також на узліссях. Ураження блискавкою викликає погіршення стану і навіть відмирання дерев. Ослаблені дерева стають осередками розвитку фітозахворювань та ентомошкідників. В окремих випадках блискавки стають причиною виникнення лісових пожеж.

З того часу, коли людина почала виплавляти мідь, залізо, виготовляти скло, їй довелося багато спалювати деревини, а згодом і кам'яного вугілля. **При цьому в атмосферу надходили такі гази, як двоокис сірки, та відходи від горіння вугілля. Забруднення атмосфери цими речовинами, димом згубно діє на рослинність, у тому числі і на ліс**



Атмосфера завжди містить певну кількість домішок, зумовлених природними та антропогенними джерелами. **Природне забруднення атмосферного повітря викликають природні процеси: вулканічна діяльність, вивітрювання гірських порід, вітрова ерозія, різноманітні продукти рослинного, тваринного та мікробіологічного походження. Рівень забруднення атмосфери природними джерелами є фоновим і несуттєво змінюється з плином часу. Антропогенне забруднення – це викиди в атмосферу різних забруднюючих речовин у процесі діяльності людини.**

За агрегатним станом викиди в атмосферу класифікують на:

- ✓ газоподібні (діоксид сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю, вуглеводні та ін.);
- ✓ рідкі (кислоти, луги, розчини солей та ін.);
- ✓ тверді (пил, сажа, смолянисті речовини та ін.).

У промислово розвинутих та урбанізованих районах найбільш поширеними токсичними речовинами є оксид вуглецю CO , діоксид сірки SO_2 , оксиди азоту NO_x , вуглеводні C_nH_m та пил. Крім того, в атмосферу викидаються й інші, більш токсичні речовини. Зараз налічується понад 500 шкідливих речовин, а їх кількість зростає. Високі концентрації домішок та їхня міграція в атмосферному повітрі призводять до утворення більш токсичних речовин (смог, кислоти) або до таких явищ, як парниковий ефект та руйнування озонового шару.



Особливо небезпечні сірчисті сполуки й оксиди азоту, які спричиняють кислотні дощі. В умовах підвищеної вологості повітря двоокис сірки окислюється до сірчаної кислоти, що обумовлює випадання кислотних дощів ($\text{pH} = 4,5$).

Найбільших пошкоджень зазнають **лісові насадження у місцях з підвищеною концентрацією шкідливих речовин:** поблизу підприємств хімічної, металургійної, нафтопереробної промисловості, теплових електростанцій тощо. При цьому, спостерігається загибель не тільки окремих дерев, а й цілих лісових масивів, особливо хвойних видів.

Промислові і транспортні викиди містять гази різного ступеня токсичності для рослин. Найменш шкідливі для них оксиди вуглецю, а найвищу токсичність мають сполуки фтору, озон, ртуть та органічні розчинники (ацетон, бензол, ксилол, різні ефіри). Забруднюючі речовини викликають різноманітні структурні і функціональні порушення в рослинних організмах

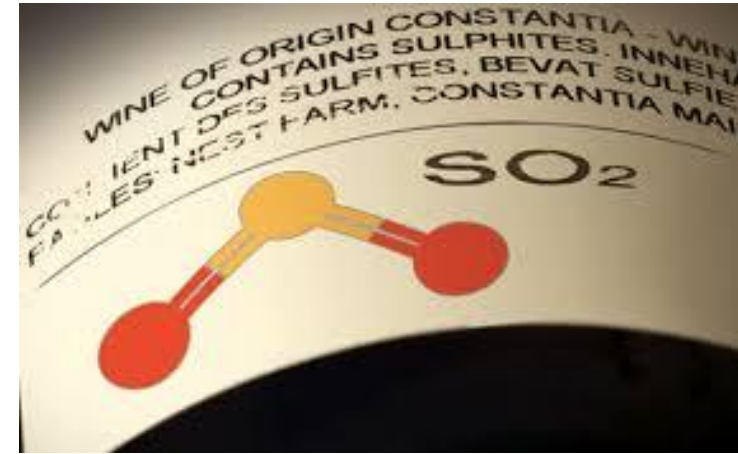


Дія токсичних газів на рослину починається з моменту проникнення їх у тканини **листка або пагона**. Кислі гази розчиняються у воді, що насичує клітинні оболонки, і перетворюються в ангідриди відповідних кислот (сірчаної, азотної тощо). Частина їх проникає всередину клітин, а частина переноситься до інших ділянок листка або надходить до пагонів, коренів і частково виділяється в ґрунт.

Ангідриди кислот, що проникли всередину клітин, у найбільшій кількості акумулюються в хлоропластах. При цьому хлорофіл перетворюється у феофітін, зменшується фотохімічна активність решти хлорофілу. Наслідком зазначених порушень є різке гальмування фотосинтезу і пов'язаного з ним біосинтезу вуглеводів, органічних кислот, амінокислот, білків, включення мінерального фосфору в органічні сполуки.

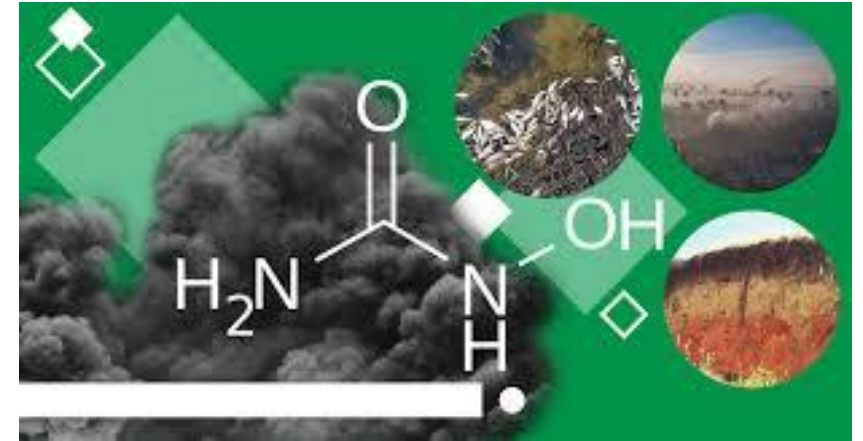
Кислі гази порушують існуючу катіонно-аніонну рівновагу у клітинах у напрямку підкислення. В результаті інгібується діяльність ферментів, які активуються вільними катіонами кальцію, магнію (фосфатаз, фосфоглюкомітаз та ін.) і, навпаки, посилюється активність інших ферментів, що активуються аніонами (амілаз). Це призводить до зміни швидкості перетворення ряду речовин, а за глибоких порушень біохімічних процесів у клітинах настає їх загибель.

Шкідлива дія діоксиду сірки проявляється при його концентрації близько 0,0001 %, а при 0,001–0,01 % спостерігаються ознаки сильного пошкодження деревних рослин. Проникаючи у клітини тканин листя чи хвої, він розчиняється у воді і перетворюється у сірчисту кислоту, яка акумулюється у клітинному соці і викликає надмірне окислення вмісту клітин, пошкодження хлоропластів і цитоплазми. Руйнується хлорофіл, особливо хлорофіл «b», глутатіон, аскорбінова кислота та інші речовини клітин. **Діоксид сірки** – сильний відновлювач, який змінює і порушує окислювально-відновну рівновагу клітинного середовища, знижує стійкість біоколоїдів клітини

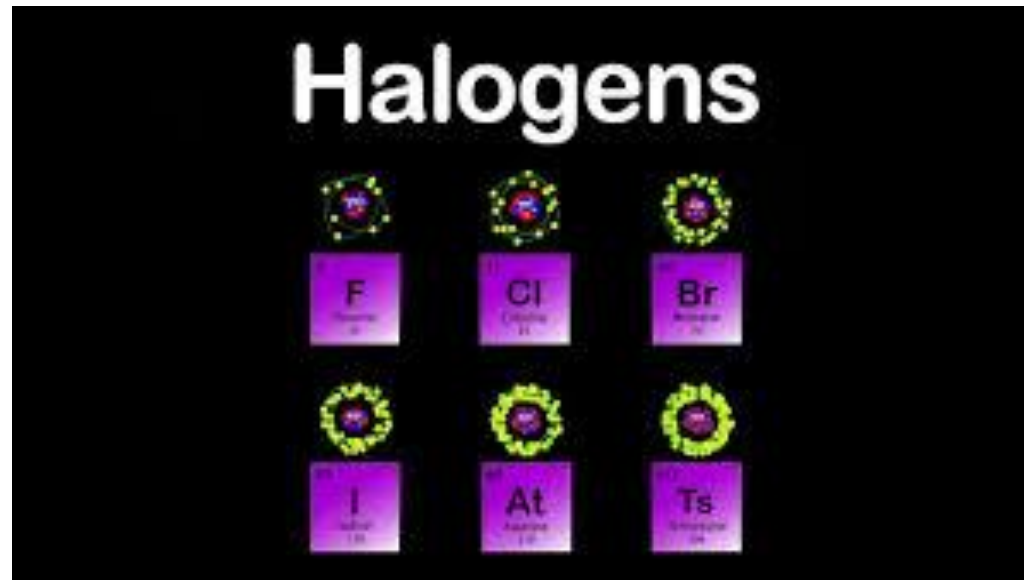


Дуже небезпечними для рослин є оксиди азоту, а їх згубна дія зумовлена не лише токсичністю. Під дією сонця вони поглинають ультрафіолетові промені, при цьому оксид азоту з вищим ступенем окислення перетворюється в оксид азоту з нижчим ступенем окислення з одночасним вивільненням атомарного кисню. Внаслідок взаємодії атомарного кисню з киснем повітря утворюється озон.

Озон – сильний окислювач, який у підвищених концентраціях вкрай негативно впливає на рослинність. Збитки, яких завдає смог, в основному зумовлені руйнівною дією озону або в поєднанні його з піроксидетилнітрином.



Високою реакційною здатністю і токсичністю відзначаються **галогени: фтор, хлор, йод, бром**. Серед них найбільш небезпечним вважається фтор. Поблизу підприємств, які постійно викидають сполуки фтору, спостерігається сильне пошкодження і масова загибель деревних рослин



До природних забруднювачів атмосферного повітря відноситься утворення смогу, в тому числі і над хвойними лісами. **Смог** – густий туман з домішкою диму та газових відходів виробництва, пелена їдких аерозолів, що утворюються у повітрі під дією ультрафіолетової радіації. Смог утворюється над великими містами (Лондон), промисловими центрами внаслідок відсутності турбулентного переміщення мас повітря та при стійкій різниці температур повітря по вертикалі.



Блакитна димка над хвойним лісом також є аерозолем. Він утворюється наступним чином. Соснові хвоїнки мають гострі кінці, покриті восковою оболонкою. Між верхівкою дерева і земною поверхнею існує різниця електростатичних потенціалів, яка примушує заряди стікати уверх до атмосфери. Тихий електричний розряд, який виникає при цьому, зносить із кінчиків хвоїнок шматочки воску, які розсіюються у повітрі, утворюючи основу димки, яка спостерігається у лісових місцевостях

Лісова рослинність може затримувати пил і нейтралізувати вплив отруйних газів, але до певної межі. Надмірна концентрація шкідливих речовин спочатку пригнічує, а потім призводить до відмирання малостійких деревно чагарникових видів.

За даними **Т. Келлера** (1971), ялиновий ліс на площі 1 га здатний зв'язувати 30 т, а буковий – 68 т пилу щорічно. Проте, затримана кронами дерев зола, яка утворюється при згоранні бурого вугілля, потім змивається дощем з поверхні рослин і змінює рН ґрунту, що вкрай негативно позначається на життєдіяльності деревних рослин.



Внаслідок отруєння забруднюючими речовинами спостерігається **дехромація** – зміна нормального зеленого забарвлення листя (хвої) на жовте, буре чи червонуватого відтінку, а також, **дефоліація** – втрата деревом частини асиміляційного апарату в результаті пошкоджень техногенними емісіями.

При систематичному отруєнні відбувається деформація бруньок і пагонів, скорочується вік хвої з переважанням однорічної. Сильна загазованість повітря може призвести до всихання вершини, а в подальшому і відмирання всієї крони. Ослаблені дерева частіше вражаються **фітозахворюваннями та ентомошкідниками**



Деревні види відрізняються за ступенем газостійкості. Хвойні види (сосна, ялина, ялиця) пошкоджуються малими концентраціями отруйних газів, а дуб північний витримує значні концентрації SO_2 та інших токсикантів без видимих пошкоджень.

Газостійкість – це здатність деревних рослин витримувати значні концентрації токсичних газів, зберігаючи при цьому свою життєздатність. Вона пов'язана з анатомічними, морфологічними, фізіологічними та біохімічними особливостями деревних видів

Газочутливість – це ступінь і швидкість прояву у рослин ознак пошкодження токсичними газами. В.М. Рябінін (1965) довів, що ялина звичайна малочутлива до SO_2 , проте дуже нестійка. Натомість, модрина дуже чутлива, проте газостійка порода. Газостійкість модрини пояснюється щорічним оновленням хвої, в той час як хвоя ялини багаторічна і підлягає впливу токсичних газів впродовж кількох років.

Виділяють три види газостійкості рослин: біологічну, морфолого-анатомічну та фізіологічну.

- ✓ **Біологічна газостійкість** – здатність деревних рослин швидко відновлювати частини та органи, пошкоджені отруйними газами. Наприклад, клен ясенолистий внаслідок впливу SO₂ зазнає пошкоджень середнього ступеня, проте завдяки притаманній високій біологічній активності дуже швидко відновлюється.
- ✓ **Морфолого-анатомічна газостійкість** пов'язана з морфологічними та анатомічними особливостями будови рослин. Жорсткі шкірясті листки склерофітів, вкриті товстим шаром кутикули, багат шаровим епідермісом і восковим нальотом менше пошкоджуються отруйними газами, ніж тонкі, ніжні листки, не вкриті восковим нальотом.
- ✓ **Фізіологічна газостійкість** залежить від фізіолого-біохімічних особливостей рослин. У більшості рослин ці три види газостійкості існують одночасно, а в деяких – переважає певний вид газостійкості.

За ступенем газостійкості **І.С. Мелехов** поділяє деревні види на **5 класів**, у яких породи розташовані за ступенем зменшення газостійкості. І.С. Мелеховим встановлені п'ять класів за газостійкістю: до 1-го класу відносять деревні види найбільш, а до 5-го – найменш газостійкі. Наведена **газостійкість деревних** видів, причому в межах класів породи розташовані за зменшенням ступеню газостійкості.

Схильність до отруєння	Деревні види		Клас газостійкості
	хвойні	листяні	
Дуже сильна	Ялиця, ялина, сосна звичайна	-	5
Сильна	Сосни: Веймутова, кримська, кедрова, сибірська	Каштан кінський, бук, горобина, тополя біла, осокир, черемха, береза, клен польовий, акація біла	4
Середня	Ялина колюча, дугласія, ялівець звичайний	Ясен звичайний, клен татарський, клен гостролистий, тополя бальзамічна, липа	3
Слабка	Модрини: європейська, Сукачова, сибірська, японська, ялівець козацький, туя, тис	Дуб звичайний, тополя канадська, ясен зелений, в'яз, верби сіра і козяча, яблуня, груша, акація жовта, бузок, самшит	2
Дуже слабка	-	Ільм, дуб північний, вільха чорна, вільха сіра, каркас, шелюга червона, спірея, лох вузьколистий	1

Для підвищення газостійкості деревно-чагарникових виді застосовують ряд заходів.

Технологічні заходи передбачають спорудження пило- і газовловлювальних фільтрів на промислових підприємствах, утилізацію викидів та ін. Сюди відносяться розробка та впровадження систем безвідходного виробництва із замкнутим циклом, при якому всі відходи переробляються у корисні продукти: газові викиди, шлак, сміття, стічні води стають будівельним матеріалом і комбінованими добривами.



Лісівничі заходи полягають у вирощуванні змішаних деревостанів з переважанням у складі газостійких порід. У забруднених районах ефективний перехід до низькостовбурного господарства, введення підліску, створення захисних узлісь щільного типу із швидкоростучих газостійких деревно-чагарникових видів. На вулицях міст і промислових центрів доцільно створювати двоярусні зелені насадження: перший ярус із світлолюбних видів з обрізкою нижніх сучків, другий — із тіньовитривалих видів з прийнятим у зеленому будівництві формуванням крон



Суть **агрохімічних заходів** полягає у покращенні умов ґрунтового живлення рослин. Для підвищення стійкості деревних видів до шкідливих газів рекомендується вносити мінеральні добрива: суперфосфат, мінеральну муку, мелене вапно, сечовину тощо. Внесення добрив позитивно впливає на ріст ялини в умовах техногенного забруднення, знижуючи шкідливу дію сірки. При підживленні нітратною формою азотних добрив (NaNO_3) зменшується руйнування аскорбінової кислоти і глутатіону, значно підвищується газостійкість рослин.

