

## Лекція № 6

### Атмосфера. Основні забруднювачі атмосфери, її охорона

1. Будова атмосфери
2. Основні забруднювачі атмосфери
3. Вплив забруднень повітря на природне середовище.
4. Методи боротьби із забрудненням атмосфери

#### 1. Будова атмосфери

**Атмосфера** — це газова оболонка, що оточує Землю. Наявність атмосфери — одна з найголовніших умов життя на планеті. Без їжі людина може обходитися місяць, без води — тиждень, а без повітря не проживе й кількох хвилин.

Атмосфера, як елемент глобальної екосистеми, виконує кілька основних функцій:

- захищає живі організми від згубного впливу космічних випромінювань та ударів метеоритів;
- регулює сезонні й добові коливання температури (якби на Землі не існувало атмосфери, то добові коливання температури досягали б  $+ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- є носієм тепла й вологи;
- є депо газів, які беруть участь у фотосинтезі й забезпечують дихання;
- зумовлює низку складних екзогенних процесів (вивітрювання гірських порід, діяльність природних вод, мерзлоти, льодовиків тощо).

Основні компоненти атмосфери: азот (78,084 %), кисень (20,946 %) та аргон (0,934 %). Важливу роль відіграють і так звані малі домішки: вуглекислий газ, метан тощо. Крім того, атмосфера містить водяну пару: від 0,2 % у приполярних районах, до 3 % поблизу екватора. Такий хімічний склад атмосфера Землі мала не завжди. Первісна атмосфера Землі була схожа з атмосферами деяких інших планет Сонячної системи, наприклад Венери, й складалася з вуглекислого газу, метану, аміаку тощо. Нинішня киснево-азотна атмосфера — результат життєдіяльності живих організмів.

Атмосфера складається з таких шарів (знизу вгору): *тропосфера* (до висоти 18 км), *стратосфера* (до 50), *мезосфера* (до 80), *термосфера* (1000), *екзосфера* (1900), *геокорона* (умовно до 20 тис. км); далі атмосфера поступово переходить у міжпланетний космічний вакуум. Основна маса повітря (90 %) зосереджена в нижньому шарі — тропосфері. Тут же відбуваються найінтенсивніші теплові процеси, причому атмосфера нагрівається знизу, від поверхні океанів і суходолу. Надзвичайно важливе екологічне значення для біосфери має *озоновий шар* у стратосфері, повітря якого збагачене триатомним киснем ( $\text{O}_3$ ). Він розташований на висоті 20—50 км і захищає все живе на Землі від згубної дії «жорсткого» ультрафіолетового випромінювання Сонця.

Крім газів, у повітрі атмосфери містяться ще й домішки так званих аерозолів, тобто дуже дрібних крапель рідин і твердих частинок як природного, так і штучного походження: сірчистих (краплі  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), мінеральних (пил із земної поверхні), вуглеводневих (сажа), морських (частинки морських солей) та ін.

#### 2. Основні забруднювачі атмосфери

Під *забрудненням атмосферного повітря* слід розуміти будь-яку зміну його складу і властивостей, що негативно впливають на здоров'я людини і тварин, стан рослин і екосистем. Воно може бути *природним* і *антропогенним* (техногенним). Природне викликоне природними процесами. Сюди належать вулканічна діяльність, вивітрювання гірських порід, вітрова ерозія, масове цвітіння рослин, дим від лісових і степових пожеж та ін. Антропогенне — це викиди в атмосферу різних забруднюючих речовин у процесі діяльності людини. За обсягом воно часто перевершує природне забруднення.

Залежно від масштабів поширення виділяють *місцевий*, *регіональний* і *глобальний* типи забруднень атмосфери. Перший характеризується підвищеним вмістом забруднюючих речовин на невеликих територіях (місто, промисловий район, сільськогосподарська зона і ін.); за другого до сфери негативної дії залучаються значні простори, але не вся планета; третій пов'язаний зі зміною стану атмосфери в цілому.

За агрегатним станом викиди речовин в атмосферу класифікують на: *газоподібні* (діоксид сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю, вуглеводні та ін.); *рідкі* (кислоти, луги, розчини солей і ін.); *тверді* (канцерогенні речовини, свинець і його сполуки, пил, сажа, смолянисті речовини та ін.).

Головні забруднювачі повітря (полутанти) утворюються в процесі виробничої та іншої діяльності людини. Це діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксид вуглецю (CO) і тверді частинки, на частку яких припадає близько 98 % від загального обсягу викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Нині в основному забруднюють атмосферне повітря на території України такі підприємства, як теплові й атомні електростанції, промислові та міські котельні тощо, підприємства з виробництва чорної і кольорової металургії, будівельних матеріалів, з нафтовидобутку і нафтохімії, автотранспорт.

**Теплові електростанції. Котельні установки.** У процесі спалювання твердого або рідкого палива в атмосферу викидається дим, що містить продукти повного (діоксид вуглецю і пари води) і неповного (оксиди вуглецю, сірки, азоту, вуглеводні та ін.) згорання. При переведенні установок на рідке паливо (мазут) знижуються викиди золи, але практично не зменшуються викиди оксидів сірки й азоту. Найбільш чистим є газове паливо, яке забруднює атмосферне повітря в три рази менше, ніж мазут, і в п'ять разів менше, ніж вугілля.

**Чорна і кольорова металургія.** При виплавці однієї тонни сталі в атмосферу потрапляє 0,04 т твердих

частинок, 0,03 т оксидів сірки і до 0,05 т оксиду вуглецю. Заводи кольорової металургії викидають в атмосферу сполуки марганцю, свинцю, фосфору, миш'яку, пари ртуті, парогазові суміші, що складаються з фенолу, формальдегіду, бензолу, аміаку та інших токсичних речовин.

**Хімічне виробництво.** Викиди підприємств цієї галузі невеликі за обсягом (близько 2 % всіх промислових викидів), проте, зважаючи на дуже високу токсичність, різноманітність і концентрованість, становлять значну загрозу для всієї біоти. Атмосферне повітря забруднюється оксидами сірки, сполуками фтору, аміаку, нітрозними газами (суміш оксидів азоту), хлористими сполуками, сірководнем, неорганічним пилом і т. ін.

**Викиди автотранспорту.** У світі налічується декілька сотень мільйонів автомобілів, які, спалюючи величезну кількість нафтопродуктів, істотно забруднюють атмосферне повітря (особливо великих міст). Вихлопні гази двигунів внутрішнього згорання (більшою мірою карбюраторних) містять такі токсичні сполуки, як бенз(а)пірен, альдегіди, оксиди азоту і вуглецю та сполуки свинцю (у разі застосування етилованого бензину). В середньому на території України вихлопні гази автотранспортних засобів зумовлюють 40—45 % забруднення повітря, але в містах вони дають більше 50 % забруднення повітря, причому у великих містах (від 0,5 млн до 1—1,5 мільйонів жителів) на їх частку припадає 55—70 %, а в дуже великих (декілька мільйонів жителів) містах — більше 85 % від загального обсягу забруднення атмосферного повітря. Українські автомобілі "середнього віку" викидають в атмосферу у 8—10 разів більше шкідливих речовин, ніж подібні європейські. Правильне регулювання паливної системи автомобілів дає змогу знизити кількість шкідливих речовин в 1,5 раза, а спеціальні нейтралізатори (каталітичні доспалювачі) — знизити токсичність вихлопних газів у 6 і більше разів.

Інтенсивне забруднення атмосферного повітря відбувається також під час видобутку і переробки сировини на нафто- і газопереробних заводах, при викиданні пилу і газів з підземних гірських вироблень, при спалюванні сміття і горінні порід у відвалах (териконах) і т. ін. У сільських районах осередками забруднення атмосферного повітря є тваринницькі й птахівничі ферми, промислові комплекси з виробництва м'яса, розпилювання пестицидів і т. ін.

### **3. Вплив забруднень повітря на природне середовище.**

Учені з'ясували, що на планеті стає не тільки тепліше, а й темніше. Кількість сонячного світла, що досягає поверхні Землі, у другій половині ХХ ст. зменшилася на 20 %. Причиною цього стало забруднення атмосфери. Ефект "глобального затемнення" може серйозно вплинути на більшість складових життя на планеті: від використання сонячної енергії до зміни вегетаційного періоду різноманітних рослин. Фахівці, за даними 100 метеостанцій по всьому світу, вважають, що глобальне затемнення, можливо, відбувається внаслідок зростання у 2 рази вмісту в атмосфері мікроскопічних частинок сажі антропогенного походження.

Перелічені вище хімічні речовини, наявні в атмосферному повітрі, впливають не тільки на здоров'я людей, про що йтиметься в наступному розділі, а й на стан природного середовища. Цей вплив у природних екосистемах багатоманітний і ще недостатньо вивчений. Деякі з атмосферних газів (наприклад, оксиди вуглецю) в невеликих концентраціях можуть благотворно впливати на ріст і розвиток рослин. Але більшість із забруднювачів, особливо в значних концентраціях, може пригноблювати діяльність біоти. Шкідливо впливає на рослини діоксид сірки. Надходячи всередину листа при диханні, він пригноблює життєдіяльність клітин, листя спочатку покриваються бурими плямами, а потім висихають. Аналогічно діє на листяні породи дерев і діоксид азоту. Сажа, що вважається не дуже шкідливим для здоров'я людини забруднювачем повітря, унеможливує процеси дихання та фотосинтезу, що призводить до загибелі хвойних дерев. З викидами сажі при спалюванні газу у факелах, розкиданих на безкрайніх просторах Сибіру, екологи пов'язують усихання лісів на деяких територіях нафтовидобутку.

■ **Парниковий ефект.** Клімат Землі, що залежить в основному від стану її атмосфери, протягом геологічної історії періодично змінювався: чергувалися епохи істотного похолодання, коли значні території суші вкривалися льодовиками, й епохи потепління (до речі, ми живемо саме в епоху потепління, коли розтанули великі льодовикові щити в Євразії та Північній Америці). Та останнім часом учені-метеорологи б'ють на сполох: *сьогодні атмосфера Землі розігрівається набагато швидше, ніж будь-коли в минулому.* За даними ООН, із кінця ХІХ до початку ХХІ ст. глобальна температура на земній кулі підвищилася загалом на 0,6 °С. І це зумовлено діяльністю людини: • по-перше, людина підігріває атмосферу, спалюючи велику кількість вугілля, нафти, газу, а також уводячи в дію атомні електростанції; • по-друге, і це головне, в результаті спалювання органічного палива, а також унаслідок знищення лісів у атмосфері нагромаджується вуглекислий газ. *За останні 120 років вміст CO<sub>2</sub> в повітрі збільшився на 17 %.* У земній атмосфері вуглекислий газ діє як скло в теплиці чи парнику: він вільно пропускає сонячні промені до поверхні Землі, але втримує її тепло. Це спричинює розігрівання атмосфери, відоме як **парниковий ефект**. За розрахунками вчених, найближчими десятиліттями через парниковий ефект середньорічна температура на Землі може підвищитися на 1,5—2 °С.

Розрахунки й моделювання на ЕОМ свідчать: підвищення середньорічної температури спричинить зміни таких найважливіших кліматичних параметрів, як кількість опадів, хмарний покрив, океанічні течії, розміри полярних крижаних шапок. Внутрішні райони континентів стануть сухішими, а узбережжя — вологішими, зима буде коротшою й теплішою, а літо — тривалішим і спекотнішим. Основні кліматичні зони в північній півкулі змістяться на північ приблизно на 400 км. Це зумовить потепління в зоні тундри, танення шару вічної мерзлоти й полярних крижаних шапок. У середніх широтах, тобто в головних «хлібних» районах (Україна, Чорнозем'я Росії, Кубань, «зернові штати» США), клімат стане напівпустельним, і врожаї зерна різко скоротяться.

Глобальне потепління призведе до танення льодовиків Гренландії, Антарктиди й гір, рівень Світового

океану підвищиться на 6—10 м, при цьому буде затоплено близько 20 % площі суходолу, де сьогодні живуть сотні мільйонів людей, розташовані міста, ферми, сади й поля.

Учені не дійшли єдиної думки про те, за якого підвищення середньорічної температури можуть відбутися ці негативні для людства явища: одні метеорологи вважають критичним значення 2,5 °С, інші — 5 °С.

Останнім часом тривога вчених із приводу парникового ефекту ще посилилася. Виявилось, що, крім вуглекислого газу, парниковий ефект спричинюють також деякі інші гази, що входять до групи малих домішок — метан, оксиди азоту, фреони, — вміст яких в атмосфері через антропогенний фактор стрімко зростає (рис. 3.2).

Моделлю парникового ефекту в масштабах планети може слугувати клімат на Венері. Її щільна (більш як 9 тис. кПа біля поверхні) атмосфера, що на 98 % складається з вуглекислого газу, за рахунок цього явища розжарена до температури 500 °С (за такої температури залізо починає світитися червоним кольором).

■ **Руйнування озонового шару атмосфери** (рис. 3.3). Життя на Землі залежить від енергії Сонця. Надходить ця енергія на Землю у вигляді світла видимого випромінювання, а також інфрачервоного, або теплового, й ультрафіолетового (УФ) випромінювань. УФ-випромінювання несе найбільшу енергію і є фізіологічно активним, тобто інтенсивно діє на живу речовину. Весь потік УФ-випромінювання Сонця, що доходить до земної атмосфери, умовно поділяють на три діапазони: УФ(А) (довжина хвилі 400—315 нм), УФ(В) (315-280 нм) і УФ(С) (280-100 нм). УФ(В)- і

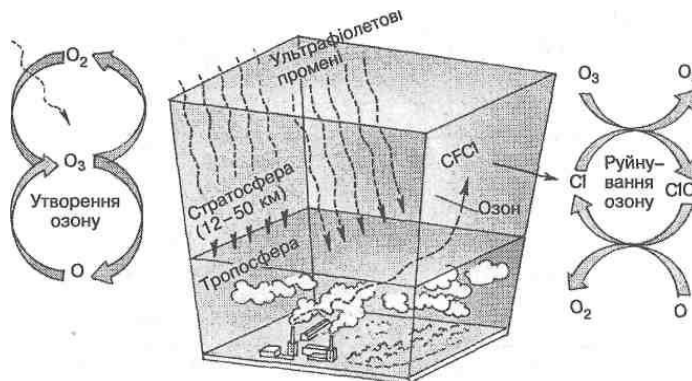


Рис Руйнування озонового шару атмосфери

УФ(С)-випромінювання, так званий «жорсткий ультрафіолет», надзвичайно шкідливі для всього живого: вони призводять до порушення структури білків та нуклеїнових кислот і врешті-решт до загибелі клітин.

*Що ж захищає нас і всю біосферу від згубної дії «жорсткого ультрафіолету»? Озоновий щит Землі.*

Як уже згадувалося, на висотах 20—50 км повітря містить підвищену кількість озону. Озон утворюється в стратосфері за рахунок звичайного двоатомного кисню ( $O_2$ ), що поглинає «жорстке» УФ-випромінювання. Енергія УФ(В)- та УФ(С)-випромінювань витрачається на фотохімічну реакцію утворення озону з кисню ( $3O_2 \rightarrow 2O_3$ ), і тому до поверхні Землі вони не доходять; туди проникає лише істотно ослаблений потік «м'якого» УФ(А)-випромінювання. Від його негативної дії наш організм уміє захищатися, синтезуючи в шкірі шар темного пігменту — меланіну (засмага). Однак ця речовина утворюється досить повільно. Тому тривале перебування на весняному сонці, коли шкіра ще не насичена меланіном, викликає її почервоніння, головний біль, підвищення температури тіла тощо.

Озоновий шар в атмосфері Землі з'явився на світанку її геологічної історії, коли в повітря став надходити кисень, що вироблявся в процесі фотосинтезу мікроскопічними морськими водоростями. За розрахунками вчених, коли вміст кисню в атмосфері досяг приблизно 10 % сучасного, сформувався озоновий шар, і життя змогло вийти з моря на суходіл (до цього поверхня суші була випалена, стерилізована ультрафіолетом).

Останнім часом учені надзвичайно занепокоєні зниженням умісту озону в озоновому шарі атмосфери.

◆ Над Антарктидою в цьому шарі виявлено «діру», в якій уміст озону менший від звичайного на 40—50 %. Площа «діри» з року в рік збільшується й сьогодні вже перевищує площу материка Антарктиди. У результаті підвищився УФ-фон у країнах, розташованих у південній півкулі, ближче до Антарктиди, передусім у Новій Зеландії. Медики цієї країни охоплені тривогою, констатуючи значне зростання захворювань, пов'язаних із підвищенням УФ-фону (рак шкіри й катаракта). Жителі Веллінгтона, столиці Нової Зеландії, які раніше намагалися використати кожний погожий день (їх там буває не так уже й багато) для відпочинку на повітрі, сьогодні побоюються з'являтися на пляжах.

◆ Тривожні повідомлення надходять також і з північної півкулі: і тут виявлено озонову «діру» (над Шпіцбергенем), щоправда, не таку велику, як антарктична.

Зменшення вмісту озону в атмосфері загрожує зниженням урожаїв сільськогосподарських культур, захворюваннями тварин і людей, збільшенням кількості шкідливих мутацій і т. п. Якщо ж озоновий шар зникне зовсім, то це призведе до загибелі принаймні наземної біоти.

Установлено, що руйнуванню озонового шару сприяють також деякі хімічні речовини (зокрема оксиди азоту): потрапляючи в стратосферу з висхідними повітряними течіями, вони вступають у реакцію з озоном і розкладають його на кисень. Проте вміст оксидів азоту в повітрі невеликий, вони нестійкі й суттєво не впливають на кількість озону в стратосфері.

З'явилось також інше джерело озоноруйнівних речовин — діяльність людини. Сучасна промисловість широко використовує так звані фреони (хлорфторметани) —  $CFC1_3$ ,  $CF_2OBr$  тощо — як холодоагенти в

рефрижераторах і побутових холодильниках, як аерозольні розбризкувані в балончиках із фарбою, лаком, парфумами, для очищення напівпровідникових схем і т. п. Щорічно в світі випускається кілька мільйонів тонн фреонів. Для людини пари фреонів не шкідливі. Та вони надзвичайно стійкі й можуть зберігатися в атмосфері до 80 років. Пари фреонів із висхідними повітряними течіями потрапляють у стратосферу, де під впливом УФ-випромінювання Сонця розпадаються, вивільняючи атоми хлору. Ця речовина діє на озон як дуже сильний каталізатор, розкладаючи його молекули до кисню. *Один атом хлору здатен розкласти 100 тис. молекул озону!*

• Занепокоєні загрозою руйнування озонового шару керівники багатьох країн світу вживають заходів для його збереження, й у 1985 р. в Монреалі було підписано Протокол про охорону атмосферного озону. Вирішено до 2000 р. скоротити на 50 % споживання фреонів, а згодом і зовсім відмовитися від них, замінивши їх безпечними сполуками. Проте це не реалізовано й сьогодні, оскільки США — головний забруднювач атмосфери — відмовилися підписати зазначений Протокол.

Приводить до руйнування озонового шару й військова діяльність, зокрема запуск балістичних ракет. Їхні двигуни викидають в атмосферу дуже багато оксидів азоту. Під час кожного запуску ракети в Космос в озоновому шарі «пропалюється» величезна «діра», яка «затягується» лише за кілька годин. Світова громадськість дізналася про злочинні досліди мілітаристів щодо дії на озоновий шар планети (розробка «озонової» зброї).

◆ У 70-ті роки американські військові розсіяли в стратосфері над одним із безлюдних атолів у Тихому океані спеціальні хімічні речовини, внаслідок чого в озоновому шарі над цим острівцем утворилася «діра», яка затягнулася тільки через багато годин. У результаті на атолі загинула майже вся наземна біота: пальми та інші рослини, тварини, мікроорганізми; з хребетних тварин залишилося кілька великих черепах (їх урятував товстий кістяний панцир), але вони осліпли — сітківка їхніх очей була спалена ультрафіолетом.

В Україні спостереження за станом озонового шару проводяться на п'яти озонметричних станціях (у Києві, Борисполі, Одесі, Львові й на Карадагу в Криму). За даними цих спостережень, протягом останніх 10 років загальний вміст озону в атмосфері був значно нижчим від кліматичної норми (аналогічна картина спостерігалася для всієї північної півкулі Землі в межах широт 40—60°).

Для виявлення озонових аномалій аналізується відхилення значень загального вмісту озону в одиницях стандартного відхилення ст (рис. 3.4). Якщо ці відхилення становлять від  $-2,0\text{ст}$  до  $-2,5\text{ст}$ , то це свідчить про критичну ситуацію, а коли перевищують значення  $-2,5\text{ст}$ , то констатується озонова аномалія («діра»).

Як видно з рис. 3.4, протягом 2000 р. озонових аномалій над Україною не спостерігалось, проте було зафіксовано кілька випадків зменшення вмісту озону до критичних значень.

**Смог.** ◆ У грудні 1952 р. світові інформаційні агентства передавали тривожні повідомлення про біду, що спіткала Лондон. Через безвітряну й дуже холодну погоду над цим величезним містом утворився так званий *чорний смог* («смог» у перекладі з англійської означає «дим») — скупчення шкідливих газів, причиною якого була посилена робота котелень, що використовували вугілля, мазут і солярову оливу. В приземному шарі повітря різко (до  $10 \text{ мг/м}^3$ , а подекуди й більше) зріс вміст отруйного оксиду азоту та інших шкідливих сполук. Це призвело до загибелі близько 4 тис. чоловік, а десятки тисяч потрапили до лікарень із захворюваннями легень.

◆ Над іншим великим містом — Лос-Анджелесом — через велику загазованість його території внаслідок роботи автотранспорту досить часто з'являється так званий *білий смог*. Це явище серйозно загрожує здоров'ю жителів і таких міст, як Нью-Йорк, Чикаго, Бостон, Токіо, Мілан, Мехіко, а найближчим часом може виникнути й у наших великих індустріальних містах, до того ж ще й перевантажених автотранспортом (Київ, Харків, Дніпропетровськ, Одеса, Сімферополь, Запоріжжя та ін.). Утворенню смогу сприяє спекотна безвітряна погода.

• Сьогодні 400 суперміст світу щороку викидають в атмосферу близько 3 млрд т відходів (газів, аерозолів, пилу та ін.). Це на 500 млн т більше, ніж дають 578 активних вулканів нашої планети.

Дослідження вчених свідчать, що смог виникає внаслідок складних фотохімічних реакцій (тому його ще називають фотохімічним смогом) у повітрі, забрудненому вуглеводнями, пилом,\* сажею та оксидами азоту під дією сонячного світла, підвищеної температури нижніх шарів повітря й великої кількості озону, який утворюється в результаті розпаду діоксиду азоту під впливом олефінів у парах несповна згорілого автомобільного палива.

В сухому, загазованому, теплому повітрі з'являється синюватий прозорий туман, який має неприємний запах, викликає подразнення очей, горла, задишку, спричинює розвиток бронхіальної астми, емфіземи легень тощо. Листя на деревах в'яне, стає плямистим, жовкне. Набагато прискорюються корозія металів, руйнування мармуру, фарб, гуми, швидко псуються одяг, взуття, порушується робота транспорту.

■ **Кислотні дощі** (рис. 3.5). Оксиди сірки й азоту, що викидаються в атмосферу внаслідок роботи теплових електростанцій (ТЕС) та автомобільних двигунів, сполучаються з атмосферною вологою й утворюють дрібні крапельки сірчаної та азотної кислот, які переносяться вітрами у вигляді кислотного туману й випадають на землю *кислотними дощами*. Ці дощі вкрай шкідливо впливають на довкілля:

- знижується врожайність більшості сільськогосподарських культур через ушкодження листя кислотами;
- з ґрунту вимиваються кальцій, калій і магній, що призводить до деградації рослинності й, як наслідок, — збіднення тваринного світу;
- гинуть ліси (найчутливіші до кислотних дощів кедр, бук і тис);
- отруюється вода озер і ставків, у них гине риба, зникають комахи;
- щезають водоплавні птахи й тварини, що живляться комахами;

- загибель лісів спричинює в гірських районах (таких як Карпати) зсуви та селі;
- прискорюється руйнування пам'яток архітектури, споруд, особливо тих, що побудовані з вапняку, оздоблені мармуром;
- збільшується захворюваність людей (найчастіше хворобами очей, органів дихання тощо).

Взимку поблизу ТЕС і металургійних заводів іноді випадає також *кислотний сніг*, ще шкідливіший, ніж кислотний дощ, що пояснюється більшим вмістом у ньому кислот. Райони випадання такого снігу дістають одразу 4—5-місячну дозу забруднення, а внаслідок його танення навесні відбувається концентрація шкідливих речовин, тому тала вода інколи містить удесятеро більше кислот, ніж сам сніг.

■ **Ядерна ніч і ядерна зима.** Сьогодні людство, на жаль, здатне спричинити не лише повільні зміни клімату, а й різкі катастрофічні, в результаті чого може бути знищена не тільки сама людина як біологічний вид, а й загалом усе живе на планеті. Такою катастрофою була б світова ядерна війна. На Землі нагромаджено колосальний ядерний потенціал (за приблизними оцінками, лише в США й Росії сьогодні зберігається 60 тис. ядерних боеголовок, потужність вибуху кожної з яких набагато перевищує потужність вибуху бомби, скинутої в 1945 р. на Хіросиму). Як свідчить моделювання на ЕОМ, виконане американськими й, незалежно від них, російськими вченими, катастрофічні наслідки для людства мав би навіть ядерний конфлікт із використанням «лише» 1000 Мт тротилу. Цей конфлікт, хоч би де він стався, неминуче спричинить метеорологічну катастрофу глобального масштабу, яка матиме такі наслідки:

- теплове нагрівання атмосфери на 1 °С, що підніме ураганні вітри;
- забруднення атмосфери радіоактивними речовинами, які за короткий час поширяться по всій земній кулі (конфлікт, скажімо, в Європі призведе до випадання радіонуклідів і в Африці, і в Америці);
- виділення горючих газів унаслідок пожеж і руйнування промислових свердловин і газопроводів, що викличе підвищення глобальної температури атмосфери Землі на 4—5 °С у перші ж дні після конфлікту;
- утворення під час ядерних вибухів великої кількості оксидів азоту; їх надходження в стратосферу призведе до руйнування від 40 до 60 % озонового шару, а отже, до збільшення УФ-опромінювання поверхні Землі;
- забруднення атмосфери величезною кількістю пилу й сажі після ядерних вибухів і пожеж.

Найстрашнішим наслідком ядерного конфлікту буде саме цей останній. Спостереження під час випробувальних наземних вибухів показали, що в результаті кожного вибуху ядерного заряду потужністю 1 Мт тротилу в повітря піднімається 5 Мт пилу. Величезна кількість гірських порід випаровується й перетворюється на аерозоль із розмірами частинок 1 мкм. Такий найдрібніший пил надовго зависає в повітрі й надходить у стратосферу. Отже, вибухи потужністю 1000 Мт тротилу піднімуть у повітря 5 млрд т найдрібнішого пилу! Крім того, повітря забрудниться ще й мільярдами тонн сажі та попелу. В містах, де зосереджено багато займистих матеріалів (деревини, пластмас, фарб тощо), все горітиме, причому пожежі набудуть характеру вогняних смерчів колосальних розмірів.

◆ Подібні явища спостерігалися під час Другої світової війни в дні масових бомбардувань Гамбурга й Дрездена літаками союзників, коли полум'я від будинків, які горіли, зливалося в одну вогняну «форсунку» діаметром у кілометр і заввишки в багато сотень метрів. Уцілілі свідки розповідали: висхідні течії повітря в палаючому Дрездені були такими потужними, що піднімали вгору й усмоктували в ревуче полум'я людей, які металася на вулицях...

Після такого локального ядерного конфлікту пил, попіл і сажа сильними горизонтальними течіями, що є в стратосфері, за один-два тижні затягнуть небо над усією Землею. В результаті прозорість атмосфери зменшиться в 200 разів! На Землі настане «ядерна ніч», що триватиме кілька місяців, упродовж яких загине врожай і зникне практично весь рослинний покрив планети.

Унаслідок сильного запорошення атмосфери приземний шар повітря охолоне на 15—30 °С протягом першого місяця після конфлікту. А в деяких районах, як показало моделювання, температура знизиться на 40—50 °С. Настане «ядерна зима», що триватиме кілька місяців. Це спричиниться тим, що в атмосфері встановиться не властива їй надстійка стратифікація (розшарування), коли нижні її шари сильно охолонуть, а верхні — нагріються, й припиниться вертикальне перемішування повітря.

За кілька місяців темряви й холоду пил і сажа поступово осядуть. Охолодження зміниться нагріванням атмосфери на 20—30 °С вище за норму, що породить повені й селі, передусім у гірських місцевостях. Неоднорідні температурні зміни над суходолом та океаном піднімуть ураганні вітри й снігопади в прибережних районах материків.

Люди, які вціліють після ядерних вибухів, поринуть у пекельний жах ядерної ночі та ядерної зими. Загибель рослин і тварин, радіоактивне забруднення, вихід із ладу енергетичних систем, транспорту й зв'язку, ніч і мороз, ураганні вітри викличуть такий психологічний шок, який людство пережити не зможе. Отже, локальний ядерний конфлікт спричинить глобальну загибель людства, а ймовірно, й усієї біосфери. А той політик, який віддасть наказ натиснути на «ядерну кнопку», сам собі підпише смертний вирок.

Ці результати моделювання зайвий раз переконують у тому, що ядерна зброя має бути безсуперечно заборонена й знищена. Ми, українці, можемо пишатися тим, що наша держава усвідомила цю істину раніше за інших, заявила про свій без'ядерний статус і звільнила свою територію від ядерної зброї.

■ **Методи боротьби із забрудненнями атмосфери.** До основних і найефективніших із них належать *економічні методи*. В багатьох розвинених країнах діє продумана система заохочувальних і заборонних заходів,

що допомагають уникнути забруднень. Фірми, які впроваджують безвідходні технології, найновіші системи очищення й т. п., мають істотні податкові пільги, що дає їм переваги над конкурентами. Водночас фірми й підприємства, які забруднюють атмосферу, змушені платити дуже великі податки й штрафи. В багатьох країнах, крім державних санітарно-епідеміологічних служб, за станом атмосфери слідкують також численні громадські організації («зелені» товариства).

◆ У Швейцарії, наприклад, власник фабрики може отримати листа такого змісту: «Ваша фабрика забруднює повітря понад визначені норми. Якщо Ви не встановите очисні фільтри й не ліквідуєте забруднення, наша екологічна організація розпочне в пресі кампанію проти Вашої продукції, в результаті чого збитки Вашої фірми перевищать ті затрати, які Вам потрібні для поліпшення системи очищення». Як правило, такі попередження діють дуже ефективно, оскільки в цій країні дістати ярлик забруднювача природного середовища значить приректи себе до швидкого економічному краху — ніхто не купуватиме продукції «брудної» фірми.

Величезна увага на Заході приділяється також виховній і просвітницькій роботі.

◆ У тій же Швейцарії, наприклад, дітям із самого раннього віку пояснюють, що для їхньої країни, де практично немає ніяких корисних копалин, чисте повітря, чисті озера й річки є основним національним багатством. Усьому світові відомі гірські швейцарські курорти з їхнім кришталевим чистим повітрям, сліпучобілими лижними трасами, гірськими озерами небесної блакиті. Кожний швейцарець буквально з молоком матері всотує любов до своєї прекрасної країни й для нього блюзнірством є навіть сама думка про те, що можна зазіхнути на цю красу й чистоту.

Є також *організаційні, технологічні та інші методи боротьби із забрудненнями атмосфери:*

- зменшення кількості ТЕС за рахунок будівництва потужніших, забезпечених найновішими системами очищення й утилізації (корисного використання) газових і пилових викидів. Як відомо, одна потужна ТЕС забруднює повітря менше, ніж сотня котелень тієї ж сумарної потужності. Гази, що виходять із топок ТЕС, перш ніж потрапити в атмосферу, очищаються в спеціальних установках. Деякі країни навіть мають таким чином економічну вигоду. Наприклад, Франція забезпечує свої потреби в сірчаній кислоті, вловлюючи її з відходних газів ТЕС (власних родовищ сірки, з якої в інших країнах виготовляється сірчана кислота, у Франції немає);

- очищення вугілля від піриту [сірчаного колчедану ( $\text{FeS}_2$ )] перед його спалюванням у топках ТЕС. Це стає необхідним у зв'язку з використанням для ТЕС вугілля чимраз нижчої якості зі значним умістом піриту (окиснюючися в топках ТЕС, пірит розкладається з виділенням  $\text{SO}_2$ ). В результаті ефективного очищення вугілля від піриту вміст оксидів сірки в димах ТЕС зменшується на 98—99 %;

- заміна вугілля й мазуту для ТЕС екологічно чистішим паливом — природним газом. ТЕС, що працюють на природному газі, викидають в атмосферу тільки  $\text{CO}_2$  та оксиди азоту (останні також можна вловити з диму), й не забруднюють повітря іншими шкідливими викидами;

- регулювання двигунів внутрішнього згоряння в автомобілях, установлення на них каталізаторів, що нейтралізують чадний газ ( $\text{CO}$ ) до  $\text{CO}_2$ ; заміна екологічно небезпечного етильованого бензину (який забруднює повітря свинцем) менш шкідливим паливом;

- озеленення міст і селищ;

- правильне планування житлових і промислових районів у межах міста. Треба розташовувати їх якомога далі один від одного, а між ними обов'язково створювати зони зелених насаджень. Автомобільні траси з напруженим рухом (особливо вантажівок) необхідно планувати в обхід житлових районів;

- використання звукопоглинальних матеріалів під час будівництва житлових і промислових споруд;

- улаштування ліній електропередач (ЛЕП) за межами сіл і міст.

- Фізико-хімічні методи очищення повітря. Найбільш поширені адсорбційні, абсорбційні й каталітичні методи очищення газів. Санітарне очищення промислових газів включає очищення від  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , оксидів азоту,  $\text{SO}$  і зважених частинок.