

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Л. І. Ткач**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

**з дисципліни**

**«ЕКОЛОГІЯ»**

*(для студентів I курсу денної форми навчання за спеціальністю  
206 - Садово-паркове господарство)*

**Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017**

**Ткач Л. І.** Конспект лекцій з дисципліни «Екологія» для студентів 1 курсу денної форми навчання за спеціальністю 206 – Садово-паркове господарство / Л. І. Ткач ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 93 с.

Автор канд. с.-г. наук, доц. Л. І. Ткач

Рецензент канд. с.-г. наук С. І. Мусієнко

*Рекомендовано кафедрою лісового та садово-паркового господарства,  
протокол №1 від 29.08.2017.*

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Засади теоретичної екології.....	5
1.1 Поняття екології як науки.....	5
1.2 Природні екологічні системи.....	8
1.3 Біосфера – глобальна екосистема Землі.....	18
1.4 Біологічна різноманітність Землі. Ноосфера як нова стадія еволюції біосфери.....	34
2 Антропогенний вплив на навколишнє середовище.....	35
2.1 Антропогенний вплив на атмосферу, головні забруднювальні речовини, їхнє походження.....	35
2.2 Антропогенний вплив на ґрунти та його наслідки. Деградація ґрунтів.....	55
2.3 Антропогенний вплив на гідросферу та його наслідки.....	60
3 Головні принципи охорони навколишнього середовища.....	65
3.1 Ресурсозбереження, безвідходні й маловідходні технології, утилізація відходів, екологізація виробництва.....	65
3.2 Нормування якості навколишнього середовища.....	67
3.3 Методи очищення пилогазових викидів у повітря, архітектурно-планувальні заходи.....	71
3.4 Захист ґрунтів від ерозії, засолення, механічного руйнування.....	73
3.5 Раціональне використання водних ресурсів, методи очищення стічних вод, водоохоронні зони.....	76
3.6 Захист від шкідливих впливів фізичної природи.....	78
Список рекомендованої літератури.....	92

## ВСТУП

До найактуальніших проблем сьогодення, від яких залежить існування людства, є екологічні проблеми. Для їх вирішення, насамперед, необхідні нові підходи до природного середовища.

Із розвитком цивілізації та науково-технічного прогресу, обсягів виробництва та його відходів проблеми стосунків між природою та суспільством дедалі загострюються. Спричинений економічними, політичними та серйозними екологічними прорахунками стан природного середовища України оцінюється фахівцями як критичний.

В Україні загинули сотні малих річок, деградують Чорне та Азовське моря, забруднений водосховищами Дніпро, знищена значна частина лісів у Карпатах, еродовані ґрунти, забруднені промисловими й автомобільними викидами великі міста тощо. Ліквідація глобальної екологічної кризи є на сьогодні найважливішим завданням людства. Велике значення для його розв'язання має організування всебічної екологічної освіти, виховання екологічної свідомості студентів.

Усе це зумовлює актуальність вивчення дисципліни «Екологія». Метою вивчення дисципліни «Екологія» є засвоєння головних законів і закономірностей антропогенного впливу на біосферу, а також виховання відповідального ставлення до охорони довкілля та здоров'я людини.

У лекціях висвітлюють головні положення курсу найважливіші питання екології, а також проблеми практичного застосування екологічних знань. Конспектування лекційного матеріалу сприяє найкращому засвоєнню знань, спрощує процес підготовки до практичних та семінарських занять.

# 1 ЗАСАДИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЕКОЛОГІЇ

## 1.1 Поняття екології як науки

*Найважливіше завдання екології, головний предмет досліджень*

Слово екологія походить від двох грецьких слів «ойкос», що означає будинок, житло і «логос»- наука. Уперше слово «екологія» вжив німецький біолог Ернст Геккель у 1866 році, коли запропонував назвати екологією розділ зоології про відносини між живими організмами та навколишнім середовищем.

Як самостійна наука екологія виникла наприкінці ХІХ століття..

*Екологія* – наука, що вивчає умови існування живих організмів і взаємозв'язок між живими організмами та середовищем, у якому вони мешкають. До середини ХХ століття на екологію дивилися як на один із підрозділів біології, але поступово вона вийшла за її межі.

Особливо велике значення останнім часом приділяється проблемам взаємин людини з навколишнім середовищем. Це обумовлюється різким посиленням взаємного негативного впливу людини й середовища у зв'язку з негативними наслідками науково-технічного прогресу.

Нині *екологія* не обмежується межами біологічної дисципліни, вона є міждисциплінарною наукою, що вивчає складні взаємини людини з навколишнім середовищем.

*Екологія* розподіляється на *теоретичну*, або *загальну* екологію та *прикладну*.

*Загальна екологія* розглядає біологічні аспекти екології. У складі загальної екології відокремлюють такі головні розділи:

- *аутекологію*, яка досліджує індивідуальні зв'язки окремого організму (виду, особи) із навколишнім середовищем;
- *синекологію (біоценологію)*, яка вивчає взаємини популяцій, співтовариств і екосистем із середовищем.

Для всіх цих напрямів головним є вивчення виживання живих істот у навколишньому середовищі.

*Прикладна екологія* вивчає механізми руйнування біосфери людиною, способи запобігання цьому процесу та розробляє принципи раціонального використання природних ресурсів. Прикладна екологія включає інженерну, промислову, сільськогосподарську екологію, екологію енергетики та інші науки.

*Об'єктом* дослідження екології є природні екологічні системи і створені людиною системи (екологічні системи – єдині природні комплекси, утворені живими організмами та місцем їх існування).

*Завдання екології* різноманітні. *Головні завдання загальної екології*: дослідження зв'язків у екосистемах, оцінка їхнього стану, дослідження процесів, що перебігають у біосфері, з метою підтримання її стійкості, моделювання стану екосистем і глобальних біологічних процесів.

*Головні прикладні завдання*, які екологія повинна вирішувати в наш час, такі:

- прогнозування та оцінка можливих негативних наслідків у навколишньому середовищі під впливом діяльності людини;
- поліпшення якості навколишнього природного середовища інженерними методами;
- збереження, відтворення та раціональне використання природних ресурсів.

*Сучасна екологія* тісно пов'язана з політикою, економікою, правом, психологією, медициною, геологією, технічними й іншими науками. Отже, екологія стає однією з найважливіших наук сучасності й від її прогресу, можливо, залежатиме саме існування людини на землі.

#### *Взаємодія людини та природного середовища*

Мільярди років геосфера нашої планети уявляла собою абіотичне (неживе) середовище, у якому кругообіг речовин відбувався у вигляді хімічних і фізичних процесів. На нашій планеті тоді не було життя. Перші залишки ознак життя на землі знайдені в шарах літосфери, що утворилися близько 3,5–4 млрд. років тому.

Сучасний вигляд нашої планети – це результат діяльності живих організмів. Унаслідок їхньої постійної взаємодії з мінеральними елементами середовища виникла біосфера.

Сучасний склад атмосфери значно відрізняється від первинного. Первинна атмосфера майже не містила кисню, була насичена вуглекислим газом, метаном, воднем, парами води, різними сполуками азоту. У зв'язку з фотосинтезом рослин і деяких бактерій, що переробляють вуглекислий газ на органічні речовини, газовий склад атмосфери поступово змінювався до сучасного. Живі організми також впливали на мінерали, що сприяло утворенню ґрунтів. Поступово за мільярди років безперервної роботи живих організмів змінилися склад і структура земної поверхні.

Із появою людини на Землі почався вплив її діяльності на біосферу, що сформувалася.

Історію взаємин суспільства і природи умовно можна поділити на чотири стадії взаємин.

*Перша стадія* – від моменту виникнення людини до пізнього палеоліту (близько 40 тис. років тому). У цей період люди жили невеликими племенами, полювали на диких тварин, збирали насіння. Головним джерелом енергії була м'язова сила людини. Первісні люди, які користувалися примітивними знаряддями праці, жили в гармонії з природним середовищем, не порушуючи його рівноваги.

*Друга стадія* – від пізнього палеоліту до XVIII століття. У цей період людина стала причиною зникнення деяких різновидів тварин (мамонт, гігантський олень, волохатий носоріг, печерний ведмідь тощо). Інтенсивно починає розвиватися землеробство, скотарство, ремесла, будівництво поселень.

Найбільший вплив на природу мало використання вогню, випалювання значних територій лісів для сільського господарства та будівництва. Випалювання рослинності призвело до значних змін складу флори, фауни.

Варто зазначити, що *наша планета на початку цього періоду була на 90–95 % вкрита лісами*, а наприкінці – менше ніж на 50 %.

Невміле використання земель, зрошування, безжалісна експлуатація призводили до виснаження, засолення ґрунтів, зниження родючості.

Колишня колыска цивілізації – південь Палестини, Північні райони Сирії, Месопотамії та колишній центр цивілізації Середня Азія – нині зона пустель.

*Третя стадія* (XVIII – середина XX століття) – період активного розвитку науки, техніки, енергетики, збільшення чисельності населення, хижацького використання природних ресурсів. Головними принципами розвитку суспільства в цей період були боротьба з природою, підкорення її, панування над нею та впевненість, що природні ресурси невичерпні.

*Четверта стадія* (середина XX століття – донині) характеризується розвитком глобальної екологічної кризи. Людина стала могутньою геологічною силою на нашій планеті. Різко збільшилась чисельність населення земної кулі, масштаби людської діяльності перевершили масштаби впливу могутніх стихійних явищ. Під забудову вилучаються всі великі площі родючих земель, виснажуються природні ресурси, масово вирубуються ліси, зникають усе нові й нові різновиди тварин і рослин, збіднюється генофонд планети.

Забруднюються атмосферне повітря, вода, ґрунти, рослинність, утворюється величезна кількість відходів, які не переробляються. Негативні наслідки нераціональної господарської діяльності полягають у величезних економічних втратах.

## **1.2 Природні екологічні системи**

Екологічні фактори, їхній вплив на існування та розвиток організмів

*«Середовище існування організму»* – сукупність умов його життя. Властивості середовища постійно змінюються, і будь-який організм пристосовується до цих змін, щоб вижити.

*«Навколишнє середовище»* – середовище, яке тою або іншою мірою змінене людиною.

*«Природне середовище»* – середовище, яке не змінене людиною або змінене найменшою мірою.



У загальній екології мова йде про природне середовище та середовище існування організму, а в прикладній екології – про навколишнє середовище.

*Екологічні чинники* – це певні умови й елементи середовища, які специфічно діють на живі організми, а живі організми реагують на них пристосовними реакціями.

*Екологічні чинники поділяють* на чинники живої природи – біотичні та неживої природи – абіотичні та антропогенні зумовлені діяльністю людини.

*Пристосовні реакції* у живих організмів визначаються ступенем постійності впливу цих чинників або їхньою періодичністю.

Існують *первинні та вторинні*, періодичні й неперіодичні екологічні чинники.

*Первинні* періодичні чинники – явища, пов'язані з сонячною енергією та обертанням Землі. Наприклад, зміна періодів року, добова зміна освітленості – чинники, які діяли ще до появи життя на Землі. Живі організми, які виникали були змушені, до них адаптуватися.

*Вторинні* періодичні чинники є наслідком *первинних*: освітленість, вологість, осідання, газовий склад атмосфери, температура, рух повітряних мас тощо.

До *неперіодичних* чинників належать стихійні явища й антропогенний вплив на навколишнє середовище. Наприклад, коли промислові підприємства забруднюють довкілля, живі організми не в змозі пристосуватися до рівнів і режимів такого впливу і гинуть.

*Лімітувальні екологічні чинники* – ті, які обмежують розвиток організмів через нестачу або надлишок їх порівняно з оптимальним. Наприклад, у разі недостатності або надлишку в ґрунті одного з корисних компонентів знижується врожай.

*Абіотичні екологічні чинники*

До абіотичних екологічних чинників належать *кліматичні, ґрунтові, топографічні та чинники водного середовища* тощо.

*Найголовніші кліматичні чинники*

*Промениста енергія Сонця.* Сонце є першоджерелом енергії екологічних систем, яка приходить на Землю у вигляді електромагнітних хвиль. Близько 40 % цієї енергії відразу відбивається хмарами, атмосферними газами, пилом, поверхнею Землі без теплового ефекту. Енергія сонця, що досягає земної поверхні, складається з ультрафіолетового випромінювання, видимого світла та інфрачервоного випромінювання.

Ультрафіолетове випромінювання, довжина хвилі якого становить 0,2–0,4 мкм, називають біологічно активним ультрафіолетом (БАУ); інтервали, довжина хвилі яких становить 0,2–0,3 мкм називають жорстке БАУ; 0,32–0,4 мкм – м'яке БАУ.

Жорстке БАУ згубне для всього живого та воно затримується озоновим шаром на висоті близько 25 км. М'яке БАУ сягає до земної поверхні, до нього живі організми адаптувалися, воно бере участь у процесі фотосинтезу рослинності, має бактерицидні властивості.

Загалом у процесі фотосинтезу використовується тільки близько 1 % сонячної енергії, решта енергії поглинається Землею, перетворюється на тепло, яке витрачається на підтримання температури, випаровування, опади, вітер і поступово розсіюється у світовий простір.

Земля знаходиться в стані енергетичної рівноваги. Будь-який екологічний чинник, що уповільнює вихід цієї енергії в космос, призводить до підвищення температури на Землі.

З іншого боку, збільшення кількості забруднювачів в атмосфері (газів, пилу) збільшує кількість відбитої енергії.

Інші кліматичні чинники співвідносяться з сонячною енергією. Головними з них є температура, опади, газовий склад атмосфери, рух повітряних мас, освітленість.

Температура є найважливішим лімітувальним чинником, який впливає на розповсюдження живих організмів. Деякі організми можуть жити й існувати за дуже низьких температур, знаходячись у стані спокою, інші – можуть жити та розмножуватися при температурі близькій до точки кипіння (окремі різновиди

бактерій). Температура впливає на інтенсивність фотосинтезу, перебіг кореневого живлення рослинності.

Опади. Ще одним лімітувальним чинником є розподіл опадів за сезонами року. Навіть за достатньої кількості річних опадів їх нерівномірний розподіл може призвести до загибелі рослин від засухи або перезволоження.

Склад повітря забезпечує живим організмам дихання та фотосинтез. Рух повітряних мас забезпечує перемішування повітря, розселення спор, пилку, насіння, мікроорганізмів.

#### *Екологічні чинники ґрунтового покриву*

Ґрунт це продукт фізичного, хімічного, біологічного перетворення гірських порід унаслідок складної взаємодії клімату, рослинності, тварин і мікроорганізмів. Ґрунт складається з твердих, рідких, газоподібних і живих компонентів.

Твердий компонент містить мінеральну й органічну частини. Мінеральна частина – складник гірських порід, на яких сформувався ґрунт. Органічна частина включає детрит та гумус.

Детрит – мертві рослинні та тваринні залишки (опале листя, відмерле коріння, трупи і фекалії тварин).

Гумус – складна органічна речовина, утворена внаслідок розкладання детриту мікроорганізмами – це головний чинник родючості.

Головні мінеральні живильні речовини ґрунтів називають біогенами - нітроген у формі нітратів, фосфор у формі фосфатів і калій. Їхніми джерелами є породи, на яких формуються ґрунти, вони засвоюються рослинністю та повертаються до ґрунту з детритом.

Газоподібний компонент ґрунтів – ґрунтове повітря, яке значно відрізняється від атмосферного – у ньому менше кисню, більше вуглекислого газу. Склад ґрунтового газу залежить від типу ґрунтів, кліматичних умов, вологості, типу вирощуваних культур.

Рідкий компонент ґрунтів – ґрунтовий розчин – містить у своєму складі біогени, органічні кислоти, солі, цукри. Важливим показником ґрунтового

розчину є кислотність, яка виражається водневим показником рН. Найсприятливішим для рослин і ґрунтових тварин є нейтральне середовище при рН = 7 (рН < 7 – кисле середовище; рН > 7 – лужне середовище).

Ґрунтова біота представлена фауною та флорою. Фауна – дощові черв'яки, земляні кліщі, нематоди тощо, які перерозподіляють гумус та біогени, підвищуючи родючість ґрунтів. Флора – це гриби, бактерії, водорості, які переробляють органіку до початкових неорганічних складових. Ґрунт, з одного боку, є місцем існування для них, з іншого боку, живі організми виступають як його невід'ємний компонент. Живі організми ґрунтів становлять близько 95 % усього тваринного світу Землі.

#### *Абіотичні чинники водного середовища*

Водна оболонка Землі називається гідросферою. Вона включає океани, моря, річки, озера, болота, підземні води.

Вода має цілу низку особливостей, які впливають на будову та життєдіяльність організмів, що живуть у ній.

Рухливість. Унаслідок цієї властивості відбувається постійне перемішування водних мас. Гідросфера співвідноситься з атмосферою при випаровуванні води та з літосферою за допомогою опадів, поверхневого стоку й підземних вод.

Температурна стратифікація – зміна температури за глибиною водного об'єкта, характеризується зниженням температури з глибиною в теплу пору року і підвищенням – у холодну пору року. Періодична зміна температури буває добова, сезонна, річна. Прозорість води визначає світловий режим під її поверхнею. Від неї залежить фотосинтез водної рослинності, а отже, накопичення органічних речовин, збагачення глибинних вод киснем.

Солоність води – вміст у ній розчинних солей. Головними природними джерелами солей у водних об'єктах є підземні й поверхневі води, які виносять розчинені мінерали з гірських порід і ґрунтів. Солоність є одним із головних чинників у розподілі живих організмів, продуктивності водоймищ, багато організмів дуже чутливі до незначних її змін. Солоність вод може змінюватися

у великих межах. Одиницею вимірювання солоності є проміле – о/оо (1 грам солей в 1 дм<sup>3</sup> води). Прісні води містять солей до 1 о/оо; середня океанічна солоність становить близько 35 о/оо; Азовського моря – 9–10 о/оо; Балтійського моря – 6–8 о/оо.

Вміст розчиненого кисню. Головними джерелами надходження кисню у водне середовище при вітровому хвилеутворенні й перемішуванні водних мас є атмосфера, дощові та снігові опади, сприяють утворенню кисню під час фотосинтезу водної рослинності. Кисень витрачається на окислення органічних і мінеральних речовин, дихання живих організмів.

Під час складання скиданні великої кількості забруднювальних речовин у водні об'єкти може відбуватися зменшення кисню і масова загибель живих організмів.

Водневий показник (рН) має велике значення для хімічних і біологічних процесів, що відбуваються в природних водах. Від рН залежить життєдіяльність живих організмів, які дуже чутливі до цього показника та при зміні його гинуть або замінюються іншими різновидами.

Біотичні екологічні чинники – сукупність впливів життєдіяльності одних організмів на життєдіяльність інших, а також на неживе середовище існування.

Головними формами взаємин живих організмів є хижацтво, паразитизм, конкуренція.

Паразити та хижаки є чинниками середовища стосовно своїх господарів, вони взаємно необхідні один одному. У процесі їхніх складних взаємин здійснюється природний відбір і пристосовна мінливість. Зникнення природного ворога з екологічної системи може призвести до вимирання того різновиду, за допомогою якого розвивається цей ворог. Усі ці обставини необхідно враховувати під час уживання заходів щодо управління екологічними системами, враховувати наслідки знищення хижаків або переселення тварин або рослин.

До антропогенних екологічних чинників належить господарську діяльність людини: вирубування лісів, видобуток корисних копалин, створення водосховищ тощо.

### *Екосистеми, біогеоценоз, біом*

Система – це реальний або уявний об'єкт, цілісні властивості якого можна уявити як результат взаємодії частин, що його складають.

Головні властивості системи – це єдність, цілісність і взаємозв'язки між її компонентами.

Екосистема – сукупність спільно існуючих різних видів організмів і умов їхнього існування, що знаходяться в закономірному взаємозв'язку. Прикладами екосистем можуть бути луг, ліс, океан, стовбур гниючого дерева, біологічні ставки очищення стічних вод тощо.

Одним із різновидів екосистеми є біогеоценоз – це суто наземна екосистема, тобто природна екосистема на поверхні Землі (річка, луг, ліс тощо). Будь-який біогеоценоз є екосистемою, але не всяка екосистема може бути біогеоценозом.

Головна властивість екосистеми – взаємозв'язок і взаємозалежність усіх її компонентів.

Від клімату залежить водний, повітряний, температурний режими ґрунтів, тип рослинності, темпи утворення органічних речовин, активність мікроорганізмів. Ґрунт впливає на клімат: у атмосферу з ґрунту виділяється вуглекислий газ, азот, сполуки сірки, метан, сірководень та інші гази.

Рослинність з ґрунту бере воду, біогени, гумус, а з атмосфери – вуглекислий газ, сонячну енергію. Вона виділяє в атмосферу кисень, а після її відмирання до ґрунту поступає детрит. Рослинність є живленням для тварин; ґрунт – місцем проживання; продукти життєдіяльності тварин потрапляють у ґрунт, ґрунтові мікроорганізми переробляють їх до початкових елементів: вуглекислого газу, води, гумусу й інших мінеральних сполук.

Отже екосистема – це цілісна, функціонуюча, саморегульована система.

Великі наземні екосистеми називають біомами (тундра, тайга, дощові тропічні ліси тощо). Кожен біом складається з безлічі екосистем, пов'язаних між собою.

Глобальна екосистема – це біосфера, яка складається з біомів, пов'язаних між собою (біосфера – нижня частина атмосфери, верхня частина літосфери та вся гідросфера, населені живими організмами – місце існування живої речовини). Усі живі істоти зокрема людина залежать від її цілісності.

Діяльність людини в одному місті може викликати несподівані наслідки в іншому і змінити біосферу, рівновагу якої буде порушено.

### *Трофічні ланцюги*

Живі організми в екосистемах неоднакові з погляду створення власного тіла. Тварини на відміну від рослин не здатні до фотосинтезу (не можуть будувати власне тіло з мінеральних речовин і безпосередньо використовувати сонячну енергію), а використовують органічну речовину, утворену рослинністю. Травоїдні харчуються рослинністю, хижаки – травоїдними, ці тварини можуть бути з'їдені іншими тваринами і так далі.

Ланцюг передачі речовини й еквівалентної їй енергії від одних організмів до інших називається трофічним або харчовим.

Рослини будують свій організм без посередників, їх називають автотрофами. Вони будують його з неорганічних речовин і сонячної енергії та називаються продуцентами – це є перший трофічний рівень.

Другий трофічний рівень утворюють травоїдні, третій, четвертий, п'ятий – м'ясоїдні тварини, їх називають гетеротрофами або консументами.

Зазвичай в екосистемі міститься 4–5 трофічних рівнів, наприклад: дерево – гусениця – синиця – яструб; фітопланктон – зоопланктон – дрібна риба – велика риба – водоплавний птах.

Трофічні ланцюги, що починаються з фотосинтезуючих організмів, називаються пасовищними.

На всіх трофічних рівнях утворюються відходи (опале листя, трупи, фекалії тварин). Тварин, що харчуються мертвою органікою, називають

детритофагами (земляні черв'яки, багатоніжки, жуки, мурахи, деякі птахи). Остаточне розкладання детриту до простих мінеральних сполук здійснюють мікроорганізми, їх називають редуцентами.

Трофічні ланцюги, які починаються з детриту, називають детритними. Детритний ланцюг, також як і пасовищний, має декілька трофічних рівнів. Така послідовність і підпорядкованість трофічних рівнів в екосистемах становить основу їхнього функціонування.

Трофічний ланцюг є також енергетичним ланцюгом, оскільки ланцюгом передається сонячна енергія, накопичена в молекулах живих організмів. Будь-яка кількість органічної речовини еквівалентна деякій кількості енергії. Наприклад, 1 г сухої трави співвідноситься 18,7 кДж, 1 г сухого м'яса – 23,5 кДж.

Консументи, харчуючись продуцентами, отримують енергію, яка витрачається на будівництво власного тіла, дихання, тепловіддачу, виконання рухів, пошук їжі, порятунк від ворогів тощо. Отже, в екосистемі існує безперервний потік енергії, яка розсіюється на кожному рівні й поповнюється надходженням енергії Сонця.

#### *Біологічна стійкість і продуктивність екосистем*

Одна з найважливіших властивостей екосистем – здатність створювати органічну речовину, яку називають продукцією. Утворення продукції за одиницю часу (година, доба, рік) на одиницю площі (м<sup>2</sup>, га) або об'єму (у водних екосистемах) характеризує продуктивність екосистем. Продукцію рослин називають первинною, тварин – вторинною.

Під біомасою розуміють усю живу органічну масу, що міститься в екосистемі або її елементах незалежно від того, за який період вона утворилася та накопичилася. Біомаса та продуктивність зазвичай виражаються через абсолютно суху вагу, але можна виражати й в енергетичних одиницях – калоріях, джоулях.



Важливим є поняття «сукцесія» – послідовна зміна екосистем (біоценозів) унаслідок саморозвитку на млявому субстраті або на місці руйнування наявних екосистем (у цьому разі сукцесії називають вторинними).

Кінцевим результатом є порівняно стабільні клімаксові або вузлові екосистеми.

Популяції. Виокремлюють статеву, вікову, територіальну й інші різновиди структури популяцій. У теоретичному і прикладному планах найважливішими є дані про вікову структуру, під якою розуміють співвідношення особин різних віків. Під біотичним потенціалом популяцій розуміють теоретично можливе потомство від однієї пари у разі реалізації здатності організмів до біологічно зумовленого розмноження. Цей потенціал тим вище, чим нижче рівень організації організмів і реалізується організмами зі значним ступенем повноти тільки в окремих випадках і протягом коротких проміжків часу.

Чисельність особин у популяціях визначається регулювальними чинниками, що працюють за принципом зворотного негативного зв'язку: чим вище чисельність, тим сильніше спрацьовують механізми її зниження і навпаки.

На чинниках такого типу базується гомеостаз популяції – сукупність механізмів, спрямованих на усунення або максимальне обмеження дії чинників, що порушують внутрішню динамічну рівновагу системи.

Трофічні структури можна представити графічно у вигляді екологічних пірамід. Фундаментом піраміди слугує рівень продуцентів, а подальші рівні живлення утворюють поверхи й вершину піраміди.

Відомо три головні типи екологічних пірамід:

- піраміди біомаси, що характеризують масу живої речовини на кожному рівні;
- піраміди енергії, що показують зміну енергії на подальших трофічних рівнях;
- піраміди чисел, що відображають чисельність організмів на кожному рівні.

У наземних екосистемах сумарна маса рослин перевищує масу всіх рослиноїдних, а їхня маса перевищує всю біомасу хижаків. Для екосистеми океану піраміда біомаси має перевернутий вигляд, тобто ця екосистема може накопичувати біомасу на вищих рівнях.

Піраміда енергії є найдосконалішою – вона відображає витрачання енергії в трофічних ланцюгах. Піраміди чисельності зазвичай роблять у вигляді таблиць.

Знання енергетики екосистеми та її кількісних показників дають змогу точно врахувати можливість вилучення з природної екосистеми тої чи іншої кількості рослинної та тваринної біомаси без порушення її ефективності.

### **1.3 Біосфера – глобальна екосистема Землі**

*Біосфера як одна із оболонок Землі, склад і мережі біосфери*

Засновником вчення про біосферу є В. І. Вернадський. До нього глобальні природні явища, зокрема геологічні процеси, співвідносили з дією фізико-хімічних сил, що об'єднуються терміном «вивітрювання».

Земля складається з концентричних оболонок – (геосфер) внутрішніх і зовнішніх. До внутрішніх оболонок належать ядро і мантія, а до зовнішніх – літосфера, гідросфера, атмосфера та біосфера. В. І. Вернадський довів найголовнішу перетворювальну роль живих організмів і зумовлених ними механізмів утворення та руйнування геологічних структур, кругообігу речовин, зміни твердої (літосфери), водної (гідросфери) і повітряної (атмосфери) оболонок Землі.

Літосфера – кам'яна оболонка Землі – земна кора завтовшки від 6 (під океанами) до 80 км (гірські системи). Земна кора містить найважливіші енергетичні ресурси (вугілля, нафта, сланці, газ), рудні й нерудні корисні копалини.

Гідросфера – водна оболонка Землі, її поділяють на поверхневу та підземну. До складу поверхневої гідросфери належать води океанів, морів, озер, річок, водосховищ, болот, льодовиків, сніжних покривів тощо. Підземна

гідросфера включає води, що знаходяться у верхній частині земної кори які називають підземними водами. Загальна кількість води на Землі – 1,39 млрд км<sup>3</sup>, 97,5 % цієї води – солоня вода. Маса прісної води – 35 млн км<sup>3</sup> – це 2,5 % від загальної маси.

Близько 75 % прісної води знаходиться в твердому поляганні в льодах Антарктиди, Гренландії, гірських льодовиках, айсбергах, у зоні вічної мерзлоти.

Атмосфера – це газова оболонка Землі з аерозольними частинками, що містяться в ній, яка рухається разом із Землею в світовому просторі як єдине ціле й одночасно бере участь в обертанні Землі. Маса атмосфери – близько 5,15·10<sup>15</sup> тонн. Атмосфера є дисперсною системою, що складається з механічної суміші повітря з аерозолем. Головні параметри, що характеризують атмосферу Землі, такі: атмосферний тиск, атмосферна температура, склад атмосфери. Дисперсність – ступінь роздробленості речовини на частинки (чим менше частинки, тим більше дисперсність).

Дисперсна система або дисперсне середовище – механічна суміш речовин у вигляді малих частинок з тим середовищем, в якому вони знаходяться. За особливостями дисперсного середовища розрізняють гідрозолі, де середовище представлене водою (колоїдні розчини) та аерозолі, де найдрібніші крапельки рідини або твердих частинок розпорошені й повітрі. Прикладами добре видимих неозброєним оком аерозолів є туман і дим.

Склад атмосфери підтримується життєдіяльністю живих організмів і різноманітними геохімічними явищами глобального масштабу. Атмосфера запобігає різким коливанням температури поверхні планети, зменшує надходження до неї надмірних доз ультрафіолетового випромінювання, є носієм газів, що забезпечують життєві процеси рослин і тварин.

#### *Типові шари атмосфери*

В атмосфері спостерігається просторова зміна всіх характеристик. Найсильніша їх зміна відбувається за вертикаллю. Наприклад, температура за вертикаллю змінюється в декілька сотень разів швидше, ніж за горизонталлю.

Розглядаючи зміну температури за вертикаллю, електричних властивостей, складу й інших характеристик повітря, атмосферу можна розподілити на ряд шарів (сфер). Для розподілення атмосфери на шари (сфери) у вертикальному напрямі використовують декілька ознак: розподіл температури за висотою, склад атмосферного повітря та наявність заряджених часток, взаємодія атмосфери із земною поверхнею, вплив атмосфери на літальні апарати. Найвиразніша відмінність шарів атмосфери проявляється в особливостях розподілу температури повітря з висотою. За цією ознакою виокремлюють п'ять головних сфер: тропосфера (у середньому до висоти 11 км), стратосфера (від 11 км до 50–55 км), мезосфера (від 50–55 км до 90 км), термосфера (від 90 км до 450 км) і екзосфера (понад 450 км.). Між цими шарами є прошарки порівняно малої вертикальної протяжності. Їх прийнято називати за шаром, що пролягає нижче, замінивши в його назві частину слова «сфера» на «пауза». Наприклад, між тропосферою і стратосферою знаходиться тропопауза. Між другими сферами містяться відповідно стратопауза, мезопауза і термопауза.

Тропосфера (по-грецьки «тропос» означає «обертатися та перемішуватися») – найнижчий шар атмосфери, що починається від земної поверхні й зазвичай змінює свої характеристики під її впливом. Її висота залежить від пори року, широти місця та від особливостей циркуляції повітря. На тій самій широті верхня межа тропосфери опускається взимку та піднімається влітку. У тій самій порі року вертикальна протяжність тропосфери в помірних широтах становить 9–12 км, над полюсами вона зменшується до 8–10 км, а над екватором зростає до 16–8 км. Над зонами підвищеного тиску верхня межа тропосфери опускається, а над зонами зниженого тиску піднімається. У тропосфері спостерігаються переміщення повітря в горизонтальному й вертикальному напрямках, а також інтенсивне його перемішування. У тропосфері зосереджена головна маса водяної пари, відбувається утворення хмар, випадання опадів, спостерігаються інші метеорологічні явища.

Типова особливість тропосфери – зменшення температури з висотою. На кожні 100 м висоти температура убуває в середньому на 0,65 °С.

Слово «у середньому» має важливе значення, оскільки зменшення температури з висотою в тропосфері властива саме середнім умовам: середньомісячних, середньосезонних тощо. У кожний певний момент часу зменшення температури у всьому шарі може перериватися окремими шарами, де температура може залишатися постійною (ізотермія) або навіть зростати з висотою (інверсія).

Середня річна температура на верхній межі тропосфери становить приблизно (-55 °С), у помірних широтах – (-75 °С), над екватором – (-65 °С), над Північним полюсом від (-23 °С) до (-60 °С) узимку і (-47 °С) улітку. У тропосфері середньорічна температура в екваторіальних широтах убуває з висотою від (+26 °С) біля земної поверхні до (-80 °С) у верхній частині тропосфери, у помірних широтах від (+3 °С) до (-54 °С) – (-58 °С) (50 ° пн.ш.) і над Північним полюсом від (-23 °С) до (-60 °С) взимку і (-48 °С) – улітку.

У тропосфері міститься близько 80% атмосферного повітря, майже 99 % водяної пари й найдрібніших частинок домішок, які сприяють утворенню хмар. Тропосфера визначається сильним розвитком турбулентності й конвекції. Турбулентність в атмосфері – форма руху газів, за якої їхні частинки здійснюють неупоряджене, нестале переміщення по складних, часто змінних траєкторіях, що призводить до інтенсивного вертикального та горизонтального переміщення шарів рухомого газу, тобто до перенесення тепла і зважених частинок.

Конвекція в атмосфері – це підйом окремих більш нагрітих від земної поверхні і тому менш щільних мас або струменів повітря з одночасним опусканням більш холодних, а тому щільніших мас. Швидкість підйому при конвекції – від одного до 20–30 і більше метрів в секунду. Конвективні струми пронизують усю тропосферу і проникають у стратосферу; вони грають важливу роль в обміні теплотою та вологою між різними шарами атмосфери.

У тропосфері часто зустрічаються температурні інверсії, тобто підвищення температури повітря з висотою у будь-якому шарі. Нижній шар тропосфери (500–1500 м) називають прикордонним шаром атмосфери або шаром тертя, а нижні декілька десятків метрів – приземним шаром атмосфери.

Розрізняють інверсію в приземному шарі й у вільній атмосфері. У приземному шарі інверсія виникає в безвітряні ночі внаслідок інтенсивного випромінювання тепла земною поверхнею, що призводить до охолодження не тільки самої поверхні, але і прилеглого шару повітря. Температурна інверсія спостерігається при адвекції (адвекція – переміщення повітряних мас у горизонтальному напрямі, що зумовлює перенесення тепла та вологи) теплих повітряних мас над холодними поверхнями (наприклад: снігом, холодними океанічними течіями тощо).

У вільній атмосфері температурна інверсія обумовлюється з осіданням повітря в антициклонах, а також натіканням теплого повітря на розташоване нижче холодне повітря в зонах атмосферних фронтів. Потужність приземних інверсій – десятки метрів, у вільній атмосфері – сотні метрів.

Температурні інверсії перешкоджають розвитку вертикальних рухів повітря і сприяють утворенню туману, смогу, хмар, міражів. У тропосфері постійно формуються типові повітряні маси та фронти, розвиваються циклони (зони зниженого тиску) і антициклони (зони підвищеного тиску) й інші процеси, визначаючи погоду і клімат. Нижній частині тропосфери властиве сильне запилення повітря.

У 1899 р. була відкрита тропопауза – перехідний шар, де вертикальний градієнт температури змінює свій знак. Цей перехідний шар має товщину від одного до 2–3 км, унаслідок чого тропопаузою зазвичай називають верхню поверхню тропосфери. За її нижню межу приймається висота, на якій температура перестає зменшуватися з висотою або починає поволі підвищуватися. На рівнях, близьких до тропопаузи, спостерігаються потоки повітря у вигляді вузьких течій із дуже великими швидкостями (150–300 км/ч). Ці потоки називаються струменевими течіями. У тропіках спостерігаються

розриви тропопаузи, зумовлені могутнім струменевим перебігом повітряних мас.

Розриви тропопаузи можливі також при виверженні вулканів. Над тропопаузою до висоти близько 50 км тягнеться стратосфера (stratum – з лат. «шар, сфера»), що характеризується зростанням температури з висотою. До висоти 35 км це зростання відбувається дуже повільно (температура там практично постійна – (+45...-75 °C) залежно від широти і пори року, а вище 35 км температура швидко зростає та на верхній межі стратосфери досягає середньорічного значення близько 0 °C із відхиленням  $\pm 20$  °C. Зростання температури повітря з висотою у стратосфері пояснюється поглинанням сонячної радіації озоном. Найбільша концентрація озону залежно від широти та пори року і спостерігається на висоті 14–26 км, де щільність озону в 10 разів більше щільності його у земної поверхні. Це так званий озоновий екран, який затримує велику частину ультрафіолетового випромінювання, згубного у великих дозах для всього живого. На верхній межі стратосфери температура відчуває різкі коливання залежно від пори року та широти місця, пов'язані з коливаннями шару озону.

Водяна пара в стратосфері міститься в дуже малій кількості, тому звичайні хмари в цьому шарі не утворюються. Тільки зрідка на висотах 20–25 км спостерігаються перламутрові хмари. До недавнього часу вважали, що в стратосфері не відбувається перемішування повітря та вона є вельми спокійним середовищем. Проте нові дані свідчать про те, що в стратосфері також відбуваються інтенсивна циркуляція повітря і його вертикальні переміщення.

Над стратосферою знаходиться перехідний шар, де вертикальний градієнт температури знову змінює свій знак (див. рис. 3.1). Цей шар (ще слабо вивчений) називається стратопаузою.

Над стратопаузою розміщується середній шар атмосфери – мезосфера («мезо» з грецької «середній»). Тягнеться мезосфера до висоти 80–85 км і характеризується зниженням середньої температури з висотою від 0 °C на межі зі стратопаузою до (-90 °C) біля верхньої межі.

Спостереження за рухом метеорних слідів і ракетні дані свідчать про те, що швидкість вітру в мезосфері становить 150 м/с. Зменшення температури з висотою дає підставу припускати наявність у мезосфері інтенсивного перемішування повітря. У мезосфері на висоті 82–85 км іноді спостерігаються сріблясті хмари. Сріблясті або мезосферні хмари за своєю структурою нагадують перисті хмари верхньої тропосфери, але вони утворюються набагато вище, на висотах 70–90 км. Сріблясті хмари становлять скупчення найдрібніших частинок розміром 10–4 x 10–5 см, які розсіюють сонячне світло. Ці хмари утворюються з метеорного пилу, який слугує ядрами кристалізації для вологи, занесеної до мезосфери могутніми викидами вулканів, що діють. У стратосфері й мезосфері знаходиться до 20 % усього атмосферного повітря, але цього досить, щоб захистити нас від «зоряних уламків». Розміри метеоритів у переважній більшості не перевищують величини горошини. Із величезною швидкістю (від 11 км/с до 64 км/с) під впливом земного тяжіння метеорити вриваються в атмосферу планети, розжарюються шляхом тертя об повітря та на висоті близько 60–70 км переважно згорають. Якби була відсутня атмосфера, на Землю падали б великі космічні уламки. Коли кількість метеоритів, які потрапляють до атмосфери Землі, особливо велика, створюється враження «зоряного дощу».

Над мезосферою знаходиться мезопауза, де вертикальний градієнт температури знову змінює свій знак (див. рис. 3.1). Вище за мезопаузу міститься менше 0,5 % повітряної маси атмосфери.

Вище знаходиться термосфера («термос» грецькою теплий) – верхній шар атмосфери, у якому температура збільшується з висотою. За непрямыми даними та результатами ракетних спостережень температура на висоті 150 км дорівнює приблизно 220–240 °К, на висоті 200 км становить 500 °К, а на верхній межі термосфери перевищує 1000 °К (1500 °С).

Зростання температури з висотою пояснюється поглинанням ультрафіолетової радіації атомарним киснем і нітрогеном. Проте температура на вказаних висотах характеризує тільки кінетичну енергію руху молекул.



Стороннє ж тіло, яке потрапило на цю висоту, унаслідок дуже сильної розрідженості повітря не сприймає від нього таку високу температуру. Температура сторонніх тіл (штучних супутників Землі, космічних кораблів, ракет тощо) на цих висотах насамперед визначається поглиненою ними променистою енергією. На думку фахівців, термосфера не відіграє істотної ролі в тепловому балансі нижніх шарів атмосфери.

У атмосфері є шар із високою електричною провідністю, що утворюється унаслідок інтенсивної іонізації повітря космічними променями, ультрафіолетовою та корпускулярною радіацією Сонця. Верхня межа цього шару може становити кілька сотень кілометрів. Цей шар називається іоносферою та вважається зовнішньою частиною магнітосфери Землі. Частки іоносфери утворюють дуже розріджене та високоелектропровідне середовище, що визначає специфічність розповсюдження там короткохвильових радіохвиль (тільки через наявність іоносфери можливий радіозв'язок). В іоносфері спостерігаються полярні сьйва та магнітні бурі. Полярне сьйво – це оптичне явище, яке полягає в свіченні (люмінесценції) розрідженого повітря (передусім атомів кисню та нітрогену). Спостерігається у високих широтах обох півкуль. Полярне сьйво виникає під час проникнення в нижню іоносферу заряджених часток високої енергії з верхньої іоносфери під час швидких коливаннях інтенсивності земного магнітного поля. Довжина полярних сьйв – від десятків хвилин до декількох діб.

Екзосфера (сфера розсіяння) – це зовнішній найбільш розріджений шар атмосфери, що отримав назву від грецького  $\epsilon\chi\omega$  – зовні, поза. Із цього шару атмосфери відбувається вислизання найлегших частинок (атомів гідрогену) у світовий простір. Деякі вчені вважають, що верхня межа екзосфери співпадає з верхньою межею атмосфери, інші – що екзосфера тягнеться до так званої земної корони (від 2000 км до 20 тис. км), тобто повільно переходить у міжпланетний простір. Дехто вважає, що температура в екзосфері постійна за висотою, інші – що температура в екзосфері зростає з висотою приблизно до

2000 °К. У екзосфері гази знаходяться у розрідженому стані їхні частинки, рухаючись із дуже великими швидкостями, майже не стикаються одна з одною.

### *Склад і межі біосфери*

Біосфера – зовнішня оболонка Землі, до якої входить частина атмосфери до озонового шару (висота над полюсами становить 8–10 км, біля екватора – 17–18 км, над рештою поверхні Землі – 25–30 км), практично вся гідросфера та верхня частина літосфери – насамперед ґрунтовий шар, але загалом – приблизно до глибини 3 км, населені живими організмами.

Абіотична частина біосфери представлена ґрунтом і породами, що підстиляють його, в яких ще є живі організми; атмосферним повітрям до висот, де ще є прояви життя та водним середовищем гідросфери.

Біотична частина складається з живих організмів, що здійснюють обмін речовиною між усіма частинами біосфери. Атмосфера складається з механічної суміші газів – повітря, у якому в зваженому стані знаходяться пил, крапельки, кристали та деякі інші включення.

За газовим складом у атмосфері виокремлюють гомосферу (до 90–100 км, з грецького *ото* – «рівний, однаковий»), де склад повітря мало змінюється з висотою, окрім змін, обумовлених вмістом вуглекислого газу, озону та водяної пари; гетеросферу (з грецької *етеро* – «інший»), де склад повітря істотно змінюється з висотою. Головними газами, що входять до складу повітря, є нітроген, кисень і аргон. У невеликій кількості в повітрі містяться гелій, неон, криптон, ксенон, водень і низка інших газів. Унаслідок розпаду радіоактивних елементів, що містяться в земній корі, до атмосфери проникають радіоактивні гази – радон, торон і актинон. Ці гази протягом деякого часу (від декількох секунд до декількох діб) також розпадаються. Продукти їхнього розпаду приєднуються до порошинок, зважених у повітрі, або повертаються на земну поверхню у вигляді важких металів – вісмуту і свинцю. Окрім вказаних газів, у повітрі в змінній кількості постійно присутні вуглекислий газ, озон, аміак, метан, різні оксиди нітрогену. Повітря без водяної пари називають сухим.

Склад сухого повітря, очищеного від зважених частинок, однаковий на всій земній кулі й залишається постійним до висоти приблизно 25 км.

*Походження головних газів, що входять до складу атмосферного повітря*

Нітроген ( $N_2$ ) має здебільшого вулканічне походження та для більшості організмів є нейтральним. Тільки деякі організми – клубенькові бактерії, актиноміцети, синьо-зелені водорості – здатні засвоювати молекулярний нітроген і перетворювати його на нітратну форму, доступну для рослинних організмів. Невелика частина такого нітрогену в процесі розкладання детриту мікроорганізмами потрапляє в атмосферу.

Газоподібна сполука нітрогену з воднем в атмосфері – аміак. Аміак ( $NH_3$ ) – безбарвний газ із різким задушливим запахом і їдким смаком, отруйний, сильно подразнює слизові оболонки. Аміак розподілений в атмосфері вкрай нерівномірно, що обумовлено нерівномірністю розподілу його джерел (найбільша емісія аміаку до атмосфери відбувається шляхом розкладання біологічних речовин). Найбільша концентрація аміаку спостерігається над морською акваторією, де його вміст на 1–2 рівня більший, ніж над сушею: над морем –  $8 \cdot 10^{-10}$  см<sup>3</sup>атм, а над степом –  $8 \cdot 10^{-12}$  см<sup>3</sup>атм. Вміст аміаку в 22 стратосфері ще нижчий, що свідчить про швидке окислення цього газу. Фонова концентрація (у відсотках) аміаку в нижній тропосфері коливається від 5 до  $20 \cdot 10^{-3}$  і час його перебування в атмосфері (термін життя) – до 7 днів.

Азотна кислота ( $HNO_3$ ). Пари азотної кислоти виявлені як у тропосфері, так і в стратосфері, загальний міст  $HNO_3$  у вертикальному стовпі атмосфери становить  $4 \cdot 10^{-4}$  см<sup>3</sup>атм. Вертикальний розподіл  $HNO_3$  корелює з розподілом озону, максимум її концентрації припадає на висоту 20–35 км. Вище 35 км  $HNO_3$  присутня тільки в малих кількостях. Зв'язок фотохімічних процесів утворення  $HNO_3$  і  $O_3$  свідчить про значні просторово-часові варіації вертикального профілю концентрації  $HNO_3$  і загального вмісту  $HNO_3$  в атмосфері. Головний механізм розпаду  $HNO_3$  – її взаємодія з поверхнею аерозольних частинок з утворенням нітратів.

Кисень ( $O_2$ ) утворюється в процесі фотосинтезу рослинних організмів, витрачається в процесі дихання живих організмів, окислення різноманітних відходів, згоряння палива. За останні 50 років витрачено саме стільки кисню, скільки за мільйон років до цього. Головними причинами такої швидкості його витрачання є спалювання великої кількості палива в енергетиці, промисловості, автотранспорті, вирубування лісу, зниження фотосинтезу, спричинене забрудненням навколишнього середовища.

Вуглекислий газ ( $CO_2$ ) – одна з найважливіших змінних частин повітря. Він потрапляє до атмосфери переважно під час вулканічних вивержень, а також унаслідок гниття та розкладання органічних речовин (грунтові процеси), у процесі дихання тварин і рослин і під час згоряння палива.

Витрачається вуглекислий газ на живлення рослин у процесі фотосинтезу. Він добре поглинає та випромінює довгохвильову променисту енергію. Вуглекислий газ є безбарвним і позбавленим смаку газом, який у 3,5 разів важчий за повітря.

За звичайних атмосферних умов це стійкий, інертний і нетоксичний газ. При високому тиску і температурі  $CO_2$  може переходити в рідкий і твердий стан. При нормальному атмосферному тиску й охолодженні до ( $-78\text{ }^\circ\text{C}$ ) він сублімується в сухий лід типу снігу.  $CO_2$  є однією з порівняно невеликих за величиною складників атмосферного повітря і становить 0,035 % (об'ємні відсотки) від усього атмосферного повітря. Значно більша кількість  $CO_2$  міститься у гідросфері (океані), біосфері й літосфері. Головним регулятором концентрації вуглекислого газу є океан. В океані його приблизно в 100 разів більше, ніж в атмосфері. Це пояснюється тим, що розчинність  $CO_2$  у воді у багато разів вище, ніж у інших атмосферних газів. Унаслідок обміну вуглекислим газом встановлюється динамічна рівновага між надходженням його з повітря у воду і з води в повітря. Концентрація  $CO_2$ , розчиненого у воді, прямо пропорційна концентрації  $CO_2$ , що міститься в повітрі. Він добре розчиняється в холодній воді й випаровується в теплій. Океан діє як насос: на

полюсах він поглинає CO<sub>2</sub>, а на екваторі видуває його. Між атмосферою та іншими земними сферами здійснюється постійний обмін вуглекислим газом.

Вміст вуглекислого газу в повітрі змінюється залежно від широти, місцевих умов, часу доби та року. У високих широтах його менше, ніж у помірних; над океаном менше, ніж над сушею; у денні години менше, ніж у нічні. Оскільки CO<sub>2</sub> – головний парниковий газ, то збільшення його кількості в атмосфері за останнє сторіччя приблизно на 25 % спричиняє сьогодні великий неспокій.

Інертні гази (аргон, ксенон, криптон, неон) потрапляють до атмосфери насамперед у процесі вулканічної діяльності й на біологічні процеси практично не впливають.

Тверді й рідкі частинки, зважені в атмосфері, називають аерозолями. Концентрація аерозолів може змінюватися в широких межах залежно від місця і часу. За умовами походження всі аерозолі, що потрапляють до атмосфери, поділяють на аерозолі природного й антропогенного походження.

Аерозолі природного походження потрапляють до атмосфери внаслідок вулканічної діяльності, вивітрювання ґрунту і гірських порід, лісових пожеж, життєдіяльності й відмирання рослин, хвилювання моря (бризки), згоряння метеоритів і багатьох інших природних процесів. Аерозолі антропогенного походження утворюються, насамперед, у процесі спалювання викопного палива і в інших численних процесах промислової та господарчої діяльності людини. За складом домішки, що потрапляють до атмосфери, поділяють на газоподібні, тверді й рідкі. На частку газоподібних речовин припадає близько 90 %, а на частку твердих (пил, важкі метали, мінеральні й органічні з'єднання тощо) – близько 10 %. Атмосферний пил сприяє конденсації пари, а отже, утворенню хмар, вона поглинає та відбиває сонячну радіацію.

Ґрунти є головним компонентом біосфери, саме вони забезпечують живлення біогенними речовинами рослин, які зі свого боку, годують весь світ консументів. Ґрунт має складний профіль у розрізі та складається з декількох

шарів, які формуються внаслідок пересування і перетворення в ньому речовин. Верхній шар називають родючим шаром ґрунту або гумусовим шаром.

Головні чинники родючості:

- відсотковий вміст гумусу в гумусовому шарі;
- потужність (товщина) гумусового шару;
- хімічний склад ґрунтів – зміст хімічних елементів, біогенних речовин, мікроелементів;
- механічний склад, тобто розміри частинок, здатність до склеювання частинок ґрунту (кращу здатність до склеювання мають ґрунти, які насичені гумусом);
- мікробіологічна активність: мікроорганізми перетворюють хімічні елементи на доступну для рослин форму.

На формування різного типу ґрунтів впливають такі ґрунтоутворювальні чинники: клімат, рослинність, тварини, мікроорганізми, властиві певній кліматичній зоні, рельєф, ґрунтоутворювальні породи.

Опади визначають водний режим ґрунтів і впливають на процес їхнього утворення. Відомі такі режими:

- промивний водний режим – велика кількість опадів промиває ґрунт до ґрунтових вод, що призводить до інтенсивного вимивання продуктів ґрунтоутворення;
- періодично промивний водний режим, що характеризується чергуванням обмеженого промочування ґрунтів в посушливі роки та промивання ґрунту у вологі роки;
  - непромивний водний режим – волога в ґрунті знаходиться у формі пари, розподіляється тільки у верхніх горизонтах і не досягає ґрунтових вод (найсприятливіший режим для ґрунтоутворювального процесу).
  - випітний режим – притаманний напівпустельній, пустельній та степовій зонам, для яких властиве переважання висхідних потоків вологи в ґрунтах і випаровування теоретично значно перевищує кількість опадів.

## *Типи ґрунтів*

Усього в світі виокремлюють понад 100 типів ґрунтів, тільки на Україні їх більше 40 типів. До головних типів ґрунтів належать такі.. Підзолисті ґрунти сформувалися при промивному водному режимі, поширені в тайговій зоні, поліссі, вміст гумусу в них не більше 1–3 %, потужність гумусового шару – до 20 см. Сірі лісові ґрунти поширені в лісостеповій зоні, сформувалися в умовах періодично промивного режиму, ґрунти багаті, гумусу в них до 4–8 %, потужність гумусового шару – 40–50 см. Бурі лісові ґрунти сформувалися в умовах промивного режиму, поширені в зоні широколистяних лісів у Карпатах, Закарпатті, Західній Європі гумусу в них до 1–5 %, потужність гумусового шару – до 20 см. Чорноземи (найбагатші ґрунти світу) сформувалися в умовах непромивного режиму, поширені в зоні лугових степів. Близько 60 % світових чорноземів припадає на Росію й Україну, решта – у Канаді та Східній Європі. Мають темний колір, містять до 8–10 % гумусу (іноді до 20 %), потужність гумусового шару в чорноземах – 50–120 см (іноді може становити 200–250 см). Чорноземи – найбільше багатство України. Каштанові ґрунти поширені в зоні сухих степів на півдні України та Молдавії. Вони формуються в умовах непромивного режиму, вміст гумусу в них становить 3–8 %, потужність гумусового шару 50–80 см. унаслідок випадіння невеликої кількості опадів в цих зонах можуть бути значні недобори врожаю, а для поліпшення ситуації потрібно проводити зрошування. Червоноземи та жовтоземи – ґрунти вологих субтропіків, сформувалися в умовах промивного режиму, поширені в Закавказзі, Китаї, Японії. Вміст гумусу – до 5–6 %, потужність гумусового шару – до 20 см. Коричневі ґрунти сухих субтропіків сформувалися при непромивному режимі, поширені на півдні Європи, півночі Африки, півдні Криму, гумусу містять до 4 %, потужність гумусового шару – до 40 см. Червоні, жовті, оранжеві ґрунти (мають такий відтінок кольору через присутність сполук заліза) формуються при промивному режимі в умовах великих опадів (до 2000 мм у рік) і високої температури в зоні дощових тропічних лісів. Ці ґрунти бідні, малопотужні, вміст гумусу в них – до 1 %, потужність гумусового шару –

до 7 см. Це спричинено тим, що відмираюча біомаса при такому кліматі швидко розкладається мікроорганізмами та залучається до біологічного кругообігу. Сіроземи – ґрунти пустель і напівпустель формуються у разі випотного режиму, вміст гумусу в них – до 1 %, потужність гумусового шару – до 5–10 см. Такі ґрунти вимагають постійного зрошування.

Живі організми, що живуть у біосфері, становлять живу речовину планети. Взаємодія повітря, води, гірських порід і живих організмів зумовило формування ґрунтів і осадкових порід.

*Біологічний, геологічний кругообіги речовин у природі, кругообіг води*

Головні кругообіги речовин у природі: біологічний (малий), кругообіг води й геологічний (великий).

Біологічний кругообіг. Живі організми складаються з тих самих хімічних елементів, що й вода, повітря, мінерали гірських порід і ґрунтів. У живих організмах їх виявлено понад 30. Переважають у складі живих організмів кисень, водень, вуглець, кальцій, сірка та інші хімічні елементи. Різниця полягає тільки в складності молекул і кількості хімічних елементів: одних більше в живих організмах, інших – у зовнішньому середовищі. Наприклад, молекули води, складових повітря, ґрунтових мінералів порівняно прості, а живих організмів – дуже складні, деякі складаються з мільйонів атомів.

Біологічний кругообіг – це колоподібна циркуляція хімічних елементів між живими організмами та зовнішнім середовищем. Полягає вона в надходженні хімічних елементів із ґрунту, гідросфери й атмосфери до живих організмів; перетворенні в них елементів, що потрапили, на складні органічні сполуки, а згодом повернення цих елементів із відмерлими організмами до ґрунту, атмосфери та гідросфери через ланку редуцентів.

Продуценти будують свій організм із простих неорганічних сполук, переробляють їх на складні органічні сполуки; консументи аналогічні перетворення починають зі складніших сполук; редуценти вивільнюють хімічні елементи, які є в складі органічних сполук, унаслідок чого вони знову можуть



включатися в кругообіг. Цей кругообіг притаманний тільки біосфері та є головним для підтримання біологічного життя на нашій планеті.

Кожний хімічний елемент зі складу живих організмів проходить через біологічний кругообіг у біосфері.

На Землі постійно відбувається перенесення води в масштабі усєї планети, насамперед між океаном і сушею. Вода випаровується з поверхні океанів, морів, річок, озер, суші й повертається на ці самі території або переноситься повітряним потоком на великі відстані та випадає у вигляді опадів. Загалом на планеті загальний об'єм опадів дорівнює об'єму води, що випарувалася. На континенті випадає більше опадів, ніж випаровується, різницю становить річковий стік. Із поверхні океану більше випаровується води, ніж випадає опадів, різниця поповнюється річковим стоком. Весь запас води на Землі розпадається та відновлюється приблизно за 2 млн років.

Опади, які випадають на землю, розподіляються на три частини.

Перша частина стікає по поверхні землі й утворює поверхневий стік (дуже важливий показник). По поверхні вода стікає в струмки, річки, що прямують в океан. Поверхневий стік містить в своєму складі частинки ґрунту, розчинені хімічні речовини, детрит, гумус, іноді він дуже забруднений, але в природних екосистемах об'єм його невеликий. У зв'язку з господарською діяльністю (вирубання лісів тощо) об'єм поверхневого стоку значно збільшився, що спричинило чимало екологічних проблем.

Друга частина опадів вбирається в ґрунт, утримується в його капілярах і використовується рослинністю в процесі фотосинтезу або випаровується в атмосферу наземною частиною рослин (транспірування).

Третя частина опадів вбирається ґрунтом, просочується на глибину, заповнює тріщини, пори ґрунтів і утворює підземні води, які вимивають розчинні мінерали гірських порід і виносять їх у водні об'єкти.

Кругообіг води постійно очищує та поповнює прісноводі системи оскільки з осадами та опадами випадає прісна вода, очищена внаслідок випаровування.

Геологічний кругообіг. Цей кругообіг речовин зумовлений взаємодією сонячної енергії з глибинною енергією Землі та перерозподіляє речовини між біосферою і глибшими горизонтами Землі. Осадкові гірські породи, утворені шляхом вивітрювання магматичних порід, у рухомих зонах земної кори знов потрапляють до зони високих температур і тиску. Там вони переплавляються та утворюють магму – джерело нових магматичних порід. Після підняття цих порід на земну поверхню і впливу процесів вивітрювання, знов відбувається трансформація їх у нові осадкові породи. Геологічний кругообіг відбувається не по колу, а по спіралі, тобто новий цикл кругообігу не повторює старий, а зазнає змін.

#### *Цілісність біосфери як глобальної екосистеми Землі*

Біосфера – особлива оболонка Землі, що містить усю сукупність живих організмів і ту частину речовини планети, яка знаходиться в безперервному обміні з цими організмами.

Усі компоненти біосфери (верхні горизонти літосфери, рельєф, клімат, води, ґрунти, біота) знаходяться в складній взаємодії, утворюючи однорідну за умовами розвитку єдину систему.

Головне джерело енергії для біосфери – сонячна радіація, вона забезпечує фотосинтез, кругообіги хімічних елементів, є джерелом первинної продукції.

Продуктивність біосфери складається з продуктивності різних екосистем. Цілісність біосфери зумовлена безперервним обміном речовини й енергії між її складовими частинами. Біосфера – це цілісна глобальна екосистема, що розвивається, вона саморегульована, і від її цілісності залежать усі живі організми на Землі, зокрема і людина.

### **1.4 Біологічна різноманітність Землі. Ноосфера як нова стадія еволюції біосфери**

Основою стійкості біосфери є біологічна різноманітність складових її екосистем. Вища стадія розвитку біосфери – ноосфера. Ноосфера – це сфера взаємодії людини та суспільства, у межах якої розумна людська діяльність стає

головним, визначальним чинником розвитку. Інакше кажучи, ноосфера – оточуюче людину середовище, у якому природні процеси обміну речовин і енергії контролюються суспільством.

## **2 АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ**

### **2.1 Антропогенний вплив на атмосферу, головні забруднювальні речовини, їхнє походження**

*До головних забруднювальних речовин, що поступають в атмосферне повітря, належать такі:*

- оксид вуглецю (CO)
- оксиди нітрогену (NO<sub>x</sub>) (під загальною формулою NO<sub>x</sub>, зазвичай розуміють суму NO і NO<sub>2</sub>),
- діоксид сірки (SO<sub>2</sub>)
- вуглеводні (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>)
- пил.

Ці речовини становлять 98 % від маси решти всіх забруднювачів, через що називають *головними*. *Головні забруднювальні речовини атмосфери мають природне й антропогенне походження.*

*Природне походження: вулканізм, ґрунтові процеси, поверхня моря, океанів, заповищені бурі, лісові пожежі тощо, а для оксидів нітрогену – грозові розряди.*

*Антропогенне походження:*

*1. Оксид вуглецю (CO) – найпоширеніша та найбільш значна домішка атмосфери. Головна маса викидів CO утворюється в процесі спалювання палива – автотранспорт, ТЕС, котельні, промисловість. Найвища концентрація CO спостерігається на вулицях і площах з інтенсивним рухом транспорту. CO – агресивний газ, що легко з'єднується з гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін. У цьому разі погіршується гострота зору, порушуються функції головного мозку, діяльність серця, легенів, виникає головний біль, сонливість, порушується дихання. Ступінь дії CO на організм людини залежить*

від тривалості дії та змісту карбоксигемоглобіну. В атмосфері CO поступово окислюється до CO<sub>2</sub>.

2. *Оксиди нітрогену (NO<sub>x</sub>)*, – утворюються в процесі горіння при високій температурі під час окислення частини нітрогену що знаходиться в атмосферному повітрі. Головними джерелами викидів NO<sub>x</sub> є автотранспорт, ТЕС, промислові печі тощо. Іншими джерелами NO<sub>x</sub> є промислові підприємства, що проводять азотні добрива, азотну кислоту, анілінові фарбники, віскозний шовк тощо.

Під час контакту оксидів азоту з водяною парою, поверхнею слизової оболонки утворюються кислоти, що може призвести до набряку легенів.

3. *Діоксид сірки (SO<sub>2</sub>)*. На його частку доводиться до 95 % від загального об'єму сірчистих з'єднань, що поступають від антропогенних джерел. Головним джерелом є спалювання вугілля, мазуту на ТЕС, у котельних, у промисловості. Іншими джерелами SO<sub>2</sub> є металургія, будівельна промисловість, вироблення сірчаної кислоти й інші різновиди промисловості.

Діоксид сірки дратує слизисту оболонку рота, око, у роті виникає неприємний присмак, під час з'єднання з вологою повітря або слизової оболонки утворюється сірчана кислота.

4. *Вуглеводні (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>)*. Головне техногенне джерело – пари бензину, метан, пентан, гексан – автотранспорт. За умов неповного згорання палива відбувається також викид циклічних вуглеводнів, що володіють канцерогенними властивостями. Вуглеводні володіють наркотичною дією, спричиняють головний біль, запаморочення, кашель, неприємні відчуття в горлі.

5. *Пил*. Головні джерела утворення *пилу* в атмосфері: будівельна промисловість, ТЕС, які споживають вугілля високої зольності, чорна та кольорова металургія, місця складування промислових і побутових відходів, автотранспорт, кар'єри видобутку корисних копалин, розроблені ґрунти тощо. Розміри порошинок у повітрі становлять від сотих долей до декількох десятків мікрометрів. Зазвичай в їхньому складі виявляються з'єднання кремнію,

кальцію, вуглецю, а також оксиди металів. Пил шкідливо діє на людину, рослинний і тваринний світ, у людей можуть виникати специфічні захворювання.

#### *Глобальні екологічні проблеми, пов'язані із забрудненням атмосфери*

Серед глобальних екологічних проблем унаслідок забруднення атмосфери багато учених виокремлюють:

- порушення озонового шару;
- парниковий ефект;
- кислотні дощі;
- смоги;

*б. Порушення озонового шару.* Озон  $O_3$  – мікрогаз, що входить до складу повітря, є третьою алотропною формою кисню. Алотропія – властивість певних хімічних елементів існувати у вільному вигляді в декількох видозмінах, що різняться фізичними та хімічними властивостями, наприклад, вуглець існує у вигляді вугілля, графіту й алмазу. Дві інші алотропні форми – це атомарний кисень  $O$  і молекулярний кисень  $O_2$ . Газ синього кольору, у рідкому стані темно-синій, у твердому – синьо-фіолетовий. Озон був відкритий у 1840 р. відомим німецьким хіміком Христіаном Шенбейном. За його специфічний запах Шенбейн назвав його таким, що «пахне» («озон» – з грецької «що пахне»). Малі концентрації озону в повітрі створюють відчуття свіжості, що можна відчувати після грози.

У присутності оксидів азоту токсичність озону збільшується в 20 разів. Розчинність озону у воді майже в 7 разів вище за розчинність кисню. У кислому середовищі розчинність озону зменшується, у лужному – збільшується. Набагато вище розчинність озону у галогеновуглеводнях (залежно від температури в 2–1000 і більше разів). Цю властивість використовують під час його зберігання, оскільки озон вибухонебезпечний у всіх агрегатних станах.

В ультрафіолетовому спектрі озон має сильну смугу поглинання в інтервалі 0,2–0,3 мкм (200–300 нм) із максимумом, якщо довжина хвилі становить 0,255 мкм (смуга Гартлея). У зв'язку з низькою енергією відриву

атома О від молекули  $O_3$ , озон є сильним окислювачем. Він окисляє всі метали, за винятком золота і металів платинової групи (сімейство елементів восьмої групи періодичної системи, що включає платину, рутеній, родій, паладій, осмій і іридій; разом із золотом і сріблом вони становлять групу благородних металів). Озон реагує з більшістю інших елементів, переводить нижчі оксиди у вищі тощо. Озон окисляє багато органічних речовин – олефіни, ароматичні з'єднання, насичені вуглеводні, спирти тощо, до того ж як проміжні речовини утворюються продукти приєднання озону, які називаються озонідами.

Загальна маса озону в атмосфері Землі  $4 \cdot 10^9$  т, тобто всього  $0,64 \cdot 10^{-6}$  від маси всієї атмосфери. Вміст озону ( $O_3$ ) у стратосфері (1–8) млн<sup>-1</sup> і близько (1–100) млрд<sup>-1</sup> – у тропосфері.

Забруднювальна діяльність людства поки серйозно торкнулася тільки *тропосфери* і *стратосфери*. У зв'язку з цим у нашому розгляді фігуруватимуть тільки *тропосферний* і *стратосферний озони*.

У літературі з агрономії (науці, що вивчає будову, фізику та хімію атмосфери, зокрема і проблему озону) зустрічаються найрізноманітніші *одиниці вимірювання змісту озону*: мікрограми на грами, приведені сантиметри, нанобари, міліметри ртутного стовпа і багато інших. Нині найпоширенішими є *такі одиниці вимірювання*:

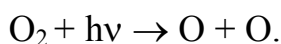
– для визначення кількості озону в якій-небудь точці атмосфери користуються поняттям *концентрації озону*, тобто кількістю молекул в одному кубічному сантиметрі газу – тропосфері та стратосфері властиві коливання концентрацій  $O_3$  у межах  $10^{11}$ – $10^{12}$  см<sup>-3</sup>;

– для визначення загальної кількості озону в стовпі атмосфери користуються *одиницями Добсона* – скорочено о.Д.. Щоб зрозуміти сенс *одиниць Добсона*, потрібно уявити собі, що зі стовпа атмосфери з одиничним перетином «вितягували» всі молекули  $O_3$  і «посадили» їх на горизонтальний майданчик на поверхні Землі. Тоді вони покриють майданчик шаром, який дорівнюватиме в середньому для всієї земної атмосфери 2,9 мм. Товщина цього шару в одну тисячну частку сантиметра і відповідає *одній одиниці Добсона*.

Чому ж відбуваються сезонні й широтні коливання в озоннім шарі?

Причиною таких коливань є фотохімічні та динамічні процеси, властиві земній атмосфері. Розглянемо їх докладніше.

Під впливом ультрафіолетового випромінювання Сонця, яке ми позначимо  $h\nu$ , в атмосфері відбувається дисоціація молекули кисню на два атоми:



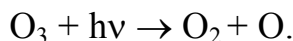
Атоми кисню, що утворилися, або з'єднуються знов між собою у присутності третьої молекули М:



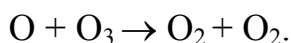
або взаємодіють із молекулою  $\text{O}_2$  (також у присутності іншого тіла), утворюючи молекулу озону:



На озон, так само як і на молекулярний кисень, впливає сонячна радіація, під дією якої він руйнується:



Окрім цього, будучи хімічно активними, атоми О і молекули  $\text{O}_3$  можуть активно взаємодіяти між собою:



У останній реакції гинуть відразу дві кисневі активні частинки, що народилися внаслідок попередніх реакцій, а утворюються молекули  $\text{O}_2$ , яких в атмосфері і так багато. Те, скільки врешті-решт буде в атмосфері молекул озону, визначається як *швидкістю його утворення*, так і *швидкістю його загибелі*. Якщо сонячне випромінювання відсутнє або послаблено (ніч, зима, весна й осінь у високих широтах тощо), усі руйнування молекул  $\text{O}_3$  визначаються їхньою взаємодією з атомами кисню (остання реакція).

Таку схему процесів для опису поведінки озону вперше запропонував у 1930 р. англійський геофізик Чепмен, через що вона отримала назву цикл Чепмена. Нині в цикл Чепмена, що описує поведінку О і  $\text{O}_3$  в атмосфері, включають вже близько двох десятків реакцій, що враховують усі особистості процесу, зокрема вплив і інших газів.

Знаючи потік сонячного випромінювання та константи хімічних реакцій, можна розраховувати *рівноважні концентрації озону* на різних висотах. *Рівноважна концентрація* – це та концентрація, яка утворюється та існує за час життя мікрогазу в атмосфері при *двох фотохімічних реакціях*, що одночасно діють: *утворення і руйнування* молекул. Враховують і ще один чинник – «*час життя*» або «*час перебування*». *Час життя* (іонів, електронів, атомів, молекул) позначається зазвичай через  $t_f$ , і є часом, який певна частинка (наприклад, молекула озону) встигає проіснувати між народженням в одному процесі й загибеллю в іншому. Отже,  $t_f$  становитиме фотохімічний час життя озону або час життя щодо фотохімічних процесів.

*На потужність озонного шару найбільше впливають вертикальні рухи повітря, пов'язані із загальною циркуляцією атмосфери.* Наприклад, потік повітря в стратосфері спрямований униз. Але чим нижче, тим слабкіше джерела руйнування озону (ультрафіолетові активні сонячні промені поглинулися вище, атомів кисню мало), тим довше озон живе, тим до великих концентрацій буде він накопичуватися. Отже, низхідні потоки повітря в стратосфері повинні приводити до потовщення шару озону, тобто до збільшення його загальної кількості. Навпаки, при висхідних потоках повітря шар озону, що утворюється в максимумі, потраплятиме в область із дуже коротким часом життя (ультрафіолетові сонячні промені більше, атомів гоже, тобто існують умови для здійснення руйнівних реакцій). Отже, при висхідних потоках шар озону повинен бути «тонким» і піднятим вгору, а загальна кількість озону повинна бути менше, ніж при низхідних.

#### *Зменшення шару стратосферного озону, озоноруйнівні речовини*

Людство повністю заселило, а також забруднило планету. Забруднило Світовий океан, підземні й поверхневі води, ґрунти та приземне повітря. Діяльність людини загрожує стратосфері, а саме збереженню озонного екрану планети. Як свідчать дослідження останніх десятиліть, стратосферний озону стає менше.



Фахівці в багатьох галузях людської діяльності давно вже користуються терміном «тренд», який позначає тенденцію зміни якого-небудь параметра в часі. Нас цікавить «тренд» *загальної кількості озону в стратосфері*, в який бік (зменшення або збільшення) він спрямований та яка його величина.

Виокремлювати багаторічні «тренди» загальної кількості озону дуже важко, оскільки існує сильна міжрічна, сезонна, міждобова та навіть внутрішньодобова мінливість цієї величини. Шукають «тренд» на тлі регулярних і нерегулярних варіацій, які відрізняються не на 1–2, а на десятки відсотків.

Одні співвідносять *зменшення озону* зі *зменшенням сонячної активності внаслідок 11-річного циклу*, а інші – з *антропогенними забруднювачами атмосфери*. Яскравий приклад того, як забруднення атмосфери (глобальне за своїм значенням) може призводити до катастрофічних локальних змін загальної кількості озону, є феномен його весняного зниження над Антарктидою, що отримав назву *озонної «дірки»*.

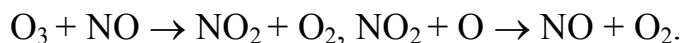
Розглянемо, унаслідок яких антропогенних дій може руйнуватися озонний екран у стратосфері.

Сімейства, що можуть негативно впливати на озон:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HO}_x$ ,  $\text{ClO}_x$ .

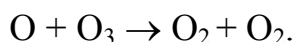
*Каталіз* – явище зміни швидкості перебігу реакцій, що спричиняється різноманітними хімічними речовинами. Речовини, які змінюють швидкість хімічних реакцій однією тільки своєю присутністю, а самі не змінюються, називаються *каталізаторами*. Саме такими каталізаторами в процесах руйнування стратосферного озону є групи оксидів нітрогену, водню та хлору, які позначають як «сімейства»  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HO}_x$ ,  $\text{ClO}_x$ .

Ми обмежимося тільки кінцевими з погляду обговорення долі озону етапами каталітичних циклів. Проте варто зважити на те, що приведені нижче каталізатори ( $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$ ,  $\text{KO}$  і  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{ClO}$  і  $\text{Cl}$ ) утворилися в атмосферному повітрі внаслідок інших реакцій за участю хімічних реагентів, що поступають в атмосферу у вигляді продуктів природних процесів у природі або антропогенного забруднення. Розглянемо ці каталітичні реакції.

У 1971 р. майже одночасно в наукових журналах з'явилися дві незалежні роботи, присвячені одній проблемі – збереженню озонного екрану стратосфери. Розглядаючи фотохімічні процеси, що відбуваються у стратосфері, американський учений Гарольд Джонстон і німецький учений Пауль Крушен звернули увагу на цикл із двох реакцій:



Чим же цікаві ці реакції? Подивіться на їхні ліві частини. Загинула одна молекула оксиду нітрогену й одна молекула діоксиду нітрогену. А що ж у правій частині? З'явилися по одній молекулі NO і NO<sub>2</sub>. Це означає що, витрати ні оксиду, ні діоксиду нітрогену в цих двох реакціях не відбувається, ці речовини є каталізаторами. Що ж відбувається? Знов подивимося на ліві та праві частини реакцій. Зникли (вступили в реакцію) атом O і молекула O<sub>3</sub> та утворилися дві молекули O<sub>2</sub>. Якщо записати те, що відбулося, у вигляді однієї результуючої реакції, то можна отримати:



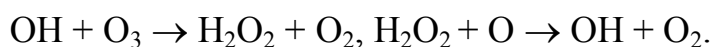
Ця реакція грає важливу роль у встановленні *рівноважної концентрації озону*.

Відмінність системи двох попередніх реакцій від останньої реакції полягає в тому, що ефективність систем залежить від концентрації оксидів азоту NO<sub>2</sub> і NO, що виконують функцію каталізатора. Очевидно, що при достатньо високих концентраціях NO і NO<sub>2</sub> швидкість загибелі O і O<sub>3</sub> унаслідок дії каталітичної системи двох реакцій може стати у багато разів вище, ніж по останній реакції, яка грає в атмосфері важливу роль і визначає, як ми вже говорили, *рівноважну концентрацію озону*. Отже, якщо ефект каталітичної системи – сильніший за ефект останньої реакції, то концентрація O<sub>3</sub> в атмосфері буде визначатися вже швидкістю загибелі O і O<sub>3</sub> у системі реакцій і буде менше, ніж у разі дії тільки останньої реакції. Наскільки буде менша концентрація озону це залежить тільки від того, наскільки великі будуть концентрації каталізаторів.

Це є спрощений виклад головної ідеї Джонстона і Крутцена. Зрозуміло, що якщо внаслідок діяльності людини кількість оксидів нітрогену в стратосфері

зростає вище певного рівня, рівноважна концентрація озону почне падати. Загалом не важливо, які саме оксиди нітрогену ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) потраплятимуть в атмосферу. У процесі швидких реакцій із кисневими сполуками між оксидами нітрогену встановлюється внутрішнє співвідношення, тому для проблеми руйнування озону істотна тільки сумарна кількість нітрогенних сполук, що потрапляють в атмосферу. Позначимо їх умовно  $\text{NO}_x$ .

Каталітичний цикл руйнування озону можливий за участі не тільки оксидів нітрогену  $\text{NO}_x$ , але також і оксидів водню. У цьому разі каталітичний цикл виглядає так:



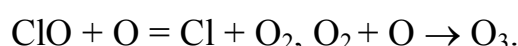
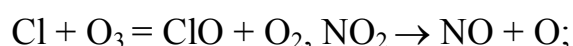
Виглядає все так, як із нітрогенним циклом. І сенс той самий: молекула гідроокислу  $\text{OH}$  загинула – молекула перекису водню  $\text{H}_2\text{O}_2$  утворилася, молекула  $\text{H}_2\text{O}_2$  загинула – молекула  $\text{OH}$  відновилася. Немає спаду ні  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ні  $\text{OH}$ , а молекули  $\text{O}_3$  і атоми  $\text{O}$  гинуть.

Отже, до циклу каталітичних процесів за участю оксидів нітрогену (нітрогенний цикл) додається ще і водневий цикл. У ньому, як і у разі нітрогенного циклу, беруть участь багато сполук, що містять водень, які позначають зазвичай як сімейство  $\text{HO}_x$ .

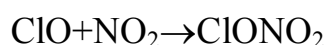
Тобто дві групи хімічних сполук антропогенного походження (сімейство нітрогену і сімейство водню) ведуть війну зі стратосферним озоном.

Взаємодія озону з атомами й молекулами атмосфери та її техногенними забрудненнями у присутності сонячної радіації призводить до руйнування озонового шару. Особливо сильну руйнівну дію на нього надають галогеновуглецеві сполуки, зокрема хлорфторвуглецеві речовини (далі – ХФВ), які використовують у холодильній техніці. Виробництво найширше вживаних ХФВ (фреон-11 ( $\text{CFCl}_3$ ) і фреон-12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ )) швидко збільшилось аж до 1974 р., коли М. Моліна і Ф. Роуланд із Каліфорнійського університету в Ірвіні довели, що ХФВ можуть спричинити руйнування озону. Подальше скорочення виробництва ХФВ відбулося внаслідок активних виступів захисників навколишнього середовища проти використання аерозольних балончиків, що

містять ХФВ. У США їх виробництво було остаточно заборонене в 1978 р. Починаючи з 1982 р. розширення інших сфер застосування ХФВ знову призвело до збільшення їх світового виробництва. Колись ХФВ розглядалися як ідеальні для практичного застосування хімічні речовини, оскільки вони дуже стабільні й неактивні, а тому не токсичні. Як це не парадоксально, але саме інертність цих сполук робить їх небезпечними для атмосферного озону. ХФВ не розпадаються швидко в тропосфері (нижньому шарі атмосфери, який тягнеться від поверхні землі до висоти 10 км), як це відбувається наприклад, з більшою частиною оксидів нітрогену і, врешті-решт, проникають у стратосферу, верхня межа якої розташовується на висоті близько 50 км. Колі молекули ХФВ піднімаються до висоти приблизно 25 км, де концентрація озону максимальна, вони піддаються інтенсивній дії УФ випромінювання, яке не проникає на менші висоти через екрануючу дію озону. Ультрафіолет руйнує стійкі в звичайних умовах молекули ХФВ, які розпадаються на компоненти що володіють високою реакційною здатністю, зокрема атомний хлор. Отже, ХФВ переносять хлор з поверхні землі через тропосферу та нижні шари атмосфери, де менш інертні сполуки хлору руйнуються, у стратосферу, до шару з найбільшою концентрацією озону. Дуже важливо, що хлор у процесі руйнування озону діє подібно до каталізатора: під час хімічного процесу його кількість не зменшується. Унаслідок цього один атом хлору може зруйнувати до 100000 молекул озону, перш ніж буде дезактивований або повернеться в тропосферу. Під дією короткохвильової сонячної радіації, присутньої за озоновим шаром, порівняно стабільні фреони вивільняють атоми вільного агресивного хлору, що вступає з озоном у каталітичну ланцюгову реакцію:



Оксиди нітрогену здатні руйнувати озон, проте, вони можуть реагувати і з хлором, до того ж у процесі цієї реакції зміст озону не міняється. Важливішою є інша реакція:



Хлористий нітрозил, що утворюється в її процесі, є так званим *резервуаром хлору*. Хлор, що міститься в ньому, неактивний і не може вступити в реакцію з озоном. Врешті-решт, така молекула-резервуар може поглинути фотон або вступити в реакцію з якою-небудь іншою молекулою та вивільнити хлор, але вона також може покинути стратосферу. Розрахунки показують, що якби в стратосфері були відсутні оксиди нітрогену, то руйнування озону відбувалося б набагато швидше. Інший важливий *резервуар хлору* – *хлористий водень* HCl, що утворюється під час реакції атомарного хлору і метану CH<sub>4</sub>.

Подібні реакції згубні для озону, що призводить до зростання згубної біологічної дії короткохвильового УФ випромінювання. На сьогодні повсюдно вживають заходів з обмеження викидів в атмосферу галогеновмісних сполук. На стан озонового шару негативно діють польоти космічних кораблів, ракетні двигуни яких викидають у великих кількостях у тропосферу і стратосферу такі «забруднювачі», як HCl, Cl, NO, CO, CO<sub>2</sub>, аерозолі тощо. На долю цих запусків доводиться поки 5–7 % від загального фону забруднення атмосфери транспортними засобами всіх різновидів, але зі збільшенням їх кількості збільшується згубний вплив на озоновий шар і всю атмосферу загалом. Безумовно, не можна відмовитися від розвитку аерокосмічного комплексу, тому зараз проводяться дослідження зі створення оптимальних рецептур ракетних палив, нових типів двигунів, принципово нових способів виведення супутників на навколоземні орбіти.

Певну частку до руйнування озонового шару вносять високоенергійні потоки протонів. Їхня взаємодія з атмосферним середовищем призводить до зменшення кількості озону. Негативно впливають на стан озонового шару викиди в атмосферу хімічної та електронної промисловості.

Отже, на стратосферний озон негативно впливають три чинники – фотохімічні цикли (нітрогенний, водневий і хлорний), три сімейства радикалів NO<sub>x</sub>, HO<sub>x</sub> і ClO<sub>x</sub>, ряди яких безперервно поповнюються шляхом викиду в атмосферу нових різновидів і об'єми забруднювальних речовин. Здавалося б, під їхнім впливом шар озону давно мав би зруйнувати, але, на щастя цей вплив

не настільки значний. *Ефект дії трьох циклів не дорівнює сумі ефектів окремих циклів.* Реакції, що відбуваються між членами різних сімейств (наприклад, між  $\text{NO}_2$  і  $\text{ClO}$ ), як би відволікають хімічно активних радикалів від взаємодії з озоном. Цикл реакцій окислення метану  $\text{CH}_4$  сильно впливає у верхній стратосфері на кількість вільного хлору, а реакція  $\text{NO}_2$  із хлором, що дає неактивний стосовно озону  $\text{ClONO}_2$ , ослабляє вплив на озон обох циклів – і азотного, і хлорного. Але незважаючи на такі «розбіжності» у стані негативних чинників щодо озону, над стратосферним озоном (а це означає – над всіма нами) нависла реальна небезпека. Концентрації сполук сімейств  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HO}_x$  і особливо  $\text{ClO}_x$ , у стратосфері неухильно збільшуються, і внаслідок цього зростає швидкість руйнування озону в хімічних реакціях. До того ж, окрім вказаних трьох сімейств, такими самими каталізаторами є бром ( $\text{Br}$ ) та оксид бромоводню ( $\text{BrO}$ ).

Постійний контроль за станом озонового шару – необхідна умова охорони навколишнього середовища. У цьому плані велике значення має метод лазерного зондування профілів стратосферного озону, що дає змогу отримати інформацію, що не отримується традиційними озонозондами.

### *Парниковий ефект*

Парниковий ефект атмосфери обумовлений як природними причинами, так і причинами антропогенного походження.

Причини, що викликають природний парниковий ефект: пропускаючи до земної поверхні короткохвильову сонячну радіацію, атмосфера поглинає довгохвильове випромінювання земної поверхні й у такий спосіб створює захисну дію атмосфери в процесі променистого теплообміну Землі зі світовим простором. Саме поглинання довгохвильового теплового випромінювання Землі здебільшого залежить від вмісту в атмосфері оптично активних газів, таких як водяна пара, метан, озон, вуглекислий газ, ХФВ тощо. Збільшення  $\text{CO}_2$  в атмосфері, починаючи з 1860 р. і дотепер, обумовлене антропогенними причинами.

Протягом тисячоліть господарська діяльність людини пристосовувалася до

навколишніх кліматичних умов, але не зважала на те, чи діє вона на клімат позитивно або негативно. Коли населення Землі було порівняно невеликим і енергетична озброєність людини була малою, здавалося, що антропогенна дія людської діяльності на природу не може вплинути на стійкість клімату. Але в ХХ столітті діяльність людини набувала таких масштабів, що постало питання про ненавмисну дію господарської діяльності людини на клімат. На клімат впливають такі процеси, що набули глобального характеру значення:

- відкриття величезних масивів землі, що спричиняє зміну альbedo, швидку втрату вологи, підйом пилу в атмосферу;
- знищення лісів, особливо тропічних, що впливає на відтворення кисню, зміни альbedo та випаровування;
- перевипасання худоби, що перетворює степи й савани в пустелі, унаслідок чого змінюються альbedo, висушується ґрунт;
- спалювання викопного органічного палива та надходження в атмосферу  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ;
- викидання в атмосферу промислових відходів, що змінюють склад атмосфери, збільшують зміст радіаційно-активних газів і аерозолів. Останні два процеси збільшують парниковий ефект.

У зв'язку з цим у 30–50 роки ХХІ століття очікується подвоєння змісту вуглекислого газу в атмосфері, що може призвести до зміни середньо глобальної температури нижнього шару атмосфери. За даними вчених, порівняно з минулим століттям очікується таке глобальне потепління нижніх шарів атмосфери внаслідок парникового ефекту антропогенного походження: у 2025 р. на 2–3°C; у 2050 р. на 3–4°C. Особливу тривогу спричиняє прогресуюче збільшення  $\text{CO}_2$ , фторхлорвуглеводнів, метану, закису нітрогену й озону, які створюють парниковий ефект. Оцінки, зроблені в 2001 р., показують, що в атмосфері з 1750 р. до 2000 р. збільшилися концентрації вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) – на 31 %, метану ( $\text{CH}_4$ ) – на 151 %, закису нітрогену ( $\text{NO}_2$ ) – на 17 %. З 1995 р. продовжується збільшення малих газових домішок, що також надають парникову дію та сприяють зменшенню змісту озону. Збільшення концентрації

цих газів дає радіаційне підвищення температури атмосфери.

З іншого боку, природний (виверження вулканів) і антропогенний (викиди господарської діяльності) аерозоль, що викидається в атмосферу, сприяє пониженню температури атмосфери. Проте окремі вулканічні виверження не мають довготривалу дію, але антропогенний аерозоль, який в індустріальну епоху викидається постійно, збільшує концентрацію аерозолу і передусім  $\text{SO}_2$ , особливо в середніх широтах Північної півкулі.

Окрім цих радіаційних дій, потрібно враховувати і зміну притоку сонячної радіації, яка з 1750 р. збільшилася на  $0,3 \text{ Вт/м}^2$ . Усі перелічені радіаційні дії вносять різний внесок до зміни клімату, що призводить унаслідок цього або до потепління, або до похолодання. До того ж просторовий масштаб цього внеску різний: якщо зміна притоку сонячній радіації або збільшення концентрації вуглекислого газу діють глобально, то антропогенні викиди аерозолу спочатку мають локальне розповсюдження та діють локально.

Зрозуміло, що  $\text{CO}_2$  й інші радіаційно-активні гази завдяки парниковому ефекту призводять до нагрівання поверхні Землі й нижньої атмосфери, а це, безперечно, призведе до зміни клімату. Для того, щоб уявити собі, що ж буде з кліматом надалі, важливо оцінити величину викиду цих газів в атмосферу.

Величина викиду  $\text{CO}_2$  в атмосферу залежить від спалювання викопного палива (нафти, газу, вугілля), і з високою вірогідністю визначатиме зростання концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері в XXI столітті.

Викид в атмосферу парникових газів і аерозолів залежить від розвитку людства в XXI столітті, яке зі свого боку визначатиметься демографічними, економічними та технологічними чинниками. Відповідно до деяких зі сценаріїв концентрація  $\text{CO}_2$  в атмосфері до 2100 р. може досягти  $540\text{--}970 \text{ млн}^{-1}$ , тобто її концентрація буде на 90–250 % більше, ніж у доіндустріальний період.

Зростання концентрації інших парникових газів також залежить від певного сценарію. До 2100 р. концентрація  $\text{CH}_4$  може змінитися від 190 млрд до  $1970 \text{ млрд}^{-1}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  – від 38 млрд до  $144 \text{ млрд}^{-1}$  і тропосферного озону від 12 % до 62 % відносно їхньої концентрацій у 2000 р. У деяких сценаріях концентрація



озону в Північній півкулі може досягти гранично допустимого для життя людини рівня. Частка CO<sub>2</sub> у сумарній радіаційній дії протягом усього XXI сторіччя збільшуватиметься від половини до двох третин. Антропогенний аерозоль може і збільшуватися, і зменшуватися залежно від заходів із обмеження викидів аерозолів в атмосферу і способів використання викопного палива.

Щоб оцінити можливі антропогенні зміни клімату, потрібно мати кількісну теорію клімату. Як таку теорію нині використовують математичні моделі клімату різної складності, що ґрунтуються на фізичних законах, виражених диференціальними рівняннями в приватних похідних. Сучасні глобальні кліматичні моделі (далі – ГKM) складаються з моделей атмосфери, океану, верхніх шарів суші, кріосфери та біосфери, що взаємодіють один з одним.

За розрахунками різних ГKM середня глобальна температура протягом 1990–2100 рр. може підвищитися на 1,5–5,8 °C. Таке потеплення не зустрічалось протягом останніх десяти тисяч років. При такому зростанні температури над землею над сушею потеплення буде ще більшим і особливо у високих широтах у холодну пору року. Кількість опадів, імовірно, збільшиться в позатропічних широтах Північної півкулі й в Антарктиді взимку. У низьких широтах можливі як посилення, так і ослаблення опадів – залежно від сценаріїв викидів. Улітку температурні зміни у високих широтах будуть майже в два рази менше, ніж узимку. У зоні між екватором і 60-ою паралеллю температурні відхилення будуть незначними. Наприклад: взимку в північній півкулі вище за 60-у паралель при глобальному потеплінні в 1–3 °C можливе підвищення регіональної температури нижніх шарів атмосфери на 6–10 °C. Таке підвищення температури нижніх шарів атмосфери в цьому регіоні призведе до повного танення льодів у Північному Льодовитому океані. Очікується подальше скорочення сніжного і крижаного покриву в Північній півкулі. Льодовики, за винятком крижаних щитів Гренландії та Антарктиди в XXI столітті відступатимуть. Нарешті, протягом 1990–2100 рр. очікується підвищення середнього рівня Світового океану на 14–80 см (у середньому на

47 см), що в 2–4 рази перевершує приріст рівня в ХХ столітті.

### *Кислотні дощі*

Кислотний дощ – одна з найважчих форм забруднення навколишнього середовища, небезпечна хвороба біосфери! Термін «кислотні дощі» уперше введений британцем Робертом Ангусом Смітом у 1872 р. Кислотні дощі є наслідком взаємної дії один на одного різних сфер Землі: атмосфери, гідросфери, літосфери та біосфери. Кислотні дощі – це планетарний процес, який існував й існує в природі поза діяльністю людини, але останніми десятиліттями багато разів збільшений саме діяльністю людини. Кислотні дощі безпосередньо пов'язані з кругообігом речовин на Землі. Особливо активно процеси кругообігу окремих хімічних елементів і сполук здійснюються в атмосфері. Кругообіг різних речовин в атмосфері може супроводжуватися різними трансформаційними процесами. Викинуті в атмосферу гази або дисперсні тверді частинки можуть унаслідок взаємодії між собою або з вологою повітря трансформуватися і випадати не тільки з вологими осіданнями, але і «сухим» способом.

Спостереження показали, що кількість вологих і сухих опадів однакова. А для різних екологічних систем, чутливих до підкислення, однаково, яким – сухим або мокрим шляхом потраплять до них забруднюючі речовини. Отже, влучніше говорити про *кислотну седиментацію*, а не про кислотні дощі.

Седиментація – це осідання частинок у рідині або газі, що відбувається під впливом сил тяжіння і здійснюється зазвичай із дуже невеликою швидкістю.

Зазвичай до газів, що приводять в атмосфері до кислотної седиментації, належать вуглекислий газ, а також мікрогази, що містять сполуки сірки й нітрогену. Їх називають, мікрогазами або мікроречовинами оскільки зміст цих газів у повітрі вимірюється мільйонними долями відсотка. Проте, не дивлячись на свою малу концентрацію, вони можуть істотно впливати на фізичний або хімічний стан окремих ділянок атмосфери. згодом, переносячись із масами повітря, випадати в тому або іншому агрегатному стані далеко від місця їхньої емісії та активно впливати на води, ґрунти, споруди, рослини і зрештою на

здоров'я людини. В екології *надходження в атмосферу різних, невластивих їй за складом речовин*, називається *емісією*, а *випадання з атмосфери цих речовин* називається *депозицією*.

Приклади шкідливої дії кислотних дощів: у Канаді внаслідок частих кислотних дощів змертволо понад 4000 озер, а 12000 озер знаходяться на межі загибелі, а в Швеції в 18000 озерах порушена біологічна рівновага.

#### *Головні компоненти кислотних дощів*

*Діоксид сірки (SO<sub>2</sub>)* – найпоширеніша забруднювальна речовина антропогенного походження. Він передусім бере участь у формуванні кислотних дощів. Важливу роль грають сульфатні аерозолі. Оскільки утворення сірчаної кислоти з газоподібного діоксиду сірки відбувається у процесі перебігу фотохімічних реакцій за участю радикалів НО, то швидкість утворення кислот залежить від часу доби та пори року. У літній період швидкість перетворення не дуже велика – 50 % атмосферного викиду діоксиду сірки переходить у кислоту за 180 г. Тому при невеликій швидкості вітру (до 1 м/се) діоксид сірки, перш ніж повністю перетворитися на сульфат-аніон, може розповсюджуватися з масами повітря на великі відстані. Особливо велика концентрація діоксиду сірки в районах, де розташовані крупні теплові станції та металургійні заводи.

*Оксид і діоксид нітрогену (NO<sub>x</sub>)*. Головна кількість оксидів нітрогену антропогенного походження виділяється у вигляді оксиду та значно менша частина – у вигляді діоксиду. Оксид нітрогену швидко окислюється до діоксиду. У літній період за умов інтенсивного сонячного опромінювання швидкість перетворення діоксиду нітрогену в кислоту досить велика – 50 % діоксиду переходить у кислоту протягом 10–12 год. Унаслідок високої розчинності у воді (хмари, дощ) і сорбції на зволжених поверхнях, азотна кислота швидко випадає на поверхню. Вміст оксидів нітрогену в промислових і сільськогосподарських регіонах неоднаковий. У містах середньорічна концентрація набагато вища, ніж у сільськогосподарських районах.

*Озон (O<sub>3</sub>)* – один із найбільш небезпечних компонентів, що забруднюють повітря в тропосфері, який активно залучається до окислювальних процесів і є

сильним фітотоксином. У нижньому атмосферному шарі озон утворюється у фотохімічних процесах за участю діоксиду нітрогену і летких органічних сполук. Отже, найвищі концентрації озону спостерігаються у промислових районах, а також у високогірних районах з інтенсивною сонячною радіацією.

*Пероксид водню* ( $H_2O_2$ ) – головний окислювач діоксиду сірки в рідкій фазі. Найменша його концентрація спостерігається у поверхні ґрунту. На висоті 3000 м вона значно вища. Є відмінності й у концентрації пероксиду водню в теплому і холодному фронті хмарного шару. На висоті понад 3000 м вона практично не міняється. Улітку концентрація пероксиду водню на рівень вища, ніж взимку. У низці випадків концентрація пероксиду водню вночі на 10–15 % вище, ніж удень.

Природні опади зазвичай підкислені, за відсутності забруднювачів рН дощової води дорівнює 5,6.

*Кислотними* називають будь-які опади, кислотність яких, вище природної, тобто при  $pH < 5,6$ . Останнім часом середнє значення рН опадів становить 4–4,5, а іноді воно опускається до 3 і навіть нижче. Максимальна зареєстрована кислотність опадів у Західній Європі –  $pH = 2,3$  (для порівняння, домашній оцет має  $pH = 2,3$ ).

Кислотні дощі випадають у всіх промислових районах світу і впливають загалом на екосистеми:

- порушують восковий покрив листя, що робить їх уразливими для комах, грибів і інших патогенних організмів;

- вилуговують біогени з листя, гілок, ґрунтів і виснажують їх. Дію кислотних дощів розслаблює стійкість дерев до засух, хвороб, природних забруднень, що призводить до ще більш вираженої деградації їх як природних екосистем.

Кислотні дощі вилуговують також із ґрунту токсичні метали – свинець, кадмій, алюміній тощо, розчиняють їх, а надалі вони засвоюються живими організмами, передаються по харчовому ланцюгу та негативно на них впливають. Розчинені забруднювачі легко проникають у підземні й поверхневі

води.

Кислотні дощі впливають на ґрунтові організми, уповільнюють їх активність, а також впливають на процеси розкладання та мінералізації детриту.

Під дією кислотних дощів відбувається закислення прісних вод. Підвищення кислотності впливає на популяції різних видів риб, призводить до загибелі фітопланктону, різних видів водоростей та інших його мешканців.

Кислотні дощі руйнують предмети, конструкції з металу (у містах корозія металу відбувається в десятки разів швидше, ніж у сільській місцевості), впливають на будівлі, споруди, пам'ятники архітектури.

### *Смоги*

Атмосферне явище накопичення в повітрі нижньої тропосфери первинних антропогенних забруднювачів і подальше вторинне забруднення тих самих мас повітря продуктами хімічних і фотохімічних реакцій, що відбуваються на основі первинних забруднювачів, отримало назву *смог*.

Ця назва відбулася від поєднання двох англійських слів «smoke» - дим, кіптява і «fog» – густий туман. Насправді смог – це не туман і не дим, це самостійне природне явище антропогенного походження. Зазвичай, смоги утворюються в повітряному просторі великих міст. Проте останніми десятиліттями у зв'язку із розвитком автомобільного та літакового транспорту смоги почали захоплювати навіть окремі регіони.

Розрізняють *три різновиди смогів*.

*Лондонський* або *вологий смог*, головні первинні складники якого – сірчаний ангідрид ( $\text{CaSO}_4$ ), пилюваті частинки сажі та краплі туману.

*Аляскінський* або *крижаний смог*, головні первинні складники якого – газоподібні забруднювачі, пилюваті частинки сажі та кристали льоду, що виникають під час замерзання крапель туману і пари опалювальних систем.

*Лос-анджелеський фотохімічний*, або *сухий смог*, головні первинні складники якого – оксиди нітрогену та вуглеводні. Накопичення цих й інших забруднювачів у повітрі нижньої тропосфери під впливом сонячної радіації

призводить до вторинного забруднення повітря продуктами фотохімічних реакцій. Оксиди нітрогену (насамперед отруйний діоксид нітрогену  $\text{NO}_2$ ), що з'єднуються за участю ультрафіолетової сонячної радіації з вуглеводнями, утворюють *пероксиацетилнитрат* (далі – ПАН) та інші фотохімічні окислювачі, такі як *пероксибензоилнитрат* (далі – ПБН), перекис водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) тощо.

Іншим важливим компонентом *фотохімічного смогу* є *тропосферний озон*. Озон – одна з найбільш небезпечних компонент смогу, таких, що забруднюють повітря, він активно залучається до окислювального процесу та є сильним фітотоксином. Уже порівняно давні натурні спостереження довели істотне зростання концентрації озону в забрудненому повітрі міст при «смогових» ситуаціях.

Аналіз змісту озону в атмосфері великих міст доводить зв'язок між швидкістю його утворення та освітленістю – уранці низька концентрація озону, а до полудня підвищується і досягає максимуму. Рівень концентрації пропорційний концентрації оксидів нітрогену.

Узимку навіть при високій концентрації діоксиду нітрогену унаслідок слабкої освітленості швидкість утворення озону невелика. На швидкість генерації озону великою мірою впливає зміст у повітрі чадного газу та метану.

Наявність у складі смогу ПАН, діоксиду нітрогену та йодистого калію додає йому коричневий відтінок. Під час конденсації ПАН випадає на землю у вигляді клейкої рідини, що згубно діє на рослинний покрив. Узагалі всі окислювачі й передусім ПАН і ПБН сильно дратують і спричиняють запалення очей, і в комбінації з озоном дратують носоглотку, призводять до спазмів грудної клітки, а при високій концентрації (понад  $3 \text{ мг/м}^3$ ) спричиняють сильний кашель і ослабляють можливість на чому-небудь зосередитися.

У містах, схильних до утворення смогових ситуацій, неухильно збільшується кількість хворих що страждають такими захворюваннями, як хронічний бронхіт, емфізема легенів, різні алергічні захворювання та рак легенів.

## 2.2 Антропогенний вплив на ґрунти та його наслідки. Деградація ґрунтів

*Деградація ґрунтів* – це зниження родючості. Вона відбувається у разі засолення, ерозії, запустелювання, забруднення, порушення земель під час будівництва, видобування корисних копалин, складування відходів тощо.

*Засолення ґрунтів.* Ґрунти, що містять в своєму складі легкорозчинні солі в кількості, шкідливій для рослин, називаються *засоленими*. За умов сильного засолення ґрунтів виживають окремі рослини. Засолення ґрунтів може бути *природне* або *антропогенне (вторинне)*.

*Природне* засолення відбувається у процесі формування ґрунтів на засолених колишніх морських породах, наприклад, прикаспійські, присивашські ґрунти. Також засолення розвивається у разі неглибокого залягання мінералізованих ґрунтових вод, підтоплення ґрунтів (вода випаровується, а солі накопичуються).

*Вторинне* засолення відбувається в посушливих районах у разі невмілого зрошування ґрунтів, перевитрати води на полив, а також під час створення водосховищ, що призводить до підйому рівня ґрунтових вод, заболочування і вторинного засолення. В Україні засолені ґрунти є уздовж дніпровських і дністровських водосховищ.

Вторинне засолення зазвичай супроводжується забрудненням ґрунтів важкими металами, пестицидами, нітратами які потрапляють у ґрунти зі зрошувальних систем і ґрунтових вод. У світі до процесів засолення схильні близько 30 % зрошуваних земель.

*Ерозія ґрунтів.* *Ерозія* – це процес руйнування і зношування верхнього найбільш родючого шару ґрунту потоками води (*водна ерозія*) або вітром (*вітрова ерозія*).

*Водна ерозія* розвивається на схилах, виникає вона під дією тимчасових потоків води – опадів, талих вод, які не встигають вбиратися ґрунтом. Розрізняють *нормальну геологічну* і *прискорену антропогенну* ерозію.

*Нормальна геологічна ерозія* відбувається при повільному, невеликому

змиванні опадами частинок ґрунту, покритого природною рослинністю. Значна частина опадів вбирається ґрунтом, невелика втрата ґрунту відновлюється в процесі біологічного кругообігу речовин.

*Прискорена антропогенна ерозія* обумовлюється видаленням природної рослинності, оранням степів, особливо важкою ґрунтообробною технікою, що руйнує структуру ґрунту, надмірним випасом худоби.

Розрізняють *поверхневу* та *яружну* ерозію. При *поверхневій ерозії* опадами змивається верхній шар ґрунту, гумусовий шар скорочується і ґрунт виснажується.

*Яружна* ерозія розвивається там, де рельєф місцевості сприяє скупченню поверхнево стікаючої води. Відбувається розмив ґрунтів по глибині, утворюються розриви, промоїни, а потім яри. Така ерозія призводить до повного знищення ґрунтів.

Найінтенсивніше ерозія розвивається навесні, коли талі води змивають верхній шар ґрунту, що відтанув, і не просочуються в нижній мерзлий шар, що ще не відтанув. Також небезпечні ливневі дощі в період слабкого розвитку рослинності, коли ґрунт не закріплений кореневою системою.

Екологічний збиток від водної ерозії величезний. Виснажуються і знищуються цінні сільськогосподарські ґрунти, знижується їхня врожайність, замулюються річки та водосховища. В Україні до водної ерозії схильні великі площі земель. Це пов'язано з горбистим рельєфом і високим ступенем орання степів. Водна ерозія поширена в Харківській, Хмельницькій, Вінницькій, Черкаській областях, а також у гірських районах Криму і Карпат.

Змив гумусового шару значно знижує врожайність ґрунтів – при змиві ґрунтового шару до 5 см врожайність знижується приблизно на 20 %, при змиві на 5–10 см приблизно на 50 %, при змиві > 10 см – до 80 %.

*Вітрова ерозія (дефляція)* поширена в районах недостатнього зволоження, високих літніх і весняних температур, де періодичні засухи поєднуються з сильними вітрами. Під час вітрової ерозії відбувається видування верхнього найродючого шару ґрунтів. *Інтенсивність вітрової ерозії* залежить від



швидкості вітру, наявності рослинного покриву, рельєфу й інших чинників. Величезне значення на її розвиток надають антропогенні чинники – знищення рослинності (орання), випас худоби, неправильне застосування агротехнічних заходів.

*Розрізняють місцеву повсякденну ерозію та пилові бурі.*

*Пилові бурі* виникають при дуже сильних вітрах, *швидкість вітру* може становити 20–40 м/с. Пилові бурі завдають непоправного збитку ґрунтам, вони здатні за декілька годинників видувати до 500 т ґрунту з 1 га ріллі або знести весь родючий шар ґрунту.

*Повсякденна місцева вітрова ерозія* проявляється без буревіїв у вигляді поземок і стовпів пилу – при невеликих швидкостях вітер ніби мете по землі, до того ж поволі й методично руйнується ґрунт.

Унаслідок вітрової ерозії у складі ґрунту збільшується зміст піщаних фракцій і зменшується – пиловатих. Урожайність ґрунтів знижується так само, як і при водній ерозії. В Україні вітрова ерозія поширена на півдні й південному сході країни та обумовлена сухістю, сильними вітрами і неправильним сільськогосподарським використанням.

*Забруднення ґрунтів.* Ґрунти акумулюють усі забруднювачі, що поступають від різних джерел. Розрізняють забруднення *промислове, сільськогосподарське і радіоактивне.*

*Промислове забруднення.* Ґрунт забруднюється продуктами викидів в атмосферу з промислових підприємств які потім вимиваються опадами або осідають на ґрунт. До головних джерел забруднювачів належать ТЕС, автотранспорт, металургійна, коксохімічна, будівельна, харчова й інші галузі промисловості. До інтенсивних забруднювачів ґрунтів належать відходи виробництва. Мільйони тонн відходів складуються в сховища, вони постійно пилять, пил переноситься вітром на великі відстані й осідає в ґрунт.

Забруднення нафтопродуктами відбувається під час їх здобування, транспортування та використання.

*Сільськогосподарське забруднення ґрунтів* може відбуватися у разі

застосування добрив (наприклад, відходи тваринницького комплексу) та у разі використання пестицидів. За умов внесення наднормативних доз добрив вони можуть досягти небезпечних концентрацій в ґрунтах і продуктах харчування, а також потрапляти в підземні або поверхневі води. Отже, потрібно точно розраховувати дози добрив. Небезпечні відходи тваринницьких комплексів, що містять велику кількість нітратів.

*Пестициди (отрутохімікати)* використовують у сільському господарстві для боротьби зі шкідниками. Найпоширенішими є такі типи пестицидів:

- інсектициди – використовуються для боротьби з комахами;
- гербіциди – використовуються для боротьби з бур'янами;
- бактерициди – використовуються для боротьби з бактерійними хворобами;
- фунгіциди – використовуються для боротьби з грибними хворобами.

До використання пестицидів спостерігалися катастрофічні втрати врожаю. Їх застосування знижує такі втрати, зменшує витрати праці, допомагає зберегти сільськогосподарську продукцію але призводить до маси екологічних проблем.

*Розрізняють три покоління пестицидів:*

1. Спочатку використовували *пестициди, що містять важкі метали* – ртуть, миш'як, свинець тощо. Ці метали накопичуються в екосистемах, практично не розкладаються та передаються по харчовому ланцюгу, впливаючи у такий спосіб на всі живі організми.

2. Потім були створені *хлорорганічні сполуки*. Найрозповсюдженішими були ДДТ, ГХЦГ, ГХБ тощо. Порівняно низька вартість, а також псевдонизька токсичність дали змогу широко їх використовувати. Але виявилось, що пестициди цієї групи володіють тими самими недоліками, що і з першої групи. Наприкінці 1970-х років ДДТ і ГХЦГ були заборонені до використання в багатьох країнах.

3. Третю групу становлять *фосфорорганічні сполуки*. Вони діють порівняно вибірково до окремих різновидів і досить швидко розкладаються в ґрунті. Сучасні пестициди належать саме до цієї групи.

Загалом варто зазначити такі проблеми застосування пестицидів:

1. Вони мають *широкий спектр дії*, розподілення на групи умовно, переважна їх частина потрапляє у воду, повітря, призводить до глибоких змін в екосистемах, діючи на всі живі організми, тоді як людина використовує їх для знищення обмеженого числа різновидів.

2. Пестициди біоакумулюються в харчовому ланцюзі. Вони легко переносяться вітром, водою, живими організмами. Їх виявляють там, де ніколи не застосовували, наприклад, у льодах Антарктиди, Гренландії.

3. Пестициди впливають на всі живі організми, зокрема на людину, пригнічують імунну систему, надають канцерогенну та мутагенну дію.

4. Тривале застосування пестицидів обумовлюється появою нових стійких до них різновидів шкідників. Отже, людина має створювати все нові й нові пестициди.

*Запустелювання* – один із глобальних проявів деградації ґрунтів, це процес необоротної зміни ґрунту, рослинності та зменшення біологічної продуктивності. Це результат тривалого процесу, коли несприятливі явища природи та діяльність людини, підсилюючи один одного, призводять до зміни природного середовища. Запустелюванню сприяють вирубування лісів, інтенсивне відкриття степів, зниження рівня ґрунтових вод, надмірний випас худоби, ерозія та забруднення ґрунтів. До запустелювання схильні понад 1 млрд га земель практично на всіх континентах.

*Відчуження земель.* Ґрунтовий покрив незворотно порушується при відчуженні земель для несільськогосподарського використання – будівництва, прокладки трубопроводів, ЛЕП, доріг, у процесі видобування корисних копалин, складуванні відходів. Загальна площа зруйнованих земель, тих що раніше давали сільськогосподарську продукцію, перевищує всю площу орних земель, які нині використовують у землеробстві.

*Самоочищення ґрунтів* – природне позбавлення від забруднювальних речовин унаслідок природних фізичних, біологічних і хімічних процесів у ґрунтах.

*Фізичне самоочищення* – це розбавлення забруднювачів опадами, фільтрація в підземні води, міграція в атмосферу, до того ж забруднення не зникає, а знижується концентрація забруднювачів в ґрунті, вони переносяться від одних ділянок на інших.

*Біологічне самоочищення* базується на поглинанні та розкладанні забруднювачів насамперед ґрунтовими мікроорганізмами. Здатність ґрунтів до самоочищення залежить від температури, вологості, кислотності ґрунтів, від концентрації та різновиду забруднювачів. У багатьох регіонах інтенсивність забруднень перевищує їхню здатність до самоочищення. Наприклад, забруднення важкими металами, радіонуклідами практично вічно, вони накопичуються в екосистемах.

*Хімічне самоочищення* відбувається під час нейтралізації деяких забруднювачів компонентами ґрунтів.

### **2.3 Антропогенний вплив на гідросферу та його наслідки**

Головними джерелами забезпечення водою людства є *річковий стік* і *підземні води*. Половині населення планети не вистачає води.

Для забезпечення прісною водою застосовують такі методи:

- створюють водосховища на річках, що регулюють річковий стік; затоплюються великі території земель і виявляються інші негативні наслідки;
- з метою економії земельних ресурсів створюють підземні колектори та водосховища, які закачують воду в паводковий період;
- використовують підземні води;
- опріснюють морську солону воду (у світі є понад 800 опріснювальних станцій);
- імпортують прісну воду по трубопроводах, судами, автотранспортом і літаками;
- існують проекти з перевезення твердої води у вигляді айсбергів з Антарктиди до прибережних районів Південної Африки, Америки, Аравійського півострова.

Одночасно з пошуками шляхів отримання прісної води проводиться

боротьба з її втратами, забрудненням, зниженням водоспоживання.

Виокремлюють такі способи використання води: *водокористування* та *водоспоживання*.

*Водокористування* – це використання води як середовища або механічного джерела без вилучення її з водного об'єкта, наприклад, для водного транспорту, рибного господарства тощо.

*Водоспоживання* супроводжується відбором води з джерела для потреб населення, промисловості, сільського господарства тощо. *Водоспоживання на потреби населення* характеризується *питомим водоспоживанням* – добовий об'єм води в літрах, необхідний для забезпечення всіх потреб одного жителя міста або села. *Питоме водоспоживання* в містах значно більше, ніж у селах і залежить від ступеня впорядкування (наявність водопроводу, каналізації тощо) коливаючись у великих межах: у містах – 200–600 л/добу, у сільській місцевості – 50–200 л/добу. До зниження водоспоживання призводить обладнання квартир лічильниками, сучасний ремонт комунікацій, зменшення втрат тощо.

*Промислове водоспоживання* залежить від *схеми водопостачання*, галузі промисловості. *Схема водопостачання* може бути *прямоточною* та *оборотною*. За *прямоточною схемою* вода з водного об'єкта подається на промислове підприємство, використовується в технологічному процесі, згодом поступає на очисні споруди й після очищення скидається у водний об'єкт. За такою схемою витрата води дуже велика. За *оборотною схемою* відпрацьована вода після очищення не скидається у водний об'єкт, а використовується в технологічному процесі, що призводить до значного зниження витрат.

Водоспоживання різних виробництв істотно відрізняється. Найбільшу кількість води споживає атомна станція – у 2–3 рази більше теплової. Середня витрата води на 1 тонну готової продукції в м<sup>3</sup> становить: здобування і збагачення залізняку – 2–4; вироблення сталі – 150–200; вироблення целюлози – 400–500; вироблення синтетичного волокна – 1000–1100; вироблення синтетичного каучуку – до 3000.

*Сільськогосподарське споживання.* Найбільша кількість води призначена на зрошування; воно залежить від клімату, різновиду зрошуваних культур, стану зрошувальних систем. Багато води потрібно для зрошування овочевих культур, бавовника, рису тощо. У процесі зрошування відбуваються втрати води на випаровування, повертається ж вода у водні об'єкти з підземними водами в невеликому об'ємі та з іншим хімічним складом.

#### *Джерела забруднення гідросфери*

До головних джерел забруднення гідросфери належать:

- скидання у водні об'єкти неочищених або недостатньо очищених стічних вод;
- змивання поверхневим стоком забруднювачів у водні об'єкти;
- підземні води, що містять розчинені забруднювачі;
- атмосферні опади, що вимивають забруднювачі з атмосфери;
- витіки нафти та нафтопродуктів у процесі транспортування.

Найбільше забруднення водних об'єктів відбувається під час скидання *неочищених промислових, комунально-побутових стічних вод.* Стічні води – це води, забруднені в процесі використання в побуті або в промисловості.

*Промислові стічні води* забруднюють екосистеми різними компонентами залежно від специфіки галузей промисловості. Переважний тип забруднювачів – нафтопродукти, зважені речовини, важкі метали, органічні речовини, синтетичні поверхнево-активні речовини (далі – СПАВ) тощо.

Джерела забруднення нафтопродуктами – нафтопереробна промисловість, будь-які підприємства, що використовують нафтопродукти, а також водне транспортування нафтопродуктів. Нафтопродукти утворюють на воді тонку плівку, що перешкоджає проникненню сонячного світла і збагаченню киснем. Джерела важких металів – металургійна, металообробна промисловість.

Стічні води хімічних і інших підприємств містять багато складних органічних речовин тих, що раніше не існували в природі. Особливо поширені *детергенти* (СПАВ), вони входять до складу миючих і чистячих засобів, застосовуються при виробництві полімерів тощо. Вони містять фосфор,

нітроген – живильні речовини для рослинних організмів – що призводить до зростання фітопланктону, «цвітіння», виснаженню кисню у водних об'єктах, до яких вони потрапляють.

*Комунально-побутові стічні води* містять різні органічні речовини, СПАВ, а також хвороботворні бактерії та інші мікроорганізми.

Дуже багато небезпечних забруднювачів надходить у водні об'єкти з *поверхневим стоком*. З сільськогосподарських територій змиваються відходи, ґрунт, гумус, добрива, пестициди, що потрапляють у водні об'єкти зазвичай без очищення і тому мають високу концентрацію забруднювальних і біогенних речовин.

Значну небезпеку становлять *пилогазові викиди промислових підприємств*, що осідають з атмосфери на поверхню водозбірної площі й безпосередньо на водну поверхню.

#### *Евтрофування водних об'єктів*

Розрізняють дві життєві форми водних рослинних організмів: *бентосну* і *фітопланктонну*.

*Бентосна рослинність* – водна трава, яка розвивається, прикріплюючись до дна, живильні речовини (біогени) бере з донних відкладень, але потребує проникнення крізь товщу води достатнього для фотосинтезу сонячного світла.

*Фітопланктон* – мікроскопічні водорості, розвиваються біля поверхні або на поверхні води, каламутність води на нього не впливає, він сам є причиною помутніння води. Фотосинтез фітопланктону не поповнює глибинні води киснем, який замість цього випаровується в атмосферу. Біогенні речовини він бере з води – чим більше їх у воді, тим більше фітопланктону. У фітопланктону життєвий цикл дуже короткий, під час його розкладання бактерії споживають багато кисню скорочуючи його кількість у воді.

*Евтрофуванням* називається збагачення водних об'єктів біогенними речовинами, стимулювальними зростання фітопланктону, що призводить до збільшення каламутності води, загибелі бентосної рослинності, зменшення концентрації розчиненого кисню. Риби, що мешкають на глибині, та моллюски

при цьому задихаються. Вода квітне, має неприємний запах, стає непридатною до користування. Щоб цього не відбувалося, потрібно скорочувати надходження біогенних речовин і наносів у водні об'єкти. Наноси ще більш ускладнюють цю проблему. Головне джерело наносів – поверхневий стік, що змиває голі ґрунти на будмайданчиках, не закріпленій рослинністю ґрунт і відходи з відвалів.

Головні джерела біогенів – ґрунти, добрива, пестициди, відходи тваринництва, що змиваються поверхневим стоком із сільськогосподарських угідь, із газонів, недостатньо очищені комунально-побутові, промислові стічні води, що містять органічні речовини, детергенти тощо.

*Самоочищення вод* – сукупність процесів, що перебігають у водних об'єктах і спрямованих на відновлення первинних властивостей і складу води. Воно відбувається внаслідок *природних фізичних, хімічних і біологічних процесів*.

*Фізичне самоочищення* – поглинання домішок донними відкладеннями, зваженими речовинами, осадження на дно зважених речовин під дією сили тяжіння, газообмін між атмосферою та водою.

*Біологічне самоочищення*, зазвичай, вносить головний внесок до процесу самоочищення води та базується на поглинанні й розкладанні забруднювачів мікроорганізмами. Залежить від температури, кислотності, концентрації забруднювачів, активності мікроорганізмів.

*Хімічне самоочищення* – розпад частинок під дією сонячного світла, взаємодія різних речовин між собою та з водою. Цей різновид самоочищення залежить від температури та концентрації забруднювачів.

При невеликих концентраціях органічних забруднювачів раніше влітку річки самоочищалися на відстані 30–40 км від скидання стічних вод, а у наш час антропогенне навантаження на річки часто перевищує здібність до самоочищення.



## 3 ГОЛОВНІ ПРИНЦИПИ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 3.1 Ресурсозбереження, безвідходні й маловідходні технології, утилізація відходів, екологізація виробництва

Головною причиною забруднення навколишнього середовища є ресурсоемні забруднювальні технології, що призводять до утворення відходів і їх величезного накопичення. Технології, що дають змогу отримати мінімум твердих, газоподібних і рідких відходів, називаються *маловідхідними*. Розроблення маловідхідних технологій – найраціональніший спосіб охорони навколишнього середовища від забруднень.

До головних напрямів *екологізації* виробництва належать такі заходи:

- створення принципово нових технологічних процесів, що дають змогу скоротити утворення відходів;
- раціональне та комплексне використання сировини;
- енергозбереження;
- розроблення систем перероблення відходів;
- розроблення і впровадження безстічних і водооборотних технологічних систем.

#### *Енергозбереження*

Головний шлях вирішення еколого-енергетичних проблем – це енергозбереження. За розрахунками українських учених шляхом енергозбереження в Україні можна було б у два рази зменшити вироблення електроенергії, а це означає, що не були б потрібні всі побудовані АЕС.

Головні напрями енергозбереження полягають у такому:

1. *Зменшення енергоємності продукції* шляхом модернізації технологій. Наприклад, в США на одиницю продукції, що випускається, витрачалося в середньому в два рази менше електроенергії, чим у колишньому СРСР, а в Японії така витрата була в три рази меншою.

Значно економиться енергія за допомогою *зниження металоємності продукції, підвищення її якості, збільшення терміну життя*. За умов

*підвищенні теплоізоляції перекриттів, дверних і віконних отворів будівель і споруд, трубопроводів значно знижуються втрати тепла. Важливу роль в енергозбереженні грає оснащення промислових підприємств, житлових будинків й інших об'єктів лічильниками газу і тепла.*

*2. Підвищення ККД котлів ТЕС, котельних, а також використання електроенергії. Зменшення втрат в електро- і тепломережах у процесі виробництва та транспортування електричної та теплової енергії. Значно підвищується ККД під час будівництва ТЕЦ замість ТЕС.*

*Заміна ламп розжарювання на люмінесцентних призводить до скорочення витрати електроенергії в два, три рази (ККД ламп розжарювання становить 5–8 %, люмінесцентних ламп – 20 %, а новітніх натрієвих ламп високої напруги – до 30 %).*

*3. Утилізація енергомістячих відходів. Значні об'єми відходів вугільної, коксохімічної, нафтопереробної, деревообробної, сільськогосподарської промисловості можна використовувати як енергетичні ресурси. Багато з них можна брикетувати простим способом і використовувати як тверде паливо. Інший перспективний напрям перероблення відходів – це їх газифікація, зрідження (отримання рідкої вуглеводневої маси) отримання біогазу.*

*4. Перехід на інтелектуальні технології (комп'ютерні, телекомунікаційні, біогенні тощо), як значно менш енергоємні, а також більш високорентабельні й екологічно чисті. Інтелектуальний потенціал України має високий рівень, потрібно тільки використовувати в нашій країні.*

*Найважливішим напрямом в охороні навколишнього середовища є створення безстічних і водооборотних технологічних систем водокористування, заміна водосмних процесів тими, що використовують мало води. *Оборотне водопостачання* – багатократне використання у виробництві відпрацьованих вод після їх очищення і оброблення.*

*Прогресивним напрямом є передавання стічних вод на інші підприємства, де встановлено менш жорсткі вимоги до якості води, якщо домішки, що містяться в ній, підвищують якість продукції, яка випускається (наприклад*

передача стічних вод хімічних підприємств на підприємства будівельного виробництва).

### 3.2 Нормування якості навколишнього середовища

Основою всіх природоохоронних заходів є *принцип нормування якості навколишнього природного середовища*, який полягає у встановленні нормативів гранично допустимих впливів людини на навколишнє природне середовище.

Головні екологічні нормативи якості навколишнього середовища:

*санітарно-гігієнічні:*

- гранично допустима концентрація шкідливих речовин (далі – *ГДК*);
- допустимий рівень фізичних дій (шуму, вібрації, іонізаційного випромінювання тощо);

*виробничі:*

- гранично допустимий викид шкідливих речовин в атмосферу (далі – *ГДВ*);
- гранично допустиме скидання шкідливих речовин у водні об'єкти (далі – *ГДС*);
- норматив утворення відходів у виробництві;

*комплексні:*

- допустиме антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище.

*Гранично допустима концентрація* – це кількість забруднювальних речовин у ґрунті, повітряному й водному середовищах, які при постійному або тимчасовому впливі на людину не пошкоджують її здоров'я та призводять до негативних проявів у її потомстві.

Останнім часом під час визначення *ГДК* ураховують також вплив забруднення на тварин, рослини, мікроорганізми, а також суспільство загалом.

Для оцінки якості атмосферного повітря встановлено дві категорії *гранично допустимих концентрацій (ГДК, мг/м<sup>3</sup>)*: *максимальна разова (ГДК<sub>м.р.</sub>)*

*i середньодобова (ГДК<sub>с.д.</sub>).*

*ГДК<sub>м.р.</sub>* – головна характеристика небезпеки шкідливої речовини, встановлена для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світловій чутливості, головному болю тощо) при короточасній дії атмосферних домішок. За цією ознакою оцінюються речовини, що мають запах або що впливають на інші органи чуття.

*ГДК<sub>с.д.</sub>* – встановлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного й інших впливів на організм людини.

Встановлюється *ГДК* за медичними показниками.

Для забруднювальних речовин встановлюється *класи небезпеки*:

- *перший* – надзвичайно небезпечні;
- *другий* – високонебезпечні;
- *третій* – помірно небезпечні;
- *четвертий* – малонебезпечні.

*Фактична концентрація* забруднювальних речовин в атмосферному повітрі визначається за допомогою спеціальних приладів – газоаналізаторів у приземному шарі атмосфери. *Середньодобова концентрація* дорівнює середньоарифметичному значенню разових проб, відібраних з певною періодичністю, *максимальне значення* відповідає *максимальній разовій концентрації*.

У житловій зоні фактична концентрація не повинна перевищувати нормативного значення:  $C_{\text{факт.}} \leq \text{ГДК}$ .

Деякі речовини при одночасній присутності в атмосферному повітрі діють однонаправлено, тобто має місце ефект сумачії. У цьому разі при оцінці якості атмосферного повітря повинна виконуватися така умова:

$$C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + \dots + C_n/\text{ГДК}_n \leq 1,$$

де  $C_1, C_2 \dots C_n$  – концентрації речовин, для яких є справедливим ефект сумачії, мг/м<sup>3</sup>;

*ГДК<sub>1</sub>, ГДК<sub>2</sub> ... ГДК<sub>n</sub>* – граничнодопустимі концентрації цих речовин.

Для кожного промислового підприємства для всіх стаціонарних джерел

забруднення встановлюється *гранично допустимий викид (ГДВ)* забруднювальних речовин.

*ГДВ* – кількість кожної забруднювальної речовини, що викидається окремим джерелом в одиницю часу, при якому приземна концентрація цієї забруднювальної речовини в селитебній зоні не перевищуватиме гранично-допустиму, вимірюється вона в грамах в секунду (г/с), кілограмах в добу (кг/добу), тоннах в рік (т/год).

Джерела забруднення можуть бути *безперервної* та *періодичної дії, залпові й миттєві*. До джерел забруднення належать високі труби, вентиляційні викиди, аераційні ліхтарі, відкриті вікна, витяжні шахти, відкрите технічне обладнання тощо.

При *залпових* викидах в атмосферу викидається велика кількість забруднювальних речовин за короткий проміжок часу. Залпові викиди можливі при аварійних ситуаціях. *ГДК<sub>м.р.</sub>* розраховується на залпові викиди.

Забруднювальні речовини, що викидаються в атмосферу, *розсіюються в атмосфері*. На їх розсіювання впливають *кліматичні чинники* (температура повітря, швидкість і напрям вітру, вологість повітря, осідання тощо) і *виробничо-технологічні чинники* (різновид палива, висота заводських труб, склад і температура газових викидів, об'єм і маса забруднювальних речовин тощо).

Розсіювання розраховується на комп'ютері за спеціальними програмами. Результати розрахунків розсіювання оформлюються для кожної забруднювальної речовини у вигляді *ізоліній*, що наносяться на схему генплану підприємства або району.

Під час встановлення зон забруднення підприємством для визначення місць розміщення селитебних районів критерієм є *ГДК*.

Під *гранично допустимою концентрацією забруднювальної речовини в ґрунті (ГДК, мг/кг)* розуміють максимальну концентрацію, при якій не буде порушена самоочищувальна здатність ґрунту, не відбуватиметься накопичення забруднювачів у сільськогосподарській продукції.

*ГДК* у ґрунтах встановлюється для важких металів, вуглеводнів, пестицидів. Під час встановлення *ГДК* враховують такі показники:

- надходження забруднювальних речовин із ґрунту в рослини через кореневу систему;
- надходження забруднювальних речовин із ґрунту в підземні води;
- надходження забруднювальних речовин із ґрунту в атмосферу;
- дія забруднювальних речовин на ґрунтові живі організми.

Оцінюють *ГДК* за зниженням урожайності культур, а також за накопиченням хімічних елементів у біомасі (де не повинні накопичуватися забруднювачі). *ГДК* забруднювачів встановлюють за загальним змістом їх в ґрунті та за змістом їх у рухомій формі.

Для *водного середовища ГДК* – це максимальна концентрація забруднювальної речовини у воді, при перевищенні якої вода стає непридатною для одного або декількох різновидів водокористування. *ГДК* встановлюють окремо для *комунально-побутової* та *рибогосподарської* категорії водокористування. Вимоги до якості води для рибогосподарських водоймищ жорсткіші, ніж для комунально-побутових.

У процесі скидання стічних вод у водний об'єкт розраховують *гранично допустиме скидання (ГДС)* забруднювальних речовин – максимальну кількість речовини в стічній воді, допустиму для скидання в одиницю часу, при якому не буде перевищена *ГДК* у певному створі. Норму *ГДС* встановлюють з урахуванням здібності водного об'єкта до самоочищення.

*Гранично допустимий рівень радіаційної дії (ГДР)* – це рівень, який не становить небезпеку для здоров'я людини, стану тварин, рослин, мікроорганізмів. *ГДР* встановлюється на підставі норм радіаційної безпеки.

*ГДР* встановлюється також для дії шуму, вібрації, магнітних полів та інших шкідливих фізичних дій.

Головним комплексним нормативом якості навколишнього природного середовища є допустима норма антропогенного навантаження. Це максимально можливі антропогенні впливи на природні ресурси або комплекси,

що не призводять до порушення стійкості екосистем. Необхідно, щоб сукупне антропогенне навантаження на природне середовище не перевищувало її самоочищувальну здатність. Поняття *граничне допустимого навантаження на природне середовище* повинно лежати в основі природокористування.

### **3.3 Методи очищення пило-газових викидів у повітря, архітектурно-планувальні заходи**

#### *Захист атмосфери*

Заходи щодо охорони атмосферного повітря умовно можна розподілити на такі групи: *екологізація технологічних процесів, очищення пилогазових викидів, архітектурно-планувальні й інженерно-організаційні заходи.*

#### *Методи очищення пилогазових викидів*

Для очищення газів від пилу застосовують *сухі, мокрі й електричні* способи.

*Сухі* способи базуються на виокремленні пиловатих частинок від газового потоку за допомогою спеціального обладнання – пилоосаджувальних камер, циклонів, фільтрів (тканинних, волокнистих, зернистих).

*Мокрі* способи очищення базуються на поглинанні пилу водою, яка розбризкується форсунками або подається безперервно проти запиленого потоку повітря. Утворюється велика кількість стічних вод, які необхідно очистити.

*Електричні* способи застосовують для уловлювання цементного, гіпсового, вугільного пилу. Основою процесу очищення є іонізація пилоподібних частинок під впливом електричного поля. Заряджені частинки осідають на поверхню електроду з протилежним за знаком електричним зарядом і видаляються з електродів шляхом струшування.

Очищення викидів від газів здійснюється такими методами:

*1. Метод абсорбції* полягає в пропуску газового потоку через рідкі розчини мінеральних або органічних речовин. Забруднювачі реагують із цими речовинами та випадають в осад. Наприклад, для очищення газового потоку від

діоксиду сірки застосовують вапняне молоко, від сірководню – розчин кальцинованої соди та миш'яку.

2. *Метод адсорбції* полягає в пропуску газового потоку через твердий пористий матеріал, що поглинає газові забруднювачі. Як адсорбент використовують активне вугілля, вапняк. Переваги цього способу – високий ступінь очищення, недолік – гази повинні бути сухими та не містити в своєму складі пил.

3. *Біохімічні способи* базують на здатності мікроорганізмів руйнувати та перетворювати різні сполуки. Ці методи застосовують для очищення газів постійного складу. У разі частой зміні газового складу мікроорганізми не встигають адаптуватися до нових речовин. При цьому способі очищення газовий потік пропускається через водну суспензію активного мула (*активний мул* – колоїдна маса мінерального й органічного складу, насичена мікроорганізмами), ґрунт, торф, компост.

Вибір методу очищення здійснюють на підставі техніко-економічних розрахунків.

Архітектурно-планувальні заходи – комплекс прийомів, що включають вибір майданчика для будівництва промислового підприємства, взаємне розташування підприємства та житлових кварталів, взаєморозташування цехів підприємства, організування санітарно-захисних зон та зелених зон.

Підприємства повинні бути розташовані на рівному, піднесеному, добре провітрюваному місці, із підвітряного боку від житлових масивів. Цехи, де виникає найбільше забруднювальних речовин, потрібно розташовувати на краю виробничої території з боку, протилежного житлового масиву. Взаємне розташування цехів повинне бути таким, щоб при напрямі вітру у бік житлових кварталів їх викиди не об'єднувалися.

Промислові підприємства повинні бути відокремлені від житлових районів *санітарно-захисною зоною* (далі – *СЗЗ*). Розміри *СЗЗ* встановлюють за нормативами залежно від *шкідливості* та *потужності* підприємства в межах від 50 м до 1000 м.



Таблиця 3.1 – Нормативні розміри СЗЗ

Клас небезпеки підприємства	Розмір СЗЗ, м
1	1000
2	500
3	300
4	100
5	50

СЗЗ не можна розглядати як резервну територію та використовувати її для розширення промислового майданчика. На її території допускається розміщення об'єктів нижчого класу шкідливості, ніж основне виробництво – складів, гаражів тощо. Територія СЗЗ повинна бути упорядкована й озеленена, рослини, використовувані для озеленення повинні бути ефективні в санітарному плані й достатньо стійкими до забруднення атмосфери та ґрунтів. Під час проектування озеленення СЗЗ варто надати перевагу створенню змішаних деревно-чагарникових насаджень, що мають велику біологічну стійкість і високі декоративні якості порівнянно з однорідними посадками.

### **3.4 Захист ґрунтів від ерозії, засолення, механічного руйнування**

До головних напрямів із захисту ґрунтів від деградації належать такі заходи: *захист від заболочування і засолення, водної та вітрової ерозії, забруднення, запобігання необґрунтованому вилученню земель із сільськогосподарського обороту, рекультивация порушеного ґрунтового покриву.*

Для боротьби із заболочуванням внаслідок порушення природного водного режиму застосовують різні осушні меліорації для пониження рівня ґрунтових вод, наприклад, будівництва дренажів, відкритих каналів, водозабірних споруд тощо.

Для попередження засолення ґрунтів необхідно передбачати промивання зрошуваних земель із перехопленням і відведенням промивних вод за допомогою дренажних систем, дотримуватись норм поливу, виконувати

гідроізоляцію зрошувальних каналів для виключення фільтрації зрошувальних вод і підйому рівня ґрунтових вод.

Для боротьби з *водною ерозією* потрібно вжити комплекс протиерозійних заходів:

- попередження ерозії, що полягає у відведенні поверхневого потоку за допомогою спеціальних каналів, улаштованих у верхів'ї схилу;
- закріплення ґрунту кореневою системою рослинності, яка сприяє фільтрації опадів у ґрунт, знижує швидкість поверхневого потоку;
- створення замкнутого рослинного покриву, чергування багато- і однорічної рослинності на схилах;
- орання впоперек схилу;
- терасування схилів, створення на них валиків, борозенок, дрен;
- при ухилі схилу  $> 16^\circ$  ґрунти виключають із землеробства.

Для боротьби з *вітровою ерозією* передбачають:

- висадку захисних лісових смуг що зменшують швидкість вітру в приземному шарі;
- агротехнічні методи: мінімальне оброблення ґрунту (орання без перевертання ґрунту), смугове чергування культур, залишення стерні на полях тощо;
- закріплення ґрунту рослинністю або спеціальними полімерами.

Для запобігання *забрудненню ґрунтів пестицидами* застосовують природні методи боротьби із шкідниками: використання природних ворогів із попереднім виявленням цих ворогів і виключенням збитку іншим різновидам.

*Відчуження земель під час будівництва, складування відходів, видобування корисних копалин* необхідно зводити до мінімуму:

- мінімально використовувати цінні сільськогосподарські й лісові угіддя для будівництва, прив'язувати дорожні траси, комунікації до тих, що вже існують;
- дотримуватись норм відведення земель у процесі будівництва;

– покращувати технології, комплексно використовувати сировину, утилізувати відходи що дасть змогу скоротити відчуження земель на складування;

– зберігати родючий шар ґрунту під час виконання земляних робіт;

– проводити рекультивацію порушених земель.

*Рекультивація земель* – це комплекс заходів щодо відновлення земель, порушених унаслідок видобування корисних копалин, будівництва, складування відходів тощо. *Об'єктами рекультивації* є відвали відходів, просілої земної території, що утворюються під час видобування корисних копалин, кар'єри, котловани й інші порушення при різних видах будівництва. Залежно від того, чи планується надалі використовувати порушені землі, розрізняють такі *напрями рекультивації*:

– *сільськогосподарський* – підготовка земель для використання як сільськогосподарських угідь (створення садів, сінокосів на відновлених землях);

– *лісогосподарський* – підготовка земель під лісові насадження різного призначення;

– *водогосподарський* – створення водних об'єктів у відпрацьованих кар'єрах, які заповнюються підземними водами;

– *рекреаційний* – створення зон відпочинку і спорту, парків, спортивних споруд тощо;

– *природоохоронний і санітарно-гігієнічний* – проводиться для тих об'єктів, які непридатні для використання в народному господарстві. Мета цього напрямку рекультивації – попередження забруднювальної дії на навколишнє середовище (наприклад, рекультивація шламосховищ, хвостосховищ – протиерозійні насадження, задернування ґрунтів, закріплення ґрунтів технічними засобами);

– *будівельний* – підготовка земель для промислового і цивільного будівництва.

*Рекультивацію у процесі створення родючих ділянок земель* здійснюють у

два етапи: *технічний* і *біологічний*.

*Технічний етап* передбачає такі підготовчі роботи: будівництво під'їзних доріг, зворотну засипку кар'єрів, зниження ухилу укосів, відвалів або кар'єрів, планування поверхонь відновлюваних земель, нанесення родючого шару ґрунту та інші спеціальні роботи.

При роботах, пов'язаних із порушенням земель потрібно передбачати збереження родючого шару ґрунту. Якість ґрунту, що знімається, оцінюється за хімічним складом, вмістом у ній гумусу, забруднювальних речовин. Родючий шар, що знімається, доцільно відразу використовувати для рекультивації земель або для підсіпки на деградовані, виснажені ґрунти. Якщо такої можливості немає, допускається тимчасове зберігання в спеціальних відвалах – *буртах*. *Бурти* влаштовують так, щоб ґрунт якомога менше втрачав свої родючі властивості. Висота буртів повинна бути не більше 8 метрів.

Для захисту від *водної та вітрової ерозії* укоси влаштовують пологими та засівають їх багаторічними травами з розвиненою кореневою системою (бажано ґрунтопокращувальними культурами – бобами, злаковими).

При зберіганні ґрунту він поступово втрачає свої родючі властивості; не допускається тривале зберігання ґрунтів більше 8 років.

*Біологічний етап* здійснюють після завершення *технічного етапу* та полягає він у відновленні родючості рекультивованих ґрунтів. Цей етап виконується землекористувачами та передбачає внесення мінеральних і органічних добрив, спущення, посів ґрунтопокращувальних культур.

### **3.5 Рациональне використання водних ресурсів, методи очищення стічних вод, водоохоронні зони**

Поверхневі води охороняють від *засмічення, забруднення та виснаження*.

Для попередження від *засмічення* вживають заходів, що виключають попадання у водоймища та річки будівельного сміття, твердих відходів, розробленого ґрунту й інших предметів, що негативно впливають на якість води, умови проживання риб тощо.

Найважливіша і складна проблема – захист вод від забруднення. Із цією метою потрібно вжити таких заходів:

- розвиток безвідходних і безводних технологій, впровадження систем зворотного водопостачання, утилізація відходів;
- очищення промислових, комунально-побутових та інших стічних вод;
- передача стічних вод на інші підприємства, висуваючи менш жорсткі вимоги до якості води та якщо домішки що містяться в ній, не надають шкідливої дії на технологічний процес цих підприємств, а навпаки покращують якість продукції, що випускається (наприклад, передача стічних вод хімічних підприємств на підприємства будівельного виробництва);
- каналування та санітарне очищення міст;
- очищення поверхневого стоку міських промислових територій;
- створення водозахисних зон.

*Методи очищення стічних вод.* Зважаючи на величезну різноманітність складу стічних вод існують різні способи їх очищення – *механічний, фізико-хімічний, хімічний, біологічний* тощо. Залежно від особливостей забруднення і ступеня шкідливості, очищення стічних вод може проводитися одним методом або комплексом методів (*комбінований спосіб*).

При *механічному очищенні* шляхом проціджування, відстоювання та фільтрування видаляють нерозчинні механічні домішки. Для цього використовують ґрати, пісколовки, піщані фільтри, відстійники різних типів. Речовини, що плавають на поверхні стічних вод (нафта, смоли, масла, жири, полімери тощо), затримують нафто- і жироловлювачами або іншого вигляду уловлювачами, шляхом зливу верхнього шару, що містить плаваючі речовини.

*Хімічні та фізико-хімічні* способи використовують для очищення промислових стічних вод. У процесі *хімічного очищення* в стічні води вводять спеціальні реагенти (вапно, кальциновану соду, аміак тощо), які взаємодіють із забруднювачами і потім випадають в осад. Під час *фізико-хімічного очищення* використовують методи коагуляції, сорбції, флотації тощо.

Для очищення комунально-побутових стоків, промислових стоків

целюлозно-паперових, нафтопереробних, харчових підприємств після механічного очищення використовують біологічний метод. Він полягає у здатності природних мікроорганізмів використовувати для свого розвитку органічні й деякі неорганічні сполуки, що містяться в стічних водах. Очищення проводять на штучних спорудах (аеротенках, метантенках, біофільтрах тощо) і у природних умовах (поля фільтрації, поля зрошування, біологічні ставки тощо). Під час очищення стічних вод утворюється *осад*, який видаляють для підсушування на майданчики мула, а згодом використовують як добриво. Проте під час біологічного очищення комунально-побутових стічних вод спільно з промисловими стічними водами, що містять важкі метали та інші шкідливі речовини, ці забруднювачі накопичуються в осіданнях і їх не можна використовувати як добрива.

Важливу захисну роль на будь-якому водному об'єкті грають *водозахисні зони* – спеціальні зони, що влаштовуються уздовж берегів річок, озер, водосховищ. Їхнє головне призначення – охорона водних об'єктів від забруднення, засмічення, ерозійних наносів поверхневим стоком. Ширина водозахисних зон може становити від 100 м до 300 м і більше. У їхніх межах ґрунт повинен бути закріплений рослинністю, мають бути висаджені захисні лісові смуги, забороняється будь-яка господарська діяльність.

Для контролю якості води аналізують її склад і фізичні властивості. Визначають температуру, запах, смак, прозорість, каламутність, зміст розчиненого кисню, біохімічне споживання кисню, кислотність, вміст шкідливих речовин і кількість кишкових паличок в одному літрі води. Усі ці показники не повинні перевищувати нормативні вимоги. Головні заходи щодо захисту підземних вод полягають у запобіганні виснаженню їхніх запасів шляхом регулювання водовідбору та забруднення.

### **3.6 Захист від шкідливих впливів фізичної природи**

*Захист від впливу шуму* – складне завдання для вирішення якого необхідний комплекс мерів. Санітарні норми, прийняті в Україні, при

визначенні допустимого рівня шуму зважають на специфіку приміщень. Наприклад, для житлових будинків середній допустимий рівень шуму в денний час становить 55 дБ, в нічний – 45 дБ.

Заходи із захисту середовища від впливу шуму поділяються на чотири групи:

*I група* – будівельно-планувальна; *II група* – конструктивна; *III група* – зниження шуму в джерелі його виникнення; *IV група* – організаційні заходи.

*I група. Будівельно-планувальна*

1. Використання певних будівельних матеріалів.
2. Акустичне оброблення приміщення (облицювання пористими акустичними панелями).

Для захисту навколишнього середовища від шуму використовуються лісові насадження. Знижується рівень звуку від 5–40 дБА.

*II група. Конструктивна*

1. Встановлення звукоізолювальних перешкод (екранів).  
Реалізація методу звукоізоляції (віддзеркалення енергії звукової хвилі). Використовуються матеріали з гладкою поверхнею (скло, пластик, метал).
2. Акустичне оброблення приміщення (звукопоглинання). Зниження: 45 дБА.
3. Використовують об'ємні звукопоглиначі (звукоізолятор та звукопоглинач). Встановлюється над значними джерелами звуку. Зниження: 30–50 дБА.

*III група. Зниження шуму в джерелі його виникнення*

Найефективніший метод, можливий на етапі проектування. Використовуються двохшарові композитні матеріали. Зниження: 20–60 дБА.

*IV група. Організаційні заходи*

1. Визначення режиму праці й відпочинку персоналу.
2. Планування робочого часу.
3. Планування роботи значних джерел шуму в різних джерелах. Зниження: 5–10 дБА.

Якщо рівень шуму не знижується в межах норми, використовуються індивідуальні засоби захисту (навушники, шлемофони).

*Акустичні засоби захисту від шуму* підрозділяються на засоби звукоізоляції, звукопоглинання та глушники шуму.

#### *Звукопоглинання*

*Звукопоглинанням* називається процес переходу частини енергії звукової хвилі в теплову енергію середовища, в якому розповсюджується звук. Звукопоглинанню властива *дисперсія*, тобто достатньо *сильна залежність від частоти*.

Окрім *частотної характеристики*, звукопоглинання залежить від *кута падіння плоских звукових хвиль на межу розділу*. На практиці використовується *дифузний коефіцієнт звукопоглинання ( $K_n$ )*, який є усередненою величиною коефіцієнтів поглинання для різних напрямів падіння на поверхню матеріалу.

До *звукопоглинальних матеріалів* належать такі матеріали, в яких  $K_n > 0,3$ .

Залежно від *механізму звукопоглинання* матеріали поділяються на декілька різновидів.

До *першого різновиду* належать матеріали, в яких поглинання здійснюється шляхом в'язкого тертя повітря в порах (волокнисті пористі матеріали типу ультратонкого скляного і базальтового волокна), унаслідок чого кінетична енергія падаючої звукової хвилі переходить у теплову енергію матеріалу. Це типовий приклад *диссипативної структури*.

До *другого різновиду звукопоглинальних матеріалів* належать матеріали, в яких, крім в'язкого тертя в порах, відбуваються релаксаційні втрати, зумовлені деформацією нежорсткого скелета (повсть, деревоволокнисті матеріали, мінеральна вата тощо).

До *третього різновиду* належать панельні матеріали, звукопоглинання яких обумовлене деформацією всієї поверхні або деяких її ділянок (фанерні щити, щільні штори тощо). Цей різновид звукопоглинальних матеріалів має максимальне загасання на низьких частотах.

Для збільшення поглинання *пористих матеріалів на низьких частотах* або



збільшують їхню товщину, або використовують повітряний проміжок між матеріалом і огорожею. Максимум поглинання спостерігається тоді, коли повітряний зазор між поверхнями конструкції та матеріалу дорівнює половині довжини хвилі падаючого звукового коливання. У цьому разі буде максимальне збільшення втрат по третю, оскільки звукопоглинальний матеріал розташовується в області найбільшого коливального руху.

*Резонансні конструкції.* Конструкції цього типу використовують резонансні властивості окремих резонаторів інтенсивно поглинати енергію звукової хвилі на певних частотах.

На перфорований лист наклеюється разом із захисним шаром пористий поглинальний матеріал. Ця конструкція розташовується на деякій відстані (повітряний зазор) від стіни (огорожі). Кожний отвір є окремим резонатором, в якому відбувається взаємодія між повітряним зазором і масою повітря в резонаторах.

*Пірамідальні конструкції.* Цей тип звукопоглиначів є пірамідальними каркасами з вершинами, спрямованими всередину приміщень. Гратчасті каркаси заповнюються пористим поглинальним матеріалом (наприклад, мінеральною ватою), обернутим захисною склотканиною, що оберігає поглинаючий матеріал від видування. Пірамідальні конструкції кріпляться на стіні. Коефіцієнт віддзеркалення звукової хвилі в цьому разі дуже малий ( $\leq 3\%$ ), а загальне поглинання таких конструкцій може бути великим у широкому частотному діапазоні.

### *Звукоізоляція*

Під *звукоізоляцією* розуміється процес зниження рівня шуму, що проникає через огорожу в приміщення. *Акустичний ефект* при звукоізоляції забезпечується *процесом віддзеркалення звукової хвилі від огорожі (перешкоди)*. Звукоізоляція зазвичай застосовується спільно зі звукопоглинанням. Для ізоляції джерел шуму на практиці часто застосовуються звукоізолювальні кожухи. Методи звукоізоляції ефективніші за методи звукопоглинання.

До засобів звукоізоляції належать *огорожі, звукоізолювальні кожухи й*

*акустичні екрани.*

Звукоізоляцію характеризують *середніми величинами по всьому частотному діапазону, або величиною звукоізоляції на деяких середніх частотах.*

*Звукоізолювальні кожухи. Конструкція кожухів* відрізняється великим різноманіттям відповідно до типу механізму і може бути *стаціонарною, розбірною, знімною, мати оглядові вікна, двері* тощо. Звукоізолювальні кожухи застосовуються спільно з поглинальними матеріалами та глушниками шуму.

#### *Глушники шуму*

Ці пристрої призначені для *зниження рівня шумів джерел аеродинамічної природи*: газотурбінні установки, газодинамічні системи скидання стислого повітря, випробувальні стенди різних авіаційних двигунів, компресори, вентиляційні камери тощо. *Глушники шуму за принципом дії* поділяються на *абсорбційні, реактивні й комбіновані.*

#### *Абсорбційні глушники.*

Принцип дії базується на поглинанні звукової хвилі в звукопоглинальних матеріалах. Глушники цього типу широко застосовуються в аеродинамічних установках через їхню ефективності в широкому діапазоні частот при порівняно невеликому газодинамічному опорі.

У *трубчастих глушниках* канали виконані з перфорованого листового матеріалу, круглого, прямокутного або квадратного перетинів. Із внутрішньої сторони канали покриті шаром звукопоглинального матеріалу (наприклад, супертонким скляним або базальтовим волокном щільністю  $25 \text{ кг/м}^3$ , мінераловатними плитами щільністю  $100 \text{ кг/м}^3$ ) і захисною склотканиною, що оберігає звукопоглинальний матеріал від видування. *Трубчасті глушники* застосовуються в каналах із поперечними розмірами до 500–600 мм. При необхідному зниженні рівня звукового тиску на 20 дБ в октавній смузі з частотою 500 Гц у каналах із діаметрами 150 мм і 3000 мм довжина *трубчастого глушника* змінюється від 0,6 м до 12 м. Звідси видно, що для колишньої ефективності трубчастий глушник стає неприйнятним через велику

довжину.

Для збільшення загасання звукової хвилі на одиницю довжини в широкому каналі застосовуються *пластинчасті глушники*. У цьому разі у внутрішньому каналі встановлюються паралельні пластини, виконані з різних звукопоглинальних матеріалів. Загальне звукопоглинання у разі *пластинчастих глушників* визначається як товщиною, так і відстанями між пластинами. Варто враховувати дисперсійні характеристики поглинання, тобто залежність загасання хвилі від частоти. При низьких частотах товщина пластин повинна бути більше. На практиці для низьких і середніх частот шуму вибирають товщину поглинаючих пластин від 200 мм до 600 мм. Для високочастотного шуму товщину пластин вибирають від 50 мм до 100 мм. У разі зменшення відстані між поглиначами (пластинами) збільшується як погонне загасання, так і гідравлічний опір.

У глушниках із *циліндровими звукопоглиначами* поглинальними елементами можуть бути набори з окремих циліндрів (діаметром 0,2 м і завдовжки 1 м), виконані з перфорованого металу або сітки та заповнені керамзитовою крихтою. Цей різновид глушника зазвичай застосовують у боксах випробувань турбореактивних двигунів. *Циліндрові глушники* частіше застосовуються при захисті від широкосмугового шуму невеликих аеродинамічних труб у разі зниження рівня на 25–30 дБ.

У *реактивних глушниках* використовується явище віддзеркалення звукової хвилі назад до джерела шуму з використанням відбивачів і об'ємних резонаторів (за аналогією з порожнистими резонаторами, вживаними в НВЧ техніці). Цей різновид глушників *застосовується у тому разі*, коли в спектрі джерела шуму спостерігаються яскраво виражені дискретні складові (поршневі компресори, двигуни внутрішнього згорання тощо). Глушники цього різновиду встановлюють безпосередньо в трубопроводах, поперечні розміри яких менше довжини хвилі звукового коливання, що заглушається.

У *комбінованих глушниках* використовуються явища як поглинання, так і віддзеркалення звуку. Цей різновид *глушників паразитних шумів* є комбінацією

*абсорбційних і резонансних глушників.*

*Екранні глушники застосовуються на виході з трубопроводу в атмосферу для придушення високих частот. Від діаметру екрану та зазору між ним і трубопроводом істотно залежить ефективність глушіння. Діаметр екрану вибирають приблизно в два рази більше діаметру каналу трубопроводу. Зазор вибирається з міркувань ефективності шумоглушіння. Чим менше зазор, тим більше загасання. Проте при дуже малому зазорі різко збільшується гідравлічний опір. Отже, у процесі розроблення та застосування екранного глушника вибирають зазор оптимальної величини.*

### *Захист від вібрації*

*Найдієвішим засобом захисту людини від вібрації є усунення безпосереднього контакту з вібруючим приладом. Здійснюється це шляхом застосування дистанційного керування, промислових роботів, автоматизації та заміни технологічних операцій.*

*Головні технічні заходи боротьби з вібрацією:*

- 1) усунення або зниження вібрації в джерелі виникнення (усунення або зниження збуджувальної сили  $F_m$ );*
- 2) вібродемпфування шляхом збільшення активної складової повного механічного опору системи;*
- 3) динамічне гасіння вібрації шляхом збільшення реактивної складової опору системи.*

*Заходи першої групи повинні бути реалізовані ще на стадії конструювання машин і проектування технологічних процесів. Особлива увага повинна бути приділена виключенню або максимальному скороченню динамічних процесів, викликаних ударами, різкими прискореннями. Ці заходи співпадають із заходами захисту від механічного шуму.*

*Вібродемпфування базується на зменшенні рівня вібрації шляхом перетворення енергії механічних коливань у теплову. Характеристикою вібродемпфування є коефіцієнт втрат.*

*Вібродемпфування може бути реалізоване в машинах з інтенсивними*

динамічними навантаженнями *шляхом застосування матеріалів із великим внутрішнім тертям*. Найефективнішими є сплави на основі систем мідь-нікель, нікель-титан тощо, коефіцієнт втрат яких на 2–3 рівня вищий, ніж у чавуну. Велике внутрішнє тертя мають сплави кольорових металів, чавуни з малим змістом вуглецю та кремнію.

Великий ефект під час вібродемпфування досягається шляхом *нанесення спеціальних покриттів (пружнов'язких матеріалів) на магістралі, по яких розповсюджуються структурні коливання* (трубопроводам, повітряводам).

Ще один спосіб реалізації вібродемпфування – *застосування поверхневого тертя*.

Динамічне *віброгашення* здійснюють шляхом встановлення машин і агрегатів на фундаменти, масу яких розраховують так, щоб амплітуда коливань підшови фундаменту не перевищувала 0,1–0,2 мм, а для окремих споруд – 0,005 мм.

*Віброгашення* реалізується шляхом збільшення маси та жорсткості машин або верстатів. Для цього їх об'єднують в єдину систему з фундаментом за допомогою анкерних болтів або цементної підливки або ж улаштовують установки на опорних плитах і віброгасних основах.

Засоби *віброгашення* за принципом дії підрозділяються на *динамічні й ударні* віброгасники. Перші з них є додатковими коливальними системами, що знаходяться в протифазі з коливаннями агрегату. За *конструкцією* такі віброгасники можуть бути *пружинними, гідравлічними, маятниковими*. Серед *ударних* віброгасників виокремлюють такі: *маятникові* (гасіння на частотах 0,4–2 Гц), *пружинні* (2–10 Гц) і *плаваючі* (понад 10 Гц). Крім того, застосовуються *ударні віброгасники камерного типу*, аналогічні до камерних глушників шуму, які встановлюють на всмоктувальному і нагнітальному боках компресорів.

Окрім цього, *збільшення реактивної складової опору коливальної системи* може бути проведене за допомогою *динамічних віброгасителів*, які є коливальною системою, власна частота якої налаштована на головну частоту

коливань певного об'єкта. Віброгасник жорстко кріпиться на вібруючому об'єкті унаслідок чого в ньому виникають коливання, що знаходяться в протифазі з коливаннями цього об'єкта.

У тих випадках, коли перелічені вище заходи захисту виявляються недостатньо ефективними та не вдається понизити рівень вібрації до допустимих значень, використовують *віброізоляцію*.

*Віброізоляція* полягає в зменшенні передачі вібрації від джерела до об'єкта (людині або приладу), що захищається, шляхом уведення в систему додаткового пружного зв'язку. Віброізоляція є дешевшим способом зниження вібрацій, ніж установа обладнання на підставі, що віброгасять.

Як *віброізолятори* використовують різні матеріали і пристрої: *гумові та пластмасові прокладки; листові ресори; одиночні та складні циліндрові ресори; комбіновані віброізолятори (пружинно-ресорні, пружинно-гумові, пружинно-пластмасові тощо); пневматичні віброізолятори* (із використанням повітряних подушок). Широко використовуються *комбіновані віброізолятори*, що складаються зазвичай із пружини та набору гумових прокладок.

Велике значення в боротьбі з вібрацією має *відхилення від режиму резонансу*, яка здійснюється або зміною характеристик системи або встановленням нового режиму.

Робочим, що виконує роботу з ручним віброінструментом, повинні видаватися *засоби індивідуального захисту*. Це рукавиці, що гасять вібрацію, спеціальне взуття з використанням пружнодемпфуючих матеріалів. Робота з вібруючим приладом повинна проводитися в приміщеннях із опаленням з температурою повітря не менше 16 °С при вологості 40–60 % і швидкості руху повітря не більше 0,3 м/с.

*Захист від електромагнітних випромінювань*

*Способи захисту:*

1) зменшення потужності джерела – зменшення параметрів випромінювання в самому джерелі (захист кількістю) – головні поглиначі – графіт, гума тощо;

- 2) екранування джерела випромінювання робочого місця;
- 3) виокремлення зони випромінювання (зонування території);
- 4) встановлення раціональних режимів експлуатації установок;
- 5) застосування сигналізації;
- 6) захист відстанню (особливо ефективна для НВЧ);
- 7) захист часом (від струму промислової частоти);
- 8) засоби індивідуального захисту (спеціальні костюми).

Для реалізації цих способів застосовуються: *екрани, поглинальні матеріали, атенюатори, еквівалентні навантаження та індивідуальні засоби.*

*Екрани* призначені для ослаблення електромагнітного поля у напрямі розповсюдження хвиль. Ступінь ослаблення залежить від конструкції екрану та параметрів випромінювання. На ефективність захисту істотно впливає також матеріал, з якого виготовлений екран.

Товщину екрану, що забезпечує необхідне ослаблення, можна розрахувати. Проте розрахункова товщина екрану зазвичай мала, тому вона вибирається з конструктивних міркувань. При могутніх джерелах випромінювання, особливо при довгих хвилях, товщина екрану може бути прийнята розрахунковою. *Товщина екрану* здебільшого визначається *частотою* та *потужністю випромінювання* і мало залежить від уживаного металу. Зазвичай для екранування застосовується *металева сітка*. Екрани з сітки мають низку переваг. Вони є видимими, пропускають потік повітря, дають змогу достатньо швидко ставити та знімати екрануючі пристрої.

Для захисту населення від *електромагнітних полів* навколо їхніх джерел створюють *санітарно-захисні зони* (далі – *СЗЗ*). У межах *СЗЗ* не допускається розміщення житлових будинків. Розмір *СЗЗ* визначається розрахунком і може становити від декількох сотень метрів до 1–2 км.

*Дія електромагнітного випромінювання* на організм людини здебільшого визначається *поглиненою в ньому енергією*. Відомо, що випромінювання, яке потрапляє на тіло людини, частково відбивається та частково поглинається в ньому. *Поглинена частина енергії електромагнітного поля перетворюється на*

*теплову енергію.* Ця частина випромінювання проходить через шкіру і розповсюджується в організмі людини залежно від *електричних властивостей тканин* (абсолютної діелектричної проникності, абсолютної магнітної проникності, питомої провідності) і частоти коливань електромагнітного поля.

Окрім *теплової дії* електромагнітні випромінювання *призводять до поляризації молекул тканин тіла людини, переміщення іонів, резонансу макромолекул і біологічних структур, нервових реакцій та інших ефектів.*

Із зазначеного виходить, що внаслідок опромінювання електромагнітними хвилями в тканинах організму людини відбуваються складні фізико-біологічні процеси, які можуть бути причиною порушення нормального функціонування як окремих органів, так і організму загалом.

Люди, що працюють під надмірним електромагнітним випромінюванням, зазвичай швидко стомлюються, скаржаться на головні болі, загальну слабкість, болі в області серця. У них збільшується пітливість, підвищується дратівливість, стає тривожним сон. У окремих осіб при тривалому опромінюванні з'являються судоми, спостерігається зниження пам'яті, з'являються трофічні явища (випадання волосся, ламкість нігтів тощо).

*Норми допустимого опромінювання* встановлюються для забезпечення безпечних умов для обслуговуючого персоналу джерел випромінювання та всіх навколишніх осіб.

*Напруженість електромагнітних полів на робочих місцях не повинна перевищувати:*

1) за електричним складником:

у діапазоні частот (60 кГц–3 МГц) – 50 В/м;

(3–30 МГц) – 20 В/м;

(30–50 МГц) – 10 В/м;

(50–300 МГц) – 5 В/м;

2) по магнітній складовій:

у діапазоні частот (60 кГц – 1, 5 МГц) – 5 А/м;

(30–50 МГц) – 0, 3 А/м.



Гранично допустима щільність потоку енергії електромагнітних полів у діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц і час перебування на робочих місцях і в місцях можливого знаходження персоналу, пов'язаного професійно з дією полів (окрім випадків опромінювання від антен, що обертаються і скануючих), взаємозв'язані у такий спосіб:

- перебування протягом робочого дня – до  $0,1 \text{ Вт/м}^2$ ;
- перебування не більше 2 г –  $0,1\text{--}1 \text{ Вт/м}^2$ ; у решту робочого часу щільність потоку енергії не повинна перевищувати  $0,1 \text{ Вт/м}^2$ ;
- перебування не більше 20 хв –  $1\text{--}10 \text{ Вт/м}^2$  за умови користування захисними окулярами; у решту робочого часу щільність потоку енергії не повинна перевищувати  $0,1 \text{ Вт/м}^2$ .

Нормування іонізуючих випромінювань і способи захисту від них

Гранично допустимі рівні іонізуючих випромінювань встановлюються «Нормами радіаційної безпеки» (далі – *НРБ*) і гігієнічними нормативами. Ці документи – головні правові нормативні акти в сфері радіаційної безпеки нашої країни. *НРБ* включають визначення і терміни радіаційної безпеки, встановлюють головні дозові межі, ГДК радіоактивних речовин у повітряній зоні, у воді відкритих водоймищ, допустимий вміст радіоактивних речовин в органах тощо. На підставі нормативних вимог встановлюють порядок проведення робіт із джерелами іонізуючих випромінювань і забезпечення ліквідації радіоактивних відходів.

Норма радіаційної безпеки полягає у таких принципах:

- не перевищувати встановлену дозову межу;
- виключити необґрунтоване опромінювання;
- понизити дозу опромінювання до можливого низького рівня.

Відповідно до *НРБ* встановлені такі категорії опромінюваних осіб:

- *категорія А* (персонал) – особи, постійно або що тимчасово працюють з джерелами іонізуючих випромінювань;
- *категорія Б* – обмежена частина населення, що проживає поряд з підприємствами, на яких знаходяться радіоактивні джерела;

– *категорія В* – решта населення країни.

Різні органи людини (і тварин) мають певну чутливість до іонізуючих випромінювань. Відповідно встановлено *три групи критичних органів*:

1) – усе тіло, гонади та червоний кістковий мозок;

2) – м'язи, жирова тканина, щитоподібна залоза, печінка, нирки, селезінка, шлунково-кишковий тракт, легені, кришталик ока й інші органи (за винятком тих органів, які належать до першої та третьої груп);

3) — шкірний покрив, кісткова тканина, кисті, передпліччя, кісточки та стопи.

*Гранично допустима доза* (далі – *ГДД*) є найбільшою мірою індивідуальної *еквівалентної дози* за рік, яка не призводить до несприятливих явищ в організмі за 50 років безперервної роботи.

Еквівалентна доза  $H$  (бер), накопичена в критичному органі за час  $T$  (років) від початку роботи з джерелами, не повинна перевищувати величини

$$H = ПДВ * T$$

Для забезпечення радіаційної безпеки потрібно виконувати такі загальні принципи захисту:

– не перевищувати гранично допустимі дози;

– застосовувати метод захисту відстанню, часом;

– застосовувати захисні екрани, що ослабляють іонізаційні випромінювання;

– використовувати засоби індивідуального захисту;

– застосовувати справні прилади індивідуального та загального контролю для визначення інтенсивності радіоактивного опромінювання;

– виконувати технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи. Обирати захисний екран потрібно залежно від різновиду іонізаційного випромінювання. Для захисту від  $\alpha$  – випромінювання застосовують екрани зі скла, плексигласу завтовшки в декілька міліметрів (шар повітря в декілька сантиметрів). У разі  $\beta$  – випромінювання використовують матеріали з малою атомною масою (наприклад алюміній), а частіше комбіновані (із боку джерела –

матеріал із малою, а потім далі від джерела – застосовують матеріал із більшою атомною масою). Для захисту від  $\gamma$  – випромінювань застосовують матеріали з великою атомною масою та високою щільністю (свинець, вольфрам), а також дешевші матеріали і сплави (сталь, чавун). Стаціонарні екрани виконуються з бетону. Для захисту від *нейтронного опромінювання* застосовують берилій, графіт і матеріали, що містять водень (парафін, вода). Широко застосовуються бор і його сполуки для захисту від нейтронних потоків із малою енергією. У разі дії  $\gamma$  – випромінювання і нейтронних потоків застосовуються комбіновані екрани (свинець – вода, свинець – поліетилен, залізо – вода та інші пари та комбінації).

Під час виконання розрахунків захисних екранів потрібно враховувати:

- різновид випромінювання та його спектральні характеристики;
- енергетичні характеристики іонізаційного випромінювання;
- час дії випромінювання (експозицію);
- режим роботи джерела випромінювання (безперервний, імпульсний, квазібезперервний, частота повторення імпульсів тощо);
- спрямованість випромінювання;
- геометрію іонізаційного випромінювання;
- відстань від джерела до персоналу;
- конструктивні особливості установок і джерел іонізаційного випромінювання;
- табличні дані й номограми, що дають змогу визначати поглинальні властивості різних матеріалів і екстинкцію (ослаблення) іонізаційного випромінювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Банников А. Г. Основы экологии и охрана окружающей среды / А. Г. Банников и др. – М. : Колос, 1999. – 304 с.
2. Білявський Г. О. Основи загальної екології : підручник / Г. О. Білявський та ін. – Київ : Либідь, 1995. – 368 с.
3. Введение в экологию / под ред. Казанского Ю. А. – М. : ИЗДАТ, 1992. – 135 с.
4. Голубець М. А. Екосистемологія / М. А. Голубець. – Львів, 2000. – 316 с.
5. Джигирей В. С. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища: навчальний посібник / В. С. Джигирей та ін. – Львів : Афіша, 2004. – 272 с.
6. Злобін Ю. А. Основи екології: підручник / Ю. А. Злобін – Київ : Лібра, 1988. – 248 с.
7. Кизима Р. А. Екологія в будівництві : посібник / За ред. Кизими Р. А. – Рівне : НУВГП, 2005. – 220 с.
8. Коробкин В. И. Экология / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2003. – 576 с.
9. Куклев Ю. И. Физическая экология / Ю. И. Куклев. – М. : Высш. школа, 2003. – 357 с.
10. Мигунова Е. С. Леса и лесные земли / Е. С. Мигунова – М. : Экология, 1993 – 364 с.
11. Михайлов А. М. Охрана окружающей среды при разработке месторождений открытым способом / А. М. Михайлов – М. : Недра, 1991. – 184 с.
12. Небел Б. Наука об окружающей среде. Как устроен мир, т. 1 / Б. Небел – М. : Мир, 1993.
13. Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек : учебное пособие для ВУЗов / Ю. В. Новиков. – М. : Агенство «ФАИР», 1998. – 328 с.
14. Строительная экология : учебное пособие / Тетиор А. Н. – Київ: УМК ВО, 1991. – 276 с.
15. Экология города : учебник. – Київ: Лібра, 2000. – 464 с.

*Навчальне видання*

**ТКАЧ** Людмила Іванівна

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни

**«ЕКОЛОГІЯ»**

*(для студентів 1 курсу денної форми навчання  
за спеціальністю 206 – Садово-паркове господарство)*

Відповідальний за випуск *О. І. Лялін*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *Л. І. Ткач*

План 2017, поз. 56Л

---

Підп. до друку 20.11.2017. Формат 60 x 84/16  
Друк на ризографі. Ум. друк арк. 4,2  
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua).  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.