

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І.І. МЕЧНИКОВА



«Фізичні аспекти в екології»

Навчальний посібник для студентів фізичного факультету



Одеса – 2016

УДК 531/534,536.7

Навчальний посібник для студентів фізичного факультету з курсу «Основи екології» / укладачі Орловська С.Г., Калінчак В.В. – Одеса: ОНУ імені І.І. Мечникова, 2016. - 168с.

Укладачі:

Орловська С.Г., кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теплофізики

Калінчак В.В., доктор фізико-математичних наук, професор кафедри теплофізики

Рецензенти:

Еннан А.А., доктор хімічних наук, професор, директор Фізико-хімічного інституту захисту навколишнього середовища і людини

Желєзний В.П., доктор технічних наук, професор кафедри теплофізики та прикладної екології Одеської національної академії харчових технологій

Герасімов О.І., доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедрою загальної та теоретичної фізики Одеського державного екологічного університету

Затверджено до друку Вченою радою

ОНУ імені І.І. Мечникова

Протокол № від 2016 р.

© Орловська С.Г., Калінчак В.В., 2016

© Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2016

ЗМІСТ

1. ВЗАЄМОДІЯ ЛЮДИНИ І ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА5

1.1. Предмет та задачі екології, об'єкти екологічних досліджень. Класифікація в екології, зв'язок з іншими науками.	5
1.2. Основні терміни та визначення екології.	9
1.3. Поняття екосистеми, біогеоценозу, трофічного ланцюга.	12
1.4. Біосфера. Жива речовина. Структура та властивості біосфери. Роль В.І. Вернадського у вивченні біосфери та ноосфери.	15
1.5. Походження й еволюція біосфери.	21
1.6. Функціонування біосфери.	29
1.7. Кругообіг речовин і енергії в природі.	33
1.8. Атмосфера, літосфера, гідросфера та їх забруднення.	46

2. ФІЗИЧНА ЕКОЛОГІЯ55

2.1. Класифікація техногенних фізичних забруднень.	55
2.2. Сонячне випромінювання.	60
2.3. Магнітне поле та магнітосфера Землі.	66
2.4. Атмосферна електрика.	71
2.5. Механічні забруднення.	81
2.5.1. Шуми. Джерела шуму. Методи захисту від шумів.	81
2.5.2. Вібрації. Нормування, біологічна дія вібрацій.	95
2.6. Електростатичні і електромагнітні забруднення.	98
2.6.1. Електромагнітні поля (ЕМП).	101
2.6.2. Електростатичні поля.	105
2.6.3. Захист від впливу електромагнітних полів.	106
2.7. Теплове випромінювання і забруднення. Парниковий ефект.	114
Радіаційний і тепловий баланс Землі.	116

2.8. Ультрафіолетове випромінювання.....	121
2.8.1. Природні і техногенні джерела ультрафіолетового випромінювання.....	121
2.8.2. Біологічна дія УФВ.....	123
2.8.3. Механізм утворення і руйнування озонового шару.....	125
2.8.4. Захисні властивості атмосфери від дії УФВ.....	127
2.9. Радіоактивне забруднення навколишнього середовища.....	132
2.9.1. Види іонізуючого випромінювання.....	132
2.9.2. Біологічна дія продуктів радіоактивності.....	137
2.9.3. Нормування іонізуючих випромінювань і способи захисту від них.....	138
2.10. Кислотні дощі. Вплив кислотних опадів на навколишнє середовище.....	141
2.10.1. Склад і утворення кислотних дощів.....	141
2.10.2. Вплив кислотних опадів на навколишнє середовище.....	146
2.10.3. Способи захисту від кислотних дощів.....	149
3. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УКРАЇНИ ТА ЇЇ РЕГІОНІВ.....	151
3.1. Аналіз природних та техногенних небезпек і прогнозування їх розвитку.....	151
3.2. Основні джерела антропогенного забруднення навколишнього середовища України.....	157
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	165

1. ВЗАЄМОДІЯ ЛЮДИНИ І ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1. Предмет та задачі екології, об'єкти екологічних досліджень. Класифікація в екології, зв'язок з іншими науками.

Термін екологія вперше вжив у 1886 році німецький вчений Е. Геккель. Він походить від грецьких слів oikos («ойкос»), що означає будинок, приміщення, житло і навіть «батьківщина» і слова «logos» (логос) – наука, слово.

Таким чином, Геккель назвав науку, яка вивчає організацію та функціонування недоорганізованих систем різних рівнів, видів, популяцій, біоценозів (спільнот), екосистем (біогеоцентрів) та біосфери. Спочатку термін застосовувався тоді, коли йшлося про вивчення взаємозв'язків між рослинними та живими спільнотами, що входять до складу стійких та організованих систем. Тому можна сказати, що екологія є складовою часткою біології. Американський еколог Юджин Одум дав найбільш коротке й найменш спеціальне визначення екології - це біологія навколишнього середовища.

Загальна екологія займається дослідженням усіх типів екосистем. Екологія рослин досліджує зв'язки рослинних організмів із середовищем. Екологія тварин досліджує динаміку та організацію тваринного світу.

Важливу роль у диференціації екологічної науки мав III Ботанічний конгрес, який відбувся у 1910 році у Брюсселі. На ньому було вирішено поділити екологію рослин на екологію особин (аутекологію) та екологію угруповань (синекологію).

Крім того, існує екологія людини, тварин та екологія мікроорганізмів. З 70-х років XX сторіччя з'являється соціальна екологія, що вивчає

особливості взаємодії суспільства і оточуючого середовища та його охорони.

З середини ХХ сторіччя екологію тлумачать як науку про екосистеми та біосферу. Початок такому розумінню поклали роботи В.І. Вернадського, В.В. Докучаєва, Ю.П. Одума та ін.

Протягом останніх десятиліть, внаслідок бурхливого розвитку суспільства, думка про екологію як про виключно природознавчу науку змінилася, оскільки антропогенні впливи і їх наслідки вже діють на всі взаємозв'язки в природі. Отже, екологія в широкому розумінні – це не тільки природнича наука, вона включає інші дисципліни: соціологію, право, економіку, планування, технологію, тощо.

Дуже широким є спектр підрозділів екології. До нього входять спеціалізовані екологічні науки, які розрізняються за об'єктом та предметом дослідження. **Біоекологія** – частина біології, що вивчає відносини організмів між собою та навколишнім середовищем. Існує екологія технологій виробництва. Нині сформувалося близько ста напрямків екологічних досліджень, які можна об'єднати за принципом галузевої належності взаємозв'язків, пріоритетності, теоретичного та практичного значення. В основі всіх сучасних напрямків екології лежать фундаментальні ідеї біоекології.

Ще є **прикладна екологія** – дисципліна, що вивчає механізм руйнування біосфери людиною, засоби запобігання цим процесам, розроблює шляхи раціонального використання природних ресурсів без деградації та відновлення життєвого середовища. Прикладна екологія базується на системі законів, правил та принципів екології та природокористування. Прикладна екологія, як наука, перш за все базується на знаннях в різних галузях біології – фізіології, генетиці,

біофізиці, але вона пов'язана з іншими природничими науками – фізикою, хімією, географією, математикою. Вона не може бути відокремлена від права, моралі, економіки. Оскільки, тільки спільно з ними можна докорінно змінити ставлення людини до природи.

На сьогодні виник новий напрямок в екологічній науці, який склався на межі технічних, природничих та соціальних наук - *інженерна екологія*. Інженерна екологія вивчає вплив промисловості на природу і, навпаки, вплив умов природного середовища на функціонування підприємств та їх комплексів. На відміну від інших наукових напрямків інженерна екологія базується на повному та глибокому знанні виробництва. Інженерна екологія використовує якісні і кількісні параметри технологічних процесів для оцінки їхнього впливу на природне середовище.

Отже, сучасне тлумачення терміну «екологія», як галузі знань, полягає в розгляді та розкритті закономірностей розвитку організмів, предметів, компонентів спільнот та спільнот загалом у взаємодіях в системах біогенозів, небіогенозів, біосфери з точки зору суб'єкта або об'єкта (живого або за участю живого), котрий є центральним у цій системі.

У підсумку можна сказати, що **екологія це:**

- дисципліна, що вивчає загальні закони функціонування екосистем різного рівня;
- комплексна наука, що досліджує середовище існування живих істот (включаючи людину);
- галузь знань, що розглядає певну сукупність предметів та явищ з точки зору суб'єкта або об'єкта, котрий є центральним у цій сукупності;
- дослідження становища людини як виду та суспільства в цілому в екології планети, її зв'язків з екологічними системами та засобів впливу на них.

Основний закон екології полягає в тому, що в природі все взаємопов'язане. Помилково вважати, що людина впливає на природу тільки підкоряючи її своїм цілям, при цьому існує зворотній вплив, що викликає зміну середовища перебування людини, якщо не генетично, то екологічно і соціально.

Якщо це недооцінювати, то виникає так зване явище екологічного прорахунку або екологічного бумерангу – це непередбачений шкідливий наслідок змін навколишнього середовища, що породжує більше проблем, ніж вирішує, тобто нівелює вигоду.

Технічна революція, що почалась наприкінці XIII ст., привела до того, що наслідки діяльності людини стали порівняними з природними явищами. Надто швидко вимирають біологічні види. Природні екосистеми руйнуються, особливо водні екосистеми, насамперед морські. Це зумовлено техногенними забрудненнями навколишнього середовища, розорюванням земель, нераціональним використанням природних ресурсів.

Предметом дослідження екології є детальне вивчення за допомогою кількісних методів основ структури та функціонування природних та створених людиною систем.

Основні завдання екології:

- дослідження особливостей організації життя, в зв'язку з антропогенним впливом на природні системи, який є результатом людської діяльності;
- створення наукової основи раціональної експлуатації біологічних ресурсів;
- прогнозування змін природи під впливом діяльності людини;
- збереження середовища існування людини.

1.2. Основні терміни та визначення екології.

Вид (біологічний) — сукупність організмів з однаковими морфологічними якостями, які можуть схрещуватися один з одним і мають спільний генофонд. Вид підкоряється роду, має підвиди і популяції. Види мають морфологічні, фізіолого-біологічні, еколого-географічні й генетичні характеристики.

Популяція — група особин одного виду організмів, яка населяє одну територію і здатна обмінюватися генетичною інформацією (популяції тварин, рослин, комах, птахів тощо).

Середовище перебування або абіотичне середовище — простір, територія, район, де живе популяція (повітряне, водне, ґрунтове, тіло іншого організму).

Співтовариство або біотичне співтовариство — всі популяції, що населяють одну територію.

Екологічна ніша — роль і функція, які виконує даний вид у середовищі перебування.

Співтовариство й середовище перебування разом формують екологічну систему або екосистему. Наприклад, ялиновий ліс — середовище перебування подібних видів птахів і комах, що утворюють популяції. Ці види знаходять корм і будують гнізда на різних частинах ялин, тобто займають різні екологічні ніші, до того ж, найчастіше нішу займає один вид, в іншому разі спостерігається конкуренція.

Гомеостаз — стан внутрішньої динамічної рівноваги природної системи (екосистеми), який підтримується регулярним відновленням її основних елементів, матеріально-енергетичної системи, а також

постійним функціональним саморегулюванням компонентів. Гомеостаз характерний і необхідний для всіх природних систем — від атома організму до космічних утворень. Всі популяції мають властивості, завдяки яким вони підтримують свою чисельність на оптимальному рівні.

Пристосування організмів до навколишнього середовища називають **адаптацією**. Вона є однією з основних властивостей життя, що виявляється на всіх рівнях: від біохімії клітини до будови та функціонування цілих угруповань. Адаптації формуються середовищем і можуть змінюватися в ході еволюції видів. Наприклад, багато організмів, що заселяють пустелі, набули механізми регуляції гідротермічного режиму.

Організм пристосовується до умов навколишнього середовища трьома способами:

— *активним* — посиленням опору, розвитком регулярних процесів, які дозволяють здійснювати всі життєві функції організму;

— *пасивним* — підпорядкуванням життєвих функцій організму змінам чинників середовища;

— *униканням несприятливих впливів*.

Екологічні фактори — всі складові природного середовища, які впливають на існування та розвиток організмів, і на які живі організми відповідають реакціями пристосування (за межами здатності пристосування настає смерть).

Розрізняють три групи екологічних факторів:

Абіотичні (від гр. "живий") — сукупність неорганічних умов середовища перебування. Своєю чергою вони поділяються на:

- хімічні (сполуки атмосфери, води, ґрунту тощо);

- фізичні (температура, освітлення, вологість тощо);

- кліматичні;
- едафічні (механічна сполука ґрунтів, гумус, лісовий настил тощо);
- орографічні (рельєф, поверхні, експозиції);
- геологічні (материнська порода тощо).

Біотичні — форми взаємодії і взаємин живих організмів за схемою "хазяїн — паразит".

Антропогенні — форми діяльності людини, які впливають на життєдіяльність організмів або середовище їх перебування. Діяльність людини пов'язана з істотною зміною первісного довкілля (вирубання лісу, виловлювання риби, знищення тварин тощо).

Всі екологічні фактори діють комплексно і тому важливим є введення поняття лімітуючого фактора, рівень (доза) якого наближається до межі виживання організму, а концентрація — вище або нижче від зони оптимуму (насамперед, це температура, вологість, біогенні речовини, течія тощо). Отже, організми характеризуються екологічним мінімумом і максимумом, а їх витривалість у цьому діапазоні називають **межею толерантності виду**. Найвища толерантність характерна для бактерій і синьо-зелених водоростей, які витримують широкий діапазон температур, радіації, солоності тощо.

За типом харчування й використовуваним джерелом енергії всі живі організми в екосистемі поділяють на три класи:

1. **Продуценти, або виробники** — переважно зелені рослини, здатні створювати їжу з простих неорганічних речовин завдяки реакції фотосинтезу. Вони є автотрофними, тобто самотійно харчуються (рослини, водорості, фітопланктон).

2. **Консументи, або споживачі** — здебільшого тварини, які є гетеротрофами, тобто ті, що харчуються іншими організмами, їх

поділяють на первинні, вторинні, третинні тощо. Первинні харчуються безпосередньо живими рослинами або їх залишками, вторинні — зоопланктоном, рослиноїдними рибами, що харчуються первинними консументами, один одним або іншими вторинними консументами.

3. *Редуценти, або відновлювачі* — живі організми, які руйнують складні сполуки мертвої протоплазми, поглинають деякі продукти розкладу та вивільняють неорганічні поживні речовини, здатні слугувати джерелами енергії, інгібіторами або стимуляторами для інших біотичних компонентів екосистеми. Це організми, що харчуються мертвими залишками рослин і тварин (сапротрофи): водні бактерії та гриби.

1.3. Поняття екосистеми, біогеоценозу, трофічного ланцюга.

Термін "екосистема" вперше запровадив англійський геоботанік А. Тенслі у 1935 р., хоча виник він значно раніше, як ідея єдності організмів і середовища, людини й природи.

Екосистема — основна функціональна одиниця екології, що включає живі організми (біотичні спільноти) і абіотичне середовище, при цьому кожна із частин впливає на іншу й обидві необхідні для підтримки життя в тому вигляді, у якому воно існує на Землі.

Обов'язковою умовою екосистеми є наявність взаємин, взаємозалежності та причинно-наслідкових зв'язків між окремими компонентами, які розглядають як стабільне ціле. Іншими словами, усередині кожної такої системи відбувається взаємообмін не тільки між організмами, але й між органічними та неорганічними компонентами. Розміри екосистем можуть суттєво відрізнятися: наприклад, калюжа є такою ж екосистемою, як кілька гектарів лісу.

Найкрихішою екосистемою є біосфера, яка містить постійно взаємозалежні живі організми Землі, земну кору, ґрунт, океан й атмосферу. Будь-яка екосистема відокремлена в просторі, хоча й не має чітких меж. Суміжні екосистеми накладаються одна на одну, створюючи смугу переходу (берег моря або озера, галявина лісу тощо). Між двома суміжними екосистемами існують взаємозв'язки та взаємообмін, які завжди поступаються зв'язкам і обміну між компонентами однієї екосистеми.

Усі компоненти екосистеми пов'язані обміном речовин і енергії, саморозвиваються та саморегулюються, але екосистемою може бути тільки стабільне середовище, де чітко функціонує внутрішній кругообіг речовин. Розрізняють мікроекосистеми (болото, дерево, пені з грибами), мезоекосистеми (ділянка лісу, озеро) і макроекосистеми (континент, океан). Часто екосистему ототожнюють із біогеоценозом.

Біогеоценоз — територіально або просторово відокремлена цілісна елементарна одиниця біосфери, усі компоненти якої взаємопов'язані. Основною відмінністю екосистеми від біогеоценозу є те, що біогеоценоз має чітко визначений обсяг, а екосистема може охоплювати простір довільної величини. Отже, **біогеоценоз** — це сукупність на визначеній території земної поверхні однорідних природних явищ: атмосфери, гірської породи, рослинності, тваринного світу, мікроорганізмів, ґрунту тощо.

Компонентами біогеоценозу є біотоп і біоценоз.

Біотоп — однорідний за адриатичними факторами середовища простір, зайнятий біоценозом, тобто місце проживання виду, організму.

Біоценоз — спільність організмів, які живуть у межах одного біотопу (суші, води, ґрунту тощо). Поняття біоценоз умовне, тому що поза

середовищем перебування організми жити не зможуть, і ввели його для зручності дослідження екологічних процесів.

Екосистеми характеризуються:

- видовою, популяційною сполукою й кількісним співвідношенням видових популяцій;
- розподілом окремих елементів у просторі;
- сукупністю зв'язків, і, насамперед, ланцюгів харчування.

Сукцесіями (від лат. послідовність) називають процеси послідовної зміни біоценозів, що протікають під впливом різних чинників. Коли озеро наповнюється мулом, воно поступово перетворюється з глибокого в мілке, потім — у болото, після цього в зелений луг, на якому виростають чагарники й дерева. Якщо в лісі є занедбане житнє поле, то на ньому виникають, змінюючи один одного, біоценози: однолітні бур'яни й трави, чагарники, розрізнені дерева, ліс. Якщо в горах відбувся зсув, то на оголеній поверхні скелі спочатку з'являються лишайники, потім трави, утворюються луки, які поступово заростають чагарником, нарешті з'являються дерева й виростає ліс, що є завершальним, остаточним біоценозом.

Зміна біоценозів супроводжується збільшенням їх видової різноманітності: початкові біоценози звичайно включають невеликі та недовговічні рослини, а в ході сукцесії виникають біоценози з більшими і довговічними рослинами. Кінцеві біоценози можуть порівняно довго існувати без значних змін. Щоб біоценоз був стабільним, необхідна рівновага між народжуваністю і смертністю, споживанням і звільненням речовини та енергії. Така константність систем, що ґрунтується на відповідності приходу — витрат за умови постійного самовідновлення, отримала назву динамічної рівноваги або сталого стану.

Важливе значення в екології має поняття трофічних ланцюгів або ланцюгів харчування, завдяки яким відбувається зв'язок, а також обмін енергією й речовиною між організмами в екосистемі.

Ланцюг харчування — перенесення енергії їжі від її джерела (рослин) через низку організмів до інших організмів шляхом поїдання одних іншими. При кожному перенесенні 80—90 % енергії втрачається з відходами і переходить у тепло, внаслідок чого кількість етапів або "ланок" ланцюга становить 4—5. Ланцюги харчування утворюють харчові мережі. В екосистемі організми, що одержують їжу від рослин через однакове число етапів, належать до одного трофічного рівня. Зелені рослини, наприклад, займають перший трофічний рівень (продуценти), травоядні — другий (первинні консументи), хижаки, що поїдають травоядних, — третій (вторинні консументи), а вторинні хижаки — четвертий (третинні консументи).

Відповідно до закону Р. Ліндемана (1942 р.), тільки частина енергії, що надходить на певний трофічний рівень, передається організмам, які перебувають на вищих трофічних рівнях, тобто коефіцієнт корисної дії передачі енергії з одного рівня на інший є дуже низьким.

1.4. Біосфера. Жива речовина. Структура та властивості біосфери. Роль В.І. Вернадського у вивченні біосфери та ноосфери.

Термін "біосфера" для визначення простору існування живих організмів на Землі вперше запропонував австрійський геолог Едвард Зюсс 1873 р. (від грец. *біос* - життя та *сфера* - куля). Проте цілісне вчення про біосферу створив наш видатний співвітчизник, засновник і перший президент академії наук України В. І. Вернадський. За визначенням вченого:

"біосфера — структурна оболонка Землі, створена самим життям, де не тільки живуть, але яка перетворена живими організмами й пов'язана з їхньою життєдіяльністю".

Завдяки його працям у 20-ті роки ХХ ст. наука про біосферу розвинулась і вийшла на новий рівень. Вернадський В.І. вперше підкреслив виняткову роль живих організмів в творенні біосфери. Він сприймав Землю як єдиний живий організм, в якому зовсім різні, на перший погляд, процеси у трьох зовнішніх сферах Землі - літосфері, гідросфері й атмосфері - тісно пов'язані між собою.

В.І. Вернадський одним з перших усвідомив величезний перетворюючий вплив живих організмів на усі три зовнішні оболонки Землі в планетарному масштабі, тісну взаємодію і взаємозалежність усіх форм життя. Це дало йому поштовх до створення всеохоплюючої теорії біосфери, тобто тієї частини зовнішніх оболонок нашої планети, яка безпосередньо пов'язана з існуванням життя на Землі. В.І. Вернадський (1934) дав таке визначення біосфери: «Біосфера являє собою оболонку життя – область існування живої речовини».

Вернадський особливо виділяє перетворюючий вплив на Землю однієї з форм життя - людини - через її розумну діяльність і передбачає швидке зростання глибини і масштабів цього впливу. Природні об'єкти, які вже зазнали впливу людської діяльності, він відносить до "**ноосфери**" тобто до "сфери розуму" і передбачає, що ноосфера буде швидко розширюватись, охоплюючи все більшу частину Землі - від глибоких її надр до найвищих шарів атмосфери.

У золотий фонд світової науки увійшла робота В.І. Вернадського "Декілька слів про ноосферу", яка з'явилася у 1944 році. Тут у концентрованому вигляді викладено його бачення еволюційно-

історичного процесу, перспектив майбуття людства як космічного феномену. Стверджується, що під впливом розвитку науки й пізнання біосфера має стати ноосферою, тобто цариною розуму, де панують закони мудрості і гармонії.

Він писав: "Людство, взяте в цілому, стає могутньою геологічною силою. Й перед ним, перед його думкою та працею, постає питання про перебудову біосфери в інтересах вільно мислячого людства як єдиного цілого".

В.І. Вернадський вважав, що ноосфера - це такий стан біосфери, в якому мають виявитися розум і спрямована ним праця людини як нова, небувала на планеті, геологічна сила.

Очевидно, що ноосфера в просторі значною мірою перекривається з біосферою, але не тотожна їй. Темпи розвитку ноосфери незрівнянно вищі від темпів змін біосфери.

Але життя на Землі безпосередньо залежить також від низки космічних факторів, найголовнішим (але далеко не єдиним) з яких завжди вважалось випромінювання Сонця. Усвідомлення перетворюючого впливу життя на одне з космічних тіл - планету Земля і безпосередній зв'язок земного життя з космічними факторами дозволили В.І. Вернадському висловити свою всесвітньо відому тезу: життя на Землі - явище космічне. На його думку, зародки життя заносяться з космосу на всі планети, які виникають у всесвіті, а далі, за сприятливих умов, різні форми життя можуть еволюціонувати, урізноманітнюватись і вдосконалюватись – залежно від конкретних умов даної планети; посилаючи в свою чергу зародки життя у космос на інші планети Всесвіту.

Зародки теорії біосфери і усвідомлення взаємозв'язку багатьох процесів у зовнішніх оболонках Землі були вже в роботах попередників. Але таку

цілісну й завершену систему уявлень про «космізм життя» В.І. Вернадський сформував у своїх творах вперше в історії людства.

Жива речовина. *Що принципово відрізняє нашу планету від будь-якої іншої планети Сонячної системи?* Наявність життя. «Якби на Землі не було життя, - писав академік В. І. Вернадський, - обличчя її було б так само незмінним і хімічно інертним, як нерухоме обличчя Місяця, як інертні уламки небесних світил». Життя на Землі реалізується у формі **живої речовини**, яку часто називають також **біотою**. Поняття «жива речовина» ввів у науку В. І. Вернадський і розумів під ним сукупність усіх живих організмів планети. **Функції живої речовини.** Жива речовина протидіє хаосові та ентропії. Використовуючи прямо й непрямо сонячну енергію, жива речовина створює з простих, бідних на енергію молекул, передусім води й вуглекислого газу, складніші й енергетично впорядкованіші сполуки - вуглеводи, білки, жири, нуклеїнові кислоти та інші - або переробляє їх. Жива речовина концентрує хімічні елементи, перерозподіляє їх у земній корі, руйнує й агрегує неживу матерію, окислює, відновлює й перерозподіляє хімічні сполуки. «Можна без перебільшення стверджувати, - що хімічний стан зовнішньої кори нашої планети, біосфери, цілком перебуває під впливом життя, визначається живими організмами», - писав В. і. Вернадський.

Наприклад, бактерії однієї з груп – залізобактерії - дістають необхідну для життя енергію за рахунок окиснення двовалентного заліза до тривалентного. При цьому в процесі утворення 1 г біомаси цих бактерій відбувається окиснення до 500 г солей двовалентного заліза. Кінцеві продукти - солі тривалентного заліза - відкладаються навколо бактеріальної клітини й утворюють так звану болотну руду. Саме з болотної руди за часів Київської Русі виплавляли чавун.

На прикладі залізобактерій ми простежуємо кілька *функцій живої речовини*: окислення; концентрація; перерозподіл хімічних елементів.

Кількість живої речовини. Суха маса живої речовини оцінюється в 2-3 трлн. т. - приблизно в мільярд разів менше за масу Землі. Проте жива речовина відрізняється від неживої надзвичайно високою активністю, зокрема дуже швидким кругообігом речовин. Уся жива маса біосфери оновлюється за 33 дні, а фітомаса, тобто маса рослин, - щодня. Життєдіяльність тварин, рослин і мікроорганізмів супроводжується безперервним обміном речовин між біотою та зовнішнім середовищем, унаслідок чого всі атоми земної кори, атмосфери й гідросфери протягом історії Землі багаторазово входили до складу живих організмів.

Живі організми відіграють дуже важливу роль у геологічних процесах, які формують Землю. Хімічний склад сучасних атмосфери та гідросфери зумовлений життєдіяльністю організмів. Велике значення мають організми також для формування літосфери - більшість порід, і не лише осадових, а й таких, як граніти, так чи інакше пов'язані своїм походженням з біосферою. Мінеральна інертна речовина переробляється живими організмами, перетворюється в якісно нову. Живі організми не лише пристосовуються до умов іншого середовища, а й активно їх змінюють. Таким чином, жива та нежива речовини на Землі становлять гармонійне ціле.

Живі організми відіграють величезну роль в кумуляції сонячної енергії. Наприклад, поклади кам'яного вугілля – це не що інше, як сонячна енергія, накопичена зеленими рослинами минулих геологічних епох. Так само можна визначити й природу багатьох мінералів, зокрема вуглекислого кальцію, який утворює величезні маси вапняків і майже на

100% має біогенне походження. Важливу роль живі організми відіграють у накопиченні багатьох металів таких, як залізо, мідь, марганець.

Кругообіг живої речовини відрізняється від неживої: жива речовина біосфери оновлюється в середньому за 8 років, світового океану — за 33 дні, фітомаса океану — щоденно, фітомаса суші — за 14 років. У біосфері відбувається безперервний обмін речовин, тому всі хімічні елементи земної кори, атмосфери і гідросфери багато разів входили до складу різних організмів.

Система зв'язків у біосфері дуже складна, але основними блоками керування є енергія Сонця, внутрішнє тепло Землі та радіоактивний розпад. Стійкість біосфери за весь час її існування пояснюється постійністю загальної маси (10^{15} т), маси живої речовини (10^{19} т), енергії та хімічного складу, а всі функції живих організмів у ній забезпечуються тільки комплексом їхніх видів.

В. І. Вернадський довів, що кількість живої речовини є константою планети протягом усього геологічного часу, а зміни відбувалися тільки внаслідок перегрупування хімічних елементів, а не через суттєві зміни їх складу і кількості.

Біосфера та її межі. *Простір нашої планети, в якому існує й «працює» жива речовина, називають біосферою.* Біосфера охоплює три геологічні сфери - частини атмосфери й літосфери та всю гідросферу. Межі біосфери визначаються межами поширення й активної роботи живої речовини.

Верхня межа біосфери в атмосфері, на думку одних учених, проходить на висоті вершин Гімалаїв (10 км над рівнем моря), на думку інших, - досягає нижніх шарів стратосфери (30 км), де ще трапляються в досить великій кількості спори й навіть клітини бактерій, грибів і деяких

водоростей, що активно вегетують. Іноді верхньою межею біосфери вважають озоновий шар (25-30 км над поверхнею планети), вище від якого живе зазвичай гине під дією космічних випромінювань.

Межа біосфери в літосфері також чітко не окреслена. Починаючи з глибин 0,5-2 м від земної поверхні кількість живої речовини зменшується в логарифмічній послідовності. На глибинах понад 10 м породи, як правило, вже стерильні. Та навіть у товщі стерильної породи іноді трапляються острівці життя. Найбільші глибини, де знайдено живу речовину - 2-3 км. У нафтових родовищах на цих глибинах виявлено свою, «нафтову», мікрофлору. Нафта залягає також і на значно більших глибинах - до 5-7 км. Припускають, що й у таких глибинних родовищах можна знайти «нафтові» бактерії. Деякі дослідники нижньою межею біосфери вважають глибини, на яких температура літосфери починає перевищувати 100°C: близько 10 км на рівнинах і 7-8 км у горах.

Межі біосфери в гідросфері окреслені чітко: біосфера охоплює всю гідросферу, в тому числі найбільші океанічні западини до 11 км, де існує значна кількість глибоководних видів.

Екологічні системи, що є сукупністю різних видів рослин, тварин і мікроорганізмів, які взаємодіють між собою і з оточуючим середовищем, є функціональними підсистемами біосфери, що можуть зберігатися невизначено тривалий час за умови відповідних біотичних і абіотичних факторів.

1.5. Походження й еволюція біосфери

Біосфера має довгу й багато в чому драматичну історію, тісно пов'язану з еволюцією Землі. Еволюцію Землі можна умовно поділити на кілька фаз.

Перша фаза. Формування ранньої земної кори, атмосфери та гідросфери. Виникнення геологічного кругообігу речовин. Згідно з найпоширенішою серед астрономів і астрофізиків гіпотезою, Всесвіт виник близько 20 млрд. років тому внаслідок Великого вибуху. Потім утворилася наша Галактика (8 млрд. років тому).

Первинна кора нашої планети — Землі — утворилася приблизно 4,6 млрд. років тому. Відтоді на її поверхні осідали метеорити й космічний пил. Завдяки ізотопному аналізу таких метеоритних залишків (метеоритного свинцю) вдалося визначити час виникнення земної кори, тобто дату народження нашої планети. З тріщин тонкої кори неперервно вивергалася розжарена лава, а разом із нею — гази. Втримуванні гравітаційними силами, ці гази утворили первинну атмосферу планети. Вона складалася з метану, аміаку, водяної пари, вуглекислого газу, сірководню, ціанистого водню й практично не містила кисню та озону.

Коли поверхня планети охолола, водяна пара почала конденсуватися в атмосфері й випадати першими дощами, розчинюючи численні мінерали земної кори. Поступово вода накопичувалася, утворюючи океани. На планеті сформувалася гідросфера. Циркуляція атмосферних мас, води й розчинених у ній мінералів, переміщення магматичних продуктів на поверхню планети й знову в її надра породили **великий, або геологічний, кругообіг речовин**. Закінчувалася перша фаза еволюції нашої планети.

Друга фаза. Передбіологічна (хімічна) еволюція. Протягом цієї фази (4,6—3,8 млрд. років тому) на Землі відбувалися процеси синтезу й накопичення простих органічних сполук, необхідних для існування життя: амінокислот і простих пептидів, азотистих основ, простих вуглеводів. Ці сполуки, «цеглинки життя», виникли внаслідок процесів абіотичного синтезу.

Деякі вчені (в тому числі видатні — В. І. Вернадський, Ф. Крик) вважають, що живі організми були занесені на Землю з Космосу або з метеоритами й космічним пилом (гіпотеза панспермії), або «зародки життя» розсилися на зорі геологічної історії Землі якоюсь космічною надцивілізацією для запліднення безживних, але потенційно придатних для життя планет (спрямована панспермія).

Проте більшість біологів та еволюціоністів вважають, що життя на Землі виникло природним шляхом, у результаті процесів абіогенного синтезу. Сьогодні на основі цього припущення висунуто цілу низку наукових гіпотез, які, конкуруючи між собою, все ж мають спільні принципові позиції: а) виникненню життя передувало нагромадження в Світовому океані органічних речовин, синтезованих абіогенним шляхом; б) у зонах концентрації цих речовин виникли молекули, здатні до самокопіювання; в) сформувалися реакції й механізми матричного синтезу (в тому числі біосинтез білків), генетичний код, що й зумовило виникнення на планеті клітин живої речовини. Перше твердження вже доведено експериментально, а для другого й третього — фізиками, математиками, біологами й хіміками запропоновано низку моделей, кілька з яких мають непрямі експериментальні підтвердження.

Незалежно від того, яким шляхом з'явилося життя на нашій планеті, жива речовина докорінно змінила її зовнішній вигляд: на Землі виникла біосфера.

Третя фаза. Давня біосфера. Виникнення біологічного кругообігу речовин. Формування кисневої атмосфери.

Ця фаза еволюції нашої планети почалася приблизно 3,8—4 млрд. років тому. Рештки перших живих організмів (їхній вік становить 3,8 млрд. років) дійшли до нас у вигляді так званих строматолітів — вапнякових

решток синьо-зелених водоростей і актиноміцетів, а також у вигляді осадових порід; у котрих шари двовалентного заліза чергуються з шарами окисненого тривалентного, подібно до того, як це нині спостерігається в «мікробних матах» на узбережжях багатьох субтропічних морів.

Перші живі організми мали примітивну — прокаріотичну — будову, були *анаеробами*, тобто організмами, які існують у безкисневому середовищі. Вони жили в морях, «ховаючись» на глибині від згубного ультрафіолетового випромінювання Сонця, оскільки на планеті ще не існувало захисного озонового шару. Необхідні для життя енергію й речовини перші мешканці Землі діставали, використовуючи готові органічні сполуки первинного бульйону, тобто були *гетеротрофами*. Така «споживацька» стратегія життя, що ґрунтувалася на використанні обмежених запасів органічних речовин, нагромаджених протягом тривалої передбіологічної історії, могла б призвести до цілковитої переробки всього низькоентропійного й енергетично цінного матеріалу у відходи й урешті-решт — до загибелі всього живого.

Проте криза не настала, бо серед величезної різноманітності способів добування енергії й поживних речовин, які «випробовувалися» в давньому світі прокаріот, швидко з'явився принципово новий тип живлення — *автотрофний*. Організми-автотрофи для побудови своїх клітин не використовували готові органічні речовини, а самі синтезували їх з неорганічних — вуглекислого газу, води, азотовмісних і фосфоровмісних сполук. Такі процеси потребували значних енергетичних затрат. Необхідну енергію автотрофи діставали або за рахунок окисних реакцій — у процесі хемосинтезу, або в результаті прямого вловлювання й перетворення променистої енергії Сонця — *фотосинтезу*.

Перші автотрофні організми, мабуть, були хемосинтезуючими й

діставали потрібну енергію, окислюючи або сірку в сірководні до молекулярної сірки, або двовалентне залізо до тривалентного й т. п. Але справжня революція в юній біосфері почалася з появою фотосинтезуючих бактерій — *ціанобактерій (синьозелених водоростей)*, які «навчилися» використовувати найпотужніше й найстабільніше в планетарному масштабі джерело енергії — сонячне світло.

З появою автотрофів на планеті замкнувся цикл біологічного кругообігу речовин, і на мільярди років відступила загроза енергетичного й харчового голоду. Автотрофи, що здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, дістали загальну назву — *продуценти*, а гетеротрофи, які розкладають органічні сполуки до неорганічних, — *редуценти*. Водночас виникла ще одна група організмів, котрі використовували готові органічні речовини, не розкладаючи їх до мінеральних, а трансформуючи в інші органічні речовини. Цю групу споживачів — трансформаторів готової органіки — називають *консументами*.

Отже, жива, речовина (біота) — продуценти, консументи й редуценти — утворила **ланцюг живлення (трофічний ланцюг)**, який через неживу речовину — мінеральні сполуки — замкнувся в коло. З потоку речовин у цьому колі *утворився біологічний кругообіг речовин*.

Геологічний і біологічний кругообіги речовин разом склали **біогеохімічний кругообіг**, з'єднавши в ньому водночас величезну потужність першого й надзвичайні швидкість та активність другого. Біогеохімічний кругообіг «налагоджувався» приблизно 1,5—2 млрд. років, потім стабілізувався, суттєво не змінюючись протягом більш як 2 млрд. років — дотепер.

Поява фотосинтезуючих продуцентів, окрім усього іншого, мала один важливий наслідок — *на Землі сформувалася киснева атмосфера*, яка

визначила подальші етапи еволюції планети й біосфери.

Майже всі первинні прокариотичні організми були анаеробами. Кисень, життєво необхідний переважній більшості видів, що існують нині, для давніх організмів був однією з найсильніших отрут. Надзвичайно активний окиснювач, вільний кисень, руйнував, дезактивував, «спалював» більшість ферментів давніх бактерій-анаеробів, тому вони діставали енергію лише за рахунок безкисневих і низькоефективних процесів бродіння й розщеплення простих цукрів — шляхом гліколізу. Однак саме кисень виділяли в процесі фотосинтезу первинні продуценти-фотоавтотрофи — синьо-зелені водорості. Оскільки через високу вулканічну активність планети давні моря були дуже теплими, то лише незначна кількість цього кисню розчинялась у воді Світового океану. Основна маса кисню нагромаджувалася в атмосфері, де зрештою окислювала метан і аміак у вуглекислий газ, вільний азот та його оксиди. З дощами вуглекислий азот і азотні сполуки потрапляли в океан і там споживалися продуцентами. Поступово кисень замінив у атмосфері метан і аміак. Частина кисню під впливом сонячного світла й електричних розрядів у атмосфері перетворювалася на озон. Молекули озону, концентруючись у верхніх шарах атмосфери, прикрили поверхню планети від згубної дії ультрафіолетового випромінювання, що йшло від Сонця.

У цей час у Світовому океані серед бактерій виникли види, здатні спочатку тільки захищатися від розчиненого у воді кисню, а в подальшому «навчилися» використовувати його для окиснення глюкози й одержання додаткової енергії. Організми, що діставали енергію цим шляхом, не лише не отруювалися киснем, а навпаки, мали від нього користь. Такі організми названо *аеробними*. Оскільки шар озону захищав

тепер клітини від ультрафіолетового випромінювання, аероби почали колонізацію багатих на кисень поверхневих шарів Світового океану та його мілководь — шельфу. Жива речовина заселила всю гідросферу.

Четверта фаза. Виникнення еукаріот. Заселення суші. Сучасна біорізноманітність органічного світу. Ця важлива фаза в розвитку нашої планети та її біосфери ознаменувалася виникненням істот принципово нового типу — побудованих з еукаріотичних клітин. Еукаріотичні клітини значно складніші за прокаріотичні. Вони диференційовані на системи певних органоїдів (ядро, мітохондрії, ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, хлоропласти тощо. Вважають, що еукаріотична клітина виникла приблизно 1,2 млрд. років тому в результаті серії симбіозів різних прокаріотичних клітин, одні з яких дали початок клітині-хазяїну, інші — трансформувалися в мітохондрії та хлоропласти. Перші еукаріоти були гетеротрофними одноклітинними організмами. Вони, шляхом залучення до своєї клітини прокаріотичних фото-автотрофів, поклали початок еукаріотичним одноклітинним водоростям. У подальшому від автотрофних і гетеротрофних еукаріот відокремилася кілька груп грибів. Окрім того, одноклітинні гетеротрофні прокаріоти є родоначальниками багатоклітинних безхребетних тварин.

За порівняно короткий час — кілька десятків мільйонів років — еукаріоти «перевідкрили» багатоклітинність, «відкрили» тканинну будову, і близько 430—415 млн. років тому перші рослини — нащадки водоростей, а слідом за ними й різноманітні тварини та гриби вийшли на сушу, завершуючи колонізацію всієї поверхні нашої планети.

З виходом живої речовини на сушу прискорилися процеси вивітрювання гірських порід. Відтоді не лише коливання температури,

дощі та вітри руйнували гірські масиви, а й величезна армія рослин, бактерій, грибів і лишайників подрібнювала, розпушувала, розчиняла мінерали. Консументи-тварини, споживаючи продуцентів, швидко переносили вміщені в органічній речовині елементи на значні відстані, редуценти вивільняли, розкладали, перевідкладали органіку консументів. Частина вивільнених мінеральних і напівперероблених органічних речовин трансформувалася в гумус, утворюючи родючі біокосні системи — ґрунти. Те, що не поверталось в біологічний кругообіг або не запасалося в ґрунті, змивалося дощами в річки й виносилося в Світовий океан, де споживалося, концентрувалось або перевідкладалось у вигляді осадових порід мешканцями гідросфери. Тектонічні переміщення земної кори повільно виносили осадові породи на поверхню, роблячи нагромаджені в них речовини знову доступними для живої речовини літосфери.

За оцінками, протягом усієї історії існування біосфери в біогеохімічному кругообізі брало участь не менше ніж 1,5 млрд. видів живих істот, переважна більшість яких виникла протягом четвертої фази історії Землі. При цьому одні види поступово, а іноді і раптово, вимирали внаслідок локальних чи глобальних катаклізмів або поступово витіснялися новими, більш пристосованими до даних умов існування. Через мутації, різноманітні процеси, пов'язані з перенесенням генів і симбіозами, під дією природного добору види змінювалися, породжуючи нові. Сьогодні людині відомо понад 1,7 млн. видів, які існують нині на нашій планеті: близько 30 тис. видів прокариот, 450 тис. видів рослин, 100 тис. видів грибів і 1 млн. 200 тис. видів тварин (із них понад 1 млн. видів — комахи). Проте навіть за дуже обережними оцінками, це становить менш як 10 % числа видів, котрі справді живуть разом із нами на Землі.

Частка нашого виду — гомосапієнс — у загальному генофонді планети не перевищує 0,00006 %.

1.6. Функціонування біосфери.

Джерела й кількість енергії в біосфері. Біосфера — це відкрита термодинамічна система, що одержує енергію у вигляді променистої енергії Сонця й теплової енергії процесів радіоактивного розпаду речовин у земній корі та ядрі планети. Радіоактивна енергія, частка якої в енергетичному балансі планети була значною на абіотичних фазах, нині не відіграє помітної ролі в житті біосфери, й основне джерело енергії сьогодні — це сонячне випромінювання. Щороку Земля одержує від Сонця енергію, яка становить близько $10,5 \cdot 10^{20}$ кДж. Більша частина цієї енергії відбивається від хмар, пилу й земної поверхні (близько 34 %), нагріває атмосферу, літосферу й Світовий океан, після чого розсіюється в космічному просторі у вигляді інфрачервоного випромінювання (42 %), витрачається на випаровування води й утворення хмар (23 %), на переміщення повітряних мас — утворення вітру (близько 1 %). І лише 0,023 % сонячної енергії, що потрапляє на Землю, вловлюється продуцентами — вищими рослинами, водоростями та фототрофними бактеріями — й запасується в процесі фотосинтезу у вигляді енергії хімічних зв'язків органічних сполук. За рік у результаті фотосинтезу утворюється близько 100 млрд. т органічних речовин, в яких запасується не менш як $1,8 \cdot 10^{17}$ кДж енергії.

Ця зв'язана енергія далі використовується консументами й редуцентами в ланцюгах живлення, і за її рахунок жива речовина виконує роботу —

концентрує, трансформує, акумулює й перерозподіляє хімічні елементи в земній корі, роздрібнює та агрегує неживу речовину. Робота живої речовини супроводжується розсіянням у вигляді тепла майже всієї запасеної в процесі фотосинтезу сонячної енергії. Лише частки процента цієї «фотосинтетичної» енергії не потрапляють у ланцюги живлення й консервуються в осадових породах у вигляді органічної речовини торфу, вугілля, нафти та природного газу.

Отже, в процесі роботи, яку здійснює біосфера, вловлена сонячна енергія трансформується, тобто йде на виконання так званої корисної роботи, й розсіюється. Ці два процеси підпорядковуються двом фундаментальним природним законам — **першому та другому законам термодинаміки**.

Перший закон термодинаміки часто називають законом збереження енергії. Це означає, що енергія не може бути ні народжена, ні знищена, вона може бути лише трансформована з однієї форми в іншу. Кількість енергії при цьому не змінюється.

В екологічних системах відбувається багато перетворень енергії: промениста енергія Сонця завдяки фотосинтезу перетворюється на енергію хімічних зв'язків органічної речовини продуцентів, енергія, запасена продуцентами, — на енергію, акумульовану в органічній речовині консументів різних рівнів, і т. д. Сучасне людське суспільство також перетворює величезні кількості однієї енергії на іншу.

Другий закон термодинаміки визначає напрям якісних змін енергії в процесі її трансформації з однієї форми в іншу. Закон описує співвідношення корисної та марної роботи під час переходу енергії з однієї форми в іншу й дає уявлення про якість самої енергії.

Згадаймо, що під енергією розуміють здатність системи здійснювати

роботу. Але за будь-якої трансформації енергії лише частина її витрачається на виконання *корисної роботи*. Решта ж безповоротно розсіюється у вигляді тепла, тобто здійснюється *марна робота*, пов'язана зі збільшенням швидкості безладного руху частинок. Чим більший процент енергії витрачається на виконання корисної роботи й, відповідно, чим менший процент при цьому розсіюється у вигляді тепла, тим вищою вважається якість початкової енергії. Високоякісна енергія може бути без додаткових енергетичних затрат трансформована в більшу кількість інших видів енергії, ніж низькоякісна.

Енергією найнижчої якості є енергія неупорядкованого броунівського руху, тобто теплова. Її не можна використати для виконання корисної роботи. Кількість енергії найнижчої якості, непридатної для здійснення корисної роботи, називають *ентропією*. Спрощено ентропія — це міра дезорганізації, безладу, випадковості систем та процесів.

Отже, за другим законом термодинаміки, будь-яка робота супроводжується трансформацією високоякісної енергії в енергію нижчої та найнижчої якості — тепло — й призводить до зростання ентропії.

Знизити ентропію в термодинамічно закритій системі, яка не отримує енергії ззовні, неможливо — адже вся якісна енергія такої системи врешті-решт перетворюється на низькоякісну, деградує до тепла. Проте у відкритій термодинамічній системі можливо протидіяти зростанню ентропії, використовуючи для цього високоякісну енергію, що надходить ззовні, й відводячи низькоякісну енергію за межі системи.

Всесвіт є закритою системою, й у ньому ентропія постійно зростає. Натомість біосфера є відкритою системою, яка підтримує власний низький рівень ентропії, використовуючи для цього зовнішнє джерело

якісної променистої енергії — Сонце — й розсіюючи в космічний простір низькоякісну теплову енергію. Тому, крім ентропії фізичної (ентропії замкненої системи), в екології використовують поняття «ентропія екологічна» — кількість необоротно розсіяної в просторі теплової енергії, яка, проте, компенсується трансформованою енергією зовнішнього джерела — Сонця.

Ентропія екологічна. В Космосі ентропія зростає з плином часу, але всередині хаосу існують острівці порядку. Один із найважливіших серед них — життя.

Живі системи за рахунок високо впорядкованої енергії Сонця з низько впорядкованих компонентів довкілля створюють свій, вищий, ніж у довкіллі, порядок. За популярним серед фізиків висловом, живе живиться не енергією, воно живиться чужим порядком (наприклад, порядком сонячного світла, хімічних зв'язків органічної речовини). В процесі само впорядковування жива речовина необоротно розсіює енергію, яка плине крізь екосистеми, тобто створює ентропію екологічну.

Теплове розсіяння енергії екосистемами відбувається двома основними шляхами:

1) звичайних утрат тепла через різницю в температурах біоти й довкілля;

2) втрат тепла організмами та їх угрупованнями в процесах метаболізму (зокрема дихання) у зв'язку з вивільненням енергії в ході екзотермічних реакцій.

З погляду другого закону термодинаміки біосфера не є «безвідходним виробництвом»: відходи її діяльності — це не речовина, а це низькоякісна теплова енергія, що випромінюється за межі планети, тобто ентропія.

Вважають, що *еволюція біосфери відбувалася в напрямі зменшення*

екологічної ентропії. Адже за постійної кількості енергії, що надходить, чим менше тепла випромінюється, тим більше виконується корисної роботи, тим упорядкованішою стає система. Наприклад, у системі продуцент—редуцент корисна робота полягає в протидії розпаду тіл лише двох ланок — продуцентів і редуцентів, а в системі продуцент—консумент—редуцент — уже в підтриманні організації трьох компонентів. За однакової кількості зовнішньої енергії в обох випадках друга система, котра здійснює більше корисної роботи, випромінюватиме менше тепла, тобто матиме нижчу екологічну ентропію. З цього випливає, що чим довшими є ланцюги живлення, тим вони енергетично досконаліші.

Велика кількість біомаси та енергії під час переходу з одного трофічного рівня на інший розсіюється, витрачається на підтримання температури тіла організмів, на перетворення в CO₂; не вся біомаса нижчого рівня використовується як їжа організмами вищого рівня й не вся засвоюється організмами. Інакше кажучи, за другим законом термодинаміки, енергія перетворюється на тепло, що розсіюється в довкіллі й втрачається в просторі. Як зазначалося вище, за підрахунками екологів, лише 10% біомаси одного трофічного рівня перетворюється на біомасу другого рівня (так зване правило десяти процентів).

1.7. Кругообіг речовин і енергії в природі

Як уже зазначалось, на нашій планеті існував геохімічний кругообіг речовин, але з появою життя на Землі геохімічні зв'язки стали біогеохімічними — складнішими й різноманітнішими. В умовах розвинутої біосфери протягом останніх сотень мільйонів років кругообіг

речовин у природі відбувається вже під спільним впливом біологічних, геохімічних і геофізичних чинників. Саме в цьому сенсі застосовують терміни "біогеохімічний кругообіг", "біогеохімічні цикли". Останнім часом до цих факторів відносять ще й господарську діяльність людини, внаслідок чого швидко порушується те, що формувалося мільйони років — біогеохімічний кругообіг речовин, що може мати непоправні наслідки для майбутнього людства.

Біогеохімічний кругообіг та пов'язані з ним перетворення енергії є основою динамічної рівноваги і стійкості біосфери. Нормальні, непорушені біогеохімічні цикли мають круговий, майже замкнутий характер. Це підтримує постійність і рівновагу складу, кількості та концентрації компонентів у біосфері (наприклад, склад атмосферного повітря, концентрація солей у водах океанів, кількість опадів і обсяги річкових стоків, тощо). Своєю чергою, така сталість спричиняє генетичну та фізіологічну пристосованість живих, організмів до існування на Землі.

Проте неповна замкнутість циклів у геологічному масштабі часу забезпечує концентрацію або розсіювання окремих елементів. Наприклад, концентрацію азоту і кисню в атмосфері, водах океанів, утворення покладів карбонатів, фосфатів, залізних руд, копального пального.

Всі біохімічні цикли, що існують у біосфері, формувались тривалий час і відбуваються досить повільно. За оцінками вчених, повний обіг вуглекислого газу в атмосфері, тобто час його повного заміщення, становить 300 років, кисню — 2000 років. Такі ж межі має і кругообіг інших елементів. Загально планетні, кліматичні та геохімічні цикли, що охоплюють усю атмосферу й весь океан, товщі донних опадів і кори, вивітрювання відбуваються вкрай повільно, протягом сотень тисяч і

мільйонів років. Тому значний вплив людини на біосферу протягом дуже короткого часу (близько десятка років) порушує сталі швидкості біогеохімічних кругообігів, що може спричинити небезпечні та незворотні наслідки.

Основу будь-якого живого організму нашої планети становлять 9 основних елементів: $O, H, C, N, Ca, S, P, K, Si$, які називають "основними елементами життя". Головними складовими елементами живої речовини за масою є кисень (65—70%) і водень (10%). Решту (20—25%) становить вуглець, азот, кальцій (від 1 до 10 %), фосфор, калій, кремній (від 0,1 до 1%). Інші елементи присутні в живих організмах у мікро-кількостях (менше 0,1%), наприклад, у людському організмі їх понад 70. Така кількість елементів — "цеглин" живих організмів — пояснюється тим, що всі вони задовольняють дві вимоги: мають мінімальний обсяг і зберігають стабільність при втраті або набутті електронів. Ці елементи, які називають біофільними, є основними у біогеохімічному кругообігу речовин у біосфері — запорукою їх динамічної рівноваги та стійкості. Розрізняють три основні типи біогеохімічних кругообігів води, елементів у газовій фазі, елементів у твердій і рідкій фазах.

1) Кругообіг води у природі.

Вода відіграє найважливішу роль у формуванні та організації всіх біогеохімічних циклів у природі. Вона присутня у всіх елементах біосфери: водоймах, повітрі, ґрунті та живих організмах, які можуть містити до 90 % води (наприклад, тіло людини на 71 % складається з води). Уся вода, за незначним винятком, наявна на поверхні землі, утворилася під час кристалізації гранітної магми, виверженої при вулканічній діяльності в докембрійський період. Розроблення теорії магматизму підтвердило, що магма (розплавлені маси в глибинах Землі)

містять воду. Наприклад, гранітна магма містить до 1 % води. Ці данні в перерахунку на весь обсяг магми, що кристалізувалася, приблизно відповідають обсягу світового океану.

Коротко кругообіг води у біосфері можна описати так: вода потрапляє на поверхню Землі у вигляді опадів, що утворюються переважно з водяної пари у результаті випаровування води рослинами (цей процес називають транспірацією), сушею, поверхнею морів і океанів. Частина її знову випаровується, прямо або опосередковано за допомогою рослин і тварин, частина — живить підземні води, а решта — разом з річковими стоками, що включають поверхневі та підземні стоки, досягає морів, звідки й випаровується. Очевидно, що кількість води, яка випаровується у результаті транспірації або безпосередньо поверхнею суші та океану, а також кількість опадів змінюється залежно від місцевих умов і пори року. Загалом випаровування з одиниці площі у лісі значно більші, ніж з одиниці поверхні моря. Зі зменшенням рослинного покриву знижується транспірація, а отже, і кількість опадів, що спричиняє зменшення рівня ґрунтових вод і призводить до спустошення Землі.

Відомо, що світовий водний баланс історично є досить постійною величиною. Проте локальні водні баланси, наприклад, у певній місцевості, можуть значно відрізнятися. У геологічному масштабі часу можна виявити часті порушення рівноваги між балансами океанічних і континентальних вод. Цим пояснюються значні коливання рівня океанів, з якими пов'язані і зміни клімату на планеті. Цикл континентального зволоження становить 1800—2000 років. На сьогодні, за даними деяких вчених, ми перебуваємо на етапі переходу від дуже вологої континентальної фази до сухішої. Це означає, що континенти мають тенденцію віддавати частину своєї води океанам. Спостереження, що

проводилися протягом останніх 80 років, підтверджують щорічне підвищення рівня океанів на 1,2 мм, що відповідає зменшенню запасів води суші на $430 \text{ км}^3/\text{рік}$. Тому біогеохімічний кругообіг води у біосфері є незамкнутим.

Використання води людиною поділяють на водокористування і водоспоживання. При водокористуванні вода залишається у водоймах і застосовується як засіб транспортування (лісосплав, водний транспорт), природне середовище (рибне господарство, відпочинок), джерело механічної енергії (гідроенергетика). Водоспоживання пов'язане із забором води з водойм і забрудненням природних вод стічними водами. Основними водоспоживачами є сільське господарство, енергетика, житлово-комунальне господарство. Потреба промисловості у воді дуже велика, наприклад, для виплавляння 1 т чавуну і перетворення його у сталь і прокат необхідно $50\text{—}150 \text{ м}^3$ води, 1 т міді — 500 м^3 води, виробництво 1 т пластмас вимагає до 100 м^3 води, а 1 т синтетичного каучуку і штучних волокон — $2000\text{—}3000 \text{ м}^3$ води.

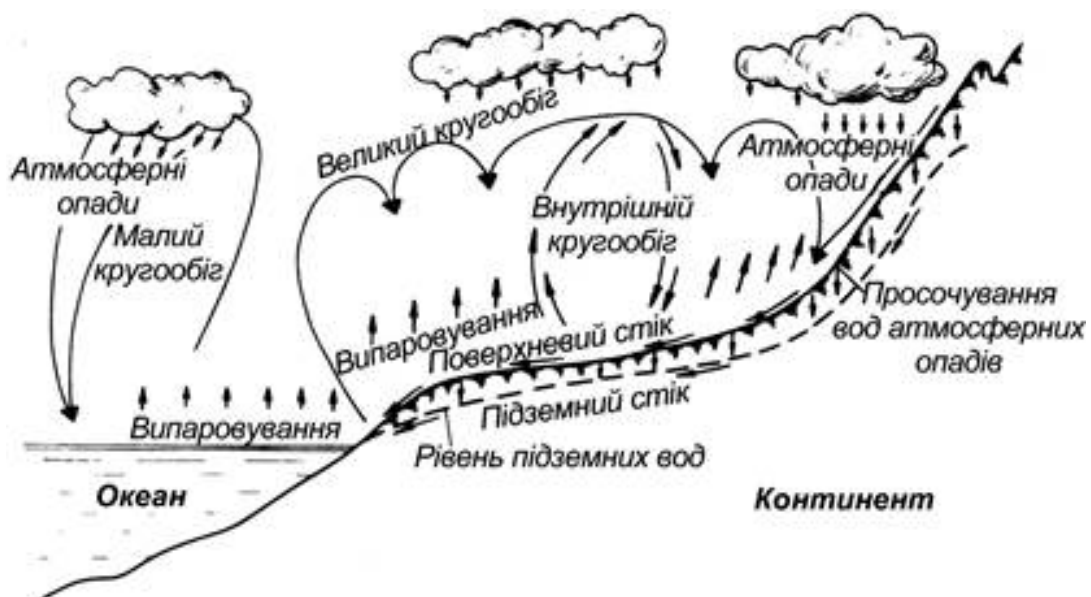


Рис. 1.2 Кругообіг води у біосфері.

Отже, вже зараз, аби задовольнити свої потреби, людству потрібно близько 40% водних ресурсів, придатних для використання, до того ж, більша частина з них витрачатиметься на розбавлення забруднених стічних вод. Слід зазначити, що часто навіть після ефективного очищення стічних вод для отримання гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин їх необхідно розбавляти. Наприклад, для стоків виробництва синтетичних волокон кратність розведення становить приблизно 1:200, а поліетилену — 1:30.

Порушення людиною кругообігу води в природі спричинено переважно тими ж факторами, що й зміна клімату: знищенням лісів, зміною гідрографічної мережі, збільшенням концентрації вуглекислого газу і пилу в атмосфері, руйнуванням озонового шару, виробництвом енергії, забрудненням морів та океанів, зокрема, утворенням на їх поверхні нафтових плівок тощо.

Внаслідок цих явищ змінюється інтенсивність випаровування, а отже, хмарності, кількості опадів, обсягу поверхневих і підземних стоків, рівня ґрунтових вод і у результаті — продуктивності сільського господарства. До інших негативних наслідків порушення людиною кругообігу води в природі можна віднести зміну та міграцію видів рослин і тварин, затоплення, заболочування землі або її висушування і спустелювання, одноманітність клімату та ландшафту. Щоправда такі явища наразі можна спостерігати лише на локальному і регіональному рівнях. Глобальні зміни кругообігу води і водного балансу континентів, спричинених господарською діяльністю людини, продовжують досліджувати.

Для збереження сформованого в біосфері біогеохімічного кругообігу води необхідно раціонально використовувати водні ресурси Землі. У промисловості перспективним є створення безвідходних виробництв та,

як їх складову, замкнених водообігових циклів. Значно скоротити споживання води можна за допомогою винайдення нових або вдосконалення наявних безвідходних технологій, зокрема, покращуючи методи очищення забруднених стічних вод для повернення їх у виробничий цикл.

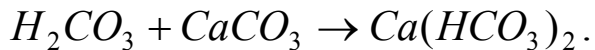
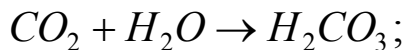
Вирощування і збереження лісів сприятиме регулюванню водного балансу й, зокрема, річкових стоків. Наявність лісу істотно зменшує поверхневі стоки і стоки невеликих річок, паводкові витрати води, збільшує загальний рівень річних стоків, стоки у посушливі періоди, а також витрати води в міжсезоння.

2) Кругообіг вуглецю і кисню в природі

Вміст вуглецю у земній корі незначний (0,1—0,2 % мас), але його сполуки є основою всіх форм життя. Із кругообігом вуглецю безпосередньо пов'язаний кругообіг кисню в біосфері, а також цикли азоту, фосфору та сірки. Очевидно, збагачення живої речовини (до 18 % мас) і ґрунтів (2—3 % мас) вуглецем також сприяло нагромадженню кисню в атмосфері. Біогеохімічний цикл вуглецю визначає енергетику біосфери, оскільки життєдіяльність рослинних фотосинтезуючих організмів та їх взаємодія з тваринами, мікроорганізмами і неживою природою є загальним механізмом збереження, нагромадження і перерозподілу космічної енергії, що потрапляє на Землю.

Коротко кругообіг вуглецю в біосфері можна описати так: атмосфера і вода океанів є резервуарами активного неорганічного фонду вуглецю, що зберігається як діоксид у вільному (2.1×10^{12} т) і розчиненому (1.3×10^{14} т) вигляді. Між атмосферою і океаном постійно відбувається обмін діоксидом вуглецю. Підвищення концентрації і парціального тиску CO_2 в атмосфері та охолодження вод (регіональне або сезонне)

супроводжується відповідним збільшенням концентрації діоксиду вуглецю у воді й утворенням розчинів бікарбонатів металів за реакціями:



Надалі бікарбонати можуть, випадаючи в осад, зв'язувати частину CO_2 у карбонатах. Інша частина CO_2 при цьому знову виділяється в атмосферу. Зменшення концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері або підвищення температури викликає дегазацію вод океану. При цьому в осад випадає еквівалентна частина вуглекислого кальцію:



Так утворюються осадові карбонатні породи, і вуглець переходить із кругообігу в тривалий геологічний цикл.

Загалом, Світовий океан діє як величезна помпа, поглинаючи вуглекислий газ у високих широтах, де вода є низької температури, і, виділяючи його у тропіках, де температура води підіймається, спостерігають відповідне збільшення парціального тиску CO_2 в атмосфері.

Іншим механізмом поглинання діоксиду вуглецю з атмосфери та гідросфери з відповідним виділенням вільного кисню є фотосинтез. Процес зв'язування вуглецю у формі органічних сполук почався на Землі набагато пізніше від геохімічного зв'язування вуглецю у вигляді карбонатів, але відбувався дуже інтенсивно.

Діоксид вуглецю повертається в активний неорганічний фонд через дихання рослин і тварин, життєдіяльність мікроорганізмів, що забезпечують процеси розкладання та гниття, а також унаслідок окиснення гумусу ґрунтів, торфу і лісового покриття, лісових і степових

пожеж тощо. Певна кількість діоксиду вуглецю, так звані ювенільні складові, виділяються внаслідок вулканічної діяльності.

Загальновідомо, що біогеохімічний цикл вуглецю у біосфері дуже змінений. Кількість діоксиду вуглецю, що утворюється в процесі господарської діяльності людини і потрапляє в атмосферу, досягла приблизно $(10 - 25) \times 10^9$ т/рік і на даний час у 100—150 разів перевищує ювенільні складові, становлячи від 6 до 10 % щорічного нормального рівня біогенного виділення. І її кількість продовжує збільшуватись. Утворення діоксиду та оксиду вуглецю у результаті спалювання викопного палива — не єдині джерела антропогенного збільшення вуглекислого газу в атмосфері. Багато галузей промисловості, зокрема металургія, хімічна і нафтохімічна промисловість, виробництво будівельних матеріалів як побічні продукти серед іншого утворюють й значну кількість вуглецю.

Випадання з атмосферними опадами значних кількостей розведених розчинів сірчаної, азотної та соляної кислот неминуче супроводжується руйнуванням карбонатів ґрунтів і скель з виділенням в атмосферу вільного діоксиду вуглецю. Аналогічною є дія кислих стічних вод і лужних розчинів низки твердих промислових відходів, наприклад фосфогіпсу. Виділення діоксиду вуглецю спричиняють також теплові викиди, пов'язані з нагріванням річкових, морських і підземних вод та зменшенням розчинності бікарбонатів кальцію і магнію.

3) Кругообіг азоту в природі

Азот настільки ж важливий для життя на планеті, як і вуглець. Біогеохімічний кругообіг азоту полягає у його акумулюванні в молекулярній формі в атмосфері, де зосереджено близько 75 % усього

азоту біосфери — 5×10^{15} т. Жива речовина й ґрунти протистоять цій загальній тенденції.

Цикл азоту складніший, однак він добре організований у природі. Атмосферне повітря на 78 % складається з азоту і становить його основний резервний фонд. Провідну роль у кругообігу азоту відіграють мікроорганізми. Азот потрапляє до атмосфери завдяки життєдіяльності денітрифікуючих бактерій і знову входить у кругообіг унаслідок діяльності азотофіксуючих бактерій, водоростей та утворення сполук азоту при електричних розрядах — блискавках і фотохімічній фіксації. При цьому азот перетворюється в нітратну форму, найпридатнішу для синтезу білка зеленими рослинами і утворення рослинної, а потім тваринної протоплазми. Азот протоплазми своєю чергою переходить з органічної в неорганічну форму внаслідок діяльності низки бактерій-редуцентів, причому кожен вид виконує іншу функцію. У результаті певна кількість цього азоту перетворюється в нітратну форму, і цикл завершується. Частина азоту з густонаселених територій суші, прісних вод і мілководних морів потрапляє в глибоководні океанічні відкладення і, таким чином, виходить із кругообігу на тривалий термін — мільйони років. Ця втрата компенсується постачанням азоту в повітря вулканічними газами, що підтверджує необхідність вулканічних вивержень.

Внаслідок високої розчинності солей азотної кислоти і солей амонію, азоту в ґрунті мало і майже завжди недостатньо для живлення рослин. Що вищий загальний вміст азоту у ґрунтах, то багатші запаси гумусу. Лише в особливих умовах деяких пустель азот може накопичуватися в більших кількостях (як поклади нітратів — селітри).

Антропогенні порушення в балансі біогеохімічного кругообігу азоту на планеті та особливо на суші значні й спричинили локальні негативні або навіть смертельні для людини наслідки. Встановлено, що поодинокі випадки захворювання виникають, якщо вміст нітратів у воді досягає 40—50 мг/л, і частішають, якщо концентрація нітратів перевищує 95 мг/л. Допустиму максимальну кількість нітратів визначила Всесвітня організація охорони здоров'я, вона становить 45 мг/л. Загалом у світі щорічно виробляють і вносять у ґрунти як мінеральні добрива понад 30 млн. тон азоту.

У країнах Західної Європи середні норми азоту в добривах досягли 100—150 кг/га. Азотні добрива вже становлять близько 30% загальних викидів зв'язаного азоту в ґрунт і океан. Встановлено, що надлишкові норми добрив і особливо їх недбале внесення на поля спричиняють евтрофікацію середовища і призводять до важких захворювань людей і тварин. Ґрунти не абсорбують нітратний азот, тому його легко вимивають ґрунтові води, і більша його частина (до 40%) втрачається для живлення рослин. Із збільшенням чисельності та потреб населення планети використання азотних добрив у землеробстві та лісівництві й надалі зростатиме. Прогнозують, що попри нові форми й техніку застосування азотних добрив, антропогенні викиди азоту в кругообіг речовин на суші подвоюватимуться кожних 10—15 років.

Ще важливішим чинником, що спричиняє порушення балансу, рівня концентрацій і форм сполук азоту в атмосфері, і особливо в гідросфері та ґрунтах, є промислові забруднення. Виділення оксидів азоту і аміаку під час спалювання вугілля, нафти, мазуту, бензину, торфу, сланців тощо, сягає десятків мільйонів тон і призводить до утворення розведеної азотної кислоти і частково амонієвих солей, що потрапляють із опадами на сушу і

поверхню океану. Імовірно, що ці викиди сполук азоту можуть спричинити небезпечне забруднення навколишнього середовища нітратами і аміаком. Сьогодні у багатьох частинах планети можна спостерігати випадіння підкислених атмосферних вод і поступове збільшення їх кислотності.

Іншим важливим фактором, який спричиняє порушення кругообігу азоту в природі, є відходи промислового тваринництва і птахівництва, а також побутові відходи та стоки великих міст. Ці відходи та стоки часто призводять до локального забруднення ґрунту й водою сполуками азоту. Щорічний надлишок азоту в біосфері за приблизними підрахунками сягає десятків мільйонів тон. Втім використання азотних добрив неминуче, тому необхідно створити їх менш розчинні, стійкіші форми. Одночасно необхідно максимально скоротити викиди сполук азоту в біосферу з промисловими та іншими відходами.

4) Кругообіг фосфору в природі

З усіх елементів, наявних у живих організмах, фосфор має найбільше екологічне значення, тому що відношення його кількості до кількості інших елементів в організмах звичайно набагато вище, ніж відповідне відношення у тих джерелах, звідки організми отримують необхідні їм елементи. Недостатня кількість фосфору обмежує продуктивність у певному районі, ніж недостатня кількість іншої речовини, за винятком води. Сполуки фосфору входять до складу тканин мозку, скелета, панцирів. Особливо важливим фосфор є для нагромадження внутрішньоклітинної енергії — формування фосфатолепідів та синтезу нуклеїнових кислот. При недостатній кількості фосфору порушується енергетика клітини і синтез білка. Біогеохімічний кругообіг фосфору в природі суттєво відрізняється від розглянутих раніше кругообігів води,

вуглецю та азоту. Для останніх газоподібні форми сполук є обов'язковою і найважливішою ланкою. Газові форми сполук фосфору, наприклад, фосфін, у його біогеохімічному кругообігу майже відсутні. Структура кругообігу фосфору простіша від кругообігу азоту.

На відміну від азоту резервуаром фосфору слугує ні атмосфера, а гірські породи або інші відкладення, що утворилися в минулі геологічні епохи. Ці породи поступово піддаються ерозії і вивільняють фосфати, які рослини використовують для синтезу протоплазми. Рослинна протоплазма є основою для синтезу тваринної протоплазми. Фосфор протоплазми знову перетворюється з органічної в неорганічну форму внаслідок діяльності фосфатредуціюючих бактерій. Багато фосфатів із річковими стоками потрапляє в море, частина їх відкладається в мілководних, а частина — у глибоководних осадах. Морські риби та птахи відіграють важливу роль у поверненні фосфору в кругообіг із моря на сушу.

Припускають, що фосфор — основний регулятор усіх біогеохімічних кругообігів. Наприклад, кількість нітратів у воді або кисню в атмосфері залежить від стану кругообігу фосфору.

Без фосфорних добрив неможливо досягти необхідного підвищення врожайності сільськогосподарської продукції. Сьогодні світові запаси фосфорних руд оцінюють 29×10^9 т, з яких тільки 10% мають промислове значення. Світовий видобуток фосфатів і виробництво фосфорних добрив відповідає $(18 - 20) \times 10^6$ т фосфору на рік. Отже, світові та промислові запаси фосфорних руд досить обмежені й можуть виснажитися протягом найближчих 100 років. Тому твердження про те, що фосфор є найслабшою ланкою, яка забезпечує існування людини, небезпідставне.

На даний час механізми повернення фосфору в кругообіг неефективні. Щорічно з річковими стоками в океан потрапляє до 4 млн т фосфатів, які, відкладаючись у глибоководні, на тривалий час виводяться з біогеохімічного кругообігу. Процес перенесення фосфору з моря на сушу внаслідок підняття відкладень і діяльності морських птахів та риби триває і зараз, але в минулому він був значно інтенсивнішим.

Протягом останніх десяти років людство значно порушило розподіл та міграцію фосфору, що, з огляду на відносну незворотність і незамкнутість загального кругообігу фосфору на планеті, становить значну проблему. За деякими даними, фосфор у водах і ґрунтах планети майже завжди перебуває в дефіциті. Дефіцит фосфору постійно обмежує біологічну продуктивність планети.

1.8. Атмосфера, літосфера, гідросфера та їх забруднення.

Атмосфера — зовнішня газова оболонка Землі, що оточує її приблизно на 3000 км, обертається з нею і є своєрідним буфером між поверхнею Землі і Космосом, носієм тепла й вологи, через неї відбувається фотосинтез та обмін енергією, регулюється теплообмін, радіаційний і тепловий баланси, визначається клімат планети. Вага атмосфери становить приблизно одну мільйонну частину маси Землі. Атмосфера існує близько 3 млрд. років, але за цей період її склад і властивості неодноразово змінювалися.

Атмосфера поділяється на тропосферу (до 20 км від поверхні Землі), стратосферу (від 20 до 55 км), мезосферу (від 55 до 78 км), моносферу (від 78 до 103 км) і екзосферу (понад 103 км). Із висотою різко зменшуються щільність і тиск, а температура змінюється за складною

траєкторією внаслідок нерівномірного поглинання сонячної енергії газами на різній висоті (крім цього, атмосфера нагрівається ще й знизу від поверхні суші й океану).

До складу атмосфери входить азот, кисень, аргон, криптон, водяна пара, озон та вуглекислий газ. Вміст водяної пари визначається процесами випару, конденсації й переносу.

Найбільше екологічне значення атмосфери — це захист усіх живих організмів Землі від згубного впливу сонячного випромінювання та падіння метеоритів, регулювання сезонних і добових температур.

Атмосфера впливає на характер і динамку всіх екзогенних процесів у літосфері (вивітрювання, напрямок вітру, наявність природних вод, мерзлота тощо) та гідросфері (водний баланс, режим поверхневих і підземних басейнів та акваторій).

В останні роки на атмосферу значно впливають аерозольні частки пилу, які сьогодні можна виявити не тільки в атмосфері, але й за її межами.

Літосфера — зовнішня тверда оболонка Землі, що включає всю земну кору із частиною верхньої мантії й складається з осадових, вивержених метаморфічних порід. Товщина літосфери 25—200 км на континентах та 5—100 км — під океанами.

Геологічна будова Землі (радіус — 6370 км, щільність — 5,5г/см³):

- земна кора (1 % маси Землі) — верхня оболонка Землі товщиною 40—80 км на суші та 25—30 км під океанами, що складається з кисню, кремнію, водню, алюмінію, заліза, магнію, кальцію та натрію. На суші вона має три шари: осадові породи, граніти і базальти; під океанами — два шари: осадові породи і базальти. Товщина земної кори у гірських районах — до 75 км (під Гімалаями); у низинах: 35—40 км; у центральних частинах океанів: 5—7 км;

- мантія;

- ядро.

Земна кора зверху покрита ґрунтами — органічно-мінеральними продуктами спільної діяльності живих організмів, води, повітря, сонячного тепла і світла, товщиною від 15 см до 3 м. Вони відіграють найважливішу роль у кругообігу води, речовин вуглекислого газу.

Відомо, що щільність порід зростає із збільшенням глибини літосфери (від $2,3 \text{ г/см}^3$ — на поверхні до $5,6 \text{ г/см}^3$ — на глибині 2900 км і 17 г/см^3 — у центрі ядра), аналогічно зростає і температура (до $6900 \text{ }^\circ\text{C}$ — у центрі ядра).

Земна поверхня, в основному, складається із рівнин континентів і океанічного днища. Континенти обмежені водяним шельфом глибиною до 200 м і шириною до 80 км. Глибина океанічних жолобів — 9—11 км (Тихий океан).

95 % літосфери — це вивержені магматичні породи: на континентах, переважно, граніти, а в океанах — базальти.

Літосфера є джерелом усіх мінеральних ресурсів, використання й видобуток яких спричиняє екологічні кризи.

Переважає більшість речовини літосфери перебуває у твердій фазі, але на межі земної кори і верхньої мантії (100—150 км) існує тістоподібний шар, а ядро складається з металевої фази.

Гідросфера — водяна ділянка нашої планети — сукупність океанів, морів, вод континентів, льодовиків. Її загальний обсяг становить 16 млрд. км^3 і покриває 71 % поверхні Землі. Вона є основою розвитку й існування життя на Землі.

Вода формує поверхню Землі, її ландшафти, переносить хімічні речовини вглибину Землі, транспортує забруднювачі. Водяна пара

фільтрує сонячну радіацію, нейтралізує дію екстремальних температур, регулює клімат. Основна частина води перебуває у мантії Землі й охоплює ґрунтові, підґрунтові, міжпластові, тріщинні та карстові води. Залежно від глибини залягання й вмісту порід її склад змінюється від гідрокарбонатно-кальцієвого — до сульфатного, від прісного — до ропа.

Вуглекислий газ вод океану перевищує його масу в атмосфері у 60 разів, споживається рослинами під час фотосинтезу, бере участь у формуванні скелетів, коралів, черепашок, карбонатних опадів тощо. Внаслідок відмінності в інтенсивності сонячного обігрівання поверхні на різних широтах океанічні води постійно перебувають у русі, впливають на клімат та інші екологічні фактори, а також відіграють основну роль у кругообігу води на планеті. Людина використовує воду для санітарно-гігієнічних і господарсько-побутових потреб.

Забруднення повітряного басейну.

До складу атмосфери входять певні речовини, кількість яких регулюють природні й антропогенні фактори.

До природних джерел належать виділення, що виникають внаслідок життєдіяльності організмів, розкладання органічних речовин, лісових та інших пожеж, діяльності вулканів і гейзерів, пиловиділення під час руйнування гірських порід і ґрунту при ерозії. Джерела цих виділень розподілені на планеті більш-менш рівномірно і діють мільярди років, а їхня кількість урівноважується через кругообіг речовин у природі.

Значно небезпечніші антропогенні випари в атмосферу, які з випадкових перетворилися на постійні до того ж з тенденцією до зростання. Антропогенні викиди можна об'єднати у такі групи:

- забруднювачі, що утворюються під час згоряння палива у промисловому виробництві, при опаленні житлових будинків та роботі усіх видів транспорту;

- забруднювачі, що утворюються в результаті промислових викидів;

- забруднювачі, що утворюються при згорянні та переробленні побутових і промислових відходів.

Походження цих забруднювачів різне: димові гази, що виділяються під час згоряння палива, гази двигунів внутрішнього згоряння, хвостові гази та абгази технологічних процесів, вентиляційні викиди, неорганізовані виділення з каналізацій, стічних вод, відвалів та інших видів викидів до атмосфери. На даний час в атмосферу щорічно у всьому світі викидається до 2.6×10^9 т різних забруднювачів: газів, пару, пилу, аерозолів. Попри це, склад повітря над планетою, не зважаючи на допустимі похибки у вимірах, загалом залишається стабільним. Тому забруднення атмосфери, окрім підвищення концентрації вуглекислого газу, аерозолів й руйнування озонового шару, про що йшлося вище, мають радше локальний характер. Частка різних галузей промисловості в забрудненні атмосфери, з урахуванням усіх видів забруднювачів, становить (у % від загального забруднення):

- теплова енергетика — 30,7 %;

- автотранспорт — 22,8 %;

- чорна металургія — 15,7 %;

- промисловість будівельних матеріалів — 13,3 %;

- кольорова металургія — 7,4 %;

- нафтопереробна промисловість — 6,3 %;

- хімічна промисловість — 3,8 % .

Отже, більшу частину забруднень атмосфери спричиняють теплоелектростанції та підприємства чорної металургії. Слід враховувати, що викиди підприємств хімічної промисловості є сильно концентрованими й досить агресивними.

У промисловості отримують і використовують речовини з різними фізичними та хімічними властивостями, що визначає і хімічний склад викидів в атмосферу. Проте за обсягом та завданою шкодою серед усіх викидів варто виділити: сірчистий газ SO_2 (або сірчистий ангідрид чи двоокис сірки), оксиди азоту, вуглецю CO (чадний газ), нафтові гази, леткі розчинники (ароматичні вуглеводні, спирти, ефіри, галогенопохідні вуглеводнів, кетони тощо), а також пиловиділення.

У світі щорічно викидається понад 200 млн т сірчистого ангідриду та приблизно 50—55 млн т оксидів азоту. Понад 70 % сірчистого ангідриду, що потрапляє в атмосферу, утворюється при спалюванні вугілля і 16 % — рідкого палива. Значне забруднення діоксидом сірки спричиняє суттєве зменшення рН дощової води. Підвищення кислотності атмосферних опадів — окиснення — призвело до катастрофічних наслідків, особливо у Скандинавії, Канаді та США, оскільки значно знизило біологічну продуктивність озер та у багатьох випадках спричинило повну загибель риби. Кислотні дощі впливають і на продуктивність сільського господарства, підвищуючи кислотність ґрунтів і знижуючи врожайність.

Основним джерелом потрапляння в атмосферу оксидів азоту є спалювання твердого та рідкого палива. Загальна кількість оксидів азоту, що потрапляють в атмосферу з промислових джерел, приблизно в 10 разів менша, ніж із природних джерел, насамперед вулканів. Діоксид азоту, який потрапив до атмосфери різними шляхами або утворився під час окислення оксиду, перебуває в ній у середньому близько 3 діб. Далі він

при взаємодії з водяною парою перетворюється в азотну кислоту, яка, реагуючи з атмосферним аміаком або аерозолями, утворює нітрати. Нітрати повертаються на землю разом з опадами.

Важливе значення у локальних забрудненнях атмосфери мають аерозолі штучного походження. Перше місце тут посідає промисловість будівельних матеріалів, насамперед виробництво цементу. Цементні заводи викидають в атмосферу до 3 % своєї продукції. Велика кількість пилу утворюється також при виробництві чорних і кольорових металів.

Раніше значну частку двоокису вуглецю в атмосферу викидали вулкани. Тепер викиди внаслідок спалювання горючих матеріалів перевищують на два порядки надходження цього газу з мантії Землі.

Другим значним джерелом виділення оксиду вуглецю, азоту, деяких вуглеводнів (пектану, гексану тощо), токсичних сполук свинцю і навіть канцерогенних речовин (бензопірену) є двигуни внутрішнього згоряння. Протягом 1 години із відпрацьованими газами легкового автомобіля викидається до 3 м³, а вантажного автомобіля — до 6 м³ оксиду вуглецю. Швидкий розвиток автомобільного та авіаційного транспорту призводить до значного зростання кількості викидів цього газу. На перехрестях вулиць у великих містах зафіксовано низку випадків гострого і хронічного отруєння регулювальників, торговців і навіть пішоходів.

Сьогодні є два способи уникнути викидів оксидів газів: попереднє оброблення пального для видалення з нього шкідливих оксидів або за допомогою вловлювання в очисних пристроїв вже утворених оксидів із відхідних газів. Однак більші обсяги димових газів із високою температурою й малою концентрацією ускладнюють застосування кожного із цих способів. Зменшення викидів оксиду вуглецю можна досягти поліпшенням процесу спалювання пального: встановленням

каталітичних опалювачів у автомобілях, каталітичним доспалюванням до двоокису — у відхідних газах тощо.

Леткі розчинники — низькокиплячі речовини, які застосовують в технологічних процесах для розчинення твердих і рідких сполук: спеціальні бензини (екстраційований бензин, уайт-спірит), ароматичні вуглеводні (бензол, толуол, ксилол), сольвент, спирти (бутиловий, ізобутиловий, метанол), ефіри, що їх переважно застосовують в суміші зі спиртами та ароматичними вуглеводнями, галогенопохідні вуглеводнів (дихлоретан), кетони (ацетон) тощо — токсичні, а багато з них вибухонебезпечні.

Промисловий пил — основний вид забруднення атмосфери, що завдає глобальної шкоди: погано пропускає ультрафіолетову радіацію, перешкоджає самоочищенню атмосфери, засмічує слизові оболонки дихальних органів людини і ока, подразнює шкіру, є переносником бактерій і вірусів, спричиняє ракові захворювання.

Найбільшу кількість пилу викидають в атмосферу теплові електростанції, що працюють переважно на місцевому вугіллі низьких сортів, яке при згорянні виділяє значну кількість золи і сірчистих сполук. Його спалюють в пилоподібному стані, при цьому в атмосферу з димовими газами потрапляє багато золи (щодоби близько 3200 т), яка потім осідає у вигляді кіптяви. Особливо високі концентрації забрудників повітря спостерігаються у промислових містах і районах, оскільки, незважаючи на розсіювання та перенесення вітрами, вони постійно надходять в атмосферу. Нафтохімічні підприємства забруднюють атмосферу пилом токсичних та вибухонебезпечних речовин.

Сьогодні рівень забруднення повітря у містах в 15 разів вищий, ніж у сільській місцевості, та у 150 разів вищий, ніж над океаном. У

промислових містах за добу випадає понад 1 т/км² пилу, а на рік — понад 1 кг/м² пилу та сажі.

У загальному обсязі забруднень не виняток і Україна, основними джерелами викидів шкідливих речовин, в якій є підприємства чорної металургії (33%), енергетики (30%), вугільної промисловості (10%), хімічної та нафтохімічної промисловості (7%). Щорічно Україна викидає в атмосферу 17 млн т шкідливих речовин, і їхня кількість збільшується на 12 млн т щороку.

За кількісним і якісним складом шкідливих викидів промислове виробництво можна поділити на чотири групи:

- виробництва, що виділяють в атмосферу умовно чисті технологічні та вентиляційні викиди, вміст шкідливих речовин яких не перевищує гранично допустимі концентрації;

- виробництва, що викидають в атмосферу гази з неприємним запахом;

- виробництва зі значними викидами газу, що містить нетоксичні або інертні гази;

- виробництва, що викидають в атмосферу токсичні та канцерогенні речовини.

До першої групи належать, наприклад, цехи з технологічними печами, які працюють на природному газі та низькосірчаному мазуті; до другої — виробництво азотної кислоти з каталітичним очищенням; до третьої — цехи із дробильно-помольним устаткуванням, сушильними барабанами, збагачувальні фабрики; до четвертої — хімічні та нафтохімічні виробництва (виробництво поліетилену, фенолу, поліамідних і фенолформальдегідних смол, фталієвого ангідриду, сірчаної та соляної кислоти, стиролу, карбаміду, гербіцидів, аміаку, ацетилену тощо).

Отже, антропогенний вплив на атмосферу безперервно зростає і загрожує глобальними наслідками для майбутніх поколінь, що змушує втілювати важливі інженерні розробки для їх запобігання.

2. ФІЗИЧНА ЕКОЛОГІЯ

2.1. Класифікація техногенних фізичних забруднень.

Оточуюче середовище є нерівноважним. У ньому постійно відбуваються процеси від новоутворень у мікросвіті (жива клітина) до космічних вибухів зірок; від всесвітнього хаосу до створення складних упорядкованих структур; від народження молекул і клітин до виникнення рослин і тварин.

І хоча на перший погляд нам здається, що у світі, оточуючому нас, панує хаос і безлад, проте все у ньому взаємозв'язане і взаємозумовлене, охоплене зворотними зв'язками і корпоративно узгоджене. Між усіма об'єктами Всесвіту, починаючи від елементарних частинок і живої клітини до нейтронних зірок і галактик, постійно відбувається обмін енергією (енергія - єдина міра різних форм руху). Багато процесів на Землі найточніше пов'язані з процесами, що відбуваються на Сонці і в космосі. Лише незначні флуктуації електромагнітного і корпускулярного випромінювання Сонця викликають значні варіації процесів магнітосфери Землі під дією сонячного вітру, а, отже, і зміну тиску її атмосфери, літосфери і гідросфери.

Найбільш складне явище у Всесвіті - поява життя, виникнення живих організмів і людини, яка є досконалою живою розумною істотою. Кожна

клітина живого організму є елементарною фізіологічною клітиною. Людина складається приблизно з 10^{16} клітин і є індивідуальною упорядкованою і самоорганізуючою системою. Будь-яка клітина живого біологічного об'єкта містить хоча б одну молекулярну нитку ДНК (дезоксирибонуклеїнова), що несе генетичну інформацію, і яка володіє здатністю до самокопіювання. Молекула ДНК складається із $10^8 - 10^{10}$ атомів, розміщення яких може змінюватися у кожного індивіда. На нашій планеті описані і отримані найменування більше 10^6 біологічних видів.

Нежива матерія також володіє різноманітністю. Більше 100 хімічних елементів і тисячі відомих ізотопів утворюють більше 10^6 ідентифікованих хімічних з'єднань, рідких і твердих розчинів і сплавів, мінералів, які мають різні хімічні і фізичні властивості.

Людина, як середовище, є складною термодинамічною, нерівноважною, дисипативною системою, що володіє наявністю зворотних зв'язків, стохастичністю (випадковістю) і яка потребує для свого стійкого розвитку необхідних і достатніх умов.

У результаті бурхливої техногенної діяльності, непродуманого відношення до оточуючого середовища, безконтрольного науково-технічного прогресу, посиленого тиску на природу, хижацького використання природних ресурсів Землі все виразніше проявляються глобальні екологічні проблеми, складові загальної екологічної кризи і забруднення атмосфери, гідросфери, літосфери шкідливими техногенними відходами; зміна клімату, в першу чергу, за рахунок парникового ефекту з наступною можливістю затоплення значних заселених територій; руйнування озонового шару в атмосфері і виникнення небезпеки дій короткохвильового ультрафіолетового випромінювання; зменшення площі лісів, утворення пустель; збіднення

біологічних видів флори і фауни; зростання населення планети і забезпечення його продуктами, житлом, одягом; поширення вірусних захворювань; порушення генетичної цілісності ландшафтів; естетичні і етичні аспекти деградації оточуючого природного середовища, невідповідність відтворювальної здатності природи і техногенного впливу і т.д.

Таким чином, біосфера піддається дії багатьох факторів, що мають як природне, так і техногенне походження.

Одним із поширених факторів, що постійно діє на Людину і інші живі організми, є фізичні поля навколоземного простору (електромагнітні випромінювання, статичні електричні і магнітні поля, радіація, шуми, вібрація та ін.).

Фізична екологія - це наука, яка вивчає вплив фізичних факторів на біологічні об'єкти, фізичні методи їх аналізу та ін.

Поява людини виявила всезростаючий вплив на біосферу. Поруч з глибокою діалектичною єдністю людини і природи їх взаємини мають суперечливий характер. З одного боку, людина вийшла з природи, користується її ресурсами, а з другого - людина почала створювати свою власну, відмінну від природної екосистему людини. Поява в біосфері нових компонентів, виникнення господарської діяльності людини характеризують терміном "антропогенне забруднення". Під цим терміном розуміють побічні відходи, що утворюються в ході господарської діяльності людини (суспільства), які, попадаючи в оточуюче середовище, змінюють або руйнують її біотичні і абіотичні властивості. Забруднення також можуть впливати на енергетичний баланс, фізико-хімічні властивості, рівні радіоактивності і електромагнітного фону оточуючого середовища.

Техногенні забруднення і шкідливі впливи можна розділити на чотири великі групи: фізичні, хімічні, біологічні і естетична шкода.

До **фізичних забруднень** відносяться шуми, вібрації, електромагнітні поля, іонізуючі випромінювання радіоактивних речовин, теплове випромінювання, ультрафіолетове і видиме випромінювання. Їх часто називають ще енергетичним забрудненням.

До **хімічної групи забруднень** відносять не тільки різні хімічні елементи, але і ті сполуки, що утворюються під час взаємодії викидів з біотехнічними і абіотичними факторами біосфери. До них можна віднести фтористі з'єднання, важкі метали, вуглеводи, пластмаси, пестициди, різні органічні з'єднання, миючі засоби, похідні сірки, нітрогену тощо.

Естетична шкода проявляється у порушенні пейзажів унаслідок зростаючої урбанізації, будови промислових об'єктів на території природних заповідників та ін.

Велику частину забруднень займають енергетичні викиди, які умовно можна розділити на три групи (рис. 2.1): механічну, електростатичну (магнітостатичну) і електромагнітну.

До першої групи відносяться енергетичні забруднення, що є коливально-хвильовими рухами частинок пружного середовища газової, рідкої і твердої фаз: різні шуми, вібрації, інфразвук, ультразвук.

До другої і третьої груп відносяться техногенні забруднення, що є постійними і змінними електромагнітними полями різних довжин хвиль (від промислової частоти до електромагнітних коливань дуже високої частоти аж до рентгенівського і γ -діапазонів). У свою чергу, в кожній із цих груп в залежності від різних властивостей техногенних забруднень може бути проведена класифікація за іншими ознаками.

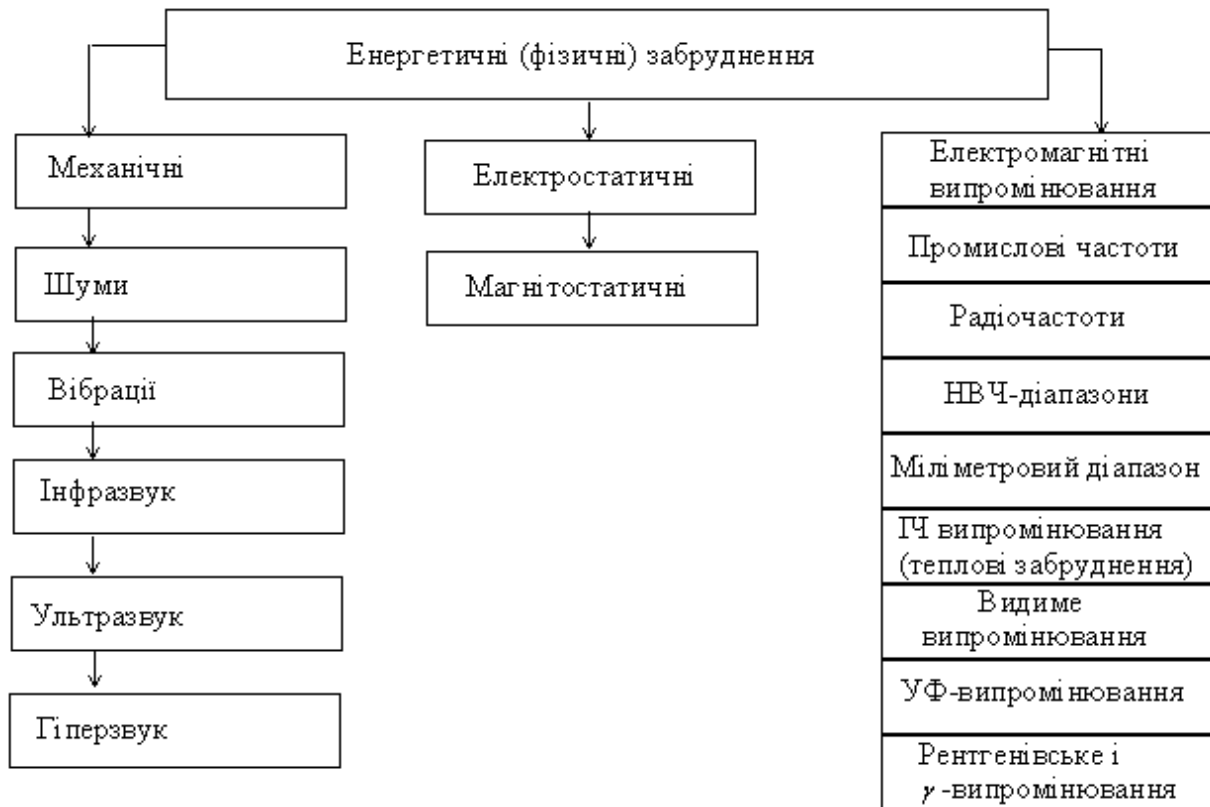


Рис.2.1. Класифікація енергетичних забруднень

На даний час інтенсивно розвивається космічна техніка і пов'язане з нею освоєння навколосемного простору (супутниковий зв'язок, глобальний моніторинг атмосфери, розвідка надр, спостереження за льодовим покривом, стан світового океану, морів, озер, рік, лісів, всієї земної поверхні, вихід людини в космос, створення орбітальних станцій) зростаюче число супутників різних призначень, які запускаються, призводять до забруднення навколосемного простору, тому необхідно говорити про космічну екологію.

Запуск космічних апаратів пов'язаний із забрудненням атмосфери внаслідок згорання палива. Відпрацьовані ступені ракет або згорають в атмосфері, або падають на земну поверхню у вигляді твердих відходів. Космічні апарати, які вичерпали свій ресурс, є небезпекою для діючих орбітальних станцій. Деякі з них знижують свою траєкторію, заходять у

щільні шари атмосфери і згорають, виділяючи при цьому велику кількість шкідливих домішок у вигляді газів, оксидів металів, аерозолів. Космічні апарати є джерелами фізичних забруднень з моменту старту (шум, вібрація, теплове забруднення), під час роботи на орбіті (підвищений фон електромагнітних полів) і до моменту посадки.

Довкілля містить велику кількість джерел, які створюють шумовий, електростатичний і електромагнітний природний фон Землі. Природні джерела можна поділити на постійно діючі (космічне випромінювання і пил, магнітне поле Землі, сонячне випромінювання, морські припливи, атмосферна електрика та ін.) і короткочасні (гроза, блискавка, виверження вулкану та ін.).

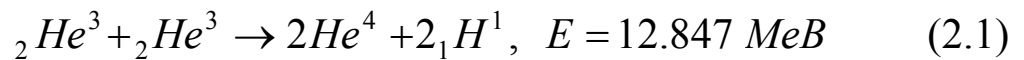
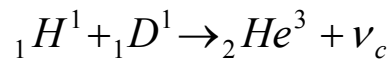
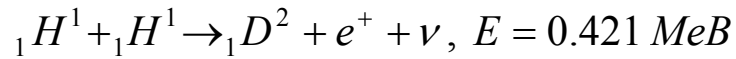
До основних джерел, що створюють електромагнітний і шумовий фон, відносяться Сонце, магнітосфера, атмосферна електрика.

Поряд з електромагнітним випромінюванням у біосфері завжди наявні шуми природного походження із широким спектральним діапазоном і різною інтенсивністю (від тихого шелесту до грозових розрядів). Всі складові природного фону взаємопов'язані і взаємозалежні.

2.2. Сонячне випромінювання.

Серед природних джерел, що створюють електромагнітний фон, безумовно, є Сонце, без якого було б неможливим життя на Землі. Сонце є центральним джерелом енергії, яка виникає внаслідок термоядерної реакції, що протікає в його середині. Можливість протікання такої реакції забезпечується надзвичайно високим тиском (2.5×10^{11} атмосфер) і температурою ($\sim 1.5 \times 10^8$ K), зумовленою власною гравітацією завдяки

гігантській масі Сонця ($\sim 10^{30}$ кг) що складає 99,87% усієї маси сонячної системи. Густина речовини в його ядрі – $160 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Основною реакцією термоядерного синтезу легких ядер водню гідрогену і ядра гелію є протон - протонний цикл:



Енергія, яка виділяється при термоядерному синтезі, йде на підтримання температури в ядрі Сонця і на короткохвильове електромагнітне випромінювання.

Теорія відносності встановлює зв'язок енергії E і маси m частинки у вигляді співвідношення Ейнштейна:

$$E = mc^2 = \gamma m_0 c^2 = \gamma E_0, \quad (2.2)$$

де m_0 - маса спокою, яка пов'язана з масою рухомої частинки співвідношенням

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{або} \quad m = \gamma m_0, \quad \text{де} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Релятивістська маса m знаходиться точно у такому ж співвідношенні з повною енергією як маса спокою m_0 з енергією спокою E_0 . Ця величина є енергетичним виразом маси тіла, що знаходиться в стані спокою. При малих швидкостях ($v \ll c$) релятивістська маса співпадає з масою спокою m_0 , а релятивістський множник $\gamma = 1$.

Енергія, що виділяється при термоядерній реакції (2.1), утворюється в результаті перетворення певної частини сонячної речовини у випромінювання за рахунок дефекту маси. Ядро гелію є дещо легшим від 4-х протонів. Так, маса ядра гелію 4,00388 а.о.м., маса протона 1,00814 а.о.м. Отже,

$$4 \times 1.00814 - 4.00388 = 4.03256 - 4.00388 = 0.02868 \text{ а.о.м.}$$

Ця різниця позначається Δm і носить назву дефекту маси, яка переходить у випромінювання

$$Nh\nu = \Delta E = \Delta mc^2,$$

де N - число квантів ЕМВ.

Радіус ядра Сонця, в якому відбувається реакція, складає 0,25% від радіуса Сонця R , який дорівнює $\sim 7 \times 10^5$ км. Знаючи радіус і масу, можна підрахувати середню густину сонячної речовини, що складає $\sim 1.41 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$, на відміну від густини ядра, названої раніше. В межах ядра водень "вигоряє", але чим далі від ядра Сонця, тим більше водню у процентному відношенні до гелію. За спектральним аналізом хімічний склад Сонця визначається співвідношенням $90\%H : 10\%He$.

Ефективна температура поверхні Сонця (фотосфера) становить 5770°C , прискорення вільного падіння 274 м/с^2 .

Сонце втрачає у своїй масі за рахунок випромінювання. Воно щосекунди випромінює $3.8 \cdot 10^9$ кг/с (при загальній масі $2 \cdot 10^{30}$ кг). Проте, швидкість виділення енергії Сонця, визначена на одиницю його маси, надто мала - $1.9 \cdot 10^{-4}$ Дж/кг·с, що у 100 разів менша швидкості виділення енергії у живому організмі. Це вказує на те, що термоядерні процеси в надрах Сонця відбуваються досить стабільно і є майже рівноважними.

Фотон (квант випромінювання) можна розглядати як частинку з нульовою масою спокою і швидкістю поширення c . Маса фотона проявляється тільки в русі, якщо фотон рухається у потенціальному полі Землі проти сил притягання, його частота зсувається у червону сторону спектра ("червоне зміщення"). Якщо фотон рухається вниз до Землі, то його частота зростає ("голубе зміщення").

Маса, що відповідає фотону видимого випромінювання, приблизно дорівнює $4.4 \cdot 10^{-36}$ кг.

При масі атома $\sim 7 \cdot 10^{-27} - 10^{-26}$ кг, останній під час випромінювання втрачає нескінченно малу частку своєї маси (енергії). Земля отримує від Сонця за рік кількість енергії, пропорційну до перерахунку на масу $6 \cdot 10^7$ кг (60000т). Повна маса, що витрачається Сонцем у вигляді випромінювання у космос за рік, складає $\sim 1.4 \cdot 10^{17}$ кг. За період, рівний приблизно 10^6 років, Сонце втратить $\sim 1.4 \cdot 10^{23}$ кг, що складає $\sim 10^{-5}\%$ сучасної маси Сонця. Наведені цифри підтверджують, що сонячне випромінювання буде досить довго слугувати людству. Перетворення маси у випромінювання відіграє важливу роль у процесі зоряної еволюції.

Енергія Сонця витрачається у вигляді випромінювання квантів ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного діапазонів. Повна кількість падаючого сонячного випромінювання за 60 с на площу 1 см^2 Землі складає біля 1,95 кал. Ця величина названа Сонячною постійною і за її величиною можна робити висновок про постійність сонячного випромінювання. Якби ця величина збільшилася б на 10%, то наша Земля перетворилася у пустелю, а у випадку її зменшення на 10% - Земля покрилася б тонким шаром льоду.

Роль сонячного випромінювання для біосфери дуже велика. Воно є головним джерелом високоякісної, екологічно чистої енергії нашої планети, під впливом якого зародилося життя на Землі.

Електромагнітний фон в оточуючому нас середовищі в основному визначається сонячним вітром, який є потоком електромагнітної енергії і потоком заряджених частинок.

Процес передачі енергії від ядра Сонця на його периферію досить складний. Більша частина енергії з верхньої частини сонячної поверхні вноситься потоками сонячного вітру. Ці потоки є плазмою, що випромінюється у міжпланетний простір. Утворення сонячного вітру зумовлене потоками енергії більш глибоких шарів Сонця. Потік сонячного вітру складається в основному з протонів, електронів і ядер гелію (від 2 до 20%). Поблизу орбіти Землі швидкість протонів плазми складає $(3 \div 7.5) \cdot 10^7$ м/с. Енергія, яка вноситься сонячним вітром у міжпланетний простір, складає $10^{20} \div 10^{22}$ Вт. Зміна інтенсивності сонячного вітру у значній мірі впливає на нагрів верхньої атмосфери Землі, полярні сяйва, магнітні бурі і різні біофізичні процеси. Збільшення інтенсивності сонячного вітру відбувається в результаті сонячних спалахів, які виникають у активних областях атмосфери і продовжуються від кількох хвилин до кількох годин. Вони починаються в районі швидко виникаючих груп сонячних плям. Площа спалахів досягає 10^{15} м². Енергія, що виділяється під час спалаху, досягає 10^{25} Дж. При цьому спостерігається значне збільшення інтенсивності УФ випромінювання Сонця, що супроводжується викидами рентгенівського і радіовипромінювання, значним викидом частинок великої енергії аж до 10^4 MeV. Деякі спалахи породжують особливо інтенсивні протонні потоки, які є великою небезпекою для космічних апаратів. Ці частинки

при зіткненні з корпусом космічного апарату породжують гальмівне рентгенівське і γ -випромінювання ($0.04 \div 0.0001$ мкм) значної інтенсивності, що становить радіоактивну небезпеку для космонавтів.

Сонячна активність повторюється з періодом 11 років. Цей процес корелює з багатьма процесами у біосфері Землі. Наприклад, зміна швидкості росту дерев. Спостерігається кореляція між землетрусами, сільськогосподарським урожаєм, епідеміями хвороб, серцево-судинними захворюваннями, коливаннями рівня озер і періодами сонячної активності.

У період активного Сонця збільшується інтенсивність рентгенівського випромінювання у 2 рази в діапазоні довжин хвиль $300 \div 100 \text{ \AA}$; в діапазоні $100 - 10 \text{ \AA}$ інтенсивність зростає у $3 \div 5$ разів, а в діапазоні 10^{-2} \AA - у 100 разів. УФ випромінювання в діапазоні довжин хвиль $1800 - 3500 \text{ \AA}$ у період 11-річного циклу змінюється незначною мірою (1 - 10%). Потужність випромінювання в діапазоні $0.29 \div 2.4$ мкм у період сонячної активності практично не змінюється і складає $3.6 \cdot 10^{26}$ Вт.

Енергія, яка сприймається Землею від Сонця, залишається постійною, що є фактором стаціонарності теплового природного балансу земної планети. Сонячні спалахи не справляють кардинального впливу на енергетичний баланс Землі, але вони виявляють вплив на багато біохімічних, біофізичних процесів. Сонце є постачальником енергії на Землі у вигляді органічного палива (вугілля, нафта, торф, газ та ін.), механічної енергії вітру, морських припливів та ін. Всі вони зумовлені сонячним випромінюванням.

2.3. Магнітне поле та магнітосфера Землі.

Наближено магнітне поле Землі подібне гігантському магнітному диполю, розміщеному в центральних частинах земної кулі з Південним магнітним полюсом, що розміщений у північній півкулі, і з Північним магнітним полюсом у південній півкулі. Магнітний момент цього диполя приблизно дорівнює $M = 1.5 \cdot 10^{16} \text{ A} \cdot \text{m}^2$. Поле Землі краще описується, якщо вважати, що вісь диполя знаходиться від центра Землі на 451 км у напрямі Тихого океану. Таке дипольне випромінювання називається ексцентричним. Але спостерігаються відхилення від дипольного поля. Вони виникають внаслідок світових (материкових) аномалій магнітного поля (Східно-Сибірська аномалія). Вона приводить до перевищення напруженості магнітного поля в окремих регіонах Сибіру до значення, що перевищує напруженість на південному магнітному полюсі. До аномалій відноситься Південно-Атлантична або Бразильська з різко заниженим значенням поля.

Крім світових аномалій, є багато локальних аномалій, наприклад, Магнітогорська або Курська, в межах яких напруженість поля гірських порід може перевищувати напруженість нормального земного поля. Неоднорідність магнітного поля може бути використана для виявлення великих скупчень магнітної руди.

Уже в XVII ст. було помічено, що магнітне поле Землі змінюється. У період з 1829 р. до нинішнього часу повний магнітний момент Землі зменшується приблизно за лінійним законом:

$$M = (15.77 - 0.003951t) \cdot 10^{10} \text{ A} \cdot \text{m}^2.$$

За 100 років поле зменшилося більш ніж на 2,5%. Одночасно спостерігається зміщення магнітних полюсів на кілька градусів і зміщення положення світових магнітних аномалій.

Встановлено також, що магнітне поле Землі багато разів змінювало напрям на протилежний. Виявлено, що за останні 70 млн. років інверсія поля відбувалася не менше трьох разів за кожний мільйон років.

Поруч із світовими змінами магнітного поля Землі є короточасні збурення його, які називаються магнітними пульсаціями і варіаціями, а найбільш сильні - магнітні бурі. Ці збурення змінюють поле, як правило, не більше, ніж на 1 МкТл і тривають від доли секунди до кількох днів. Зумовлюються вони змінами вітрів в іоносфері Землі і наявними рухами магнітосфери, а магнітні бурі і надбурі є відгомонам магнітосфери на збурення міжпланетного магнітного поля, яке є наслідком сонячної активності. Крім того, є регулярні зміни (варіації) магнітного поля, пов'язані з місячними сонячними припливами в іоносфері Землі.

Циркуляція верхньої атмосфери Землі створює над магнітним екватором коловий екваторіальний іоносферний струм, розподілений, переважно, на висотах 90-130 км, в якому електрони рухаються на захід, а позитивні іони - на схід.

Взаємодія магнітного поля Землі з сонячним вітром створює *магнітосферу Землі*, яка є складною структурою.

На заряджену частинку, що рухається в електричному полі \vec{E} і магнітному \vec{B} , діє сила \vec{F} , яка має вигляд:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = q \vec{E} + q \left[\vec{v} \cdot \vec{B} \right] \quad (2.3)$$

Гравітаційною силою нехтуємо $F_{gp} \ll F$, тому

$$\frac{d}{dt}(m\vec{v}) = q\vec{E} + q\left[\vec{v} \cdot \vec{B}\right] \quad (2.4)$$

Формула (2.4) стосується релятивістської частинки. Співвідношення (2.4) дозволяє визначити траєкторію зарядженої частинки у магнітному полі за наявності електричного і магнітного полів. Для нерелятивістського випадку (2.4) записується:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = q\vec{E} + \left[\vec{v} \cdot \vec{B}\right]$$

Траєкторії заряджених частинок у магнітосфері Землі мають складний характер. На (рис.2.2.) показано схематичний переріз магнітосфери Землі, на якому:

1 - магнітопауза; 2 - площина геомагнітного екватора; 3 - ударна хвиля; 4 - області захопленої радіації (радіаційні пояси); 5 - нейтральний шар; 6 - зона полярних сьйв; 7 – магніто-силові лінії.

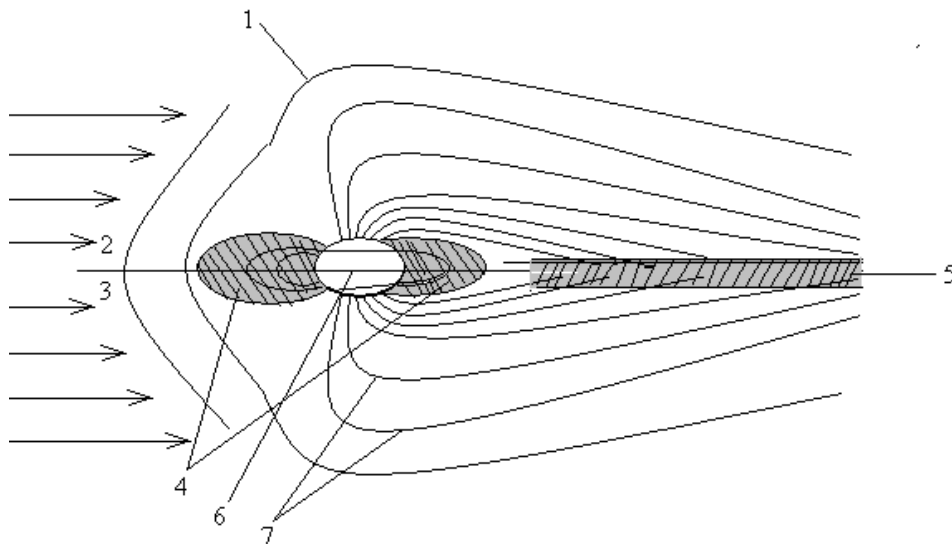


Рис. 2.2. Схематичний меридіанний переріз магнітосфери Землі

З денної сторони розміри магнітосфери Землі складають $S - 14R$, де R - радіус Землі. Внаслідок дії сонячного вітру геометричні силові лінії переносяться з денної сторони магнітосфери Землі на нічну, утворюючи геомагнітний хвіст у декілька сотень R . У ньому існує велике за величиною електричне поле, розміщене впоперек хвоста. В результаті цього виникає дрейф плазми, перпендикулярний; геомагнітному хвосту. Взаємодія плазмових потоків з магнітосферою, сонячним вітром, міжпланетним магнітним, полем за наявності добового обертання Землі проявляється до великих висот ($\sim 3 \cdot 10^4$ км). На високих широтах силові магнітні лінії перпендикулярні іоносфері. Вздовж цих ліній у магнітосфері Землі із іоносфери рухаються потоки плазми, які називаються полярним вітром. Ці потоки доносять нагріту плазму у віддалені області хвоста магнітосфери Землі.

Складний характер енергообміну між сонячним вітром, магнітосферою, іоносферою можна порівняти з механізмом, що протікає у магнітогідродинамічному генераторі (МГД). У магнітосфері Землі кінетична енергія плазми сонячного вітру перетворюється у магнітосферно-іоносферні потоки з наступною дисипацією всередині іоносфери. Сумарна величина струмів досягає $(1 \div 3) \cdot 10^6$ А. Повздовжні струми виконують важливу роль в електродинамічній структурі магнітосфери Землі, тому за їх допомогою енергія сонячного вітру передається від меж магнітосфери до іоносфери.

Магнітосфера і іоносфера чутливі до будь-яких змін, що відбуваються в потоці сонячного вітру, який, в свою чергу, є чутливим детектором збурень, що виникають на Сонці. Існує тісний планетарний зв'язок між життям у біосфері і сонячно-земними зв'язками. При появі збурень у сонячному вітрі з'являються збурення у магнітосфері Землі (МЗ). У

деяких випадках ці збурення тривають 1-2 год. Механізм дії збурень у магнітосфері має складний характер і отримав назву надбурі. При накладанні надбурі перетворюються у магнітні бурі магнітосфери Землі. При цьому виникає дисипація енергії у магнітосфері Землі, досягаючи 10^{11} Вт. Це супроводжується джоулевим виділенням теплоти в іоносферних струмах, входженням у верхню атмосферу Землі потоків заряджених і нейтральних частинок, що призводить до виникнення інтенсивних полярних сьйв на висотах 100 – 200 км.

В іоносфері виникають інтенсивні потоки. Оскільки рух заряджених частинок залежить від величини і напрямку силових ліній електричного і магнітного полів, від часових залежностей, від знаку заряду і вектора швидкості, то визначення траєкторії однієї частинки є досить складною задачею. Кожна частинка зазнає зіткнень з іншими, що призводить до не передбачуваного характеру обміну імпульсами. Отже, рівняння (2.4) не інтегрується у загальному вигляді.

Через різні прискорення повздовжньої і поперечної складової швидкостей заряджених частинок при значній конвенції плазми утворюється анізотропний розподіл частинок за швидкостями. Це призводить до утворення хвиль у плазмі з наступним розсіянням частинок на цих хвилях і попаданням частинок у магнітні вловлювачі. Потім заряджені частинки із цих уловлювачів попадають в атмосферу, викликаючи її свічення. Великомасштабна конвекція розпадається на дрібномасштабні неоднорідності. Дуги полярних сьйв є проявом дрібномасштабного розшарування. Утворення дуг полярних сьйв відбувається внаслідок локального підсилення повздовжнього струму в результаті внутрішніх магнітосферних процесів. У повздовжньому електричному полі відбувається прискорення електронів із подальшим їх

рухом до Землі і входженням в атмосферу, зумовлюючи дискретні форми полярних саяв. Для частинок високих енергій, що перевищують теплову, області замкнених геомагнітних ліній є геомагнітними пастками. В них існують потоки електронів і протонів з енергіями, більшими за 1 МеВ, які утворюють радіаційний пояс. Під час магнітних бур небезпека цих радіаційних поясів зростає.

Магнітосфера Землі є джерелом радіохвиль. При взаємодії електронів з магнітосферною плазмою на авроральних силових лініях на великих висотах (~5000км) відбувається авроральне кілометрове випромінювання (АКВ) з частотами $10^2 \div 10^3$ кГц і потужністю під час магнітних надбурь 10^9 Вт. Крім АКВ, магнітосфера Землі випромінює постійні в часі хвилі в діапазоні 0,5кГц - 100кГц з неперервним спектром. Природа цих хвиль пояснюється синхронним випромінюванням електронів радіаційними поясами.

2.4. Атмосферна електрика

Середовище, в якому перебуває людина, інші живі організми, наповнене також і статичною електрикою або атмосферною електрикою. Поняття "атмосферна електрика" об'єднує сукупність електричних процесів, що відбуваються в атмосфері. Електричні властивості атмосфери і відповідні електричні явища вивчає спеціальний розділ геофізики. Атмосферна електрика - суттєвий абіотичний фактор у біосфері, що відіграє важливу роль в екології. Атмосфера - газове (повітряне) середовище навколо Землі, яке обертається разом з нею. Маса атмосфери становить приблизно $5.15 \cdot 10^{18}$ кг, а маса Землі - $6 \cdot 10^{24}$ кг. До складу атмосфери входить азот, кисень, аргон, вуглекислий газ, водень і

ін. В нижній частині атмосфери (приблизно до 20 км) знаходяться також пари води. Із збільшенням висоти тиск, густина повітря і концентрація парів води зменшується. На висотах приблизно 25 км розміщений шар озону O_3 , який захищає живі організми біосфери від згубної дії ультрафіолету (УФ). На висотах, більших за 100 км, збільшується частка легких газів і переважають молекули H_2 і He . Частина молекул під дією електромагнітних полів розпадається на атоми і іони, утворюючи шар іоносфери, який використовується для далекого радіозв'язку.

В залежності від зміни температури з висотою атмосферу поділяють на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу і екзосферу. Гравітаційне поле Землі утримує атмосферу. Електричні сили, що визначаються кулонівською взаємодією між нерухомими зарядами, у багато разів перевищують гравітаційну взаємодію. Поряд з цим, закон взаємодії двох електричних зарядів, який носить назву закону Кулона, гармонує із законом всесвітнього тяжіння Ньютона. Закон взаємодії електричних зарядів має широкий прояв (електростатика, теорія плазми, атомна, ядерна фізика). При появі одного роду електрики (позитивного чи негативного) з'являється рівна кількість електрики другого роду. В природі не існує жодного явища, в якому б виникали або зникали заряди одного знаку, завжди має місце перерозподіл заряду між тілами. Отже, алгебраїчна сума зарядів залишається незмінною. Це і є закон збереження заряду.

В атмосфері завжди наявне електричне поле. Всі опади, хмари, пил і туман в атмосфері завжди заряджені. Області пилових бур, гроз, опадів мають сильніше електричне поле, ніж області з "хорошою" погодою, де присутнє стаціонарне електричне поле з напруженістю $\left| \vec{E} \right| = 130 \frac{B}{m}$.

Взагалі атмосфера заряджена позитивно, а Земля має від'ємний заряд $\sim 3 \cdot 10^5$ Кл. Найбільше значення напруженості в середніх широтах, а до полюсів і екватора вона зменшується. На висоті 10 км між іоносферою і поверхнею Землі різниця потенціалів становить приблизно 200 – 250 кВ.

Основним джерелом іонізації атмосфери є космічні промені, радіоактивне випромінювання Землі і повітря, УФ і корпускулярне випромінювання Сонця. Космічні промені діють по всій товщині атмосфери, радіоактивне випромінювання іонізує атмосферу біля земного шару. Іонізуюча дія УФ і сонячного випромінювання має прояв у верхніх шарах атмосфери.

В атмосфері мають місце струми провідності, конвекційні струми і струми дифузії. Струм провідності під дією електричного поля \vec{E} протікає в атмосфері вертикально вниз до Землі і величина сумарного струму провідності досягає 1800 А. Густина струму провідності з висотою приблизно однакова. Збільшення аерозольних домішок в атмосфері призводить до збільшення \vec{E} . З іншого боку, випробовування атомної і ядерної зброї привело до збільшення іонізації атмосфери, а, отже, і до збільшення σ і зменшення \vec{E} . Вплив антропогенної діяльності буде все більше проявлятися на атмосферно-електричних характеристиках.

Джерелами атмосферної електрики в локальних областях є виверження вулканів, торнадо, завірюхи, пилові буревії, розбризкування морських хвиль і водоспадів, хмари, опади, парові і димові утворення природного і техногенного походження тощо. При цьому електризація атмосфери відбувається досить інтенсивно, що приводить до виникнення грозових явищ. Найбільший вклад в електризацію атмосфери вносять хмари, і

опади. У шарових хмарах густина об'ємних зарядів досягає 10^{-10} Кл/м^3 що приблизно на порядок більше за густину у чистій незбуреній атмосфері. Напруженість електричного поля у хмарах досягає $(100 - 300) \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Окремі краплини несуть заряд $q = (10 \div 100)e$. У нижній частині хмари знаходяться від'ємні заряди, а верхні заряджені позитивно. У дощових хмарах наведені величини у кілька разів більші за аналогічні величини шарових хмар. Наприклад, заряди краплин опадів досягають значень $q = (10^5 \div 10^6)e$.

З опадами на Землю спрямовуються електричні заряди густиною струму порядку $10^{-12} - 10^{-11} \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$. На ближніх до екватора широтах значення густини струму зростає. У грозових хмарах є екстремуми \vec{E} і ρ , величини яких на порядок перевищують середні значення цих параметрів. У зонах екстремумів і зароджуються блискавки. У грозових хмарах густини струмів на порядок більші, ніж у зливових хмарах. Сумарний струм, що спрямовується на Землю від однієї грозової хмари, дорівнює приблизно 0,1 А (в наших широтах) і досягає 1 А у районах екватора.

Вивчення електричних процесів у атмосфері і контроль за станом атмосфери має велике значення для екології як з екологічної дії атмосферної електрики, так і зменшення шкідливої і небезпечної дії на різні техногенні об'єкти (споруди, промислові установки, авіацію, лінії зв'язку і електропередачі тощо). Електричні процеси, що відбуваються в атмосфері, зумовлені не тільки статичною електрикою, електромагнітним, космічним і сонячним випромінюванням, але і самі

хмари є джерелами радіовипромінювання. Атмосферна електрика має прояв у різних явищах, серед яких важливе місце займає блискавка.

Блискавки. Блискавка - іскровий розряд між ізольованими одна від одної частинками повітря. Блискавки бувають лінійними, кульовими і чечітковими (намистовими).

Лінійна блискавка виникає між двома хмарами, зарядженими різнойменними зарядами: між хмарою і землею або всередині хмари. Чим більший заряд, тим довша блискавка і її протяжність може сягати кількох десятків кілометрів (5 ÷ 150 км).



Рис. 2.3. Лінійна блискавка

Якщо в якому-небудь місці хмари виявиться заряд, рівний пробивному, починається розвиток випромінюючого розряду, який отримав назву **лідера**. У пошуках найбільш легкого шляху поширення в напрямку до землі або іншої хмари, лідер рухається стрибкоподібно із середньою довжиною ~50м. Кожний стрибок завершується зупинкою на кілька десятків мікросекунд, потім починається формування наступного етапу.

Ступінчастість лінійної блискавки можна безпосередньо спостерігати за її зламанною розгалуженою структурою. Середня швидкість поширення електричного розряду $\sim 100\text{км/с}$. Прямуючи до землі, лідер утворює провідний електричний канал, по якому від землі до хмари спрямовується зворотній удар. Це приводить до виникнення яскравої електричної іскри. Зворотній удар поширюється майже в 100 разів швидше ступінчастого лідера. Відповідний електричний струм досягає кількох тисяч ампер впродовж кількох мікросекунд. Величезна густина струму зумовлює сильне розігрівання каналу, а разом з тим і значне зростання тиску. Оскільки цей процес відбувається за дуже короткий проміжок часу, розрядний канал розширюється з надзвуковою швидкістю, що приводить до виникнення ударної хвилі, яка сприймається як грім.

В електричному полі іскрового розряду відбувається інтенсивна іонізація всіх компонентів повітря. Виникаючі при цьому вільні електрони, додатні і від'ємні іони можуть потім рекомбінувати, випромінюючи кванти світла широкого діапазону енергії. Випромінювання виникає також внаслідок збудження атомів і молекул газів, які є в атмосфері. У спектрі блискавки присутні також УФ, інфрачервоне та радіовипромінювання, тому під час грози "тріщать" радіоприймачі. Блискавки наносять людині великі втрати. Це лісові пожежі, загибель окремих мешканців, виведення з робочого стану ліній електропередач, радіоперешкоди, руйнація жилих будинків, промислових приміщень, знищення злакових посівів тощо. Отже, кожна людина повинна перейнятися турботою про необхідність проведення систематичних заходів із попередження такого стихійного лиха.

Але можна привести приклад і корисності блискавок, про що знають не всі. За статистичним даними щорічно над Землею відбувається приблизно

16 млн. грозових розрядів. Кожну секунду виникає не менше 100 блискавок. Виявляється, що впродовж року блискавки утворюють в атмосфері Землі близько 10^8 т з'єднання азоту. Разом з дощем вони попадають у ґрунт і сприяють отриманню високих врожаїв. Потреба у зв'язаному азоті у світі дуже велика і не забезпечена у повному обсязі. У промисловості при отриманні азоту також використовують блискавки. Ці штучні блискавки протяжністю кілька метрів дають десятки і тисячі разів менший вихід готової продукції. І це не дивно, оскільки довжина природної блискавки (30 ÷ 50) км, а розрядний струм на порядок величини більший.

За даними американських вчених, в США на кожний квадратний кілометр упродовж року попадає мінімум чотири блискавки, виробляючи при цьому 20 т з'єднань азоту, які разом з дощовими потоками попадають у фунт і засвоюються рослинами.

Другим прикладом корисності блискавки є озонування повітря. У потужному електричному розряді відбувається дисоціація молекул кисню на атоми, які об'єднуються із спорідненими молекулами, утворюючи молекули озону.

Кульові блискавки - явища дуже рідкісні і є утворенням овальної форми з діаметром приблизно (10-20) см, які світяться. Питома густина кульових блискавок приблизно дорівнює густині повітря, тому вони "висять" у повітрі. Найчастіше вони виникають у хмарах, ніж біля поверхні Землі. Максимальна температура не перевищує 300°C навіть при випромінюванні яскравого білого кольору. Її видиме випромінювання не має нічого спільного з випромінюванням абсолютно чорного тіла. Кульова блискавка є прозорою для видимого світла. Згідно гіпотези Ф. Араго, кульова блискавка має хімічну будову, оскільки до її складу

входять окисли азоту, озон. Носієм енергії є озон. За гіпотезою Хілла, кульова блискавка заповнена додатними і негативними іонами, які повинні бути просторово розділені. Іони утворюються із складних органічних молекул і частин пилу. Свічення виникає завдяки електричному розряду між іонами протилежних знаків. За розповідями окремих очевидців, кульова блискавка має навіть запах, що можна пояснити протіканням в ній хімічних реакцій.

Видиме світло, що випромінюється кульовою блискавкою, виникає завдяки збудженню атомів, молекул, іонів і твердих частинок унаслідок протікання хімічних реакцій у речовині блискавки. Крім того, необхідна для збудження енергія може "поставлятися" електричним полем, яке досягає великих значень у передгрозовий період і під час грози (для виникнення у повітрі електричного розряду напруженість електричного поля повинна досягати $30 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$).

Блискавка випромінює не тільки видиме проміння. У спектрі наявні й інфрачервоні промені, можлива поява і УФ променів.

Траєкторія руху кульової блискавки не передбачувана. Вона може пересовуватися вздовж стіни або стрибати по підлозі, підніматися вгору або повільно знижуватися до Землі, зупинятися або різко змінювати напрям руху. Довжина шляху від 50 до 100 м, Найчастіше кульова блискавка поширюється горизонтально і схильна падати вниз. Це вказує на те, що густина кульової блискавки дещо більша за густину повітря.



Рис. 2.4. Кульова блискавка

Середня швидкість кульової блискавки 4м/с. Реальна швидкість коливається у широких межах, оскільки залежить від таких факторів як наявність повітряних потоків, концентрація крапель води в атмосфері, величина електричного поля на місці утворення блискавки, аерозольний склад атмосфери і концентрація аерозолів, специфіка оточуючих предметів. Кульова блискавка може спостерігатися і в ясну погоду, але значно рідше. Це значить, що кульова блискавка пов'язана з грозовою активністю атмосфери, а не тільки з самою блискавкою.

Чечіткова (намистова) блискавка. Виникає між двома хмарами з різним електричним зарядом або між хмарою і поверхнею землі і має вигляд намиста, світних областей невеликого розміру, які можна спостерігати деякий час після зникнення звичайної блискавки. Близькі до сферичної форми світні області за розмірами майже не відрізняються від поперечного перерізу лінійної блискавки. Темні проміжки між ними інколи складають декілька діаметрів світних діляниць. Таким чином, для

чечіткової блискавки характерна пунктирність, яка складається із маленьких кілець або овалів.



Рис. 2.5. Чечіткова блискавка.

Одна із гіпотез утворення чечіткової блискавки була запропонована в 1917р. Теплером. Він вважав, що якщо в каналі звичайної лінійної блискавки виникають повздовжні коливання, викликані зовнішніми збуреннями, наприклад, електричними полями або турбулентним рухом повітря, то звичайна блискавка затухає і перетворюється в серію рівномірно розміщених у просторі областей із стійким свіченням.

Надзвичайно рідка поява чечіткової блискавки не дозволяє зібрати необхідні дані для аналізу її складу і чіткого з'ясування умов утворення.

Вогні Ельма. При напруженості електричного поля E більше (500-1000) В/м біля поверхні Землі в атмосфері виникає свічення, вперше було

побачене біля виступаючих гострих частин собору святого Ельма, яке і отримало назву вогнів Ельма. Таке свічення можна бачити в негожу погоду на кінцях загострених предметів: верхівки корабельних щогл, гірських скелях, на гілках дерев, блискавковідводах, хрестах церков. Вважають, що вогні Святого Ельма - це ніщо інше як коронний розряд, який виникає при тиску газу порядку однієї атмосфери у сильно неоднорідному електричному полі поблизу електроду з малим радіусом кривизни. При відповідних значеннях E починається електричний розряд з гострих, витягнутих вгору конструкцій і предметів, який супроводжується характерним шумом.

При подальшому збільшенні E свічення збільшується з переходом у коронну форму. Прояв вогнів Ельма найбільш ефективно вночі в горах або на морі. На дуже високих конструкціях, наприклад, радіо і телевежах, струм корони може перебільшувати 10 мА при напрузі 10^6 В. На гострих предметах величина напруженості електричного поля різко зростає, що приводить до посилення іонізаційних процесів в атмосфері.

2.5. Механічні забруднення.

2.5.1. Шуми. Джерела шуму. Методи захисту від шумів.

Чутні звукові неперіодичні коливання з неперервним спектром сприймаються як шуми. Енергія цих звукових коливань розділена в достатньо широкій області частот. Інтенсивність шумів може бути різноманітною (від шелесту листя дерев до грозових розрядів). Розрізняють джерела шуму природного і техногенного походження.

Джерела шуму природного походження. В атмосфері завжди присутні шуми природного походження з досить широким спектральним діапазоном від інфразвуку ($3 \cdot 10^{-3} \text{ Гц}$) до ультразвуку і гіперзвуку. Це шум морського прибою, гірського обвалу, грозового розряду, виверження вулканів, вітру в лісі, співу птахів, шум водоспаду, тощо.

Джерелами інфразвукових шумів можуть бути різні метеорологічні і географічні явища, такі як магнітні бурі, полярні саява, бурани, землетруси. В чутній області частот під дією вітру завжди створюється звуковий фон. У природі при обтіканні потоком повітря різних тіл за рахунок відриву вихорів утворюються інфразвукові коливання. Шуми природного походження дуже різноманітні і не піддаються детальному опису.

Джерела шуму техногенного походження. До них відносяться використовуванні в сучасній техніці механізми, обладнання і транспорт, які створюють значні шумові забруднення оточуючого середовища.

Техногенний шум створюється джерелами, що знаходяться на будівельних майданчиках, приміщеннях і на територіях між ними, технічним обладнанням промислових і наукових об'єктів, теплоенергетичними системами, електромеханічними пристроями, аерогазодинамічними установками і т.і.

Класифікація шумів за фізичною природою. Виділяють наступні групи:

- механічні шуми, що виникають при взаємодії різних деталей у механізмах (одинокі та періодичні удари), а також вібрації поверхонь пристроїв, машин, обладнання;

- електромагнітні шуми, що виникають у результаті вихрових процесів в газах (розширення стиснутого газу або пари в замкнутому об'єму в

атмосферу, збурення, що виникають при русі тіл з великими швидкостями у газовому середовищі, при обертанні лопаток турбіни);

- гідродинамічні шуми, що викликаються різними процесами у воді (виникнення гідравлічного удару при швидкому зміщенні повітряних бульбашок, кавітації в ультразвуковому технологічному обладнанні, у рідинних системах літаків та ін.)

Класифікація шумів за спектрально-голосовими характеристиками. За характером спектру шуми поділяють на широкосмугові і тональні. Широкосмугові мають неперервний спектр.

Шириною більше октави в техніці прийняті октавні смуги із середніми частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц .

Тональний шум характеризується тим, що в спектрі присутні окремі чутні дискретні точки.

За часовими характеристиками шуми поділяють на постійні і непостійні. Постійні шуми не змінюють рівня сигналу більше 5дБА (величина за шкалою А, прийнята в техніці вимірювання шумів).

Для непостійних шумів зміна рівня перевищує 5дБА.

В свою чергу, непостійні шуми поділяють на імпульсні, переривчасті та коливні (такі, що коливаються).

Імпульсні – складаються з одного або кількох звукових сигналів тривалістю по 1с і рівнями звуку, що відрізняються більше, ніж 7дБА.

Переривчасті шуми – рівень звуку змінюється на 5дБА і більше разів за час коливання.

Коливні - рівень шуму змінюється з часом.

Можлива одночасна дія кількох джерел, що створює шумове поле за спектральним розподілом.

Фізичні основи шумів.

Звук – хвилеподібне поширення коливань частинок пружного середовища – твердого тіла, рідини, газу. Розрізняють біологічне та фізичне поняття звуку.

До біологічного поняття звуку відносяться коливання і хвилі, які сприймаються людським органом слуху. Відчуття звуку має місце тоді, коли частота коливань і їх інтенсивність лежить в певних межах. Для людського вуха це діапазон від 15-20 Гц до 20 кГц.

Фізичне поняття звуку об'єднує як ті, що сприймаються вухом, так і ті коливання, які не сприймаються (нечутливі). В оточуючому середовищі зустрічаються інфразвукові коливання (до 20 Гц). Нижня межа інфразвуку не обмежена. До них можна віднести сейсмічні хвилі, які виникають у земній корі. За характером їх поширення можна вивчати будову земної кори і проводити пошук корисних копалин. Інфразвукові коливання можуть служити сигналом шторму, який наближається.

Коливання пружних середовищ з частотами, більшим за 20 кГц, називають **ультразвуком**, який широко використовується в сучасних технологіях (дефектоскопії, ультразвукові технології обробки матеріалів), медицині (діагностика, хірургія), радіотехніці та ін.

Діапазон $10^9 \div 10^{13}$ Гц носить назву **гіперзвуку**.

Коливним і хвильовим процесам властиві деякі характерні закономірності, загальні для коливань різної фізичної природи. Вони мають різну форму (прямокутні, пилкоподібні, синусоїдальні або косинусоїдальні).

Синусоїдальні коливання можна виразити у вигляді гармонічної функції:

$$S(t) = A \cos(\omega t - \varphi),$$

де $S(t)$ – зміщення, A, ω, φ – відповідно амплітуда, колова частота і фаза. Амплітуда визначає максимальне значення $S(t)$. Колова частота:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

де f – частота коливань і вимірюється у герцах.

Величина $(\omega t - \varphi)$ – фаза коливань, а φ – початкова фаза.

Під час поширення в середовищі коливання затухають і їх рівняння має вигляд:

$$S(t) = Ae^{-\delta t} \cos(\omega t - \varphi),$$

де δ – коефіцієнт затухання.

Основні акустичні характеристики. Для періодичних коливань швидкість поширення звуку v у пружному середовищі пов'язана з довжиною хвилі λ , частотою f і періодом співвідношенням:

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T}.$$

Звукова енергія. Енергія звуку складається з кінетичної енергії коливальних рухів частинок і потенціальної енергії пружної деформації.

Густина звукової енергії визначається звуковою енергією на одиницю об'єму пружного середовища.

Звуковий тиск p складається із тиску у незбуреному середовищі і зміною додаткового тиску, що виникає у кожній точці середовища в даний момент часу.

Інтенсивність звуку (сила звуку) J визначається середньою енергією, що переноситься звуковою хвилею за одиницю часу через одиницю площі, перпендикулярно напрямку поширення хвилі:

$$J = \frac{E_m}{t \cdot S}.$$

Сила звуку – одна із основних енергетичних характеристик. У випадку плоскої синусоїдальної хвилі малої амплітуди сила звуку зв'язана з максимальними амплітудами звукового тиску p і коливальної швидкості v співвідношенням:

$$J = \frac{1}{2} \rho \bar{v} = \frac{1}{2} \cdot \frac{p^2}{\rho v},$$

де ρ – густина середовища.

В акустиці застосовують відношення вимірюваних величин до деяких порогових значень. Тому введені поняття відносних рівнів звукового тиску і інтенсивності. Різниця двох рівнів J_1 і J_2 визначається співвідношенням:

$$L_j = \lg \frac{J_2}{J_1}.$$

Одиницею вимірювання різниці рівнів є бел (B), що визначається як логарифм відношення інтенсивностей при $\left(\frac{J_2}{J_1}\right) = 10$. Використовується також одиниця – децибел (δB), що дорівнює $0,1B$. Т.ч., при різниці рівній $1\delta B$ відношення:

$$\left(\frac{J_2}{J_1}\right) = 10^{0.1} = 1.26.$$

У випадку вимірювання рівнів звукового тиску в децибелах маємо:

$$L_p = 20 \lg \frac{P_2}{P_1}.$$

Умовним порогом звукового тиску вважається величина $2 \cdot 10^{-5} Pa$.

У різних середовищах звукові хвилі різні за своїми властивостями та

поширюються з різними швидкостями. Так, в газах і рідинах хвилі є повздовжніми, оскільки такі середовища володіють об'ємною пружністю. Тверді тіла, крім об'ємної пружності, володіють пружністю форми, тому у твердих тілах поширюються як повздовжні, так і поперечні хвилі, а хвильові фронти поширення у твердих тілах залежать від властивостей речовини, форми тіла, напрямку.

Ударна хвиля – стрибок ущільнення речовини, що поширюється з надзвуковою швидкістю і є тонкою перехідною областю в середовищі, де відбувається різке збільшення густини, тиску, швидкості речовини.

Ударні хвилі виникають під час вибухів, потужних електричних розрядів, надзвуковому русі тіл і т.д.

Поширення ударної хвилі, викликаной вибухом або іншим процесом супроводжується звуковим коливаннями великої амплітуди.

Поверхня, яка відділяє стиснуте повітря від незбуреного, називається **фронтом ударної хвилі**. Товщина фронту ударної хвилі відповідає довжині вільного пробігу молекул.

Одним із поширених джерел створення ударної хвилі є вибух, що є процесом виділення енергії у певному об'ємі з наступним руйнуванням оточуючого середовища. При виділенні, наприклад, порівняно невеликої кількості теплоти $\sim 4 \cdot 10^3$ кДж/кг, у продуктах вибуху досягається температура ~ 4000 К за рахунок дуже короткого часу хімічного перетворення ($\sim 10^{-5}$ с). Тому потужність при вибухах досить велика.

Тиск і швидкість поширення ударної хвилі при цьому досягають значень 10^{10} Па і $(2 \div 5)$ км/с.

Вибух і ударна хвиля супроводжуються інтенсивними звуковими коливаннями, механічним рухом тіл, електромагнітним випромінюванням і іншими видами енергії.

Зона дії ударної хвилі є зоною підвищеного ризику і часто призводить до контузій, порушення слуху та ін.

Біологічна дія шумів. Шуми, особливо, техногенні, шкідливо впливають на організм людини. Це проявляється у специфічному враженні слухового апарату і неспецифічних змінах інших органів і систем людини. У медицині існує термін «шумова хвороба», яка супроводжується гіпертонією і ін.

В разі тривалої дії інтенсивних шумів можуть бути викликані значні розлади діяльності нервової та ендокринної систем, кишково-шлункового тракту, прогресуюча туговухість. При професійній туговухості настає спотворення сприйняття частот в діапазоні 4000÷8000 Гц.

Шкідлива дія шумів проявляється також в порушенні функцій вестибулярного апарату, різкому зниженні працездатності.

Встановлена пряма залежність між числом нервових захворювань і зростаючим рівнем міського шуму. Наприклад, інфразвук з частотами 15-20 Гц викликає відчуття страху. Він несприятливо діє на вестибулярний апарат і приводить до зменшення слухової чутливості.

Оскільки ІЧ звуки мають велику довжину хвилі, негативний вплив на організм людини проявляється на значних відстанях від джерела.

Виробничий і побутовий шуми викликають втому, роздратованість, знижують працездатність, зосередженість, увагу. З іншого боку, шум позитивно може впливати на людину (шелест листя дерев, спів птахів, шум набігаючої морської хвилі тощо).

Тривала дія техногенних шумів викликає безсоння, порушення смакових відчуттів, розлад органів травлення, появу підвищеної нервозності. Дія інтенсивних шумів (вибух, ударна хвиля) з рівнем звуку до 130дБ викликає больові відчуття, а при >140 дБ відбувається враження

(пошкодження) слухового апарату. Межа інтенсивності шуму, що переноситься, визначається 154 дБ. При цьому з'являється задуха, сильний головний біль, порушується зорове сприйняття, нудота.

Нормування шумів. Для оцінки ступеня шумового забруднення оточуючого середовища необхідно знати як реальний шумовий фон, так і допустимий рівень шумів, встановлений санітарними нормами. Сумарний фактичний шум, який створюється різними техногенними джерелами, не повинен перевищувати допустимі рівні шуму.

Для нормування постійного шуму вибрані такі параметри:

- рівень звукового тиску L_p , дБ в октавних смугах із середньо геометричними частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.;
- рівень інтенсивності звуку L_J , дБ.

У випадку непостійного шуму нормуючими параметрами вибрані:

- еквівалентний рівень звуку $L_{Jекв}$, дБ;
- максимальний рівень звуку L_{Jmax} , дБ.

Під еквівалентним рівнем звуку $L_{Jекв}$ непостійного шуму розуміють рівень звуку постійного широкосмугового шуму, у якого середньоквадратичні звукові тиски рівні за певний часовий інтервал.

За максимальний рівень інтенсивності звуку L_{Jmax} прийнято рівень інтенсивності звуку, що відповідає максимальному показу шумоміра, впродовж 1% часу вимірювання.

При вимірюванні рівні звуку розбиваються на піддіапазони по 5 дБ.

Кожний піддіапазон характеризується середнім значенням L_J^i , $L_{Jекв}$ визначається як:

$$L_{\text{Жекв}} = 10 \lg \left(\frac{1}{100 \sum_{s=1}^n t_i \cdot 10^{0.1 L_J^i}} \right),$$

де L_J^i – рівень звуку піддіапазону i , n – число піддіапазонів, t_i – відносний час дії шуму піддіапазону L_J^i .

Нормування шумових забруднень є одним із вихідних даних для розробки методів захисту оточуючого середовища.

Комплекс заходів пониження шуму.

При розробці або виборі методів захисту оточуючого середовища від шумів приймається цілий комплекс заходів, який включає:

- проведення відповідних акустичних розрахунків і вимірювань, порівняння їх з нормованими і реальними шумовими характеристиками;
- визначення небезпечних і безпечних зон; розробка і застосування звукоізолюючих пристроїв і конструкцій;
- вибір відповідного обладнання і оптимальних режимів роботи;
- зменшення коефіцієнта спрямованості шумового випромінювання відносно обраної території;
- вибір оптимальної зони орієнтації і оптимальної відстані від джерела шуму;
- проведення архітектурно-плануючих робіт;
- організаційно-технічні заходи з профілактики, своєчасного ремонту і змащення обладнання;
- заборона роботи на застарілому обладнанні, яке є джерелом підвищеного шуму.

Одним із засобів захисту від шумів є звукопоглинання.

Під **звукопоглинанням** розуміють процес переходу частини енергії звукової хвилі в теплову енергію середовища, в якому поширюється звук. Звукопоглинання у неперервних середовищах характеризується зменшенням амплітуди поширювання звукових коливань в залежності від відстані. Звукопоглинання сильно залежить від частоти, тобто, *володіє дисперсією*. Із збільшенням частоти звукопоглинання збільшується.

Поряд із безпосереднім переходом звукової енергії в теплову, звукова хвиля послаблюється внаслідок часткового її проникнення через обмеження щілин, вікон тощо.

Звукопоглинання залежить від кута падіння плоских звукових хвиль на межі поділу. На практиці використовується *дифузійний коефіцієнт поглинання*, який є усередненою величиною коефіцієнтів поглинання для різних напрямів падіння на поверхню матеріалу. Застосування звукопоглинання дозволяє зменшити рівень шуму від джерел, розміщених в цьому або іншому приміщенні. Звукопоглинаючі матеріали застосовуються як в об'ємі, де знаходиться джерело шуму, так і в ізольованих приміщеннях.

Види звукопоглинаючих матеріалів. До звукопоглинаючих матеріалів відносяться такі, у яких $K_{\text{погл.}} > 0,3$. У залежності від механізму звукопоглинання матеріали поділяються на кілька видів. До першого виду відносяться матеріали, в яких поглинання здійснюється внаслідок в'язкого тертя повітря в порах (волокнисті пористі матеріали у вигляді ультра тонкого скляного і базальтового волокна), внаслідок чого кінетична енергія падаючої звукової хвилі переходить в теплову енергію матеріалу. Це типовий приклад дисипативної структури.

До другого виду звукопоглинаючих матеріалів відносяться такі, в яких крім в'язкого тертя в порах відбуваються релаксаційні втрати,

пов'язані з деформацією нежорсткого скелета (повстина, деревоволокнисті матеріали, мінеральна вата тощо).

До третього виду відносяться панельні матеріали, звукопоглинання яких зумовлене деформацією всієї поверхні або кількох її діляниць (фанерні щити, щільні штори тощо). Даний вид звукопоглинаючих матеріалів має максимальне затухання на низьких частотах.

Для збільшення поглинання пористих матеріалів на низьких частотах або збільшують їх товщину, або використовують повітряний проміжок між матеріалом і захисним засобом (рис.2.6).

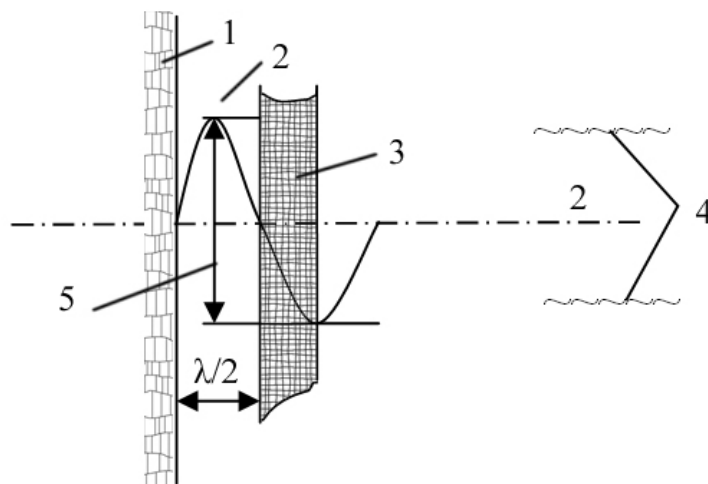


Рис.2.6. Схема розміщення звукопоглинаючого матеріалу.

Максимум поглинання спостерігається тоді, коли повітряний проміжок 2 між поверхнями конструкції 1 і матеріалу 3 дорівнює половині довжини хвилі падаючого звукового коливання 4. У цьому випадку буде максимальне збільшення втрат внаслідок тертя, оскільки звукопоглинаючий матеріал розміщується в області 5 найбільшого коливального руху.

Відносні поглинаючі матеріали не дають необхідного поглинання на всіх частотах звукового діапазону. З цією метою використовують

звукопоглинаючі конструкції. Конструктивно звукопоглинаючі матеріали виготовляються кількох типів: шарові, пірамідальні.

Резонансні конструкції. В них використовуються резонансні властивості окремих матеріалів інтенсивно поглинати енергію звукової хвилі на окремих частотах. Принципова схема конструкції резонансних поглиначів подана на рис. 2.7. На перфорований лист 5 наклеюється разом із захисним шаром 4 пористий поглинаючий матеріал 3. Дана конструкція розміщується на деякій відстані від (повітряний проміжок 2) від стіни (обмеження) 1. Розміщуючи один за одним кілька таких листів на різних відстанях і варіюючи діаметром і числом отворів, можна отримати значне звукопоглинання в певних діапазонах частот, певному числі і широкому діапазоні.

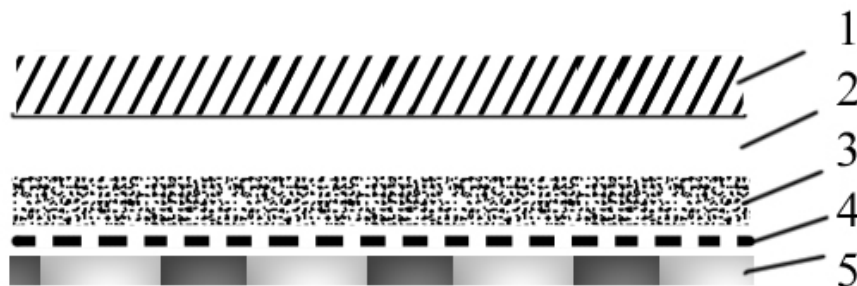


Рис. 2.7. Резонансна конструкція звукопоглиначів

Шарові поглиначі. Даний тип конструкцій виконується у вигляді певного числа шарів із звукопроникних матеріалів (тканин, металічних сіток, перфорованих листів, фанери і т.п.), відділених один від одного повітряними проміжками. Різні комбінації проклеєних повітро-проникних тканин і металічних сіток дозволяють досягти звукопоглинання енергії звукової хвилі до 99%. Товщина таких звукопоглиначів повинна складати приблизно половину найбільшої довжини хвилі звукового поля.

Пірамідальні конструкції – це пірамідальні каркаси з вершинами, напрямленими всередину приміщення (Рис. 2.8). Ґраткові каркаси 3 заповнюються простим поглинаючим матеріалом 1 (наприклад, мінеральною ватою), обгорнутим захисною склотканиною 2, яка захищає поглинаючий матеріал від видування. Пірамідальні конструкції закріплюються на стіні 5. Коефіцієнт відбивання звукової хвилі 4 в даному випадку дуже малий (≤ 3), а загальне поглинання таких конструкцій може бути великим у широкому частотному діапазоні. Застосування звукопоглинаючих матеріалів і пірамідальних конструкцій особливо корисно при розробці звукомірних камер, в яких коефіцієнтом відбивання звукової хвилі від стін можна було б знехтувати.

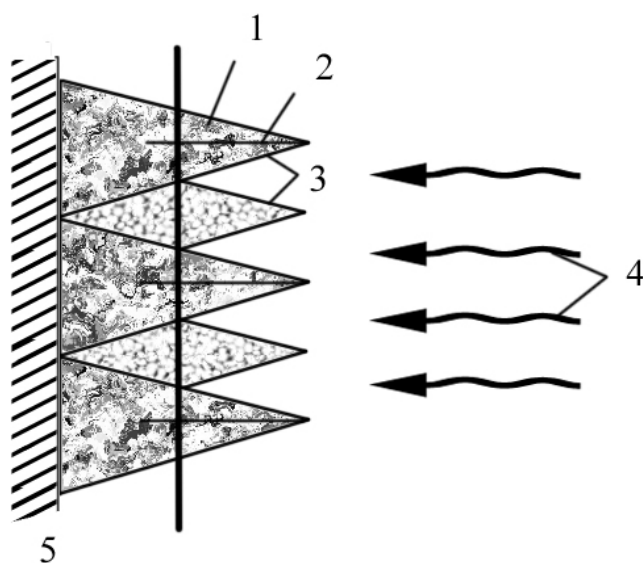


Рис. 2.8. Пірамідальна конструкція поглиначів

Засоби і методи звукопоглинання. Засоби і методи звукопоглинання вибирають для кожного окремого випадку.

Звукопоглинаючі матеріали і конструкції застосовують як в приміщенні самого джерела шуму, так і в суміжних або ізольованих приміщеннях. Основною метою акустичної обробки приміщень є

зниження рівня шумів відбитих звукових хвиль. Акустична обробка дозволяє знизити рівень шумів як у виробничих приміщеннях, так і в житлових забудовах, розміщених поруч з виробничими об'єктами.

Для акустичної обробки приміщень використовують облицювання стін, стель і т.п. як по всій поверхні, так і частково. Поряд із застосуванням облицювальних матеріалів можна використати також штучні звукопоглиначі. Вибір звукопоглинаючих матеріалів здійснюється не тільки з метою отримання максимального ефекту поглинання в необхідному діапазоні частот, але і з урахуванням небезпечних і шкідливих виробничих факторів конкретного виробництва. Отже, не кожний звукопоглинаючий матеріал буде володіти необхідною ефективністю і строком придатності в певних виробничих умовах. Необхідно враховувати також і геометрію приміщення.

У випадку невисоких приміщень (3÷5) м найефективнішим буде облицювання стелі, оскільки в даному випадку дана поверхня вносить основний вклад в ефект відбивання. За наявності високої стелі у витягнутих приміщеннях найдоцільнішим є облицювання стін звукопоглинаючим матеріалом. У приміщеннях, розміри яких за трьома параметрами приблизно однакові, ефективно облицювання і стін, і стелі.

2.5.2. Вібрації. Нормування, біологічна дія вібрацій.

Основними джерелами вібрації є рейковий транспорт (трамваї, метрополітен, залізниця), різні технологічні установки (насамперед двигуни, ковальсько-пресове обладнання), будівельна техніка (молоти, пневмовібраційна техніка, система опалення і водопровід, насосні станції). Від цих пристроїв механічні коливання поширюються по ґрунту

і проявляють свою дію на фундаменти різних споруд, викликаючи потім звукові коливання у вигляді структурного шуму. Вібрації є шкідливими і корисними.

Шкідливі вібрації створюють не тільки шумові забруднення довкілля, шкідливо діють на організм людини і складають певну небезпеку для різних інженерних споруд. Корисні вібрації використовуються у деяких технологічних процесах (віброущільнення бетону, вібровакуумні установки і ін.).

Зона дії вібрацій визначається величиною їхнього затухання у пружному середовищі (грунті) і в середньому ця величина становить $\sim 1\text{дБ/м}$. При рівні вібрації 70дБ , створюваної рейковим транспортом, на відстані 70м від джерела ця вібрація практично зникає. Для ковально пресового устаткування зона дії вібрації може досягати 200м .

При рівності частот коливань фундаменту і пружної хвилі, що поширюється у ґрунті, амплітуду вертикального (горизонтального) коливання при вертикальній (горизонтальній) вібрації фундаменту при динамічному навантаженні можна розрахувати за формулою:

$$A_r = A_0 \left(\frac{1}{R(1 + (R - 1))^2} + \frac{R^2 - 1}{\sqrt{3R(R^2 + 1)}} \right),$$

де A_r – амплітуда вертикального (горизонтального) коливання ґрунту в точках, розміщених на відстані R від осі фундаменту; A_0 – амплітуда вільних або вимушених вертикальних (горизонтальних) коливань, які визначаються відповідними санітарними нормами; $R = \frac{r}{r_0}$ – безрозмірний

радіус; $r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ – приведений радіус підшви фундаменту; S – площа підшви фундаменту ($S = \pi r_0^2$). При $r = r_0$, $R = 1$ і $A_r = A_0$.

Однією з основних причин появи низькочастотних вібрацій при роботі різних механізмів є дисбаланс обертаючих деталей, що виникає за рахунок зміщення центра мас відносно осі обертання.

Виникнення дисбалансу зумовлене:

- несиметричним розподілом обертаючих мас, оскільки може бути викривлений вал, несиметричне розміщення деталей кріплення тощо;
- неоднорідною густиною матеріалу через наявність раковин, шлакових включень і інших неоднорідностей;
- наявністю люфтів, зазорів і інших дефектів, що виникають при зібранні і експлуатації механізмів.

У цих випадках не зрівноважена доцентрова сила $F = \ell m \omega^2$, де ω – кутова швидкість, ℓ – ексцентриситет, m – маса.

Джерелом вібрації є різного роду коливання деталей конструкції, механізмів, установок тощо. Вібрації часто супроводжуються інфразвуковими коливаннями (можлива зворотна дія).

Біологічна дія вібрації. Прояв вібрації на організм людини залежить від того, як діє вібрація. Загальна вібрація на увесь організм (транспортер, віброущільнення бетону). Локальна вібрація діє на окремі частини тіла (робота з ручним пневмоінструментом). В залежності від тривалості дії вібрації, частоти, сили коливань виникає відчуття струсу, а при тривалому – виникають зміни в опорно-руховій, серцево-судинній і нервовій системах. Біологічна дія вібрації в діапазоні частот до 15 Гц проявляється в порушенні вестибулярного апарату, зміщенні органів. Вібрації до 25 Гц викликають кістково-суглобні зміни. Вібрації до 250 Гц шкідливо діють на серцево-судинну і нервову системи, викликають вібраційну хворобу, яка проявляється болями в суглобах, підвищеною чутливістю до охолодження, спазмами.

Допустимі рівні вібрації

Основними нормованими параметрами вібрації є середньоквадратичні величини рівнів віброшвидкості L_v (дБ), віброприскорення, віброзміщення в октавних смугах із середньоквадратичними частотами 2, 4, 8, 16, 31,5, 63 Гц. Значення L_v визначається за виразом:

$$L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0},$$

де v_0 – порогова віброшвидкість, яка дорівнює $5 \cdot 10^{-8}$ м/с; v – середньоквадратична віброшвидкість, м/с.

Порогові значення віброприскорення і віброзміщення відповідно дорівнюють: $3 \cdot 10^{-4}$ м/с²; $8 \cdot 10^{-12}$ м.

Ефективним методом пониження вібрацій є вибір оптимальних методів роботи, який полягає, головним чином, в тому, щоб усунути резонансні явища в процесі експлуатації механізмів. При цьому важливо, щоб власні частоти не співпадали з частотами, які виникають при дисбалансі. Для цього змінюють або масу системи, або інші механічні параметри (жорсткість, розміри тощо).

Для пониження рівня вібрації застосовують віброгасіння, віброізоляцію, вібродемпфування.

2.6. Електростатичні і електромагнітні забруднення.

З моменту свого існування Земля піддавалась впливу електромагнітного випромінювання Сонця і космосу, в результаті чого відбувалися складні і взаємопов'язані явища у магнітосфері Землі, які безпосередньо впливали на живі організми біосфери. Живі організми і людина живуть в ЕМ-випромінюванні, але з розвитком НТП

електромагнітний фон Землі не тільки збільшився, але і зазнав якісних змін. З'явилося штучне ЕМ-випромінювання в результаті техногенної діяльності (наприклад, міліметровий діапазон довжин хвиль тощо). Міліметрове випромінювання неземного походження поглинається атмосферою, тому живі організми до нього не адаптувалися. Електромагнітний фон особливо зріс у зонах з високо розвинутою наукоємною промисловістю.

До основних джерел антропогенного походження відносяться телевізійні і радіолокаційні станції, потужні радіотехнічні об'єкти, промислове техногенне обладнання. Високовольтні лінії електропередач, термічні цехи, плазмові, лазерні і рентгенівські установки, атомні і ядерні реактори та ін. Існують техногенні джерела електромагнітних і інших фізичних полів спеціального призначення. Спектральна інтенсивність деяких техногенних джерел ЕМП може суттєво відрізнятися від природного електромагнітного фону, до якого вже вироблені засоби адаптації.

Для правильного вибору оптимальних засобів захисту необхідно визначити основні характеристики джерел ЕМП: діапазон частот, енергію і потужність випромінювання, режим роботи, діаграму спрямованості, особливості поширення в атмосфері, біологічну дію, тип поляризації тощо. На сьогодні вже розроблена теорія ЕМП, фізика і техніка надвисоких частот (НВЧ) й інших діапазонів довжини хвиль, визначені області застосовності ЕМП.

Спектр електромагнітного випромінювання

Спектр ЕМ-випромінювання, освоєний людиною, лежить в межах від 10^3 м до 10^{-14} м (γ -випромінювання). Гіпотезу про існування електромагнітних хвиль (ЕМХ) вперше висловив Максвелл на основі

узагальнень вчення Фарадея про електромагнетизм. Вперше ЕМХ отримав Г. Герц у 1887 р., а Марконі і Попов використали їх практично для передачі сигналів без провідників за допомогою радіопередавача. Російський фізик Лебедев довів, що ЕМХ довжиною 6 мм володіють тими ж властивостями, що і світлові. На даний час відомо, що радіохвилі, світло, ІЧ- і УФ-випромінювання, рентгенівські промені і γ -випромінювання мають електромагнітну природу. Лише невелику частину ЕМХ людина сприймає візуально, а в широкому діапазоні це роблять розроблені людиною прилади і пристрої. В таблиці 2.1. надається шкала електромагнітних хвиль.

Таблиця 2.1.

№ п/п	Назва діапазону	Довжина хвилі λ ($\lambda \rightarrow \infty$)	Частота ν ($\nu \rightarrow \infty$)
1.	Наддовгі хвилі	10^4 м	30 кГц
2.	Кілометрові хвилі	10^3 м	300 кГц
3.	Гектометрові хвилі	10^2 м	3 МГц
4.	Декаметрові хвилі	10 м	30 МГц
5.	Метрові хвилі	1 м	300 МГц
6.	Дециметрові хвилі	0,1 м	3 ГГц
7.	Сантиметрові хвилі	10^{-2} м	30 ГГц
8.	Міліметрові хвилі	10^{-3} м	300 ГГц
9.	Субміліметрові хвилі	10^{-4} м	3000 ГГц
10.	ІЧ-випромінювання	10^{-4} м \div $0,76 \cdot 10^{-6}$ м	$4,3 \cdot 10^{14}$ Гц
11.	Видимий діапазон	$0,76 \div 0,38 \cdot 10^{-6}$ м	$7,5 \cdot 10^{14}$ Гц
12.	УФ-випромінювання	$0,38 \cdot 10^{-6} \div 10^{-8}$ м	$3 \cdot 10^{16}$ Гц
13.	Рентгенівський діапазон	$10^{-8} \div 10^{-11}$ м	$3 \cdot 10^{19}$ Гц
14.	γ -випромінювання	$10^{-11} \div 10^{-13}$ м	$3 \cdot 10^{21}$ Гц
15.	Космічне випромінювання	$\lambda \rightarrow 0$	$\nu \rightarrow 0$

2.6.1. Електромагнітні поля (ЕМП).

Повна картина електромагнітного поля описується 4-ма рівняннями Максвелла, які є узагальненням вчення Фарадея про електромагнетизм. Це стало можливим тоді, коли Максвелл ввів поняття струму зміщення, фізичний зміст якого полягає в тому, що магнітне поле створюється не тільки рухомими зарядами (струмом), але і будь-якою зміною в часі електричного поля. Ці рівняння у диференціальній формі мають наступний вигляд:

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \vec{j}_{np} + \vec{j}_{zm} \quad (2.6)$$

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt} \quad (2.7)$$

$$\operatorname{div}\vec{D} = \rho \quad (2.8)$$

$$\operatorname{div}\vec{B} = 0 \quad (2.9)$$

Рівняння (2.6) стверджує, що рухомі заряди і струми зміщення є причиною виникнення магнітного поля. Без урахування струмів зміщення рівняння (2.6) дозволяє підрахувати величину магнітного поля у будь-якій точці, що створюється провідником із струмом. Це відомий закон Біо-Савара-Лапласа.

Рівняння (2.7) стверджує, що будь-яка зміна магнітного поля породжує електричне поле. Воно виражає закон індукції Фарадея.

Рівняння (2.8) виражає, що електричне поле має джерела, якими виступають заряди (об'ємна густина заряду ρ).

Рівняння (2.9) вказує, що силові лінії магнітного поля завжди замкнуті, тобто у природі відсутні вільні магнітні заряди.

Густина струму рухомих зарядів \vec{j} пов'язана з об'ємною густиною зарядів рівнянням неперервності:

$$\operatorname{div}\vec{j} + \frac{\partial\rho}{\partial t} = 0.$$

В однорідному ізотропному середовищі, яке не має ні зарядів, ні струмів провідності ($\rho = 0$, $\vec{j} = 0$), рівняння Максвелла набувають симетричного вигляду:

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \vec{j}_{np}; \quad (2.10)$$

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}; \quad (2.11)$$

$$\operatorname{div}\vec{D} = 0; \quad (2.12)$$

$$\operatorname{div}\vec{B} = 0. \quad (2.13)$$

Для описання поведінки різних середовищ під впливом ЕМП необхідно додати матеріальні рівняння:

$$\vec{j} = \sigma\vec{E};$$

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E};$$

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

де σ – питома провідність, ε і μ – діелектрична і магнітна проникності середовища, ε_0 і μ_0 – електрична і магнітна сталі.

Теорія Максвелла є макроскопічною теорією електродинаміки і електромагнітною теорією світла.

Рівняння (2.10-2.13) дають можливість отримати хвильові рівняння для

вектора напруженості електричного поля $\vec{\nabla}^2\vec{E} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$ та вектора

напруженості магнітного поля $\vec{\nabla}^2\vec{H} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2}$.

Розв'язками даних рівнянь є $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \varphi)$ і $\vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \varphi)$.

Електромагнітні коливання, які описуються отриманими хвильовими рівняннями, поширюються із швидкістю світла:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu}} = \frac{1}{\sqrt{8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot 10^{-7}}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = c.$$

Електромагнітні хвилі під час переходу з одного середовища в інше заломлюються. Показник заломлення $n = \frac{c}{v}$. Якщо n_1 і n_2 – абсолютні показники заломлення двох середовищ, то відносний показник заломлення $n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$. Для немагнітних середовищ $n = \sqrt{\varepsilon}$. Показник заломлення володіє дисперсією, тобто залежить від довжини хвилі.

Електромагнітне поле описується енергетичною характеристикою, а саме: густиною потоку енергії електромагнітного поля через одиницю поверхні, визначається як $\vec{W} = [\vec{E} \cdot \vec{H}]$ і носить назву вектора Умова-Пойнтінга.

Практичний інтерес має визначення енергетичних втрат ЕМП у діелектричному середовищі. Враховуючи, що $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, можна написати вираз для енергетичних втрат у вигляді (джоулевої теплоти або дисипації енергії внаслідок наявності у провіднику опору) $\int_V \vec{j} \vec{E} dV = \sigma \int_V \vec{E}^2 dV$. За умови однорідності коефіцієнта втрат і електричного поля у розглянутому об'ємі можна записати $w_v = \sigma E^2 = \omega \varepsilon_0 \varepsilon' \text{tg} \delta \cdot E^2$, де w_v – питома потужність втрат в одиниці об'єму, ω – колова частота поля, ε_0 – діелектрична постійна вакууму, ε' – дійсна частина комплексної діелектричної проникливості, δ – кут діелектричних втрат.

Як видно, потужність втрат у діелектричному середовищі пропорційна квадрату електричної напруженості і частоті поля. Необхідно враховувати, що збільшення частоти ЕМП призводить до зміщення глибини проникнення поля у середовище, яке опромінюється. Це зумовлює не об'ємне, а поверхневе нагрівання. Таким чином, необхідно враховувати специфіку дії ЕМП на живі організми, яка визначається властивостями опроміненого середовища, інтенсивністю і частотою ЕМП. Суттєву роль відіграють явища, які можуть виникати у випадку збігання частот опроміненого поля з частотами енергетичних рівнів молекул середовища.

Розрізняють електронну, атомну, дипольну поляризацію та ін. Під електронною поляризацією розуміють утворення елементарних дипольних моментів, що виникають під дією накладеного зовнішнього поля внаслідок зміщення електронів і іонів в атомі. Час встановлення електронної поляризації малий. Атомна поляризація виникає у молекулі з іонним зв'язком із-за зміщення від положення рівноваги додатних і від'ємних іонів під дією зовнішнього електричного поля. Атомна поляризація проявляється в діапазоні ІЧ-випромінювання, що має полярні (дипольні) молекули. У таких молекулах центри мас додатних і від'ємних зарядів не співпадають і утворюють дипольний момент. Великими дипольними моментами володіють молекули з ковалентним зв'язком. Дипольна (молекулярна) поляризація проявляється в низькочастотному діапазоні. Великим дипольним моментом володіє вода, яка у великих кількостях міститься у живих організмах. З цим пов'язаний сильний вплив низькочастотних коливань на людський організм.

2.6.2. Електростатичні поля.

Електростатичні поля створюються нерухомими зарядами. Багато процесів, що відбуваються у природі, зумовлені електричними силами. Існує два роди електрики – позитивні і негативні. Поява одного виду електрики завжди супроводжується виникненням рівної кількості електрики другого роду. Наявність двох видів електричних зарядів є фундаментальною властивістю матерії. Завжди відбувається перерозподіл заряду між тілами. Існує закон збереження заряду, аналогічний закону збереження кількості речовини. *Сумарний заряд у речовині незмінний.* Електричні заряди в природі складаються з дискретних зарядів постійної величини, яким є заряд електрона. Він відкритий у 1897 р., а в 1932 р. була відкрита античастинка до нього – позитивний заряд, названий позитроном і передбачений теоретично Діраком.

Була показана можливість анігіляції заряду і маси в електромагнітне випромінювання і навпаки, народження електрон-позитронної пари під час удару γ -кванта з ядром атома. Інші зарядні частинки мають заряди, кратні за величиною заряду електрона. Заряди взаємодіють між собою за

законом Кулона $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2} \cdot \vec{r}_{12}$. Наявність зарядів створює у просторі

електричне поле \vec{E} , яке виявляє дію зарядів на пробний заряд q_0 . Це дає змогу визначити напруженість електричного поля у будь-якій точці

простору, створену розподілом зарядів, як $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^3} \cdot \vec{r}$.

Електричне поле характеризується потенціалом φ – роботою, яку необхідно виконати, щоб заряд в 1 Кл перенести з нескінченості в дану

точку $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$. Різницю потенціалів між двома точками можна

записати у формі $\varphi_{21} = -\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$.

Розрахунок ЕМП для стаціонарних полів за наявності граничних і початкових умов проводиться за формулою:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0},$$

яка відома як *рівняння Пуассона*, що виражає зв'язок густини заряду і другої похідної потенціалу. Для $\rho = 0$, тобто коли заряди відсутні у розглядуваній області, маємо $\vec{\nabla}^2 \varphi = 0$, що носить назву рівняння Лапласа.

2.6.3. Захист від впливу електромагнітних полів.

У відповідності до Регламенту радіозв'язку, прийнятим міжнародним консультативним комітетом радіозв'язку до радіодіапазону відносяться діапазони 3-9 (таблиця 2.1). Діапазон 2 відноситься до промислових частот.

У залежності від частоти джерела ЕМП, його потужності і режиму роботи вибираються ті чи інші засоби захисту від впливу електромагнітних коливань на людський організм. Простір навколо джерела (випромінювача) ЕМП умовно поділяють на ближню і дальню зону.

Ближня зона – зона, в якій електромагнітне (хвильове) поле ще не сформовано на відстані $r \leq \frac{\lambda}{6} = \frac{\lambda}{2\pi}$ від випромінювача. У ближній зоні

одна із складових \vec{E} або \vec{H} ще слабо виражені. Близня зона (зона індукції) обмежена сферою з радіусом $r = \frac{\lambda}{6}$. У ній ЕМП характеризується електричною складовою $\vec{E}\left(\frac{B}{m}\right)$. Така оцінка відноситься до діапазонів 3-6. Якщо працює кілька джерел, утворюється сумарне поле, яке визначається як $E_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^N E_i^2$.

Дальня зона (зона випромінювання) – зони, в яких на відстанях $r > \frac{\lambda}{6}$ існує і поширюється ЕМП. Воно характеризується інтенсивністю випромінювання W_S – поверхнева густина потоку енергії або вектор Умова-Пойнтінга. Розмірність $[W_S] = 1 \frac{Bm}{m^2}$. При одночасній дії кількох випромінювачів $W_{S\Sigma} = \sum_{i=1}^N W_S^i$, де W_S^i – інтенсивність випромінювання i -го джерела в точці вимірювання дальньої зони.

Для кількох джерел ЕМП різних діапазонів дія випромінювачів повинна задовольняти вимогу

$$\sum_{i=1}^k \frac{E_i^2}{E_{0i}^2} + \sum_{\ell=1}^m \frac{W_S^{\ell}}{W_S^{0\ell}} \leq 1,$$

де E_{0i} – гранично допустимий рівень напруженості електричного поля i -го джерела на межі санітарно захисної зони, $W_S^{0\ell}$ – гранично допустимий рівень інтенсивності випромінювання для ℓ -го джерела на межі санітарнозахисної зони; E_i , W_S^{ℓ} – фактичні значення параметрів; $i = 1, 2, \dots, k$; $\ell = 1, 2, \dots, m$.

Нормування ЕМП. Щодо електромагнітного випромінювання, то прийняті санітарні норми і в якості гранично допустимого рівня (ГДР) опромінення населення приймаються такі значення електромагнітних полів, щоденні опромінення яких не викликають у населення захворювань або відхилень у стані здоров'я, які можуть бути виявлені сучасними методами дослідження або в період опромінення, або в значно пізніші строки.

Встановлено, що для населення гранично допустиме значення напруженості не перевищує $E = 500 \text{ В/м}$ частотою 50 Гц у місцях постійного перебування. Магнітні поля не нормуються. В якості рекомендацій вченими Швеції та інших країн визначено додатковий критерій безпеки в місцях нічного відпочинку і перебування дітей: напруженість магнітного поля не повинна перевищувати 0.2 мкТл частотою 50 Гц.

Гранично допустимі рівні напруженості ЕМП у відповідності до санітарних норм представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

№ п/п	Приміщення, територія	$E, \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$
1.	Всередині житлових будинків	0,5
2.	На території зони житлової забудови	1,0
3.	В населеній місцевості поза зоною житлової забудови (земля в межах міста, приміські і зелені зони, курорти, землі селищ міського типу і сільських населених пунктів) на ділянках перетину високовольтних ліній з автомобільними дорогами I-IV категорій	1,0
4.	У важкодоступній місцевості, яка часто відвідується людьми, доступна для транспорту і сільськогосподарські угіддя	15

5.	У важкодоступній місцевості (недоступній для транспорту і сільськогосподарських машин) і на спеціально обгороджених ділянках, куди заборонений доступ населення	20
----	---	----

Існують свої норми для зон, що знаходяться поблизу радіотехнічних об'єктів. Вимірювання рівнів випромінювання проводиться у відповідності до поточного санітарного нагляду під час введення в експлуатацію нових або реконструйованих джерел ЕМП, громадських приміщень і споруд, що перебувають поблизу до джерел електромагнітного випромінювання.

Нормуванню підлягає вся побутова і комп'ютерна техніка, яка є технічним джерелом ЕМП. Загальні рекомендації з безпеки цього класу обладнання і приладів у загальному випадку можуть біти викладені наступним чином:

- використовувати моделі електроприладів і ПК з меншим рівнем електроспоживання (вони створюють ЕМП меншого рівня);
- розміщувати прилади, які працюють упродовж тривалого часу (холодильники, телевізори, НВЧ-печі, ПК, повітроочисники тощо), на відстані, не меншій 1.5 м від місць постійного перебування або нічного відпочинку, особливо дітей;
- за наявності великої кількості побутової техніки намагатися щонайменшої одночасної її роботи;
- використовувати монітор ПК із заниженим рівнем випромінювання;
- заземляти прилади на контур заземлення приміщення (не можна заземлювати на батарею опалення, водопровідні труби);
- під час роботи з ПК використовувати заземлені захисні фільтри для екрану, монітору. Що понижує рівень ЕМП;

- намагатися використовувати прилади з автоматичним управлінням.

Санітарними нормами встановлені нормативи тривалості роботи на ПЕОМ, зображені в таблиці 2.3.

Система контролю за дотриманням державних санітарних гігієнічних норм лежить в основі заходів безпеки населення від впливу ЕМП.

Таблиця 2.3

№ п/п	Категорія користувачів ПК	Тривалість роботи на ПК впродовж дня	
		неперервна	загальна
1	Діти дошкільного віку	-	7-10 хв.
2	Учні	10-30 хв.	45-90 хв.
3	Студенти	1-2 год.	2-3 год.
4	Дорослі	до 2 год.	До 6 год.

Спосіб захисту відстанню і часом. Під час розміщення на службових територіях радіотехнічних будівель і об'єктів з метою недопущення ГДР забруднення враховують:

- потужність і діапазон частот джерела ЕМП;
- конструктивні особливості, діаграму направленості і висоту розміщення антени-випромінювача;
- рельєф місцевості;
- оптимальний режим роботи джерела ЕМП;
- поверхні і особливості забудови.

При побудові радіотехнічних об'єктів у разі необхідності створюють санітарно-захисну зону і зону обмеження забудови у відповідності до санітарних норм.

У межах санітарно-захисної зони забороняється розміщувати житлові будинки, стоянки і зупинки транспорту, влаштовувати місця відпочинку, спортивні й ігрові майданчики. З метою зменшення ЕМП промислової частоти збільшують висоту підвісу проводів високовольтної лінії, віддаляють житлову забудову від ліній передачі, застосовують екрануючі джерела.

Спосіб захисту часом полягає в тому, щоб якомога менше часу знаходитися біля джерел ЕМП.

Санітарно-захисні зони радіо- і телевізійних станцій мають наступні характеристики (таблиця 2.4) :

Таблиця 2.4

№ п/п	Тип об'єкту	Діапазон частот	Розмір санітарно-захисної зони, м
1.	Довгохвильові радіостанції (ДВ)	30-300 кГц	100-1000
2.	Середньохвильові радіостанції (СВ)	300-3000 кГц	200-1000
3.	Короткохвильові радіостанції (КВ)	3-30 МГц	50-700
4.	Телевізійні і УКВ радіостанції	30-1000 МГц	25-800

Спосіб екранування ЕМП. Даний спосіб використовує процеси відбивання і поглинання електромагнітних хвиль. Під час випробування технологічного, радіотехнічного і НВЧ обладнання часто використовують повністю екрановані приміщення, стіни и стеля яких покриті металічним

листом, облицьованим поглинаючим матеріалом. Таке екранування повністю виключає проникнення електромагнітних хвиль у довкілля. Обслуговуючий персонал користується індивідуальними засобами захисту.

На відкритих територіях, розміщених в зонах з підвищеним рівнем ЕМП, застосовуються екрануючі пристрої у вигляді залізобетонних парканів, екрануючих сіток, високих дерев тощо. Часткова екрануюча здатність S_e визначається як $S_e = 20 \lg \frac{W_{S_0}}{W_{S_n}}$, де W_{S_0} , W_{S_n} – відповідно інтенсивність падаючої і прохідної електромагнітної хвилі.

Екстинція (послаблення) електромагнітного випромінювання будівельними конструкціями для довжин хвиль 3 см і 10 см має наступні величини:

Таблиця 2.6

Матеріали і елементи конструкції	Екстинція, дБ	
	$\lambda=3\text{см}$	$\lambda=10\text{ см}$
Цегляна стіна товщиною 70 см	21	16
Міжповерхове перекриття	22	2
Відштукатурена стінка приміщення	12	8
Вікна із подвійними рамами	18	7

Радіопоглинаючі матеріали (РПМ).

Радіопоглинаючі матеріали (РПМ) використовують для поглинання електромагнітних хвиль і в засобах захисту від впливу ЕМП. Під час взаємодії ЕМХ з РПМ відбувається її поглинання, розсіювання, а в деяких типах РПМ – інтерференція. В результаті цих процесів відбувається дисипація енергії падаючої хвилі і відбита хвиля стає незначною. Вимоги, які ставляться до РПМ, досить суперечливі. З одного боку, на межі

розділу “середовище-поверхня РПМ” не повинно бути помітного стрибка коефіцієнта заломлення, тоді падаюча хвиля без помітних відбивань на межі розділу “втягнеться” у поглинаюче покриття з наступним поглинанням і розсіюванням.

З другого боку, для ефективного поглинання хвилі необхідно, щоб середовище володіло значними втратами.

Для узгодження цих двох вимог використовують ряд заходів, що враховують значення і область застосування РПМ, діапазон частот його роботи. Вимоги до малогабаритних характеристик, особливості експлуатації та ін.

За принципом дії РПМ діляться на дві великі групи: об’ємні поглиначі і резонансні (інтерференційні) поглиначі.

В *об’ємних поглиначах* використовується об’ємне поглинання електромагнітної енергії за рахунок внесення електричних або магнітних втрат. Поглинаючі матеріали цього типу складаються з основи і наповнювача. В якості основи використовуються різні каучуки, пінопласти й інші органічні матеріали. В якості наповнювачів використовуються порошок графіту, вугільної і ацетиленової сажі, порошок карбонатного заліза, тонкі металічні волокна тощо. Кількість наповнювача досягає 40%.

Для захисту від зовнішніх джерел ЕМП стіни будинків можна покривати пористим бетоном з домішкою графіту, волосяними матами.

Різновидностей об’ємних поглиначів багато. До числа їх переваг можна віднести відбивання у широкому діапазоні частот. До недоліків варто віднести великі масогабаритні параметри.

Резонансні (інтерференційні) поглиначі є композицією із шарів діелектриків і провідних плівок металу, що чергуються між собою.

Товщина діелектрика складає $\frac{1}{4}\lambda$. Принцип дії таких систем базується на інтерференції падаючої хвилі і утворення в них стоячих хвиль. Такі поглиначі мають малий коефіцієнт відбивання, малу масу, вони компактні. Але вони мають недостатньо широкий діапазон хвиль.

У ряді випадків застосовуються комбіновані РПМ, тобто такі, що поєднують резонансні і об'ємні поглиначі.

Ведуться розробки нових типів РПМ з метою збільшення поглинаючої здатності, значного зниження відбиваючої здатності і масогабаритних характеристик та принципово нових типів РПМ.

2.7. Теплове випромінювання і забруднення. Парниковий ефект.

Інфрачервоні (ІЧ) промені - електромагнітне випромінювання з довжиною хвиль від 0,76 мкм приблизно до 700 мкм. Верхня межа ІЧ-діапазону визначається чутливістю ока. Нижня межа умовна і доходить до субміліметрових і міліметрових хвиль. Увесь діапазон ІЧ випромінювання поділяють на три піддіапазони:

Область ІЧ	λ , мкм
Ближня	0,76 - 2,5
Середня	2,5 - 50
Далека	50 - 700(2000)

ІЧ промені не сприймається людським оком, але відчувається шкірою. Відкриті вони В.Г. Гершелем у сонячному випромінюванні.

ІЧ випромінювання має складний енергетичний спектр - набір дискретних електронних $E_{ел}$, коливних $E_{кол}$, коливально-обертальних $E_{кол-об}$ і чисто обертальних $E_{об}$ рівнів. Повна енергія молекул $E_{мол}$ визначається цим набором рівнів:

$$E_{\text{мол}} = \sum_1^n E_{\text{ел}} + \sum_1^m E_{\text{кол}} + \sum_1^l E_{\text{кол-об}} + \sum_1^k E_{\text{об}} .$$

Джерела ІЧ-випромінювання. Головним природним джерелом ІЧВ є Сонце. При поверхневій температурі 6000К приблизно 50% енергії випромінювання припадає на ІЧ-діапазон. До числа природних джерел ІЧ-випромінювання належать діючі вулкани, термальні води, процеси тепломасопереносу в атмосферу, всі нагріті тіла, лісові пожежі та ін. Поверхня Сонця випромінює тепло в діапазоні від 3 до 80 мкм, тобто охоплює всю середню ІЧ область. Максимум зворотнього теплового випромінювання Землі в космос припадає на $\lambda = 10$ мкм, як і максимум випромінювання людського тіла. Дослідження теплового випромінювання людського тіла за допомогою тепловізорів дає значну інформацію при діагностиці різних захворювань і контролює динаміку їх розвитку.

Надмірне захоплення ІЧ-випромінюванням, особливо ближньої зони, може привести до опіків шкіри, розладу нервової системи, загального перегріву тіла, порушення сольового балансу, ритму серця, теплового удару і ін.

До космічних джерел ІЧ-випромінювання відносяться холодні червоні карлики з температурою поверхні 1000-1500 К, ряд планетарних туманностей, комети, пилові хмари, ядра галактик, квазари та т.д.

Найбільш поширеним джерелом ІЧ випромінювання техногенного походження є лампа розжарювання. Для температури нитки лампи 2300-2800К максимум випромінювання припадає на ІЧ-діапазон.

До джерел техногенного походження відносяться теплові та газорозрядні лампи, електрична дуга, електричні спіралі, електронагрівні прилади, плазмові установки, печі різного призначення,

електротехнічні пристрої, двигуни внутрішнього згоряння, ракетні і авіаційні двигуни, реактори атомних станцій тощо.

Радіаційний і тепловий баланс Землі.

Коефіцієнт пропускання K_{np} оптичного випромінювання можна записати:

$$K_{np} = e^{-\sigma l}$$

де σ - коефіцієнт послаблення (екстинція), l - товщина поглинаючого шару. Коефіцієнт послаблення дорівнює сумі коефіцієнтів поглинання. Під час взаємодії випромінювання з атмосферним середовищем відбуваються процеси поглинання (селективні і неселективні) і розсіювання (резонансне і дифузне). Пари води, молекули CO_2 , озону і інших домішок, що знаходяться в атмосфері, селективно поглинають ІЧ-випромінювання. Особливо інтенсивно поглинають пари води, тому шар води можна використовувати в якості захисного фільтра (екрана), що і використовується при гасінні пожеж. Молекули азоту, кисню послаблюють ІЧ-випромінювання за рахунок молярного (релеєвського розсіювання), оскільки коефіцієнт релеєвського розсіювання λ^{-4} . Саме цим пояснюється голубий колір неба.

Розсіювання і поглинання ІЧ-випромінювання аерозольними утвореннями залежить від розмірів і хімічного складу частинок, їх концентрації, довжини хвилі випромінювання, географічного положення (над морем чи континентом, на екваторі чи високих горах) і від інших факторів. В силу всіх цих процесів ІЧВ, проходячи через атмосферу, досягає земної поверхні у послабленому вигляді. Вивчення властивостей земної атмосфери з погляду її прозорості в ІЧ-діапазоні має велике значення не тільки для радіаційного і теплового балансу, але

і для найрізноманітніших застосувань: зв'язку, локації планет, медицини галузей сільського господарства, мінералогії і біофізики.

Під впливом сонячного випромінювання земна поверхня нагрівається і стає джерелом довгохвильового (ДХ) випромінювання, спрямованого до атмосфери. Атмосфера, з другого боку, стає також джерелом ДХ випромінювання, спрямованого до Землі (так зване противипромінювання атмосфери). Це призводить до виникнення взаємного теплообміну між земною поверхнею і атмосферою. Різниця між короткохвильовим (КВ) випромінюванням, поглинутим земною поверхнею, і ефективним випромінюванням називається радіаційним балансом. Теплообмін, виникаючий в результаті перетворення енергії КВ сонячної радіації під час поглинання її земною поверхнею і атмосферою, складає тепловий баланс Землі.

Головною особливістю радіаційного режиму атмосфери є парниковий ефект, який полягає в тому, що КВ радіація більшою частиною доходить до земної поверхні, викликаючи її нагрів, а ДВ випромінювання від Землі затримується атмосферою, зменшуючи тепловіддачу у космос. Атмосфера виступає в якості теплоізолюючої оболонки, яка перешкоджає охолодженню Землі. Збільшення відсоткового вмісту CO_2 , парів H_2O , аерозолів буде посилювати парниковий ефект, що призводить до збільшення середньої температури нижнього шару атмосфери і потепління клімату. Основним джерелом теплового випромінювання атмосфери є земна поверхня. Інтенсивність сонячного випромінювання, поглинутого земною поверхнею і атмосферою, складає $237 \frac{Вт}{м^2}$, з них $157 \frac{Вт}{м^2}$ поглинається земною

поверхнею, а $80 \frac{Вт}{м^2}$ - атмосферою. Тепловий баланс Землі представлений на рис. 2.9.

Радіаційний баланс земної поверхні становить $105 \frac{Вт}{м^2}$, а ефективно випромінювання з неї дорівнює різниці поглинутої радіації та радіаційного балансу і становить $52 \frac{Вт}{м^2}$. Енергія радіаційного балансу витрачається на турбулентний теплообмін Землі з атмосферою, що становить $17 \frac{Вт}{м^2}$, і на процес випаровування води, що становить $88 \frac{Вт}{м^2}$.

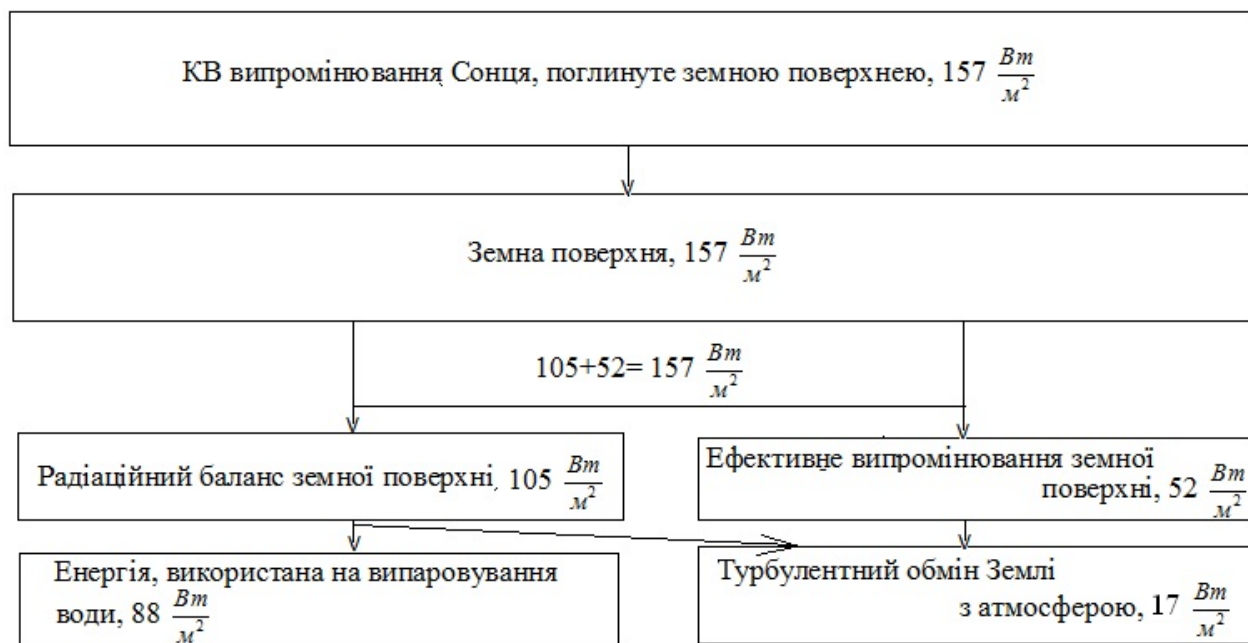


Рис. 2.9 Схема теплообміну Землі.

Атмосфера отримує теплову енергію від 3-х джерел (рис. 2.10): Сонця у вигляді поглинутого КВ випромінювання з інтенсивністю $80 \frac{Вт}{м^2}$, теплоти від конденсації водяної пари, що приходить від земної поверхні і рівній 88, турбулентного теплообміну між Землею і атмосферою ($17 \frac{Вт}{м^2}$).

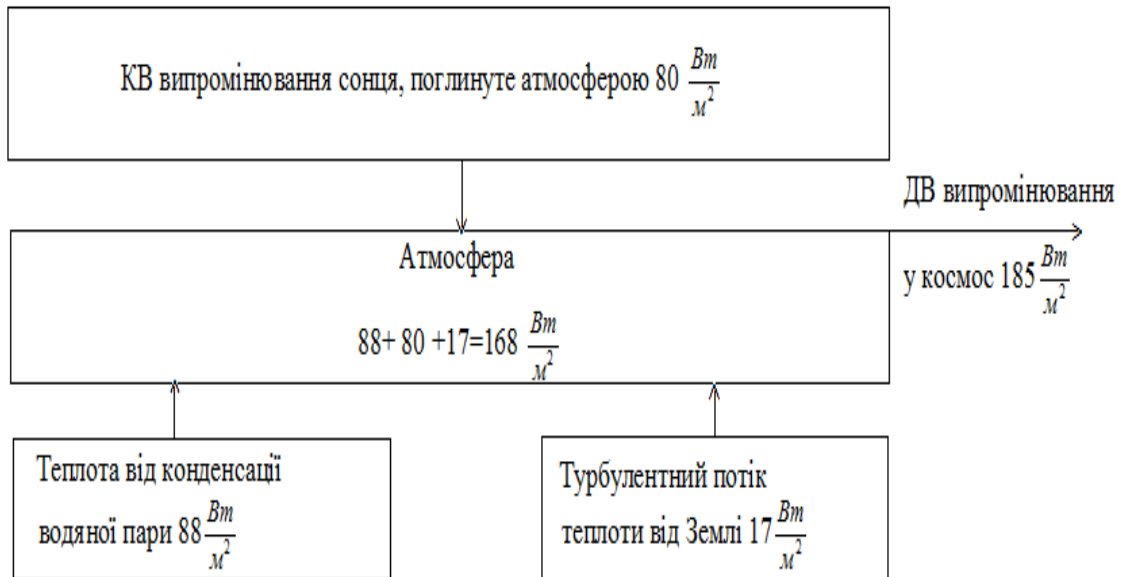


Рис.2.10. Схема теплообміну атмосфери

Сума складових теплообміну $185 \frac{Вт}{м^2}$ дорівнює тепловим витратам атмосфери у вигляді ДВ випромінювання у космічний простір. Невелика частина падаючого сонячного випромінювання витрачається на інші процеси, що відбуваються в атмосфері.

З тепловим балансом Землі і атмосфери пов'язаний і водний баланс атмосфери. В цілому цей баланс для певної поверхні відповідає рівності кількості опадів, що випадають на Землю (133 см/рік) і кількості водного випаровування з поверхні Землі (також 133 см/рік).

Різниця випаровування з континентів і поверхонь морів і океанів компенсується за рахунок процесів масообміну водяних парів унаслідок повітряних потоків і стоку річок, що впадають у водні акваторії земної кулі.

Реальний тепловий баланс Землі і атмосфери відрізняється від розглянутого вище. Наскільки - відповісти важко, оскільки дуже складно оцінити всі складові цього теплового балансу, що безпосередньо впливають на нього. Так, одні процеси призводять до перегріву Землі, другі — до охолодження. Крім парникового ефекту, на тепловий баланс нашої

планети впливають теплові забруднення у вигляді тепла, що скидається у водоймища, річки, атмосферу паливно-енергетичним комплексом, і у меншій мірі - від промисловості.

Точний розрахунок забруднення довкілля і його компонентів включають аналіз багатьох параметрів і відстежування багатьох взаємопов'язаних процесів, викликаних техногенною діяльністю сучасного суспільства. Ця проблема у кількісному плані на сьогодні не вирішена. Відомо, що потреба населення в енергії задовольняється за рахунок електричної енергії. Більша частина її одержується в результаті перетворення теплової енергії, що виділяється під час згорання органічного палива. Частка енергії, що отримується на атомних електростанціях та нетрадиційних відтворювачах джерел енергії, є невеликою.

Шляхом перетворення енергії органічного палива приблизно 30% енергії палива перетворюється в електричну енергію, а 2/3 енергії попадає в оточуюче середовище у вигляді теплового забруднення атмосфери продуктами згорання. Збільшення енергії споживання призводить до зростання забруднення довкілля, якщо не приймати відповідних заходів. Теплове забруднення водойм і атмосфери має місце при експлуатації атомних електростанцій. Це призводить до зміни теплового режиму водоймищ, що відбивається на житті біоорганізмів, до виникнення небажаних повітряних потоків унаслідок підвищення температури в атмосфері, зміни вологості повітря і сонячної радіації, а в кінцевому випадку до зміни мікроклімату.

Густина природної (техногенної) енергії, наприклад, на території Японії складає приблизно $2 \frac{Вт}{м^2}$, а в Рурському регіоні Німеччини вона складає $\sim 20\%$ від сонячної радіації на поверхні Землі, тобто $\sim 32 \frac{Вт}{м^2}$ і виявляється

зайвим тепловим забрудненням. На думку метеорологів і екологів, подальше зростання теплових забруднень в індустріальних регіонах може викликати порушення у загальній циркуляції атмосфери всієї планети, впливаючи навіть на стійкість нашої екосистеми.

Все це потребує вирішення проблеми розвитку принципово нових джерел енергії, безвідходних технологій, ефективних методів переробки відходів, дієвих заходів охорони оточуючого середовища і постійно діючого глобального моніторингу біосфери.

2.8. Ультрафіолетове випромінювання.

2.8.1. Природні і техногенні джерела ультрафіолетового випромінювання.

До УФ випромінювання відносяться ЕМХ з довжиною хвилі від 0,38 мкм до 100 Å. Цей діапазон поділяють на дві частини: ближню (0,38- 0,2 мкм) і дальню (0,2 мкм ÷ 100 Å).

Ближнє УФ-випромінювання (УФВ) було відкрито у 1801 р. при опроміненні хлориду срібла. При цьому була встановлена фотохімічна дія УФВ, енергія квантів якого перевищувала енергію квантів видимого діапазону.

Під час переходів на електронних енергетичних рівнях атомів, іонів, молекул спостерігається лінійчатий спектр УФВ. Неперервний виникає при рекомбінації і гальмуванні електронів.

В УФ-діапазоні спостерігається збільшення коефіцієнта поглинання багатьма речовинами, що призводить до зменшення їх прозорості у порівнянні з видимим діапазоном. При $\lambda < 0.3$ мкм більшість сортів скла

стають непрозорими (за винятком кварцу, сапфіру, фториду магнію і літію, флюориту та ін.). Наприклад, фторид літію (LiF) має найдальшу границю прозорості, аж до 0,1 мкм.

Серед газоподібних речовин найбільшою прозорістю володіють інертні гази (гелій аж до 0,05 мкм). При взаємодії УФВ з речовиною відбуваються процеси збудження електронних енергетичних рівнів з наступною іонізацією, дисоціацією тощо.

Основним джерелом УФВ природного походження є Сонце. Із всього спектра УФВ Сонця тільки невелика довгохвильова частина досягає земної поверхні ($\lambda < 0.29$ мкм). Решта частина спектра, особливо короткохвильова, поглинається атмосферою, що сильно впливає на атмосферні процеси.

Основним поглиначем є озон (висота 20 ÷ 40 км), кисень, азот, водень і інші компоненти атмосфери (висота 30 ÷ 200 км).

Більша частина УФВ в діапазоні $\Delta\lambda = 0.14 - 0.17$ мкм і $\Delta\lambda = 0.2 - 0.24$ мкм поглинається на висоті 80-100 км з наступною дисоціацією кисню. Випромінювання з $\lambda < 0.1$ мкм викликає іонізацію верхніх шарів атмосфери, що призводить до її нагрівання.

Джерелом УФВ є зірки і інші космічні об'єкти. В діапазоні $\Delta\lambda = 0.09 - 0.02$ мкм випромінювання цих тіл поглинається міжзоряним воднем і частково верхніми шарами атмосфери. Детальне вивчення УФВ космічних тіл складає один із напрямів сучасної астрофізики.

Велика кількість джерел УФВ має техногенне походження. Будь-яке тіло, нагріте до 3000К і вище, має у своєму спектрі ультрафіолетову компоненту. Будь-яка високомолекулярна плазма є джерелом УФВ, яке включає як лінійчастий, так і неперервний спектри. Імпульсні джерела світла і газорозрядні лампи є також потужними джерелами УФВ. ККД

перетворення електричної енергії в оптичне випромінювання для різних газів має наступні значення:

Гази	He	Kr	Ar	Ne
ККД%	60	50	40	35 ÷ 25

Електроіскрова обробка, плазмові установки, електродугове зварювання, лазерний пробій, лазерний метод обробки є техногенними джерелами УФВ.

Інтенсивним джерелом УФВ з неперервним спектром є електронні потоки синхротронів, лінійних прискорювачів, потужних приладів НВЧ. До техногенних джерел УФВ відносяться більше 70 різних лазерних частот. До техногенних джерел відносяться також деякі металургійні печі і домни з виплавою високотемпературних металів і сплавів із застосуванням кисневого дуття, потужних електронних і плазмових потоків і т.п.

2.8.2. Біологічна дія УФВ.

В основі біологічної дії УФВ лежать фотохімічні процеси молекул біополімерів, які виникають в організмах під час поглинання падаючого випромінювання верхніми шарами тканини рослин або шкіри тварин і людини.

В залежності від інтенсивності і довжини хвилі УФВ діє на організми по різному. Малі дози випромінювання виявляють цілющий вплив на людину і тварин, сприяють утворенню вітамінів групи В. Але може виявляти і згубну дію на живі організми.

Лікувальна дія. Випромінювання УФВ в медицині використовується в фізіотерапії, при цьому як штучні, так і природні джерела. До штучних відносяться теплові (лампи розжарювання, електросвітлові ванни та ін.), люмінесценуючі (ртутно-кварцеві, люмінесцентні, еритемні і дугові бактерицидні лампи).

Дія оптичних випромінювань на людський організм визначається інтенсивністю, часом опромінення (дозуванням), глибиною проникнення випромінювання в залежності від його довжини хвилі. У порівнянні з іншими видами випромінювання глибина проникнення УФ-променів найменша. При застосуванні ІЧ-випромінювання ефект почервоніння шкіри (еритема) може з'явитися через кілька хвилин і через 2-8 годин при дії УФ (прихований латентний період). Цей ефект залежить від спектральної чутливості шкіри на різних частинах тіла, віку, стану організму та ін.

Максимальною еритемною дією володіє УФВ з довжиною хвилі 0,2967 і 0,2537 мкм. Почервоніння шкіри через 3-4 дні переходить у захисну пігментацію (загар) шкіри. УФ-опромінення використовується у широкому діапазоні дій:

- компенсація ультрафіолетової недостатності (північні райони);
- знеболюючий і протизапальний засіб (неврити, радикуліт, міозити, бронхіти, плеврити, шкірні захворювання і порушення обміну речовин, профілактика рахіту, ОРЗ та ін.)
- збільшення супротиву до різних інфекцій (грип).

Шкідлива дія УФВ. УФ промені становлять серйозну небезпеку для клітин живого організму, оскільки можуть викликати деструкцію молекулярних і міжмолекулярних зв'язків, а також безпосередньо впливають на клітини тканин з утворенням радикалів. Великі дози УФВ

можуть викликати опіки шкіри і канцерогенні реакції, пошкодження очей та ін. Кванти УФ діапазону безпосередньо впливають на синтез пігментів, активність ферментів і гормонів, інтенсивність процесів фотогенезу тощо.

УФ-промені з довжиною хвилі $0,24 \div 0,28$ мкм особливо сильно проявляють летальну і мутагенну дію, оскільки цей спектр співпадає із спектром поглинання нуклеїнових кислот (ДНК і РНК). При такому поглинанні відбуваються хімічні зміни ДНК у процесі поділу клітини. Це призводить до загибелі клітини або зміни її спадкових властивостей, тобто до утворення мутації. Залишається відкритим питання про опромінення насіння навіть малими дозами УФВ.

Механізм впливу УФВ на живі організми ще не вивчений, тим більше не можна передбачити наслідки виживання різних біооб'єктів при збільшенні інтенсивності УФВ і зміщенні його спектру в бік коротких хвиль. Цей процес вкрай небажаний. Людство повинно потурбуватися, щоб атмосфера і озоновий шар залишалися надійним захистом від згубного короткохвильового УФВ.

2.8.3. Механізм утворення і руйнування озонового шару.

Озон і його властивості. Озон складається з трьох атомів O_3 . За нормальних умов озон у невеликих концентраціях має певний запах свіжості і розпадається повільно. При великих концентраціях озон синього кольору, має різкий запах і легко вибухає. У повітрі озон утворюється під час електричних розрядів або при УФ опроміненні. В атмосфері озон утворюється під час грози, а у верхніх шарах атмосфери -

під дією УФВ за наявності домішок (наприклад, азоту). Реакція утворення озону наступна:



Молекула озону нестійка і знову перетворюється у молекулу кисню з виділенням теплоти.

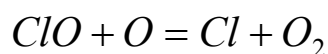
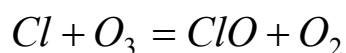
Озон окислює всі метали, крім золота і платини. У невеликих дозах озон застосовують для стерилізації від мікробів, озонування води, повітря, відбілювання паперу тощо. Озон дуже отруйний, гранично допустима концентрація у повітрі складає $10^{-5}\%$. Він отрутніший за вуглекислий газ. Для отримання озону використовують як електричні (озонатори), так і хімічні методи.

Атмосферний озон. Механізм утворення і руйнування шару озону. Озон, який міститься в атмосфері, відіграє важливу роль: як поглинач короткохвильової складової УФВ (захисна функція біосфери), так і регулятора температурного режиму атмосфери.

Основний вміст озону знаходиться в атмосфері на висотах від 15 до 45 км (озоносфера). Максимальна концентрація озону на висотах 20—25 км. Товщина озонового шару, приведенного до нормальних умов ($p = 760$ мм рт. ст., $t = 0^\circ\text{C}$) для всієї Землі складає $2,5 \div 3$ мм, причому на високих широтах товщина шару дорівнює 4 мм, а в екваторіальних - до 2 мм. Отже, у відсотковому відношенні вміст озону в атмосфері незначний. У певних місцях атмосфери вміст озону зменшується на 40-50%. Такі місця отримали назву «озонових дірок».

Взаємодія озону з атомами і молекулами атмосфери і її техногенним забрудненням у присутності сонячної радіації призводить до руйнування озонового шару. Особливо сильна руйнація спостерігається за наявності

хлорфторвуглецевих речовин, які використовуються у холодильній техніці. Реакція має вигляд:



Реакції подібного вигляду є згубними для озону, що приводить до згубного впливу короткохвильового УФВ.

Міжнародним співтовариством приймаються заходи з обмеження викидів в атмосферу галогеновмістних з'єднань. Негативний вплив на стан озонового шару виявляють польоти космічних кораблів, ракетні двигуни яких викидають у великих кількостях у тропосферу і стратосферу такий забруднювач, як HCl , Cl , NO , CO . Це зумовило пошуки створення оптимальних рецептур ракетного палива, нових типів двигунів, принципово нових способів виведення супутників на навколоземні орбіти.

Високоенергетичні протони також руйнують озоновий шар. Негативний вплив на стан озонового шару мають викиди в атмосферу хімічної і електронної промисловості. Необхідний контроль за станом озонового шару, для чого використовується метод лазерного зондування профілів стратосферного озону.

2.8.4. Захисні властивості атмосфери від дії УФВ.

Залежність складу атмосфери від висоти. Однією з характеристик, що визначає захисні властивості атмосфери і спектр сонячного випромінювання на поверхні Землі, є висотна залежність складу атмосфери, пов'язана з тепловим режимом атмосфери і Землі. В свою

чергу, тепловий режим залежить від дії шару озону, який є причиною своєрідної залежності температури атмосфери від висоти.

Склад земної атмосфери у значній мірі змінюється із висотою: приземний шар - $0 - 0.5\text{км}$; тропосфера - $0,5 - 13\text{км}$; стратосфера - $13 - 50\text{км}$; мезосфера - $50 - 80\text{км}$; термосфера - $80 - 1000\text{км}$; екзосфера - більше 1000км .

Склад атмосфери в тропосфері приблизно такий же, як і в приземному шарі, але спостерігається зниження тиску. Головна відмінність стратосфери від тропосфери - тут знаходиться озоновий шар з максимальною концентрацією O_3 . У мезосфері починає збільшуватися концентрація атомів кисню. До певної міри атмосфера залишається однорідною, коли відбувається турбулентний рух повітряних мас за рахунок перемішування, яке сягає 100 км (турбопауза). Турбопаузою називається такий рівень, коли дія турбулентного перемішування припиняється. З висоти $80 - 100\text{км}$ збільшується відсотковий вміст атомів кисню, а на висоті $120 - 130\text{км}$ кількість атомів кисню зрівнюється з кількістю молекул кисню. На висотах $160 - 180\text{ км}$ кількість атомів кисню зрівнюється з кількістю атомів азоту.

На висотах, більших за 600км , основною складовою атмосфери є гелій, який на висоті $1500 - 2000\text{км}$ зрівнюється за кількістю з числом атомів водню. За 2000км атмосфера переходить у міжпланетний газ. На висотах, більших 1000км , частинки атмосфери набувають космічної швидкості $11,2\text{км/с}$, а тому частинки можуть покидати атмосферу.

Таким чином, основними поглиначами атмосфери короткохвильової частини УФВ Сонця є атоми водню, гелію, азоту, кисню, а основним екраном від УФВ (при $\lambda < 0,3\text{мкм}$) є озоновий шар. Біля 80% всієї маси атмосфери перебуває у тропосфері.

Висотний розподіл температури в атмосфері. Шар озону має дуже важливий вплив на температурний режим атмосфери і процеси поглинання сонячної радіації у всьому спектральному інтервалі. Розподіл температури з висотою має такий вигляд (рис. 2.11).

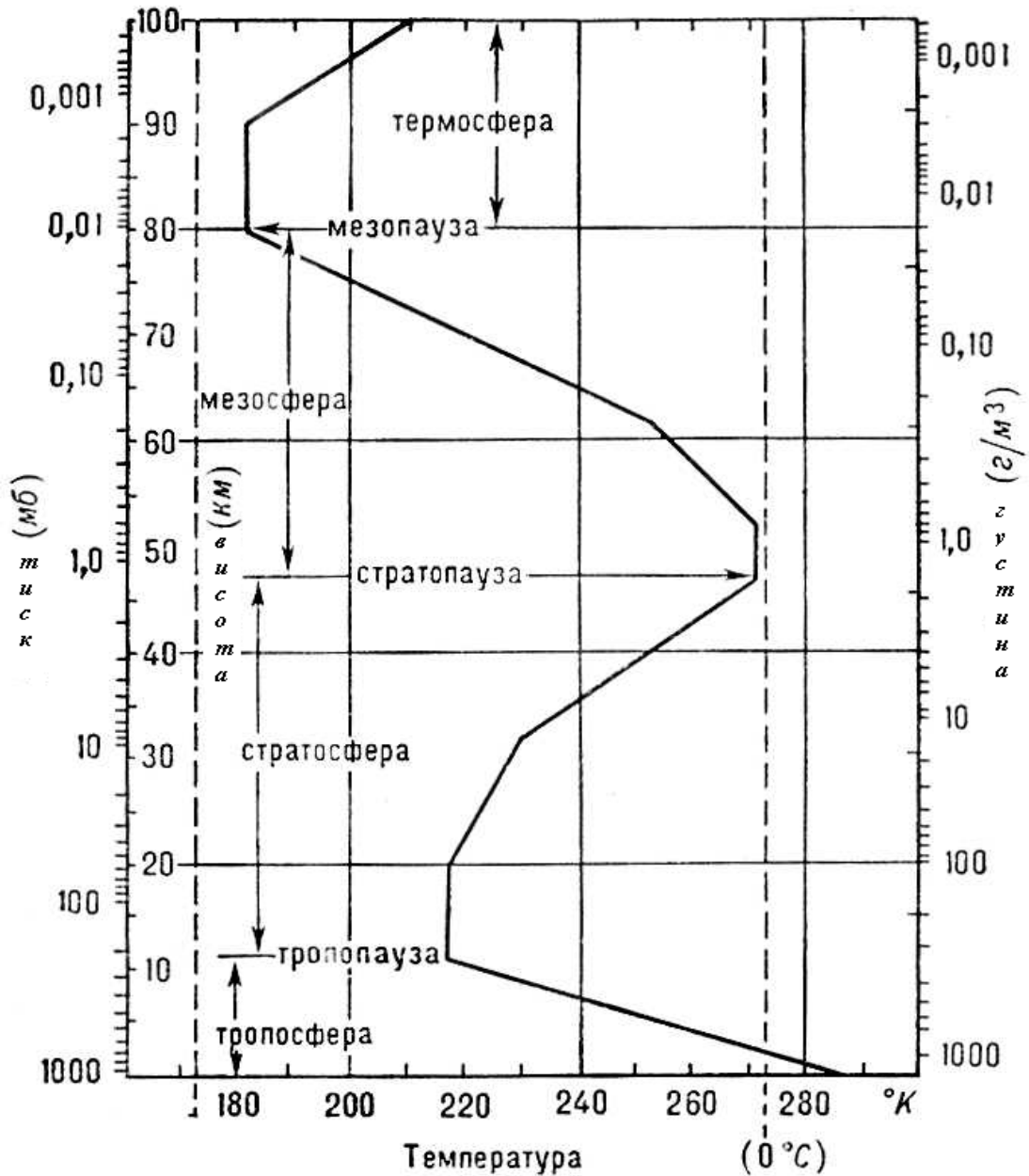


Рис. 2.11. Вертикальний розподіл температури та густини в атмосфері Землі.

У тропосфері температура зменшується на 6 K на 1 кілометр. На висотах $12\div 20\text{ км}$ температура постійна. Це перший ізотермічний шар. Потім температура знову зростає аж до 270 K ($\sim 43\text{ км}$) і до 50 км залишається постійною. Це другий ізотермічний шар. Біля 99% маси атмосфери припадає на тропосферу і стратосферу, і тільки 1% знаходиться вище 51 км . Починаючи з 55 км температура знову падає до 180 K аж до висоти 80 км і до висоти 90 км залишається постійною - третій ізотермічний шар. Починаючи з 90 км , маємо термосферу, де температура знову зростає до 1000 K .

Складна температурна залежність багато в чому зумовлюється наявністю озону з максимумом концентрації на висотах $20\text{-}25\text{ км}$. Практично молекули озону поглинають сонячне випромінювання в широкому діапазоні частот (особливо при $\lambda < 0,35\text{ мкм}$). Короткохвильова частина УФВ, дійшовши до шару озону, стає послабленою в результаті поглинання атомами водню, азоту, кисню. Шар озону є основним захисним екраном всього живого на поверхні Землі від дії УФВ. Концентрація озону є обернено пропорційною функції температури. Максимум концентрації молекул озону відповідає мінімуму температури на межі тропосфери і стратосфери. При збільшенні температури в цій області атмосфери концентрація озону і швидкість нагрівання атмосфери збільшується. Поглинута озоном частина УФВ повертається в атмосферу у вигляді теплового випромінювання.

Озоновий шар є своєрідним стабілізатором і демпфером у механізмі температурного режиму атмосфери. Стратосферний шар озону в основному визначає температурний режим атмосфери. На більш вищих рівнях атмосфери за рахунок поглинання УФВ атомами водню, азоту,

кисню їх кінетична енергія зростає, а отже, зростає і температура атмосфери. До висот 80 км доходить послаблена частина УФВ Сонця. В ній поглинання незначне, а тому температура мінімальна (~ 180 К).

На більш низьких висотах атомами озону поглинається більш довгохвильова частина спектру УФВ ($\lambda < 0,3$ мкм). Це призводить до сильного розігріву атмосфери. На тропосферній ділянці спостерігається зростання температури аж до поверхні Землі. Це зумовлено кількома причинами: перекачуванням поглинутої озоном енергії в атмосферу, безпосереднім поглинанням падаючого сонячного потоку, колективними висхідними тепловими потоками від поверхні Землі та ін.

Реальні процеси тепло- і масообміну в атмосфері значно складніші. Дійсно, має місце взаємодія відразу багатьох взаємопов'язаних факторів: падаючого сонячного випромінювання з різними компонентами атмосфери (атомами, молекулами газів, аерозолями), вплив озонового шару, розсіяння випромінювання, залежності тиску і густини атмосфери від висоти, зворотного перевипромінювання Землі, ступінь "забрудненості" атмосфери тощо.

Певну роль у цих процесах відіграють іонна і електрична компоненти атмосфери, утворені як безпосереднім впливом короткохвильовою частиною енергії сонячного випромінювання, космічного випромінювання, так і процесами співударів і рекомбінації атомів і молекул, що перебувають у складі атмосфери.

Ультрафіолетове випромінювання реєструється широким набором приймачів видимого і ультрафіолетового спектру. Для діапазону довжин хвиль з $\lambda > 0,23$ мкм використовуються звичайні фотоматеріали на основі срібла. У більш короткохвильовій частині спектра УФ-випромінювання використовуються спеціальні мало желатинові фото-шари. Широкого

застосування набули фотоелементи, фотоелектронні помножувачі (ФЕУ), іонізаційні камери, лічильники фотонів та ін. Крім того, використовується особливий клас ФЕУ - каналові електронні помножувачі, електронно - оптичні перетворювачі і фотографічні методи реєстрації оптичного випромінювання.

Принцип дії фотоемісійних приймачів випромінювання базується на зовнішньому фотоєфекті. Основне їх призначення - перетворення оптичного сигналу в електричний або перетворення спектрального складу і яскравості зображення під час реєстрації падаючого УФ випромінювання. Прилади даного виду поділяються на фотоелементи (ФЄ), фотоелектронні помножувачі (ФЕУ), електронно - оптичні перетворювачі (ЕОП).

2.9. Радіоактивне забруднення навколишнього середовища.

2.9.1. Види іонізуючого випромінювання

Явище природної радіоактивності, відкрите у 1886 р. А.Бекерелем, полягає у самодовільному перетворенні нестійких атомів ядер у ядра інших елементів з випромінюванням іонізуючих частинок - потоків частинок і квантів ЕМВ, які під час проходження через речовину викликають іонізацію і збудження атомів і молекул середовища.

У 1885 р. Рентгеном були відкриті Х-промені, названі потім рентгенівськими. У 1898 р. М.Складовська-Кюрі виявила радіоактивність торію, відкрила полоній, радій. Було встановлено факт перетворення радіонуклідів в інші елементи (нуклід - будь-який атом, що відрізняється

складом ядра; нуклон - загальна назва протона і нейтрона). У 1899 р. Резерфордом були відкриті альфа- і бета- промені, пояснена їх природа і створена теорія радіоактивності.

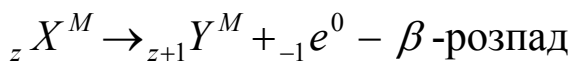
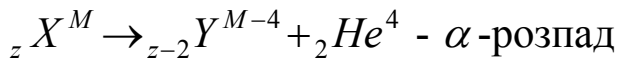
Так зародилася ядерна фізика, область фізики, що вивчає структуру і перетворення ядер атомів, і яка виявляє неабиякий вплив на всі живі організми.

У ході дослідження радіоактивності було встановлено, що випромінювання різних частинок і γ - променів, а також перетворення одних ядер в інші відбуваються самодовільно, але із збереженням правил зміщення:

-у результаті α -розпаду ядро втрачає додатній заряд $2e^+$ і його маса зменшується на 4 одиниці маси;

- у результаті β -розпаду новоутворений елемент зміщується на одну клітину вправо.

Символічно це записується наступним чином:



Дамо коротку характеристику випромінюванню:

α -випромінювання є потоком ядер гелію, енергією порядку кількох *MeV*. У повітрі вони поглинаються шаром товщиною 8-9см, у живих тканинах товщиною кількох мікрон, а в алюмінієвій фользі товщиною 10мкм спостерігається повне поглинання. Якщо енергія α -частинки збільшується, то зростає і її іонізуюча дія. Оскільки маса частинки велика, то вона швидко втрачає свою енергію, а тому проникаюча властивість α -частинок невелика. Питома іонізації α -частинок у повітрі складає кілька десятків тисяч пар іонів на 1см шляху.

β -випромінювання - потік швидких електронів, які виникають у результаті радіоактивного розпаду. Енергія - кілька *MeV*, максимальний пробіг у повітрі $\sim 15\text{м}$, в живих тканинах — $2,5\text{см}$. Вони володіють більшою проникною здатністю, іонізуюча здатність менша і складає кілька десятків пар іонів на 1см шляху пробігу.

Нейтронне випромінювання - перетворює свою енергію в результаті співудару. При не пружних взаємодіях можливе виникнення вторинного випромінювання, яке може поширюватися як у вигляді заряджених частинок, так і γ -випромінювання. Під час пружних взаємодій можлива іонізація речовини. Проникна здатність залежить від енергії нейтронів.

Рентгенівське випромінювання - виникає під час дії β - частинок на оточуюче середовище або бомбардуванні електронами анодів рентгенівських трубок, прискорювачів та ін. Енергія рентгенівських фотонів $\sim 1\text{ MeV}$. Рентгенівське випромінювання складається із гальмівного і характеристичного. Гальмівне випромінювання дає неперервний спектр, а характеристичне - дискретний. Рентгенівське випромінювання володіє великою проникною і малою іонізуючою здатністю.

γ -випромінювання - має електромагнітну природу і володіє великою проникною здатністю та малою іонізуючою дією, γ -випромінювання виникає в результаті природної радіоактивності, а також штучних ядерних реакцій. Енергія може набагато перевищувати енергію фотонів рентгенівського випромінювання.

Радіоактивні речовини володіють різною стійкістю. За певний час вони розпадаються або переходять в інший стан. Для цього вводиться поняття періоду піврозпаду $T_{1/2}$ - це час, упродовж якого розпадається половина

вихідного числа атомів радіонуклідів. Зміна числа радіоактивних атомів відбувається за експоненціальним законом:

$$N = N_0 e^{-\lambda T},$$

де N_0 - вихідне число атомів, N - число тих атомів, які не розпалися, λ - постійна розпаду.

Період піврозпаду $T_{1/2}$ визначається співвідношенням:

$$\frac{1}{2} N_0 = N e^{-\lambda T_{1/2}},$$

звідки:

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}.$$

Для оцінки ступеня стійкості радіонуклідів вводять поняття середнього часу життя τ :

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Величина τ дорівнює тому проміжку часу, впродовж якого число атомів N_0 зменшується в e раз.

Одиниці вимірювання іонізуючого випромінювання.

Енергія частинок, здатних іонізувати середовище, визначається кінетичною енергією, а для фотонів рентгенівського і γ -випромінювання визначається співвідношенням $h\nu$.

Потік Φ іонізуючих частинок визначається числом частинок, що проходять через дану поверхню за одиницю часу, тобто $\Phi = \frac{dN}{dt}$.

Поглинута доза D_n іонізуючого поглинання (доза випромінювання) - відношення енергії dE , поглинутої даним об'єктом, до маси dm речовини в даному об'ємі $D_n = \frac{dE}{dm}$. Одиницею вимірювання поглинутої дози є

$$1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 1 \text{грей} = 1 \text{Гр.}$$

В якості несистемної одиниці використовується одиниця рад: $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр.}$

Біологічна дія іонізуючого випромінювання залежить і від глибини проникнення у живий організм. Для цього вводиться еквівалентна доза іонізуючого випромінювання:

$$D_{\text{екв}} = D_n \cdot k = H,$$

де k - безрозмірний коефіцієнт якості випромінювання.

Мінімальне значення $k = 1$ і відповідає випадку лінійної передачі енергії. Значення k лежить в межах $1 \leq k \leq 20$.

Одиниця еквівалентної дози носить назву *зіверт* - 1Зв.

$$1 \text{Зв} = 100 \text{ бер.}$$

За основний процес під час радіоактивності прийнято 1 розпад, що супроводжується випусканням α -, β - частинок, нейтронів і γ - випромінювання. Якщо за 1с спостерігається 1 розпад, то інтенсивність такого розпаду прийнято оцінювати в 1 *беккерель* (Бк).

$$1 \text{Рд (резерфорд)} = 10^6 \text{ Бк}; 1 \text{Ки (кюрі)} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

2.9.2. Біологічна дія продуктів радіоактивності.

Радіоактивність не має кольору, запаху, смаку і проявляє підступний вплив на людський організм (з часом з летальним наслідком) .

Енергія іонізуючого випромінювання достатня для того, щоб викликати деструкцію атомних і молекулярних зв'язків у живій клітині, що може привести до її загибелі. В організмі утворюються різного роду радикали, які призводять до утворення різних з'єднань, не властивих здоровій тканині. Крім того, під дією випромінювання молекули води розщеплюються на водень і гідроксильну групу. Під дією іонізуючого випромінювання в організмі можуть відбуватися гальмування функцій кровоносних органів, порушення імунної системи і статевих залоз, розлад шлунково-кишкового тракту, канцерогенні реакції тощо. Розрізняють внутрішнє і зовнішнє опромінення.

Ступінь негативних біологічних ефектів знаходиться у прямій залежності від дози опромінення, часу опромінення, його виду, індивідуальних особливостей організму. Враження шкіри рук може бути хронічним і гострим.

Перші ознаки хронічного враження: сухість шкіри, поява язв, випадіння волосся, поява пухирців, омертвіння тканини. Язви, які впродовж тривалого часу не заживають, приводять до омертвіння тканин.

Попадання радіоактивних продуктів всередину організму призводить до внутрішнього опромінення, яке продовжується до тих пір, доки радіоактивна речовина не розпадеться або не виведеться шляхом фізіологічного обміну.

Живі організми піддаються дії постійного природного радіоактивного фону, який створюється космічним випромінюванням, радіоактивним

випромінюванням надр Землі, радіонуклідами атмосфери, гідросфери, літосфери та ін.

Середня річна еквівалентна доза фонового радіоактивного випромінювання становить близько 240-250 мбер:

- внутрішнє опромінення -135 мбер;
- джерела земного походження ~ 135 мбер;
- космічне випромінювання ~30 мбер;
- рентгенодіагностика - 35 — 40 мбер.

2.9.3. Нормування іонізуючих випромінювань і способи захисту від них.

На основі нормативних вимог встановлюють порядок проведення робіт з джерелами ІВ і забезпечення ліквідації радіоактивних відходів.

Норма радіоактивної безпеки базується на принципах:

- не перевищувати межу встановленої дози;
- не допускати необґрунтованого опромінення;
- понизити дозу опромінення до можливо низького рівня.

Встановлюються наступні категорії осіб, які піддаються опроміненню:

1. категорія А (персонал) - особи, що постійно або тимчасово працюють з джерелами ІВ;
2. категорія Б - обмежена частина населення, що проживає поряд з підприємствами, що мають радіоактивні джерела;
3. категорія В - решта населення країни.

У таблиці 2.7 наведені межі доз зовнішнього і внутрішнього опромінення для категорій А і Б.

Таблиця 2.7

Межі доз, бер/год.	Група критичних органів		
	I	II	III
Гранично допустима доза (ГДД) для категорії А	5	15	30
Гранично допустима доза (ГДД) для категорії Б	0,5	1,5	3

Різні органи людини (тварини) мають певну чутливість до іонізуючого випромінювання. Встановлено 3 групи критичних органів:

- I. все тіло, кістковий мозок;
- II. м'язи, жирова тканина, щитовидна залоза, печінка, нирки, підшлункова залоза, легені, шлунково-кишковий тракт, кристалик ока;
- III. шкіра, кістки, передпліччя, ступні.

Гранично допустима доза (ГДД) є найбільшою мірою індивідуальної еквівалентної дози за рік, при якій не виникають несприятливі явища в організмі за 50 років неперервної роботи.

Еквівалентна доза H накопичується у критичному органі за час T (років) з початку роботи (з джерелами), не повинна перевищувати величину $H=ГДД \cdot T$.

Для збереження гранично допустимої безпеки необхідно дотримуватися наступних правил захисту:

- не перевищувати межі допустимої дози;
- застосовувати метод захисту відстанню, часом;
- використовувати захисні екрани;
- використовувати засоби індивідуального захисту;

- використовувати справні прилади індивідуального і загального контролю для визначення інтенсивності радіоактивного опромінення;
- виконувати технічні, санітарно-гігієнічні і лікувально-профілактичні заходи.

Вибір захисного екрану проводиться відповідно до властивостей іонізуючого випромінювання. Для роботи з α -випромінюванням можна використати екран із скла, пластмаси товщиною в декілька міліметрів.

Для β -випромінювання використовують атоми з малою атомною масою (наприклад, алюміній).

Для захисту від γ -випромінювання застосовують механізми з великою атомною масою і густиною (свинець, вольфрам, сталь, чавун). Стаціонарні екрани виготовляються з бетону.

Для захисту від нейтронного випромінювання застосовують берилій, графіт і матеріали, що містять водень (парафін, вода). Широко використовується бор. У випадку одночасної дії γ -випромінювання і нейтронних потоків використовують комбіновані екрани (свинець-вода, свинець-поліетилен, залізо-вода).

Для розрахунку захисних екранів необхідно враховувати:

- вид випромінювання і його спектральні характеристики;
- час дії випромінювання (експозиція);
- режим роботи джерела випромінювання (неперервний, імпульсний і ін.);
- геометрію іонізуючого випромінювання;
- відстань від джерела випромінювання до персоналу;
- конструктивні особливості установок і джерел іонізуючого випромінювання;
- табличні дані і номограми іонізуючого випромінювання.

Засоби індивідуального захисту. Під час роботи з радіонуклідами необхідно використовувати спецодяг (плівкова одежа - халат, костюм, фартух, штани, нарукавники). Для роботи з відкритими джерелами з активністю більше 10 мкКи використовують рукавиці з просвинцьованої гуми з гнучкими нарукавниками. Спеціальні пневмокостюми застосовують під час проведення ремонтно-профілактичних робіт, коли можуть бути великі радіаційні забруднення.

До комплекту спецодягу входять респіратори, пневмошоломи і інші засоби індивідуального захисту.

Для захисту очей необхідно використовувати окуляри із скла, що містять фосфат, вольфрам або свинець.

Під час використання іонізуючих засобів захисту необхідно строго дотримуватися послідовності їх одягання і зняття.

Необхідно здійснювати систематичний дозиметричний контроль рівнів опромінення, який є суттєвим фактором системи радіаційної безпеки.

2.10. Кислотні дощі. Вплив кислотних опадів на навколишнє середовище.

2.10.1.Склад і утворення кислотних дощів.

Однією з найбільших екологічних проблем є підвищення кислотності середовища, що спричиняє загибель риби і лісів, підкислення ґрунту, корозію споруд і будинків.

Кислотний дощ є наслідком взаємовпливу різних сфер Землі (атмосфери, гідросфери, літосфери, біосфери тощо) внаслідок дисбалансу

в них кругообігу речовин (рис. 2.12). Ці речовини можуть потрапляти з атмосфери не тільки з вологими опадами, але й "сухим" способом — випадінням утворених дисперсних часток (седиментація).

Тому поняття "кислотний дощ" включає вологу (різні опади або саме дощ) і суху (часточки пилу) седиментацію.

При аналізі сполук, які спричиняють утворення кислотних дощів, необхідно враховувати не лише антропогенні джерела, тобто обумовлені свідомою діяльністю людини, але й природні джерела, наприклад, лісові масиви, оскільки вони в процесі газообміну виділяють значну кількість органічних речовин. Має значення й ступінь урбанізації окремих регіонів, наприклад, аміак, який виділяється, може істотно впливати на нейтралізацію кислотних компонентів.

Джерелами кислотних дощів є мікроорганізми, що містять сірку й азот. Розглянемо як ці речовини і їхні сполуки потрапляють до атмосфери.

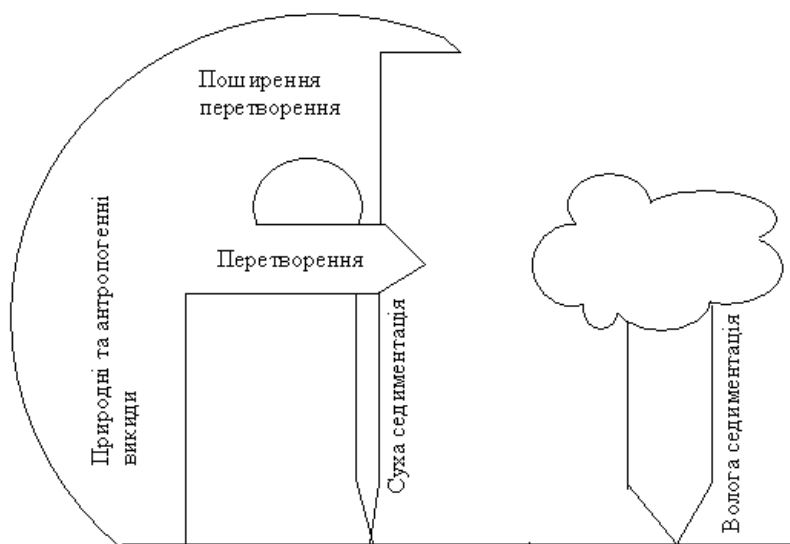


Рис. 2.12. Різні сфери землі.

Частково вони потрапляють в атмосферу природним шляхом (через поверхню суші, океанів, морів), а частково антропогенним (табл. 2.7).

Таблиця 2.7. Природні та антропогенні джерела утворення атмосферних сполук сірки.

Джерела	Кількість викидів, млн. т. сірки на рік	%
Природні:		
— процеси руйнування біосфери	30—40	29—39
— вулканічна діяльність	2	9
Антропогенні	60—70	59—69
Разом	92—112	100

Джерелами природної емісії сірки є:

1. Процеси руйнування біосфери — за допомогою анаеробних (діють без участі кисню) мікроорганізмів відбувається руйнування органічних речовин, через що сірка, яку вони містять, утворює газоподібні сполуки. Виділення сірки біологічним шляхом не перевищує 30—40 млн. т./рік, що становить 1/3 усієї кількості сірки, яка виділяється.

2. Вулканічна діяльність, внаслідок чого в атмосферу (а найбільше в тропосферу) потрапляє двоокис сірки, сірководень, сульфати і елементарна сірка. Таким чином, це становить близько 2 млн. т. сірковмісних сполук на рік.

3. Поверхня океанів — при випаровуванні крапель води в атмосферу залишається морська сіль, що містить крім крапель натрію і хлору сполуки сірки — сульфати (разом 50—200 млн. т. сірки на рік). Із цих сульфатів не може утворитися сірчана кислота, тому їх вплив поширюється тільки на регулювання утворення хмар і опадів.

Значна кількість сполук сірки, переважно у вигляді двоокису сірки, внаслідок діяльності людини потрапляє в атмосферу. Джерелами антропогенного утворення сірки є:

— спалювання вугілля;

- металургійна промисловість;
- підприємства з виробництва сірчаної кислоти;
- переробка нафти;
- спалювання мазуту;
- транспорт.

Таким чином в атмосферу щорічно потрапляє 60—70 т сірки.

До складу атмосфери входить ряд азотовмісних мікроречовин, з яких найпоширенішими є закис азоту N_2O , нейтральний у нижніх шарах атмосфери. Водночас у повітрі є кислотні оксиди азоту, наприклад, оксид азоту NO і двооксид азоту NO_2 . Склад кислотних оксидів азоту:

- закис азоту — NO_2 ;
- оксид азоту — NO ;
- азотистий ангідрид — N_2O_3 ;
- двооксид азоту — NO_2 .

При нормальних атмосферних умовах враховують лише оксид, двооксид і закис азоту, які в результаті реакцій в атмосфері утворюють азотисту кислоту. Якщо азотна кислота, що знаходиться в повітрі, нейтралізується, то утвориться азотнокисла сіль, що перебуває в атмосфері у вигляді аерозолів.

Природні та антропогенні джерела сполук азоту, що містяться в атмосфері, наведені в табл. 2.8.

Аміак, що має властивість у водному розчині вступати в лужну реакцію, відіграє значну роль у регулюванні кислотних дощів, оскільки він може нейтралізувати атмосферні кислотні сполуки. Джерелом атмосферного аміаку є ґрунт, внесення добрив, виробництво та згоряння вугілля.

Таблиця 2.8. Природні та антропогенні джерела сполук азоту

Джерела	Кількість викидів	
	млн т азоту на рік	%
Природна ґрунтова емісія	8	14
Грозові розряди	8	14
Горіння біомаси	12	21
Інші	2—12	4—21
Антропогенні: спалювання палива	12	21
Транспорт	8	14
Промисловість	1	2
Разом	51—61	100

Леткі органічні сполуки мають такий склад: алкани 50 % (пропан, бутан), алефіни 23 % (етилен, пропилен тощо), ароматичні вуглеводні 18 % (бензол, ксилол тощо), альдегіди та кетони 8 % (формальдегід, ацетон тощо), їх викиди становлять 43,8 млн. т./рік та потрапляють в атмосферу із природних джерел. Викиди катіонів лужних і лужноземельних речовин здійснюються, в основному, із природних джерел, частіше при експлуатації доріг без покриттів і ґрунтів. До промислових джерел належать: виробництво магнію, сталі, чавуну, видобування вугілля та мінералів, виготовлення і використання цементу та бетону, сульфатне варіння целюлози, виготовлення керамічних виробів. Вони істотно впливають на кислотність опадів, нейтралізуючи їх.

Хлорид і фторид водню утворюються переважно під час спалювання вугілля, при виробництві пропіленоксиду, фториду водню і фосфатних добрив. В атмосферу щорічно викидається приблизно 1,2 млн. т. хлориду та 0,16 млн. т. фториду водню.

Процеси в атмосфері можна поділити на такі групи:

— перенесення викидів вітром у ділянку опадів одночасно з незабрудненим повітрям;

— хімічні та фізичні процеси в газовому середовищі, що призводять до змін концентрації та хімічного складу повітряного потоку;

— поглинання речовин антропогенного походження хмарами і краплями дощу, їх хімічні реакції в рідкій фазі та випадання забруднень у вигляді опадів;

— сухе випадання (адсорбція на ґрунті, кронах дерев).

Багато стадій процесів, що відбуваються в атмосфері, можуть бути зворотними, внаслідок чого молекула забруднюючої речовини може зазнати кількох циклів трансформації до досягнення нею поверхні Землі. Аналіз підтвердив, що 25—30 % SO_2 і 15—25 % CO_2 переносять вітри від промислових підприємств на відстань понад 200 км.

Випадіння кислотних дощів на поверхню Землі відбувається двома способами: вимиванням опадами осаду і випадінням опадів.

Вимивання опадами осаду — вимивання кислотних речовин з атмосфери відбувається під час утворення хмар і опадів. За умови перенасиченості повітря водяною парою (понад 100%) краплі хмар, які промивають шари атмосфери між хмарами та поверхнею Землі, випадають.

2.10.2. Вплив кислотних опадів на навколишнє середовище.

Об'єктами шкідливого впливу кислотних дощів є всі процеси й предмети, на які впливає зміна *pH* середовища, тобто зміна концентрації іонів кисню. Це стосується також і живих організмів, оскільки більшість біологічних процесів чутливі до зміни *pH*.

Шкідливі впливи можна згрупувати залежно від спрямування дії — на предмети (руйнування пам'ятників і будинків, корозія металевих

предметів) або на живих істот (людей, рослин і тварин). У радіусі приблизно 100 км від викиду забруднюючої речовини спостерігаються прямі місцеві впливи локального значення.

Рівень кислотності відбивається і на стані прісних вод та лісів. Звичайно впливи бувають непрямими, тобто небезпеку становлять не самі опади, а процеси, що відбуваються під їх дією. У деяких випадках (у ґрунті, воді, мулі тощо) залежно від кислотності можуть зрости концентрації важких металів, оскільки в результаті зміни pH зміниться їх розчинність. Із питною водою і тваринною їжею в організм людини також можуть потрапити токсичні метали. Якщо під дією кислотності змінюється структура ґрунту, його біологія і хімія, то це може спричинити загибель рослин.

Непрямі впливи — вплив на ліси та ґрунти. Кислотні дощі впливають або через ґрунт і кореневу систему, або безпосередньо (в основному — на листя). На відміну від вод, ґрунт має здатність до вирівнювання кислотності середовища, тобто до певного ступеня він запобігає збільшенню кислотності, залежно від хімічних і фізичних властивостей шарів ґрунтів. Наприклад, опади, що містять сполуки азоту, спочатку сприяють росту дерев, однак потім вони перенасичуються, що призводить до вимивання нітрату, а отже, до окиснення ґрунту.

Вода, що стікає з листя, збільшує кислотність ґрунту; іони водню, які потрапляють у ґрунт, можуть заміщати його катіони, у результаті чого відбувається або знелуження кальцію, магнію, калію, або їх концентрація в зневодненій формі; важкі метали, розчинені в ґрунті, можуть призвести до загибелі рослин; гинуть найчутливіші до окиснення істоти (мікроорганізми, гриби). Рослини, приймаючи іон амонію, віддають іони водню в ґрунт, що також спричиняє його окиснення.

Значної шкоди навколишньому середовищу завдає і окиснення прісних вод, яке може спричинити втрату їх здатності до нейтралізації.

Процес окиснення поверхневих вод складається з трьох фаз:

— зменшення кількості іонів гідрокарбонату, тобто зниження здатності до нейтралізації при незмінному значенні pH ;

— зниження pH при зменшенні кількості іонів гідрокарбонату — найслабші види тварин починають гинути;

— при $pH = 4,5$ кислотність розчину стабілізується. У такому середовищі здатні жити тільки деякі види комах, рослин, тваринні планктони та білі водорості.

Безпосередні (прямі) впливи — рослини гинуть на віддалі кількох десятків кілометрів від джерела забруднень. Основною причиною є двоокис сірки, що адсорбується на листі та бере участь у різних окисних процесах. Вплив на рослини може мати такі форми: генетичні, видові зміни, завдання безпосередньої шкоди.

В Україні кислотні атмосферні речовини завдають значної шкоди, призводячи до зниження врожайності та знищення рослинності. Найменш стійкими до безпосереднього забруднення є хвойні дерева (ялина, модрина і ялиця), а також бук, граб і тис.

Встановлено залежність між рівнем захворюваності (смертності) і ступенем забруднення регіону. Статистичні дані свідчать, що такі захворювання, як псевдокруп (помилковий круп), ускладнення в немовлят, захворювання верхніх дихальних шляхів, онкологічні та серцево-судинні хвороби, спричинені зростанням забруднень.

Корозія металів, будинків і пам'ятників. Причиною руйнування металів є збільшення концентрації іонів водню на поверхнях металу, від якої залежить його окиснення. У замських зонах швидкість корозії металу —

кілька мікрометрів на рік, а в містах — 100 мкм на рік і вище. Корозія руйнує конструкції мостів, резервуарів, лінії електропередач, машинне устаткування, транспорт. Пам'ятники і скульптури, побудовані з піщанику та вапняку, нищатья внаслідок дії кислотних дощів, оскільки карбонат калію, який вони містять, легко розчиняється і перетворюється в сульфат кальцію (гіпс), що вимивається дощовою водою.

Вплив на стійкість покриття. Більшість фарб, а також латекси пропускають газ і вологу, тому при пошкодженнях можливі гідрометричні та окислювальні перетворення покриття, що спричинятиме зміну їх міцності та крихкості. Кислотні дощі, потрапляючи на межу фарба/покриття, прискорюють процес відшаровування; наповнювачі вимиваються радше під дією УФ-випромінювань.

Зниження видимості часто зумовлено забрудненнями атмосфери речовинами антропогенного походження — діоксидом сірки і азоту, леткими органічними сполуками, сажею, мінеральним пилом тощо. Механізм їх дії різний: діоксид сірки переходить у сульфати, дрібні частки за наявності вологи коагулюються; оксиди азоту поглинають світло в "синій" ділянці спектра і призводять до пожовтіння предметів.

2.10.3. Способи захисту від кислотних дощів.

Зниження вмісту сірки у різних видах палива. Оптимальним є застосування малосірчаних (вміст сірки менший 1 %) нафтопродуктів та вугілля, однак їх дуже мало (20 % світових запасів нафти). Тому для усунення сірки необхідно вживати певні заходи. Зокрема, у результаті очищення мазуту від сірки можна усунути лише від 1/3 до 2/3 сірки. При очищенні вугілля, яке відбувається під впливом високих температур і

тиску — а це дуже дорогий процес, — усувають лише 50 % сірки. Проводять дослідження і нових фізичних методів очищення вугілля, наприклад, багатоетапної флотації, електростатичного поділу, масляної агломерації, які забезпечують видалення до 90 % усієї піритної сірки та до 65 % загальної кількості сірки. Повне очищення від сірки можливе в результаті усунення зв'язаної органічної сірки методами хімічного (обробка вугілля спеціальними хімічними реагентами або розчинниками під тиском) і мікробіологічного (деякі бактерії і грибки поглинають сірку) очищення вугілля. Для очищення високосірчаних нафт застосовують хімічні методи: каталітичну гідрогенізацію і спеціальні хімічні присадки (піролін, дисульфурол, бюхазин, корит тощо).

Технологічні зміни. Виявлено, що чим менша температура горіння, тим менше виникає оксиду азоту і скорочується час перебування палива у ділянці горіння, що необхідно враховувати при проектуванні технологічних процесів.

Окрім того, сірку зв'язує потік негорючої речовини, спрямованої у ділянку горіння, що призводить до зниження температури горіння, а отже, кількості оксиду азоту. Очищення кінцевих газів від сірки барботуванням через розчин вапняку дозволяє отримати сульфід або сульфат кальцію.

Вапнування — додавання лужних речовин, які швидко розчиняються в озерах і ґрунтах, щоби луги, які утворилися, нейтралізували кислоти. Однак цей метод має низку недоліків: відбувається значне порушення хімічної і біологічної рівноваги вод і ґрунтів, не вдається усунути всі шкідливі наслідки окиснення, неможливе усунення важких металів.

Оброблення пам'ятників культури спеціальною захисною глазур'ю. За даними Академії наук України, понад 80 % засобів, які виділяють на

природоохоронні цілі, на даний час використовують для усунення вже наявних шкідливих впливів, хоча насамперед потрібно усувати причини їх утворення. Узимку поблизу ТЕС та металургійних заводах іноді випадає кислотний сніг, який є ще не безпечнішим, ніж дощ, оскільки містить 4—5-місячну дозу забруднень, а під час його танення навесні відбувається процес концентрації шкідливих речовин, тому тала вода іноді містить у десять разів більше кислот, ніж сніг.

У деяких країнах вже спостерігають шкідливі наслідки дії кислотних дощів. Так, у Швейцарії засихає третина лісів, 69 % букових і тисових дерев у Великобританії всихають зверху, у Швеції 18 тис. озер отруєно, з них у 9 тис. риба вже вимерла.

Всесвітня Метеорологічна організація створила глобальну вимірювальну мережу, що досліджує кислотність, хімічний склад атмосферних опадів, атмосферні параметри (забруднення атмосфери двоокисом вуглецю, сполуками сірки і азоту, частинками аерозолі тощо). Одним з основних завдань цієї системи є визначення довгострокової зміни хімічного складу атмосфери на клімат Землі та дослідження кислотної седиментації.

3. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УКРАЇНИ ТА ЇЇ РЕГІОНІВ

3.1. Аналіз природних та техногенних небезпек і прогнозування їх розвитку.

Відповідно до статті 3 Конституції України, життя й здоров'я людини є найвищою соціальною цінністю, за забезпечення яких відповідає

держава. Безпека людини й навколишнього середовища, їх захищеність від впливу шкідливих техногенних, природних, екологічних і соціальних факторів — обов'язкова умова стабільного розвитку суспільства.

Сучасний період розвитку суспільства характеризується щораз більшим віддаленням людини і природного середовища. Промислові регіони є зонами з надзвичайно високим ступенем ризику виникнення аварії й катастроф техногенного походження. Цей ризик постійно зростає внаслідок збільшення кількості застарілих технологій та обладнання, зниження темпів поновлення й модернізації виробництва (зношеність основних фондів усіх галузей промисловості становить у середньому 50 %). У багатьох випадках антропогенна діяльність призводить до все більшої залежності об'єктів господарювання від дії природних чинників.

Дані про надзвичайні ситуації в Україні реєструють з 1992 р. Діяльність Міністерства надзвичайних ситуацій, створеного наприкінці 1996 р., спрямована на систематизацію, констатацію й аналіз надзвичайних ситуацій і надання невідкладної допомоги при їх виникненні.

В Україні протягом 1997—2000 рр. у різних надзвичайних ситуаціях загинуло близько 50 тис. осіб, із них у 2000 р. — понад 11 тис. осіб. За цей період зареєстровано близько 6,4 тис. надзвичайних ситуацій, у т. ч. понад 2000 — техногенного характеру й майже 1000 — природного характеру. Матеріальні збитки внаслідок впливу надзвичайних ситуацій становлять 3,1 млрд грн, із них: 2,9 млрд грн (93 %) — втрати через природні надзвичайні ситуації і 0,2 млрд грн (7 %) — через техногенні.

Динаміка основних статистичних показників надзвичайних ситуацій зображена на рис. 3.1 - 3.3, а їх розподіл по регіонах України — на рис. 3.1.

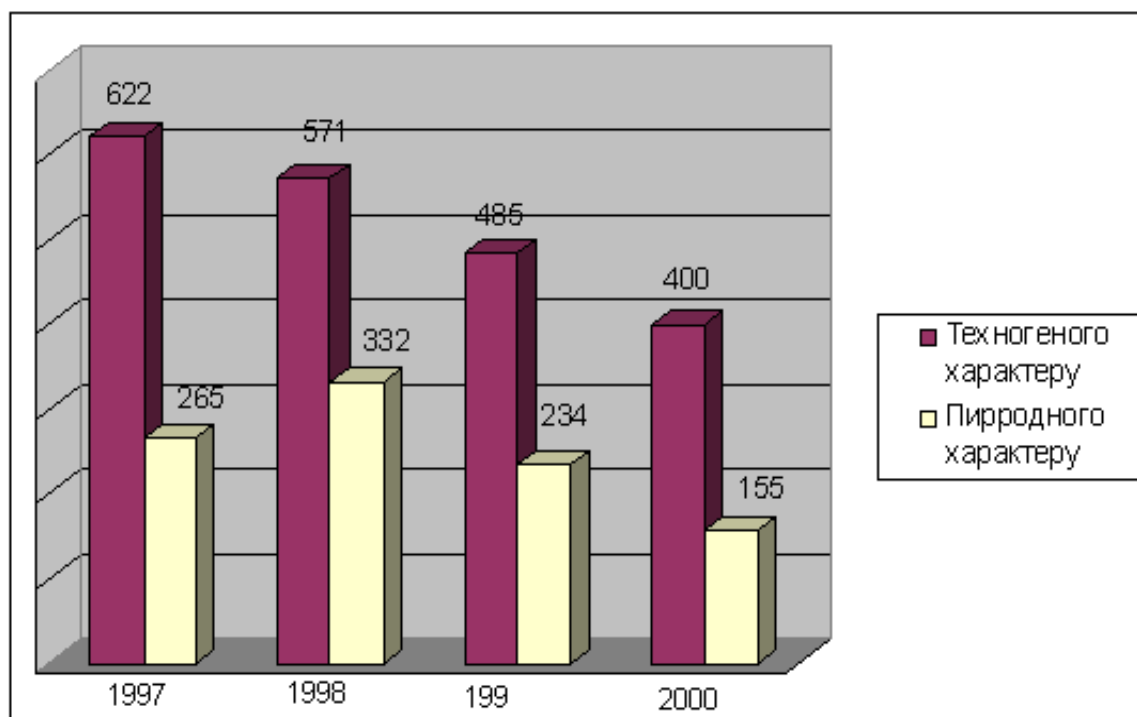


Рис.3.1. Динаміка впливу надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру протягом 1997- 2000рр.

Разом 3064 надзвичайних ситуацій, із них: 986- природних, 2078- техногенних.

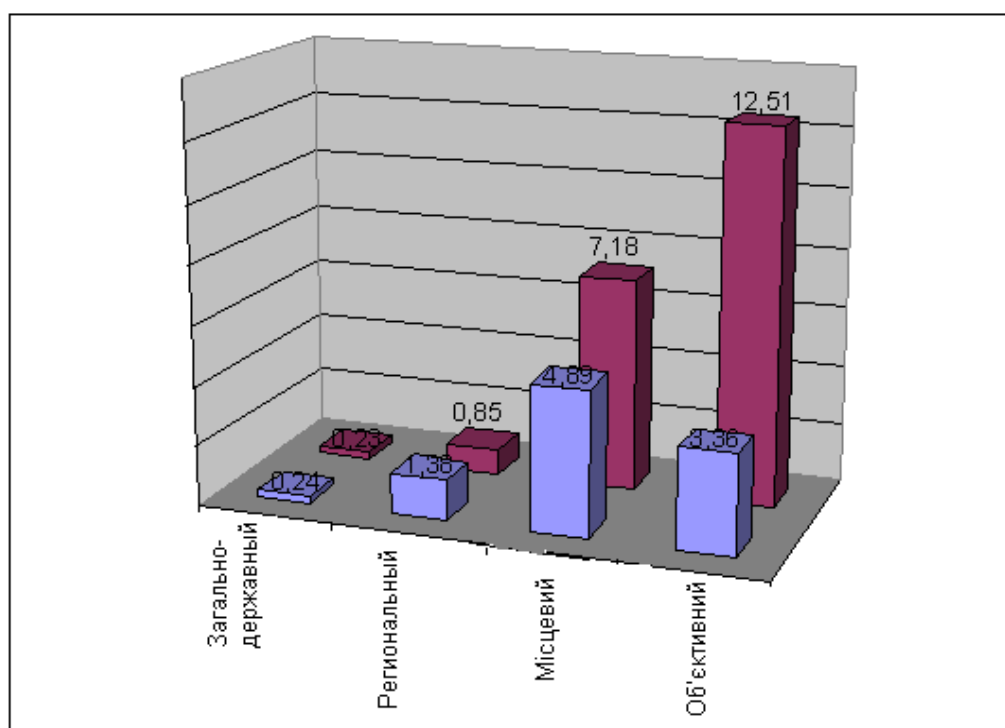


Рис.3.2.. Розподіл техногенних і природних надзвичайних ситуацій 1997- 2000рр. за значенням

Разом 3064 надзвичайних ситуацій, із них за значенням: 47- загальнодержавного; 223- регіонального; 1207- місцевого; 1587- об'єктивного характеру.

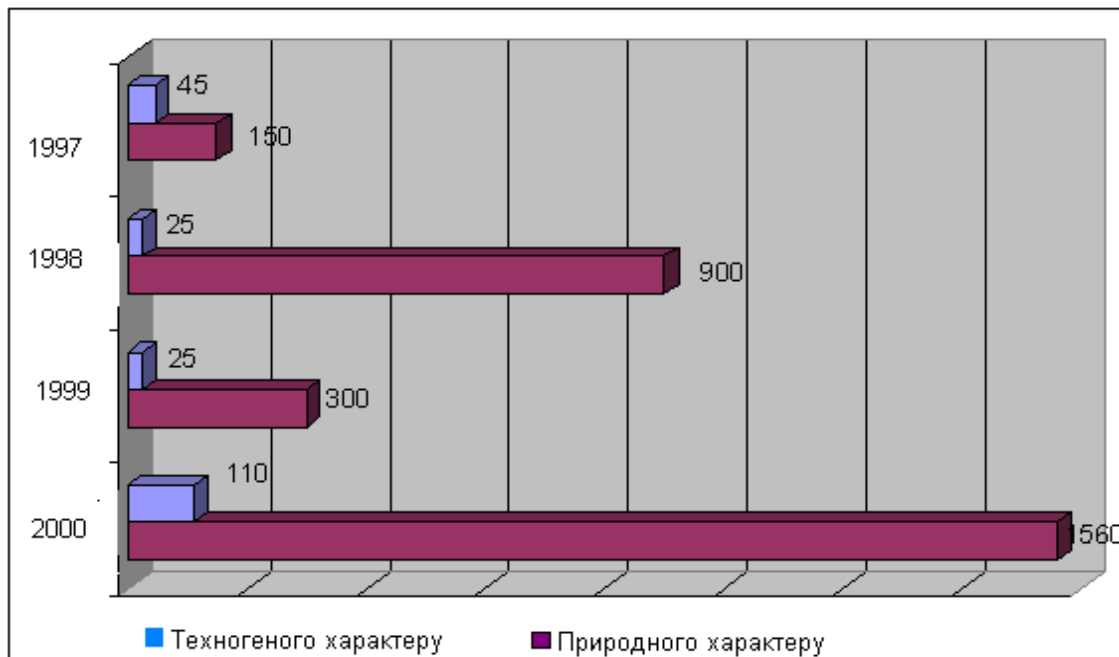


Рис.3.3. Динаміка матеріальних втрат унаслідок техногенних і природних надзвичайних ситуацій протягом 1997- 2000 рр.(млн. грн.)

Разом на суму 3115 млн.грн., із них: 2910 - природних; 205- техногенних.

Аналіз природних небезпечних явищ та ймовірність їх виявів.

Кількість природних аномалій і стихійних явищ збільшилась (значні перепади температури, різкі чергування холодних та спекотних періодів, перевищення абсолютних значень максимальних і мінімальних температур, сильні снігопади й дощі, пізні заморозки) — все це свідчить про глобальні зміни клімату.

З огляду на географічне положення України, найвища ймовірність стихійних та небезпечних метеоявищ можлива у Криму та Закарпатті. Раптовий перехід від морозу до відлиги і навпаки найімовірніший у Південному регіоні, Донбасі, Вінницькій, Хмельницькій, Кіровоградській та Дніпропетровській областях. Небезпечні стихійні рівні вітру можливі на більшій території України, але найімовірніше у Західному та Південному регіонах. Найбільша кількість смерчів за останні 40 років спостерігалася в Київській, Черкаській, Запорізькій та Миколаївській областях, а в Криму і Херсонській області — один раз за п'ять років.

За прогнозами вчених, високих паводків слід очікувати на ріках Західного регіону, басейнах річок Прип'ять, Десна, Сіверський Донець, Нижній Дунай, Південний Буг.

До регіонів, які можуть найбільше постраждати внаслідок повеней, належать Західна Україна та Дніпро. У значній кількості населених пунктів можуть спостерігатися селені потоки. У Карпатах виявлено 219 селевих водозборів. Загалом в Україні 9/10 території може зазнати впливу небезпечних геологічних процесів.

За сейсмічними районуваннями близько 120 тис км² території України з населенням близько 11 млн. осіб перебуває в зоні можливих землетрусів силою 6—9 балів (за 12-бальною шкалою МЭЖ). Окрім того, за даними фахівців, підтоплення, зсуви, селі та карсти призводять до підвищення рівня сейсмічності на 1—3 бали. На 60 % території України розвиваються процеси карстоутворення, у т. ч. на 27 % території спостерігають відкритий карст (вирви, колодязі, прірви, обриви). Зсуви характерні для зон тектонічних утворень, високих терас, ухилів ерозійних систем, річок і водоймищ. За останній рік найбільших втрат унаслідок зсувів зазнали

Дніпропетровська (35 млн. грн.), Луганська (22 млн. грн.) і Чернівецька (близько 20 млн. грн.) області.

Абразивним процесам піддаються 2630 км морських берегів та 1200 берегів водоймищ, що спричиняє втрати сотень гектарів цінних земель щорічно.

В Україні підтоплено 900 тис. га земель (15 % території) через глобальне потепління та наявність сухих і вологих періодів: втрати води з водоносних комунікацій, неорганізований поверхневий стік, ліквідацію або погіршення фільтраційних властивостей ґрунтів, зменшення випаровування внаслідок асфальтування тощо. Підйом ґрунтових вод спричиняє система водоймищ Дніпровського каскаду, що призводить до підтоплення прилеглих територій. Основною причиною підтоплення сільськогосподарських угідь стало будівництво дренажних споруд: у районі Північнокримського каналу підтоплено 96 тис. га, Каховської зрошувальної системи — 5,1 тис. га, Каланчацької зрошувальної системи — 9,1 тис. га.

Підтоплення значних територій України є результатом безгосподарського ставлення, а це, своєю чергою, спричиняє забруднення вод, підвищення вологості та погіршення санітарного стану території, засолювання і заболочення ґрунтів, зниження врожайності сільських угідь, виникнення зсувів, осідання, карстів, обвалів.

Понад 10 млн. га території України займають ліси й торфовища, а щорічно виникає 3,5 тис. природних пожеж, які знищують понад 5 тис. га лісу. Близько 90% лісових пожеж виникають у десятикілометровій приміській зоні, з них 60 % — у п'яти-кілометровій, у 90 % випадків причиною є необережність людини.

На значній території України існує небезпека виникнення інфекцій через їх здатність десятки років існувати в навколишньому середовищі, передаючи збудники хвороб людині через тварин, воду, ґрунт.

3.2. Основні джерела антропогенного забруднення навколишнього середовища України.

Виникнення надзвичайних природних ситуацій є здебільшого неконтрольованим процесом, але існує низка чинників, що спричиняють їх виникнення. Серед них:

- збільшення техногенного навантаження на навколишнє середовище;
- аномальні зміни певних параметрів біо-, атмо-, гідро - та літосфер;
- високий рівень урбанізації територій, нераціональне розміщення об'єктів господарської діяльності;
- неефективність або відсутність моніторингу компонентів природного середовища;
- низька вірогідність прогнозування небезпечних природних явищ;
- відсутність або поганий стан гідротехнічних, протизсувних, протиселевих захисних споруд.

Отже, на території України можливе виникнення небезпечних і стихійних метеорологічних, гідрологічних, геологічних явищ.

Наявність в Україні розвинутої промисловості, і надзвичайно висока концентрація, колосальні промислові комплекси, переважно потенційно небезпечні, розвинута система транспортних комунікацій, у тому числі нафто-, газо- і продуктопроводів, велика кількість енергетичних об'єктів, використання у виробництвах значних кількостей потенційно

небезпечних речовин збільшує ймовірність виникнення техногенних надзвичайних ситуацій, небезпечних для природного навколишнього середовища та людини.

Види надзвичайних ситуацій техногенного характеру, які спостерігали протягом 1997—2000 рр., наведено у табл. 3.1.

В Україні існує високий рівень радіаційної небезпеки внаслідок розміщення на її території чотирьох атомних станцій із тринадцяти атомними реакторами, двох дослідних ядерних реакторів та понад трьох тисяч підприємств і організацій, що використовують радіоактивні речовини і випускають радіоактивні відходи.

Таблиця 3.1. Надзвичайні ситуації техногенного характеру

Вид надзвичайних ситуацій	К-сть	Значення				Загинуло осіб	Постраждало осіб
		загальнодержавні	регіональні	місцеві	об'єктні		
Пожежі, вибухи	655	10	14	232	389	711	697
Аварії з викидом шкідливих речовин	51	-	-	11	40	6	66
Наявність в ОС шкідливих речовин понад ГДН	44	1	-	13	30	-	2
Аварії з викидом радіоактивних речовин	2	-	-	1	1	-	2
Аварії на очисних спорудах	5	-	-	3	2	3	-
Гідродинамічні аварії	3	-	-	2	1	1	-

Протягом кількох останніх років на АЕС України відбулася 131 надзвичайна ситуація через позапланову зупинку реакторів. Розподіл аварій за цей період наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2. Розподіл аварій ядерних реакторів атомних електростанцій України

АЕС	Кількість надзвичайних ситуацій
Запорізька	53
Рівненська	35
Південноукраїнська	24
Чорнобильська	12
Хмельницька	7

В Україні функціонує близько 2 тис. хімічно небезпечних виробництв, де зберігається або використовується 300 тис. т сильнодіючих отруйних речовин (СДОР). Протягом кількох останніх років в Україні відбулось 51 надзвичайна подія через викиди СДОР.

У господарствах України наявні понад 1200 вибухо- і пожежонебезпечних об'єктів, зосереджено понад 13,6 млн. т твердих і рідких вибухо- і пожежонебезпечних речовин: хімічні, нафто- і газопереробні, коксохімічні, металургійні й машинобудівні підприємства, мережа нафто, газо-, аміакопроводів, вугільні шахти. У табл. 3.3 наведена кількість надзвичайних ситуацій, пов'язаних з пожежами й вибухами у промисловості протягом останніх кількох років.

Таблиця 3.3. Надзвичайні ситуації в промисловості

Назва надзвичайної ситуації	Кількість	Загинуло осіб	Постраждало осіб
Пожежі й вибухи в шахтах,	132	262	148

підземних і гірничих виробках			
Пожежі й вибухи у спорудах, комунікаціях і технологічному устаткуванні	136	53	117
Пожежі та вибухи на об'єктах розвідки, видобутку, переробки, транспортування і збереження легкозаймистих речовин	62	9	114
Пожежі на радіаційно-, хімічно- та біологічно- небезпечних об'єктах	13	7	2

Аварії на магістральних газопроводах довжиною понад 35 тис. км, нафтопроводах довжиною понад 4 тис. км; компресорних нафтопереробних (31) і газопереробних (89) станціях, продуктопроводах (3,3 тис. км) здебільшого відбуваються внаслідок ушкоджень, завдають значного негативного впливу на навколишнє середовище. За останні кілька років більшість із 136 аварій спостерігалася у Львівській області.

Загальна площа сховищ виробничих відходів в Україні перевищує 30 тис. га, які постійно горять і забруднюють повітря газом та пилом. Із загальної кількості хвостосховищ 70 % (154) належать вугільній промисловості, 19 % (42) — підприємствам металургійної та хімічної промисловості, 11 % — підприємствам будівельної індустрії. Окрім того, Україна має 2300 гідроспоруд для зберігання відходів хімічних, металургійних, теплових електростанцій, промислових стоків агропромислового комплексу. Усе це погіршує стан довкілля, забруднює територію та підземні води.

Сьогодні спостерігається тенденція до зниження рівня надійності гідротехнічних споруд Дніпровського каскаду, довжина якого становить 120 км. Досвід експлуатації гребель свідчить, що після 50 років експлуатації збільшується ймовірність аварій, у тому числі руйнується

сама споруда. У 1994— 1995 рр. за пропозицією Світового банку проведена експертиза робочого стану Дніпровської ГЕС, що визначила необхідність її реконструкції. При руйнуванні Дніпровського каскаду ГЕС можливе затоплення близько 60 тис. га земель, руйнування 80 мостів, припинення роботи енергосистем, виведення з ладу до 2000 км ЛЕП, вихід із ладу газового, водного господарства, порушення транспортного сполучення.

Основними шляхами проникнення на територію України небезпечних хімічних сполук, особливо сильнодіючих отруйних речовин, є їх перенесення атмосферним повітрям і поверхневими водами.

При колосальному техногенному навантаженні території, світовий екологічній кризі основними причинами виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру в навколишньому середовищі України є:

- незадовільний стан і порушення вимог технологій виробництва;
- низький рівень культури виробництва;
- незадовільний стан збереження, утилізації та захоронення відходів, особливо високотоксичних, радіоактивних і побутових;
- ігнорування екологічних факторів, вимог, стандартів тощо;
- низький рівень застосування прогресивних ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій;
- низький рівень екологічного навчання та підготовки фахівців;
- зростаючий дефіцит кваліфікованих кадрів;
- відсутність моніторингу природного середовища, незалежної екологічної експертизи.

Міністерство надзвичайних ситуацій і ядерної безпеки, виконуючи програму дій Кабінету Міністрів України, взаємодіючі з територіальними

органами виконавчої влади, завершило перший етап паспортизації потенційно небезпечних для навколишнього середовища об'єктів і територій України. На основі цієї роботи підготовлені заходи щодо проведення поточного та перспективного планування запобіжних заходів, унесених до Паспорту ризику виникнення надзвичайних ситуацій областей. Загалом потенційно небезпечні і вимагають постійного моніторингу 7541 об'єкт України.

Метою державної політики щодо охорони навколишнього середовища повинно стати забезпечення гарантованого рівня безпеки особистості суспільства та довкілля в межах показників допустимого ризику, нормативи які установлені для відповідного періоду соціально-екологічного розвитку країни з урахуванням світового досвіду. Перспективою такої діяльності є вдосконалення системи керування техногенною й природною безпекою.

Протягом останніх років усі великі міста України збільшили забруднення атмосфери викидами транспорту (його частка в загальному забрудненні становить 55—82 %). В Україні металургійна промисловість викидає біля третини забруднювачів атмосфери та природних вод. Наприклад, "Запоріжсталь" щорічно викидає понад 150 тис. т шкідливих речовин в атмосферу (понад 50 % викидів міста). Сьогодні через низький рівень технології виробництва та відсутність ефективного газозапалювального устаткування м. Запоріжжя перетворилося в одне з найзабрудненіших в Україні, з високим рівнем професійних захворювань, погіршенням здоров'я населення, особливо дітей, підвищенням смертності окрім шкідливих газів: окису вуглецю, двоокису сірки тощо, "Запоріжсталь" щорічно викидає в повітря кілька сотень тон такої

канцерогенної речовини, як бензопропілен, який у мільйон разів токсичний від окису вуглецю.

За кількістю промислового забруднення на одну особу Україна займає одне з перших місць у Європі, що і визначає середню тривалість життя — 66 років, тоді як у Японія, Швейцарія, Ісландія та США — 75—79 років, 15 % території України є зоною екологічного лиха. В Україні функціонує 1700 шкідливих виробництв, 1000 з них — хімічні — є особливо екологічно небезпечними, а майже третина перебуває у рекреаційних зонах. За рівнем дитячої смертності Україна посідає перше місце в Європі, як і за показниками кількості онкологічних захворювань.

Через підвищений вміст токсичних речовин необхідно припинити використання території площею понад 3 млн. га, це переважно ділянки землі уздовж автошляхів.

Сьогодні в Україні виявлено багато районів із перевищенням гранично допустимих концентрацій нафтопродуктів у воді, повітрі й ґрунтах, зокрема аеродромів, нафтобаз, нафтосховищ, нафтопереробних заводів, нафтових свердловин, автостоянок, автозаправок, ділянок нафтопроводів. Критичною стала ситуація внаслідок забруднення нафтопродуктами в Лисичанському і Херсонському заводах, нафтопереробному, військових аеродромах Білої Церкви й Узині, Борислава, Долини у Прикарпатті, Шебелинки на Полтавщині. Ці регіони відомі вже всій Україні й за її межами, а нафта потрапила не лише в повітря, а сконцентрована в колодязях, ярах, підземних водах і стала не тільки отруйною, але й пожежонебезпечною. Це лише кілька прикладів антропогенного забруднення в нашій країні, а їх є ще безліч, тому необхідно зосередити зусилля на раціональному природокористуванні.

Раціональне природокористування — це соціально-економічний процес залучення в господарський обіг природно-ресурсного потенціалу як матеріальної основи розширення відтворення, сприяє реалізації основного економічного закону, впливає на темпи економічного росту, забезпечує охорону навколишнього середовища від забруднення й створює нормальні умови для функціонування ефективних систем життєдіяльності. Усе це неможливо вирішити без визначення стратегії й тактики збереження й стабільності розвитку життя на Землі, і конкретно в Україні, без створення правового захисту охорони навколишнього середовища й екологічного законодавства України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Одум Ю. **Экология:** В 2-х т. Т.1. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 328с.
2. Одум Ю. **Экология:** В 2-х т. Т.2. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 376с.
3. Вернадский В.И. **Научная мысль как планетарное явление.** – М.: Наука, 1991. – 271 с.
4. Кучерявий В.П. **Екологія.** – Львів: Світ, 2001. – 500 с.
5. В.А. Балтук **Основи екології:** Підручник. – К.:Знання.- 2007.-519с.
6. Сытник К.М., Брайон А.В., Гордецкий А.В. **Биосфера. Экология. Охрана природы:** Справ. Пособие. – К.: Наук. думка, 1987. – 523 с.
7. Будыко М.И. **Эволюция биосферы.** – Л., 1984. – 488с.
8. Алексахин Р.М. **Ядерная энергетика и биосфера.** – М.: Энергоатомиздат, 1982.
9. **Вимірювання іонізуючих випромінювань. Метрологічне забезпечення.** ДСТУ 3240-95.
10. Гусев Н.Г., Беляев В.А. **Радиоактивные выбросы в биосфере:** Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
11. Егоров Ю.А., Носков А.А. **Радиационная безопасность на АЭС.** – М.: Энергоатомиздат, 1986.
12. **Радиационные характеристики облученного ядерного топлива:** Справочник/ В.М. Колобашкин, П. М. Рубцов, П.А. Ружанский и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
13. Маргулис У.Я. **Ядерная энергетика и радиационная безопасность.** – М.: Энергоатомиздат, 1988.
14. Израэль Ю.А. **Экология и контроль состояния природной среды** – 2- изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.

15. **Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-204).** ДСП 6.074.120-01.
16. М.Ю. Новоселецький, Д.В. Лико, А.Л. Панасюк, В.І. Тищук **Фізична екологія** Навчальний посібник. К.: Кондор.-2009.-480 с.
17. **Борьба с шумом на производстве.** Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн и др. / Под общ. Ред. Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с: ил.
18. С.А. Чечкин **Основы геофизики.** Л.:Гидрометеиздат.-1990.-288с.
19. **Малі річки Країни** / За ред. А.В. Яцика. – К., 1991. – 294 с.
20. В.С. Джигирей **Екологія та охорона навколишнього природного середовища:** Навч. посіб.-5-те вид., випр. і доп.-К.:Т-во «Знання».-2007.-422с.
21. Г.О. Білявський, Р.С.Фурдуй, І.Ю.Костіков **Основы екології:** Підручник - 3-тє вид.- К.:Либідь.-2006.-408с.
22. Реймсерс Н.Ф. **Природопользование.** – М., 1991. – 638 с.
23. Юдасин Л.С. **Энергетика: проблемы и надежды.** – М., 1990. – 205с.
24. Примак А.В. **Экологическая ситуация на Украине и ее мониторинг: Анализ и перспективы.** – К., 1990. – 44 с.