

## Розділ 5 ПРИРОДНІ ТА АНТРОПОГЕННІ ЗАБРУДНЕННЯ БІОСФЕРИ

### 5.1. ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

До недавнього часу (приблизно до XIII ст., коли чисельність населення становила 300-350 млн чоловік) природа активно переробляла всі надходження речовин у біосферу, тобто відбувалося самоочищення. Продукти життєдіяльності всіх організмів, включаючи й людину, були переважно органічного походження. Після перетворення їх редуцентами на неорганічні сполуки вони включалися в природний колообіг речовин. Знаряддя праці чи предмети вжитку, хоча й мали неорганічну природу, використовувались у відносно невеликій кількості, і це не становило загрози для навколишнього природного середовища. Проте в подальшому, із зростанням чисельності населення, значно збільшувалися його потреби, для задоволення яких людство почало залучати багато нових речовин (порох, кислоти, солі, пізніше – різні хімічні препарати для боротьби з шкідниками сільського господарства тощо), які були не властиві природі і за відносно невеликий проміжок часу вона не встигала до них адаптуватися, тобто вони не включалися в природний процес колообігу речовин. Це призвело до їх накопичення і в подальшому стало завдавати значної шкоди екосистемам загалом і людині зокрема.

Отже, *забруднення* – це внесення у навколишнє середовище або виникнення в ньому нових, зазвичай не характерних хімічних і біологічних речовин, агентів або внесення в надлишковій кількості будь-яких уже відомих речовин, які чинять шкідливий вплив на природні екосистеми й людину і яких природа не здатна позбутися самоочищенням. Речовини, які спричинюють забруднення навколишнього природного середовища, називають *забрудниками*, або *поллютантами*. Забруднення біосфери означає не просто внесення в ґрунт, воду чи повітря тих або інших чужорідних компонентів. У будь-якому випадку об'єктом забруднення є біогеоценоз. Надлишок одних речовин у природному середовищі або наявність інших призводить до зміни екологічних факторів (змінюються склад атмосфери, води, ґрунту тощо). При цьому порушуються процеси обміну речовин, знижується інтенсивність асиміляції продуцентів і біопродуктивність біогеоценозу загалом. Завдається велика шкода вам процесам життєдіяльності, яка в кінцевому підсумку призводить до екологічної кризи та екологічної катастрофи. Під *екологічною кризою* розуміють ситуацію, що виникла в природних екосистемах у результаті порушення рівноваги під дією стихійних природних явищ або в результаті антропогенних факторів (вирубання лісів, зарегулювання рік, забруднення атмосфери, гідросфери, ґрунтів тощо). *Екологічна катастрофа* – це зміни необоротного характеру, що відбулися в екосистемах чи в біосфері.

Забрудники, що потрапили в атмосферне повітря чи води Світового океану, переміщуються на значні відстані і можуть опинитися там, де їх раніше не було. Більшість з них хімічно активні і здатні взаємодіяти з живою речовиною. Ввійшовши до складу тканин і органів живих організмів, такі речовини здебільшого стають отрутою для живої природи.

Існують різні принципи класифікації забруднень навколишнього середовища. Розглядаючи процес забруднення біосфери в широкому розумінні з позицій теорії перешкод, Г. В. Стадницький і А. І. Радіонов (1988) запропонували класифікувати їх так (див. схему на с. 62).

*Інгредієнтне забруднення*, як сукупність речовин, кількісно або якісно чужорідних природним біогеоценозам; *параметричне забруднення*, спричинене зміною якісних параметрів навколишнього середовища; *біоценотичне забруднення*, яке полягає в дії на склад і структуру популяцій живих організмів; *стаціонально-деструктивне забруднення*, що являє собою зміну ландшафтів і екологічних систем у процесі природокористування, пов'язану з оптимізацією природи в інтересах людини. Цю класифікацію вірніше було б назвати класифікацією перешкод, які заважають нормальному функціонуванню біосфери і завдають шкоди біоценозам та біотопам. Проте нас цікавить антропогенний тиск на біосферу, насамперед наслідки впливу на біосферу техногенної діяльності людини. Тому в подальшому ми розглянемо класифікацію забруднень, які є наслідком техногенної діяльності людини.

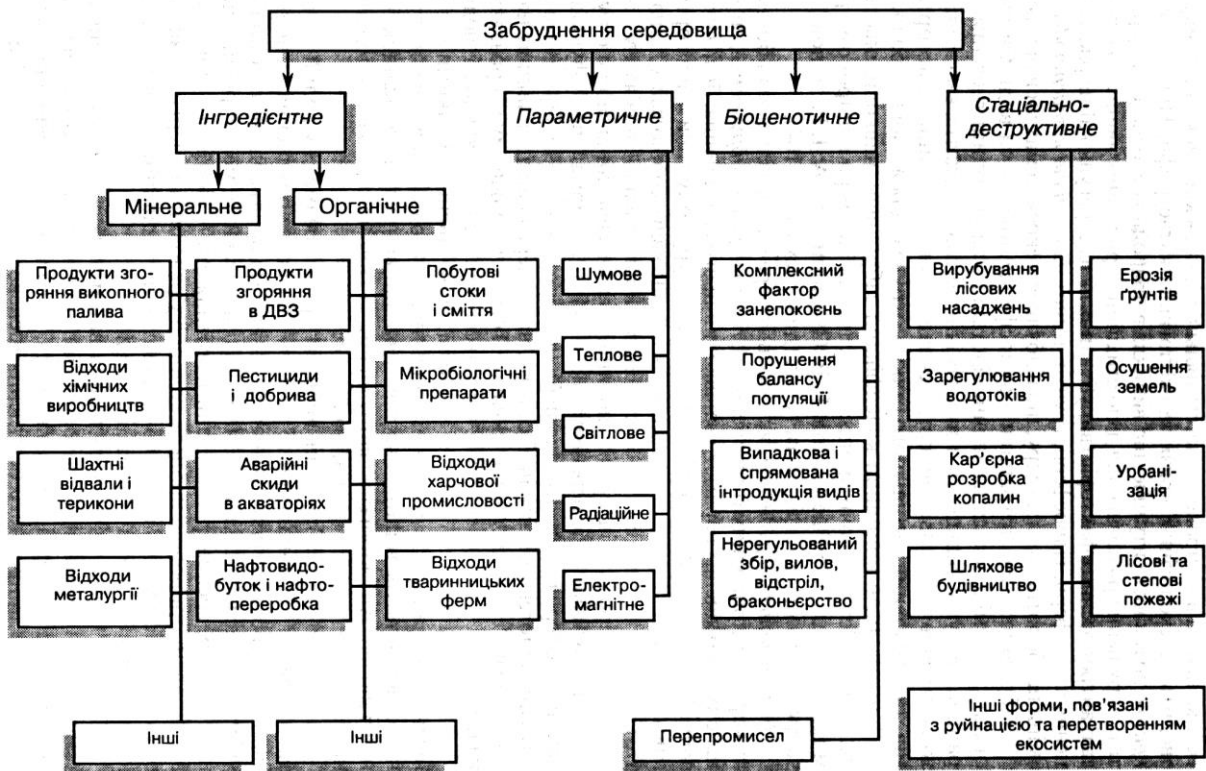
Забруднення поділяють на *природні*, спричинені будь-якими природними, зазвичай катастрофічними чинниками (повені, виверження вулканів, селевий потік тощо), і *антропогенні*, що виникають внаслідок діяльності людей. Антропогенні забруднення за типом походження поділяють на механічні, хімічні, фізичні та біологічні.

До механічних забруднень відносять різні предмети у воді й ґрунті, а також тверді часточки різного розміру. Хімічні забруднення – це різноманітні сторонні штучні хімічні речовини (рідкі, тверді та газоподібні), які утворилися внаслідок хімічної реакції в хімічній, металургійній чи інших галузях господарства. Вони потрапляють у біосферу і порушують встановлені природою процеси колообігу речовин та енергії. Фізичні забруднення поділяють на теплові, електричні, радіаційні та світлові, а також шуми, вібрації та гравітаційні сили.

*Теплові (термальні)* забруднення виникають внаслідок підвищення температури середовища,

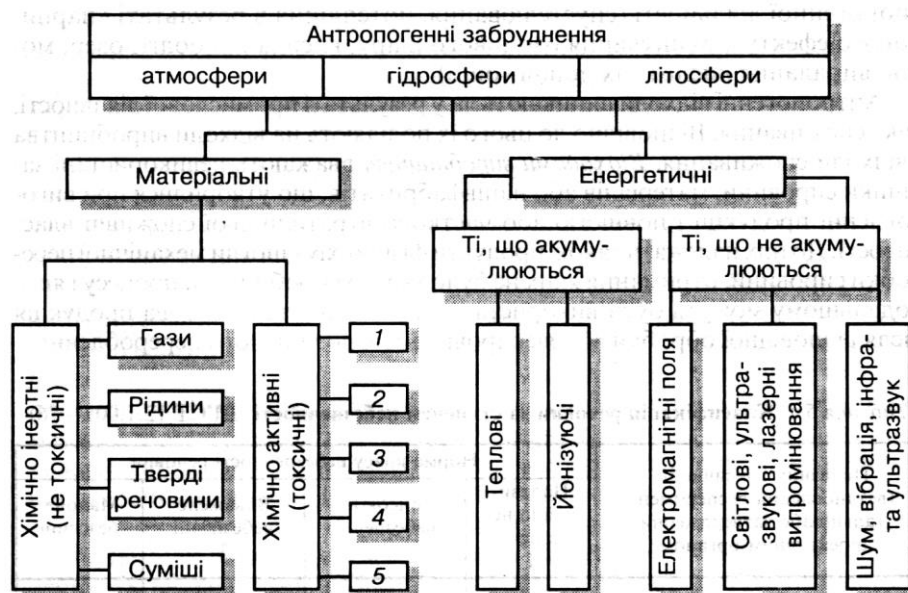
головним чином у зв'язку з промисловими викидами нагрітих відхідних газів і води. *Світлові* забруднення пов'язані з порушенням природного освітлення місцевості в результаті дії штучних джерел світла, що призводить до появи аномалій у житті тварин і розвитку рослин. *Шумове* забруднення є наслідком збільшення інтенсивності шуму понад природний рівень. *Електромагнітне* забруднення створюється в результаті зміни електромагнітних властивостей середовища (від ліній електропередач, радіо і телебачення тощо), що призводить до геофізичних аномалій і змін у біологічних структурах. *Радіоактивне* забруднення пов'язане з підвищенням природного радіаційного фону і концентрації в середовищі радіоактивних речовин. *Мікробіологічне* (мікробне) забруднення спричинюється появою незвично великої кількості мікроорганізмів внаслідок масового їх розмноження на антропогенних субстратах або середовищах, які змінилися внаслідок господарської діяльності людини.

### Класифікація забруднень екосистем



Згідно з іншою класифікацією, техногенні забруднення поділяють на дві основні групи – матеріальні та енергетичні:

### Антропогенні забруднення біосфери



- 1 - загальносоматичні – призводять до отруєння всього організму (оксиди карбону, ціаністі сполуки, свинець, ртуть, арсен та його сполуки).
- 2 - подразнювальні – призводять до подразнення дихальних шляхів та слизової оболонки (хлор, аміак, сірчистий газ, фторид гідрогену, оксиди нітрогену, озон, ацетон та ін.).
- 3 - сенсibiliзувальні – діють як алергени (розчинники, лаки та ін.). канцерогенні – призводять до появи ракових пухлин (азбест, радон, оксиди хрому та ін.).
- 4 - мутагенні – зумовлюють зміну спадкової інформації (свинець, радій, уран та ін.).

До *матеріальних* належать викиди в атмосферу (газоподібні, рідкі, тверді та змішані), стічні води (умовно чисті й брудні) та тверді відходи (нетоксичні й токсичні). До *енергетичних* віднесені теплові викиди, шум, вібрація, ультразвук, електромагнітні поля, світлове, лазерне, інфрачервоне, ультрафіолетове, йонізуюче та електронне випромінювання. За ознакою взаємодії з навколишнім середовищем забруднення поділяють на стійкі, які не руйнуються впродовж тривалого часу (наприклад, пластмаси), і нестійкі, які швидко руйнуються під дією природних фізико-хімічних або біохімічних процесів.

Під *навмисними забрудненнями* розуміють цілеспрямоване знищення лісів, використання родючих земель і пасовищ під забудову, утворення внаслідок техногенної діяльності людей кар'єрів, шламонакопичувачів, териконів, мулових майданчиків, неправильне використання поверхневих і підземних вод, мінеральних та інших природних ресурсів.

*Супутнє забруднення* – це поступові зміни біосфери під впливом антропогенної діяльності (спустелювання, потепління в результаті «парникового ефекту», руйнування озонового шару, висихання боліт, озер, морів, випадання кислотних дощів тощо).

Антропогенні відходи виникають як у результаті промислової діяльності, так і споживання. Відповідно до цього їх поділяють на відходи виробництва і відходи споживання. *Відходами виробництва* вважають невикористані залишки сировини, матеріалів або напівфабрикатів, що утворилися при виготовленні продукції і повністю або частково втратили свої споживчі властивості. До них належать також продукти фізико-хімічної чи механічної переробки сировини, отримання яких не було метою виробничого процесу і які в подальшому можуть бути використані в господарстві як готова продукція після відповідної обробки або як сировина для подальшого перероблення.

Таблиця 5.1. Класифікація речовин за ступенем небезпечності (ДГСТ 12.1.007-76)

Показник токсичності (встановлений експериментально або затверджений директивним органом)	Норма класу небезпечності речовин			
	Надзвичайно небезпечні 1	Високо-небезпечні 2	Вважено небезпечні 3	Мало-небезпечні 4
ГДК робочої зони, мг/м <sup>3</sup>	<0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	>10,0
Середня смертельна доза, введення в шлунок, мг/кг	<15	15-150	151-50 000	>5000
Середня смертельна доза, наскірна, мг/кг	<100	100-500	501-2500	>2500
Середня смертельна концентрація, інгаляція, мг/м <sup>3</sup>	<500	501-50 000	5001-50 000	>50 000
Коефіцієнт можливого отруєння	<300	300-30	29-3	<3
Зона гострої дії	<6,0	6-18	18,1-54	>54
Зона хронічної дії	>10	10-5	4,9-2,5	<2,5

До *відходів споживання* відносять різні вироби, комплектувальні деталі тощо, які з тих чи інших причин не придатні для подальшого використання. Ці відходи поділяють на промислові та побутові. До перших належать металобрухт, обладнання, що вийшло з ладу, вироби технічного призначення з гуми, пластмаси, скла тощо. До побутових належать харчові відходи, зношені вироби побутового призначення (одяг, взуття та ін.), різноманітні використані вироби (пакувальні матеріали, скляна та інші види тари), побутові стічні води тощо.

Класифікацію відходів можна здійснювати за такими ознаками: за місцем утворення, можливістю переробки, агрегатним станом, токсичністю. За місцем утворення відходи поділяють на промислові, агропромислові та побутові. За можливістю переробки всі відходи можна поділити на вторинні матеріальні ресурси, які вже переробляються або переробка яких планується, і на відходи, переробка яких на даному етапі розвитку економіки недоцільна і які становлять безповоротні втрати. За агрегатним станом відходи поділяються на тверді (гравій, пісок тощо), рідкі (розчини, емульсії, суспензії тощо) та газоподібні (гази та їх суміші, водяна пара, парогазова суміш). За токсичністю відходи класифікують залежно від небезпечності отруєння на чотири класи (табл. 5.1).

## 5.2. ПРИРОДНЕ ЗАБРУДНЕННЯ БІОСФЕРИ

Ще до цього часу в науковій літературі дискутується питання про вплив глобальних катастроф на розвиток живих організмів у біосфері. Вперше на це вказав французький учений Ж. Кюв'є (XVIII ст.). Багатий фактичний матеріал, зібраний вченими, свідчить, що впродовж тривалого життя на Землі відбулися як повільні еволюційні, так і революційні зміни. Останні пояснюють катастрофічними наслідками величезних повеней та інших природних стихій. Так, відомо, що динозаври жили на Землі впродовж майже 150 млн років і становили величезну групу рептилій (травоїдних і хижих). Наприкінці крейдового періоду вони раптово зникли, не залишивши по собі нащадків. Це одне з найзагадковіших явищ природи. Вплив екологічних катастроф на великомасштабні зміни розвитку живої природи на Землі нині детально досліджують багато вчених. Ці зміни вони пояснюють внутрішніми змінами самої Землі, зумовлени її властивостями, та зовнішніми космічними. Проте як земні, так і космічні зміни тісно пов'язані між собою, і можна розглядати тільки їх спільний вплив.

На біосферу Землі значний вплив має насамперед сонячна активність. Про цей вплив уперше зазначив російський вчений О. Л. Чижевський. Численні неспростовні дані свідчать про те, що багато явищ на Землі і в біосфері тісно пов'язані з активністю Сонця. Так, різке збільшення чисельності окремих видів і популяцій («хвилі життя») – це результат зміни сонячної активності. Існує думка, що сонячна активність впливає й на деякі геологічні процеси (катастрофи, катаклізми), а також на соціальну активність людського суспільства. Зокрема, серію аномальних явищ, які мали місце в 1989 р., пов'язують з високою сонячною активністю. Упродовж 1,5-2 міс. спостерігалися землетруси на острові Ітуруп, сталися велика аварія на продуктопроводі в районі Челябінська, події в Тбілісі, затонув атомний підводний човен «Комсомолец» тощо.

На розвиток життя значний вплив має магнітне поле Землі. Магнітне поле захищає життя на планеті від йонізуючого сонячного та космічного випромінювання, яке згубно впливає на тканини та генетичний апарат організмів. Під впливом зменшення напруженості магнітного поля, як показав канадський вчений Я. Крейн, у тканинах організмів виникають необоротні зміни і розвивається безпліддя. Як засвідчують геофізики, в геологічній історії Землі неодноразово зменшувалась напруженість магнітного поля і навіть мінялися місцями північний і південний полюси. Такі інверсії відбувалися неодноразово. Більш того, нинішній магнітний стан, який називають епохою прямої полярності, триває близько 700 тис. років і напруженість магнітного поля планети поступово знижується. Якщо цей процес триватиме й надалі в такому самому темпі, то приблизно через 2 тис. років напруженість магнітного поля зменшиться до нуля і потім почне зростати в протилежному напрямку. Для живих організмів це може мати катастрофічні наслідки, пов'язані зі зміною їх властивостей та вимиранням. Різко зростає кількість мутацій.

Російські вчені В. Красовський та Й. Шкловський пояснюють причини земних катастроф спалахами наднових зірок. Суть цього явища полягає в тому, що деякі зірки раптом спалахують і починають випромінювати в мільйони разів більше світла, ніж до спалаху. Такі вибухи наднових зірок супроводжуються дуже високими дозами ультрафіолетового, рентгенівського і космічного випромінювання енергії. Якщо такі спалахи відбудуться поблизу Землі, а це ймовірно, то вони матимуть катастрофічні наслідки для живих організмів. У цьому разі різко підвищиться радіаційний фон, збільшиться число мутацій, що призведе до загибелі багатьох організмів.

Катастрофічними наслідками супроводжуються падіння на поверхню Землі метеоритів, комет, астероїдів. Свідченням таких падінь є величезні кратери (десятки й сотні кілометрів), виявлені на поверхні Землі. На території України поблизу с. Болтишка Кіровоградської області утворився кратер діаметром 25 км, а в Сибіру, в басейні р. Хатанги – ще більший (близько 100 км). Енергію вибуху, що відбувся під час зіткнення з метеоритом, оцінюють у  $10^{23}$  Дж, що в сотні тисяч разів перевищує енергію найпотужніших землетрусів, або приблизно 120 млн атомних бомб такої потужності, які було скинуто на Хіросіму. В результаті таких зіткнень утворюються величезні маси пилу, які спричиняють значні кліматичні зміни, зокрема похолодання. При зіткненні з водами океану виникають катастрофічні зливи на величезній поверхні Землі.

Останнім часом з'явилися свідчення на користь того, що масова загибель динозаврів могла спричинитися падінням на Землю одного або кількох космічних тіл. Зокрема, про це свідчить іридієва аномалія на межі крейдового та палеогенового періодів, тобто геологи виявили тонкий прошарок глини, збагаченої іридієм, кобальтом, нікелем та іншими металами, які характерні для метеоритів. Динозаври зникли внаслідок кліматичної катастрофи, спричиненої забрудненням атмосфери пилом і саженом під час пожежі і внаслідок цього різким похолоданням. На території Землі виявлено сліди багатьох таких падінь космічних тіл, що утворили величезні кратери. Зокрема, такими були Каменський (22 км) і Гусевський (4 км) кратери на Донбасі. Останнє зіткнення Землі з великим метеоритом відбулося приблизно 50 тис. років тому на території США. В результаті цього зіткнення утворився Аризонський кратер діаметром 1,2 км і завглибшки 180 м.

Величезну пожежу і вивал лісу на значній площі (кілька сотень квадратних кілометрів), що відбулися в Сибіру в 1908 р., пов'язують з вибухом невеликої комети (Тунгуський вибух). У 1968 р. побоювалися зіткнення астероїда Ікар із Землею. Та, на щастя, астероїд пройшов на відстані близько 6 млн км від нашої планети. Подібних астероїдів розміром 1 км, які можуть зіткнутися з Землею, астрономи нарахували близько 1300. Ймовірність зіткнення оцінюється як один випадок на 100 тис. років. Нині астрономи ведуть активні спостереження за рухом астероїдів, щоб запобігти катастрофічним наслідкам їх зіткнення з нашою планетою.

Інші катастрофічні події – землетруси, тайфуни, повені, буревії, виверження вулканів мають

локальний екологічний вплив і загалом не впливають на еволюцію біосфери. Вони завдають значної матеріальної шкоди навколишньому природному середовищу, призводять до загибелі багатьох представників рослинного й тваринного світу та до людських жертв. За оцінками К. Ситника, О. Брайона і А. Городецького, збитки від стихійних лих в усьому світі щороку становлять близько 30 млрд доларів, а кількість людських жертв становить близько 250 тис. чоловік. Найбільших збитків завдають повені, а найбільше людей гине від буревіїв. Зокрема, великих збитків від повені в 1998 р. зазнала Україна в Закарпатті, коли р. Тиса вийшла з берегів і затопила величезні площі, спостерігалися гірські селі та значні зсуви ґрунту. Взимку в гірських районах внаслідок снігопадів спостерігаються зсуви снігових лавин, які руйнують селища та призводять до загибелі людей і тварин, що мало місце в горах Франції, Австрії, Швейцарії та інших країн взимку 1999 р.

### 5.3. АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ БІОСФЕРИ

З початку XVIII ст. було зроблено ряд наукових відкриттів, які сприяли розвитку сучасного промислово розвиненого суспільства. Одночасно були введені в культуру нові види рослин, що підвищило ефективність землеробства та тваринництва в сільському господарстві. В другій половині XIX ст. з появою сучасної індустрії зміни стали особливо відчутними. Все в більшій кількості почали використовувати викопні мінеральні ресурси (вугілля, нафту, залізну руду та ін.).

Сучасний розвиток людського суспільства Землі характеризується надзвичайно інтенсивним зростанням чисельності населення. Так, починаючи з 1900 до 1999 р. кількість населення зросла від 1,6 до 6 млрд чоловік (див. рис. 2. 6), тобто за сторіччя збільшилася в 3,75 раза. Таким самим темпом зростали й потреби населення, про що свідчать дані табл. 5. 2.

Енергетичні потреби тільки США за останні сто років збільшилися в 70 разів. Кількість нафти, споживаної Францією, зросла з 5 млн т у 1939 р. до 100 млн т у 1970 р. Світове виробництво рідких вуглеводнів у 1971 р. перевищило 2,5 млрд т. Щоб уявити величезні розміри споживаної енергії сучасним суспільством, наведемо такий приклад: загальна маса викопного палива, яка була спалена в 1959 р., еквівалентна 5% загальної кількості сонячної енергії, яку щороку поглинають усі первинні продуценти біосфери і перетворюють її на органічні сполуки.

Упродовж 80-ти років з початку XX ст. з надр Землі було видобуто корисних копалин більше, ніж за всю попередню історію людства. Обсяги піднятих на поверхню гірських порід перевищують винос ґрунту річок у Світовий океан. Світове виробництво і споживання первинних енергоресурсів на початку 90-х років становило 10 млрд т умовного палива, що в чотири рази більше, ніж у 1971 р. Відповідно цьому зростанню відбувалася деградація біосфери. В результаті спалювання вугілля, нафти, газу та інших паливних ресурсів в атмосферу планети щороку викидається понад 22 млрд т оксиду карбону (IV) і понад 150 млн т сірчистого газу. Щороку в ріки скидається понад 160 км<sup>3</sup> забруднених стічних вод, в ґрунти вноситься сільським господарством понад 500 млн т мінеральних добрив і близько 4 млн т пестицидів. Більша частина з них осідає в ґрунтах та виноситься поверхневими водами у водойми Світового океану (ріки, озера, моря та океани).

У результаті споживання величезної кількості природних ресурсів щороку утворюється і нагромаджується значна кількість відходів господарської діяльності людей. Адже з добутих природних мінеральних ресурсів лише 2-8% використовується, а решта потрапляє у відходи.

Внаслідок такого господарювання тільки за XX ст. втрачено близько 20 % родючих земель. Випадання «кислотних дощів» стало звичним явищем, що призвело до втрати величезної площі лісів. З'явилися «діри» в озоновому шарі атмосфери. Внаслідок цього та інтенсивної хімізації сільськогосподарських угідь різко зросла захворюваність дорослого населення й дітей. Істотно скоротилася середня тривалість життя. Зменшення площі родючих земель та їх урожайності призвели до того, що велика кількість населення на земній кулі голодує. Так, у 1978 р., за даними комітету ООН з питань харчування (ФАО), від голоду померло понад 12 млн дітей віком до 5 років. У 1980 р. від нестачі продуктів харчування померло 800 млн чоловік, тобто кожний п'ятий на Землі голодував.

Таблиця 5. 2. Обсяг споживання товарів на світовому ринку

Рік	Обсяг споживання				
	нафти, млн т	чавуну, млн. т	добрив, млн т	пшениці, млн т	автомобілів, млн шт.
1900	0,025	70,0	-	69,0	-
1920	5,6	80,0	-	105,0	-
1940	20,0	95,0	31,0	140,0	5,0
1960	125,0	336,0	62,0	250,0	16,4
1980	260,0	716,0	210,0	445,0	30,0

Нечуваними темпами скорочується ресурсна база. Багато корисних копалин перебуває на межі вичерпності. Нині бездумно і марнотратно використовують багато видів різних копалин. Цей процес марнотратства можна порівняти хіба що з винищенням мамонтів нашими пращурами у далеку давнину.

Темпи винищення мамонтів були настільки інтенсивними, що приблизно за 1000 років вони повністю зникли. Якщо темпи споживання мінеральних ресурсів залишаться такими, як в останнє десятиріччя, то вони будуть вичерпані за 400-500 років. А ресурси Світового океану можуть зникнути ще раніше. Катастрофічно забруднилася біосфера антропогенними відходами. Нині важко знайти на Землі куточок, де б можна було подихати чистим повітрям і напитися чистої води.

Розвиток деградаційних процесів на Землі передбачали вже давно. Так, стародавній мислитель Ібн Сіна (Авіценна) ще тисячу років тому попереджав про згубну для природи і небезпечну для людства господарську діяльність, яка побудована тільки на безмежному споживанні. Особливо загрозливих масштабів ця діяльність набула в останні десятиліття. Прогноз фахівців Римського клубу під керівництвом Д. Медоуза, зроблений у 1972 р., застерігав про наближення глобальної екологічної кризи, наслідком якої може бути незворотна деградація природного середовища, тобто катастрофа.

Як бачимо, основними джерелами антропогенного забруднення навколишнього природного середовища є промисловість, сільське та комунальне господарство. Серед забруднювальних промислових об'єктів найбільший внесок роблять підприємства енергетичної галузі (ТЕС, ГРЕС, АЕС, котельні), промислові об'єкти металургійної, нафтопереробної, хімічної та целюлозно-паперової промисловості, а також цементні та інші заводи будівельної індустрії. Великими забрудниками довкілля є військово-промисловий комплекс, гірничозбагачувальна промисловість та автомобільний, повітряний, морський, річковий і залізничний види транспорту.

Енергетика, металургійна промисловість та автотранспорт створюють близько 85 % усього обсягу забруднень. Металургійна промисловість України зумовлює близько 35 % усіх забруднень атмосфери і природних вод. У результаті спалювання викопного палива, зокрема вугілля, утворюються різні шкідливі для здоров'я речовини – діоксин, хлорвуглеводні та різні похідні вуглеводнів, що мають канцерогенні та мутагенні властивості. Величезні площі родючих земель займають шламосховища, звалища, терикони та відвали породи.

Близько 85 % забрудників повітря викидають над промисловими районами, 10-15 % - над містами, 1-2 % – над сільською місцевістю і 0,1 % – над Світовим океаном. У великих містах на кожному квадратному кілометрі за добу осідає 1,5 т пилу. Найбільш забрудненими містами України є Київ, Дніпропетровськ, Донецьк, Дніпродзержинськ, Одеса, Харків та інші промислово розвинені міста. Найбільшим забрудником міського повітря є автомобільний транспорт, на частку якого припадає 40 % усіх забруднень. За рік автомобіль споживає понад 1 млн т кисню, якого вистачило б для дихання 30 млн чоловік. В атмосферне повітря міста потрапляє оксид сульфуру IV, оксиди карбону (II) і (IV), оксиди нітрогену, гідрогенсульфід, сірковуглець, діоксини, фенол, формальдегід, хлор, аміак, сульфати, важкі метали, бензпирен, пил та інші шкідливі речовини.

За кількістю промислових забруднень на душу населення Україна посідає одне з перших місць у Європі. Щорічний обсяг шкідливих речовин, які потрапляють на один квадратний кілометр площі України, у 6,5 раза вищий, ніж у США, і в 3,2 раза – ніж у країнах Європи. Це є наслідком нераціональної структури господарювання і недосконалих технологій. У країні переважають енерго- та матеріалоємні технології, що характеризуються значними обсягами забруднень. Зонами екологічного лиха оголошено понад 15 % території країни. В ній функціонує 1700 шкідливих виробництв, у тому числі 5 АЕС. Близько 1000 хімічних підприємств є особливо небезпечними. Виявлено багато районів, де повітря, води і ґрунти дуже забруднені нафтопродуктами (нафтобази, аеродроми, нафтосховища, нафтопереробні заводи, автопарки, автозаправки, нафтові свердловини тощо). Значну кількість забруднювальних речовин викидає транспорт, особливо автомобільний. При спалюванні одного кілограма етильованого бензину в атмосферу викидається близько 1 г свинцю (ГДК його в повітрі становить 0,0007 мг/м<sup>3</sup>). Кожний автомобіль за рік споживає з атмосфери 4350 кг кисню і викидає в неї 3250 кг оксиду карбону (IV), 530 кг високотоксичного оксиду карбону (II) CO, 93 кг вуглеводнів, 27 кг оксидів нітрогену і близько 1 кг свинцю. Нині в світі налічується близько 500 млн автомобілів.

Найпоширенішими газовими забрудниками є сірчистий газ, оксиди нітрогену, бензпирен, аміак та інші речовини. У вигляді твердих часточок у димах містяться вугілля, попіл, сульфати та сульфідні металів (заліза, міді, цинку, свинцю), кремнезем, хлориди, сполуки кальцію, натрію, фосфору, а також пара у вигляді туману сульфатної та нітратної кислот, ртуті, фенолу тощо. До забрудників довкілля належать також різні шуми від виробництв і транспорту та йонізуюче випромінювання, вібрації, електромагнітне випромінювання, світло-теплові впливи тощо.

До значних забрудників довкілля належить комунально-житлове господарство. Щорічний обсяг побутового сміття в Україні становить близько 40 млн м<sup>3</sup>, яке знищується на 656 міських звалищах площею 2650 га та на 4 сміттєспалювальних заводах. У 2000 р. накопичення сміття наблизилось до 1,5-1,9 м<sup>3</sup> на душу населення за рік. Майже 80 % звалищ експлуатується без допоміжних засобів проти забруднення води та атмосфери. Внаслідок значної забрудненості довкілля України виникають різні епідемії хвороб (туберкульоз, гепатит та ін.), зменшилася середня тривалість життя населення до 62 років, тоді як у США, Японії та Швейцарії вона становить 75-79 років. У країні значно збільшилась смертність населення, яка, починаючи з 1992 р., перевищила народжуваність. Упродовж останніх 7 років чисельність населення зменшилась на 2 млн і поступово зменшується далі. Забруднення навколишнього середовища спричинює загибель лісів, парків, рослинного й тваринного світу. Забруднення повітря згубно впливає на будівлі, пам'ятки культури, водойми і ґрунти, спричинює корозію металів.

Небезпека сучасної екологічної ситуації полягає в тому, що порушуються численні механізми гомеостазу, якщо не в біосфері, то у великих екосистемах, наслідком яких є регіональні кризи. В стадію глобальної кризи біосфера, на щастя, поки що не вступила. Проте окремі великі збурення вона вже

гасити не в змозі. Наслідком цього є або розпад екосистеми (збільшуються площі спустошених земель), або поява нестійких агроценозів чи урбанізованих (міських) комплексів. Нині першочерговим і невідкладним завданням є недопущення глобальної кризи і катастрофи та колапсу (повного й незворотного розпаду системи), які настануть слідом за нею.

#### 5.4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАБРУДНИКІВ

Схарактеризуємо найпоширеніші забруднювальні речовини.

*Оксид карбону (II)* CO, або чадний газ, – не має кольору та запаху і є одним з найпоширеніших забрудників повітря. Він утворюється при неповному згорянні палива за реакцією:  $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ . За концентрації в повітрі більш як 1 % він негативно впливає на рослини, тварин і людину, понад 4 % – спричинює смерть. Токсичність чадного газу полягає в тому, що, потрапляючи в кров, він позбавляє еритроцити (червоні кров'яні тільця) здатності транспортувати кисень, настає кисневе голодування, задуха, запаморочення і навіть смерть. Він спричинює розлад серцево-судинної системи, а також сприяє розвитку атеросклерозу.

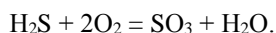
*Оксиди нітрогену* NO<sub>x</sub> (N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) для людини значно небезпечніші, ніж оксид карбону (II). Вони утворюються внаслідок недосконалої технології спалювання палива та в процесі виплавлення металів. Тому їх багато в районах ТЕС, котельень, металургійних і хімічних заводів. У повітря викидаються переважно підприємствами, що виробляють нітратну кислоту, целулойд, анілінові фарби та віскозний шовк. Сполучаючись з водою в дихальних шляхах, вони утворюють нітратну й нітритну кислоти, які спричинюють сильні подразнення слизових оболонок і тяжкі захворювання. Вони поглинаються листям рослин, які втрачають після цього кормові якості і хворіють.

*Токсичні вуглеводні* (парафіни, нафтени, ароматичні вуглеводні, бензпірен та ін.) – пара неповного згорання палива, що викидається з двигунів внутрішнього згорання. Надзвичайно шкідливими є ненасичені (олефінові) вуглеводні, що становлять 35 % загальної кількості вуглеводневих викидів. Нині вчені встановили наявність у вихлопних автомобільних газах понад 200 сполук, найшкідливішими серед яких є бензпірен, оксиди нітрогену, альдегіди, сполуки плюмбуму й ртуті. Вуглеводневі сполуки спричинюють утворення смогу – фотохімічного туману у великих містах (Лондон, Токіо, Мехіко, Мілан, Нью-Йорк та ін.). Це явище загрожує і нашим індустріальним містам з великими обсягами автотранспорту (Київ, Дніпропетровськ, Донецьк, Харків, Одеса, Сімферополь, Запоріжжя та ін.). Сприятливими умовами виникнення смогу є літні сонячні безвітряні дні.

*Сірчаний ангідрид* SO<sub>3</sub> утворюється внаслідок окиснення сірчастого ангідриду в атмосфері під час фотохімічних і каталітичних реакцій і є аерозолем або розчином сульфатної кислоти в дощовій воді. Сульфатна кислота підкиснює ґрунти, посилює корозію металів, руйнування гуми, мармуру, вапняків, доломітів. Вона загострює захворювання легеневої системи та дихальних шляхів людини й тварин. Сірчаний ангідрид поширений у районах хімічної, нафтохімічної та металургійної промисловості, ТЕС, котельень, коксохімічних і цементних заводів. Сірчаний ангідрид дуже шкідливий і для рослин, оскільки легко ними засвоюється і порушує їх життєдіяльність.

*Сірчастий ангідрид* SO<sub>2</sub>, або сірчаний газ, виділяється під час згорання палива з домішками сірки (вугілля, нафти, природного газу), переробки сірчанних руд, горіння териконів, виплавлення кольорових металів. За високих його концентрацій у рослинах швидко зникає хлорофіл, клітини розриваються і спостерігається некроз тканин, які набувають коричневого кольору. Найчутливіші види рослин, такі як люцерна, соя та ячмінь, виявляють симптоми пошкодження вже за концентрацій сірчастого ангідриду порядку 0,3-0,5 млн<sup>-1</sup> при тривалості дії не менш як 2-3 год. У разі інтенсивнішого впливу сірчаного газу може спостерігатися майже повний некроз молодих голів хвойних дерев, їх повне обпадання. Оксид сульфуру (IV) та інші його сполуки подразнюють слизову оболонку очей і дихальних шляхів. Тривала дія малих концентрацій цього газу призводить до виникнення хронічного гастриту, гепатопатії, бронхіту, ларингіту та інших хвороб. Є відомості про зв'язок між вмістом сірчаного газу в повітрі та рівнем смертності від раку легенів.

*Гідрогенсульфід* H<sub>2</sub>S і *карбондисульфід* CS<sub>2</sub> викидаються в повітря окремо або разом з іншими сульфуровмісними сполуками підприємствами, що виготовляють штучне волокно, цукор, а також нафтопереробними й коксохімічними заводами. Характерною ознакою цих забрудників є різкий, неприємний, подразливий запах і висока токсичність (вони в 100 разів токсичніші за сірчаний газ). В атмосфері гідрогенсульфід повільно окиснюється до сірчаного ангідриду:



Гідрогенсульфід утворюється в природі в результаті діяльності вулканів та сульфатредуючих бактерій. Дія останніх спостерігається в місцях з нестачею кисню – донні відклади річок, боліт, озер і морів, у портах і районах стоку забруднених вод із суші, в каналізаційних мережах міст. Сульфатредуючі бактерії відщеплюють кисень від молекул сульфатної кислоти та її сполук, що містяться в стоках та застійних водах, і виділяють гідрогенсульфід. Якщо останній утворює чорні сульфідні сполуки, то він не шкідливий. Вільний гідрогенсульфід дуже небезпечний. Він має різкий запах тухлих яєць і густину 1,19 г/дм<sup>3</sup>, добре розчиняється у воді. Цей газ легко поглинається слизовими оболонками очей, носа, дихальних шляхів. У значних кількостях він дуже подразнює ці органи, роз'їдає їх, призводить до запалення трахеї, бронхів, легенів і навіть до смерті. Внаслідок тривалої дії незначних концентрацій гідрогенсульфиду виникають подразнення шкіри, сип, фурункули. Одне-два вдихання газу високих концентрацій викликає параліч органів дихання та смерть. Карбондисульфід впливає на нервову

систему, викликаючи явище гострої інтоксикації, а також розвиток атеросклерозу.

*Сполуки хлору* поширюються в повітрі навколо хімічних заводів, що виробляють хлоридну кислоту, пестициди, цемент, суперфосфат, оцет, гідролізний спирт, хлорне вапно, соду тощо. У великих кількостях вони дуже шкідливі для рослин, тварин і людини. В атмосфері ці сполуки перебувають у вигляді молекулярного хлору та хлориду гідрогену; 84 % сумарної кількості сполук хлору в атмосфері сконцентровано в районах, де сильно розвинена промисловість. Вільний хлор та його сполуки діють на органи нюху, світлову чутливість очей, порушують ритм дихання.

*Сполуки флуору* характерні для районів, де діють підприємства, що виробляють алюміній, емаль, скло, кераміку, фарфор, сталь, фосфорні добрива. В повітрі вони містяться у вигляді газоподібних HF або пиловатих часточок флюориту. Сполуки флуору надзвичайно токсичні. До нього дуже чутливі комахи. Надлишки фтору (накопичуються в рослинах, а через рослинний корм – в організмі тварин) призводять до швидкого псування зубів, кісток, зниження діяльності молочних залоз, некрозу нирок, ушкодження кишківника. Сполуки флуору викликають різке подразнення шкіри і слизових оболонок. Тривала їх дія може призвести до носових кровотеч, нежиті, кашлю, пневмосклеротичних змін у легенях.

Великої шкоди навколишньому природному середовищу завдають *важкі метали* – мідь, нікель, свинець, кадмій, ртуть та ін. *Свинець* може міститися в ґрунтах, воді й повітрі. У великих містах у дощових водах і снігу вміст свинцю сягає 250-350 мкг/л. Головним джерелом його надходження в природне середовище є автотранспорт. Свинець у вигляді аерозольних часточок викидається з вихлопними газами, які утворюються в двигунах внутрішнього згоряння при використанні етильованого бензину. В складі останнього як антидетонатор використовують тетраетилсвинець. Сполуки плюмбуму, які дуже шкодять здоров'ю людини, містяться також у свинцевих фарбах, свинцевих покриттях водогінних труб, різних прокладках, ізоляціях електрокабелів тощо.

Наявність незначної кількості свинцю в організмі призводить до тяжких захворювань, зниження інтелектуального розвитку, перезбудження, розвитку агресивності, неухабної глухоти, безпліддя, затримки росту, порушень вестибулярного апарату тощо. Навіть незначні домішки свинцю в повітрі, воді чи їжі шкодять нервовій та кровоносній системам дітей. У промислово розвинених країнах (Японії, США, Англії, Франції, Швеції та Німеччині) було прийнято рішення і припинено виробництво етильованого бензину та свинцевих фарб. Таке саме рішення прийняла незалежна Україна.

У середньому в організмі людини міститься 120 мкг свинцю, розподіленого у всіх органах, тканинах і кістках. З м'яких тканин свинець поступово виводиться, а з кісток скелета – дуже повільно (десятьки років). Органічні сполуки плюмбуму надходять в організм людини через шкіру, слизові оболонки, з водою та їжею, а неорганічні – переважно через дихальні шляхи. Нині мешканець великого міста щодня вдихає з повітрям та поглинає з їжею до 45 мкг свинцю, з яких у його організмі затримується до 16 мкг. Цей свинець проникає в кров і розподіляється в кістках (90 %), печінці та нирках. Іноді загальна його кількість в організмі досягає 0,5 г і більше, що значно перевищує ГДК в крові (50-100 мкг/100 мл).

Людина є однією з останніх ланок ланцюга живлення. А в межах цього ланцюга концентрація свинцю від ланки до ланки зростає: у донних водоростях, які поглинають свинець із забруднених вод, його концентрація підвищується в 700 разів, у фітопланктоні – в 4000, у зоопланктоні – в 3000, у молюсках – у 4000 разів.

*Кадмій* є досить отруйною речовиною, незначні концентрації якої призводять до серйозних захворювань нервової системи, кісткових тканин, а тривала дія – навіть до смерті. Його ГДК становить 0,001 мг/л. Тяжке кісткове захворювання, відоме в Японії як «ітай-ітай», спричинене хронічним отруєнням кадмієм, що містився в рисі. Рис накопичував цю речовину внаслідок забруднення відходами гірничодобувної промисловості, розміщеної поблизу полів. У цих районах щодня в організм потрапляло до 600 мкг кадмію. В США нині в організмі дорослої людини потрапляє за добу 50-60 мкг кадмію, в Швеції – 15-20, у Японії – до 80 мкг. Основна маса кадмію виводиться з організму досить швидко, адсорбується лише близько 2 мкг за добу.

Виявлено, що в природне середовище кадмій надходить переважно в результаті антропогенної діяльності – під час видобутку та переробки деяких металонесних корисних копалин, згоряння деяких видів палива, спалювання побутових відходів на звалищах, а також з промисловими стічними водами. Потрапляючи в ріки, кадмій далі виноситься в море, де накопичується в морських рослинах, планктоні, кістках риб. До речі, морські фосфорити, як і добрива, які з них виготовляють, містять підвищену кількість кадмію, а це призводить до його накопичення в ґрунтах.

*Ртуть* – дуже отруйна речовина. Особливо токсичними є органічні сполуки ртуті: метилмеркурій, етилмеркурій тощо. Потрапляючи в організм, вона циркулює з кров'ю і, з'єднуючись з білками, частково відкладається в печінці, селезінці та тканинах мозку. Особливо небезпечні сполуки ртуті для немовлят. Характерні ознаки ртутного отруєння – поява на краях ясен синьо-чорної смуги, зниження працездатності, поганий сон, послаблення нюху, головний біль, тремтіння пальців. Ртуть, що потрапила в організм внаслідок разового отруєння, виводиться сечогінними засобами дуже повільно – впродовж трьох-чотирьох місяців.

Вплив *пилу*, що викидається в атмосферу, на організм людини пов'язаний з його дисперсністю. Дрібні часточки проникають у дихальні шляхи і подразнюють слизові оболонки. Тривала дія дуже дрібного пилу може призвести до закупорювання пор і зниження потовиділення. У людей, які постійно мешкають в умовах запиленої місцевості, спостерігаються фіброзні зміни в легенях. Пил, що містить отруйні речовини (арсен, ртуть, свинець), призводить до отруєння. Азбестовий пил здатний спричинювати фіброз легень. Крім того, він посилює шкідливу дію оксиду сульфуру (IV). Деякі метали віднесені до речовин, що зумовлюють ракові захворювання, зокрема арсен і хром. Отруєння селеном зазвичай



закінчується смертю.

*Вуглеводні* подразнюють дихальні шляхи, з'являється нудота, запаморочення, сонливість, розлад дихання й кровообігу. Деякі вуглеводні є канцерогенами.

Дуже небезпечними для здоров'я людини є *радіонукліди*. Постійна дія радіоактивних речовин навіть у малих дозах порушує нервову діяльність, функції статевих залоз, травного каналу, органів дихання, викликає розлад у роботі надниркових залоз, гіпофіза й щитоподібної залози, змінює склад крові і порушує діяльність серцево-судинної системи, а в деяких випадках виникає і канцерогенний ефект.

## 5.5. ФІЗИЧНІ ЗАБРУДНЕННЯ БІОСФЕРИ

Біосфера зазнає різноманітних фізичних забруднень: теплових, шумових, світлових, вібраційних, інфразвукових, електромагнітних та йонізуючих.

Шумове забруднення. Під *шумом* розуміють усі неприємні та небажані звуки або їх сукупність, які заважають нормально працювати, сприймати потрібні звукові сигнали, відпочивати і призводять до різних порушень екосистеми. Шуми негативно впливають на здоров'я людей, знижують їх працездатність, призводять до захворювань серцево-судинної (гіпертонія), нервової та ендокринної систем та органів слуху. Вони можуть також істотно впливати на життєдіяльність біоценозів різних екосистем.

Рівень звукового тиску шумів вимірюють белами (Б) і децибелами (дБ). Це умовні одиниці характеристики сили звуку, які показують, наскільки звук (шум) у логарифмічних відносних величинах вищий за поріг слухового сприйняття людини. Звичайна розмова ведеться в межах інтенсивності звуку 30-60 дБ, що відповідає частоті 250-10000 Гц (герц). Допустимі межі сили звуку становлять 45-85 дБ, больовий поріг – 140 дБ. У разі постійного шуму силою 70 дБ виникає розлад ендокринної та нервової систем, 90 дБ- порушується слух, 120 дБ- з'являється нестерпний фізичний біль. В середині приміщень різного призначення рекомендують діапазони шумів: для сну, відпочинку – 30-45 дБ; для виробничих приміщень – 56-70 дБ.

Гранично допустимі норми шуму залежать від частоти звуку. Низькочастотні шуми за рівня до 100 дБ не завдають особливої шкоди слуху. Проте високочастотні є небезпечними при рівнях понад 75-80 дБ. Джерелами шумів є транспорт, промислові об'єкти, гучномовні пристрої, ліфти, телевізори, музичні інструменти тощо. Потужними джерелами шумів, які негативно впливають на здоров'я людей, є потужна електроакустична апаратура та рок-ансамблі. В концертних залах, де вони виступають, інтенсивність звуку досягає 120 дБ. Для порівняння наведемо кілька прикладів інтенсивності шумів: цокання годинника – близько 30, шелест листя і тихий шепіт на відстані 1 м – 10-15 дБ, рух вагона метро і вантажної машини – 90-95, поїзда – 95-100, робота телевізора – 80-95, літака в повітрі – 105 дБ. Європейська економічна комісія ООН визначила максимально допустимі рівні шуму: для легкових автомобілів – 80 дБ, автобусів і вантажних машин – 81-88 дБ. З метою запобігання шкідливому впливу шумів на здоров'я людей створюють шумовловлювальні екрани, поглинальні фільтри та різні пристрої. Радикально дії шумів можна запобігти шляхом використання безшумних механізмів.

**Теплове забруднення** є наслідком теплових викидів переважної більшості промислових підприємств, устаткування і машин, що використовують процеси горіння, нагрівання, вибуху, теплові агрегати тощо. Теплові агрегати мають невисокий тепловий ККД і викидають в атмосферу значну кількість теплоти. На теплових електростанціях щороку втрачається  $42 \cdot 10^{12}$  кДж. Значна кількість електроенергії, яку споживають різні прилади, у вигляді теплових втрат розсіюється в навколишній простір. Багато теплоти надходить у довкілля від опалювальних систем, теплотрас, транспортних засобів, систем охолодження та інших джерел. Нині, поки що вся розсіювана теплота значно менша, ніж та, що надходить з природних джерел, і не чинить істотного впливу на тепловий баланс планети. Проте вона може мати суттєвий вплив на окремі екосистеми у разі значних промислових викидів теплоти. Верхня межа витривалості організмів стосовно температурного фактора не перевищує 40-45 °С. Оптимум становить 15-30 °С. Окремі види бактерій і водоростей можуть жити і розмножуватися за температури 80-88 °С. Підвищення температури води у ставках-охолодниках потужних теплових електростанцій до 36 °С істотно зменшує біопродуктивність і може завдати значної шкоди існуючим біоценозам.

**Вібрації** – це тремтіння або струс усього тіла людини чи окремих його частин під час виконання різних робіт (роботи в шахтах з відбійним молотком, розпилювання матеріалів, бетоноукладання, пневмоподрібнення тощо). Тривалі вібрації призводять до сильної втоми і значних порушень багатьох функцій організму: струсу мозку, деформації м'язів, розриву тканин, порушення діяльності нервової, серцево-судинної систем, кровообігу, чутливості шкіри тощо. Розрізняють локальну та загальну вібрації. Допустимі норми вібраційних навантажень становлять 2- 2000 Гц, для коливальних рухів – від 0,45-1,12 до 4 см/с. Рівень коливань шуму при зазначених параметрах змінюється від 99 до 120 дБ. Для зменшення негативного впливу вібрації використовують віброізоляцію, прокладки, килимки, вібродемпфірування, пружинні основи й опори та інші пристрої.

Деякі види техніки створюють **електромагнітні поля**, які в окремих районах у сотні разів перевищують середній природний фон. Головними джерелами електромагнітного випромінювання є радіотелевізійні та радіолокаційні станції, засоби радіозв'язку, високовольтні лінії електропередачі (ЛЕП), електростанції й трансформаторні підстанції, а також лінії електротранспорту. Рівень електромагнітних випромінювань у цих місцях змінюється в межах від 50-100 до 300 Гц і значно перевищує допустимі гігієнічні норми. Значення електромагнітного поля поблизу потужних ЛЕП (понад 1000 кВ) перевищує норму в 20 разів. Мірою забруднення електромагнітними полями є напруженість

поля, одиницею якої є вольт на метр (В/м). Ці поля негативно впливають на нервову систему. Поле напруженістю 1000 В/м спричинює головний біль і сильну втому, більших значень – неврози, безсоння, імпотенцію та інші тяжкі захворювання.

Особливо небезпечним забрудником природного середовища є **йонізуюче випромінювання**, зокрема радіація. Радіонукліди, потрапляючи з їжею, водою або повітрям в організм, руйнують його клітини і тканини, органи і гени. Одиницею еквівалентної дози випромінювання є зіверт. *Зіверт* дорівнює дозі будь-якого виду йонізуючого випромінювання, що чинить таку саму біологічну дію, як і доза рентгенівського чи гамма-випромінювання в 1 Гр (грей). *Грей* – одиниця поглинутої дози випромінювання; 1 Гр дорівнює поглинутій дозі випромінювання, за якої опроміненої речовини масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання 1 Дж.

Розрізняють природну та штучну радіацію. Природними є випромінювання Сонця, космічне випромінювання, а також випромінювання внаслідок радіоактивного розпаду мінералів у надрах Землі. Інтенсивність цього випромінювання залежить від висоти над рівнем моря та географічного положення.

Джерелами штучної радіації є медичні рентгенівські установки, ядерна медицина, атомні електростанції, відеотермінали, деякі будівельні матеріали, випробування ядерної зброї. Постійний викид радіоактивних частинок відбувається з димами ТЕС, які спалюють вугілля, під час видобутку радіоактивної сировини, її обробки й транспортування, захоронення радіоактивних відходів, проведення досліджень в інститутах атомно-енергетичного профілю. В стратосфері радіоактивні речовини можуть знаходитись протягом 3-4 років, у тропосфері – кілька місяців, випадаючи на поверхню Землі з атмосферними опадами.

Біологічний ефект радіації зумовлений взаємодією енергії з речовиною, наслідком чого є канцерогенез, або розвиток раку. В процесі радіоактивного розпаду утворюються також вільні радикали, які руйнують живі клітини й тканини організму людини. Зміна структури може бути настільки значною, що її відновлення стає неможливим. Зміна генетичного коду клітини організму, яку називають *мутацією*, може привести до розвитку раку.

Дуже небезпечною для організму є наявність вільних радикалів, які мають високу хімічну активність. Утворення вільних радикалів відбувається під дією йонізуючого випромінювання. Цей процес особливо прискорюється під дією хімічних забрудників. В організмі вільні радикали можуть руйнувати клітини і порушувати їх генетичний код. Таким чином, біологічні ефекти радіації скорочують тривалість життя, спричинюючи захворювання на рак, лейкемію, призводять до серцево-судинних захворювань, а також до зменшення опірності організму різним інфекціям. Особливо чутливі до дії радіації діти та люди зі слабким здоров'ям.

## 5.6. НОРМУВАННЯ І МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАБРУДНЕННЯ

Ефективним методом зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище та забезпечення екологічної безпеки біосфери є застосування в господарській діяльності безвідходних технологій з повним використанням усіх компонентів сировини. Однак нинішній рівень розвитку техніки не дає змоги розробити подібні технології, а тому поки що основним напрямом охорони довкілля є нормування кількості викидів, стоків та відходів і контроль за ними. В основі нормування лежить установлення *гранично допустимих концентрацій* (ГДК) шкідливих речовин (полютантів) в атмосферному повітрі, воді й ґрунті та харчових продуктах. При встановленні ГДК приймають найнижчий рівень забруднення, який ґрунтується на санітарно-гігієнічних нормах. *ГДК полютанта* – це такий його максимальний вміст у природному середовищі (воді, повітрі, ґрунті) або продукті, який не знижує працездатності та самопочуття людини, не шкодить її здоров'ю в разі постійного контакту, а також не викликає небажаних (негативних) наслідків у нащадків.

Для визначення ГДК використовують високочутливі тести, пов'язані зі зміною світлової чутливості ока, потенціалів мозку тощо. Вони дають змогу виявити мінімальні впливи токсичних речовин на організм людини навіть у разі короткочасної їх дії. Для виявлення тривалого впливу токсичних речовин проводять лабораторні дослідження на тваринах у спеціально обладнаних камерах із застосуванням різних тестів. Під час визначення ГДК враховують дію забрудників не лише на здоров'я людини, а й на диких і свійських тварин, рослини, гриби, мікроорганізми та біоценози загалом. Використовують також матеріали епідеміологічних досліджень. До визначеного порогу впливу додають коефіцієнти запасу. ГДК виражають у міліграмах на метр кубічний (мг/м<sup>3</sup>) – у повітрі, на дециметр кубічний (мг/дм<sup>3</sup>) – у воді та в міліграмах на кілограм (мг/кг) – у ґрунті та продуктах харчування.

Для кожного середовища визначено різні види ГДК. Для повітряного середовища: ГДК<sub>РЗ</sub> – робочої зони, за яку вважають простір заввишки до 2 м над підлогою, де знаходяться робітники (рівень вдихання); ГДК<sub>МР</sub> – максимальна разова, при вдиханні впродовж 20 хв не повинна спричинювати негативних наслідків в організмі людини; ГДК<sub>СД</sub> – середньодобова, не повинна негативно впливати в разі необмежено тривалого (впродовж років) вдихання. Для водного середовища: ГДК<sub>В</sub> – у воді господарсько-питного й культурно-побутового призначення; ГДК<sub>ВР</sub> – у водоймах рибогосподарського водокористування. Для ґрунту: ГДК<sub>ГР</sub> – в орному шарі ґрунту, не повинна негативно впливати не тільки на здоров'я людини, а й на самоочисну здатність ґрунту. Для продуктів харчування – ГДК<sub>ПР</sub>, або інакше *допустима залишкова кількість* (ДЗК) речовини, що не чинить шкідливого впливу на здоров'я людини.

У разі наявності в повітрі чи воді кількох домашок враховують їх сумарну шкідливу дію за формулою

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

де  $C_1, C_2 \dots C_n$  – концентрації забрудників,  $\text{мг/м}^3$ ;  $\text{ГДК}_1, \text{ГДК}_2, \dots, \text{ГДК}_n$  – ГДК забрудників,  $\text{мг/м}^3$ .

Дуже шкідливою є дія таких поллютантів, як сірчистий газ, оксид нітрогену (IV), сульфатна кислота, фторид гідрогену, фенол та аерозолі. Тому в разі їх спільної наявності визначають сумарний вплив цих забрудників.

Встановлено національний стандарт (ГДК) для найпоширеніших забрудників. Значення ГДК одних і тих самих поллютантів для різних середовищ різняться. Неоднакові також максимальні разові й середньодобові ГДК одних і тих самих поллютантів. Так,  $\text{ГДК}_{\text{М.Р}}$  сірчистого газу становить –  $0,5 \text{ мг/м}^3$ , а  $\text{ГДК}_{\text{С.Д}}$  –  $0,05$ ; ГДК пари фториду гідрогену – відповідно  $0,02$  і  $0,005$ , аміаку –  $0,2$  і  $0,004 \text{ мг/м}^3$ .

Для нормування різних викидів в атмосферу і скидів у водойму забруднювальних речовин запропоновано ще один норматив - гранично допустимий викид в атмосферу (ГДВ) або гранично допустимий скид у водойму (ГДС). *Гранично допустимі викиди* – це кількість шкідливих речовин, яка не повинна перевищуватися під час викиду в повітря за одиницю часу, щоб концентрація забрудників повітря на межі санітарної зони не була вищою від ГДК. Встановлюють ГДВ на основі розрахунку розсіювання домішок в атмосфері.

*Санітарно-захисні зони (СЗЗ)* – це ділянки землі навколо підприємств, що відокремлюють їх від житлових масивів з метою зменшення шкідливого впливу цих підприємств на здоров'я людини. Їх розташовують з підвітряного боку підприємств і засаджують пилистійкими деревами та чагарниками, що мають бактерицидні властивості (береза, біла акація, грецький горіх, дуб, канадська тополя, сосна, смерека, бузина, смородина та ін.).

Згідно із санітарними нормами проектування промислових підприємств, виділяють 5 класів промислових об'єктів із СЗЗ завширшки від 50 м до 3000 м з урахуванням ступеня забруднення повітря поблизу виробництва. Перший клас поділяють на підкласи 1А з СЗЗ завширшки 3000 м та 1Б – 1000 м. До першого класу А з СЗЗ завширшки 3000 м відносять особливо небезпечні об'єкти (АЕС та ін.). До першого класу Б з СЗЗ завширшки 1000 м належать хімічні, нафтопереробні, паперово-целюлозні та металургійні заводи й підприємства, що займаються випалюванням коксу, вторинною переробкою кольорових металів, видобутком нафти, природного газу та кам'яного вугілля. До другого класу із СЗЗ завширшки 500 м належать цементні, гіпсові, вапнякові та азбестові заводи і підприємства, що виробляють свинцеві акумулятори, пластичні маси, видобувають горючі сланці, кам'яне, буре та інше вугілля. До третього класу із СЗЗ завширшки 300 м належать підприємства з виробництва скловати, керамзиту, толю й руберойду, вугільних виробів для електропромисловості, різних лаків та оліфи, ТЕЦ, заводи залізобетонних виробів, асфальтобетонні, кабельні заводи тощо. До четвертого класу СЗЗ завширшки 100 м відносять підприємства металообробної промисловості, машинобудівні заводи, електропромисловість з невеликими ливарними цехами, виробництва неізолюваного кабелю, котлів, цегли, металевих електродів, будівельних матеріалів з відходів ТЕС. До п'ятого класу із СЗЗ завширшки 50 м включено підприємства легкої промисловості, металообробної промисловості з термічною обробкою без ливарних цехів, виробництва лужних акумуляторів, приладів для електротехнічної промисловості без застосування ртуті й лиття, друкарні, виробництва харчової промисловості, пункти очищення й промивання цистерн, виробництво стиснутих і зріджених продуктів розділення повітря.

## 5.7. ЕКОЛОГІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

Для оцінки рівня забруднення навколишнього природного середовища крім гранично допустимих концентрацій використовують ще такий критерій, як *гранично допустиме екологічне навантаження* (ГДЕН) та техногенне навантаження на природні об'єкти. Техногенне навантаження характеризується *модулем техногенного навантаження*, під яким розуміють обсяг стічних вод та твердих відходів промислових і комунальних об'єктів, рознесених по адміністративних одиницях (областях), що вимірюються в тисячах тонн на квадратний кілометр за рік.

Для Київської області максимальний модуль техногенного навантаження становить  $1000 \text{ тис. т/км}^2$  за рік. До техногенно напружених належать також Донецька, Дніпропетровська і Запорізька області, які мають модуль техногенного навантаження  $100\text{-}1000 \text{ тис. т/км}^2$  за рік. Середні показники модуля техногенного навантаження ( $10\text{-}50$  і  $50\text{-}100 \text{ тис. т/км}^2$  за рік) мають Львівська, Івано-Франківська, Хмельницька, Вінницька, Одеська, Черкаська, Полтавська, Харківська, Луганська і Херсонська області та Автономна Республіка Крим. Мінімальне техногенне навантаження ( $1\text{-}10 \text{ тис. т/км}^2$  за рік) спостерігається для Волинської, Рівненської, Житомирської, Чернівецької, Тернопільської й Закарпатської областей.

Що стосується визначення ГДЕН, то на сьогодні в науковій і технічній літературі його поки що не існує і не розроблені методики його нормування. Недоліком показника «модуль техногенного навантаження» є те, що в ньому не враховуються газоподібні викиди в атмосферне повітря, які спричинюють значні забруднення середовища. Тому *модуль техногенного навантаження* (МТН) доцільно визначити як об'єм поллютантів у газових викидах в атмосферне повітря, у стічних водах, що скидаються у водойми, та в неутилізованих твердих відходах антропогенної діяльності, який вимірюється в  $\text{тис. т/км}^2$  на рік.

Для оцінки екологічної ситуації під час складання екологічних карт користуються показником екологічного навантаження, рівнем техногенного навантаження. За ступенем гостроти виділяють п'ять видів екологічних ситуацій (В. М. Котляков, Б. І. Кочуров та ін., 1990): катастрофічні, критичні (кризові), напружені, задовільні, умовно сприятливі. *Катастрофічні* характеризуються глибокими й незворотними змінами природи, втратою природних ресурсів і різким погіршенням умов проживання населення. При

цьому істотно погіршується стан здоров'я населення, втрачаються генофонд біоти та унікальні природні об'єкти.

У разі *критичних (кризових) ситуацій* виникають значні зміни ландшафтів, наростає загроза втрати ресурсів та унікальних природних об'єктів і значно погіршуються умови проживання населення. Після припинення антропогенного впливу можлива нормалізація екологічної ситуації та часткове відновлення ландшафтів. При *напружених ситуаціях* спостерігаються негативні зміни окремих компонентів ландшафтів, деякі порушення природних ресурсів та умов проживання населення. *Задовільна ситуація* характеризується незначними змінами ландшафтів, що мало впливають на здоров'я людей. Вона зникає в результаті процесів саморегуляції природного комплексу або вжиття природоохоронних заходів. *Умовно сприятливі ситуації* формуються в ландшафтах, які мало зазнавали антропогенної дії або впливу екстремальних природних процесів.

У «Методичних вказівках з виділення зон екологічного лиха» (1992) виділяють зони екологічного лиха, екологічної небезпеки та екологічної кризи. *Зона екологічного лиха* – це ділянка території, де в результаті антропогенної діяльності відбулися незворотні зміни навколишнього природного середовища, за якими послідувало істотне погіршення здоров'я людей, порушення екологічної рівноваги, руйнування екосистем та деградація флори і фауни. *Зона екологічної небезпеки* – територія, в межах якої систематично порушуються екологічні нормативи й регламенти, виявляються ознаки деградації компонентів природного середовища, в окремих групах населення рівень екологічно залежних захворювань вищий від середньостатистичного для місцевості. *Зона екологічної кризи* – територія, в межах якої відбувається деградація основних екосистем, природні ресурси перебувають на межі зникнення, демографічні й медико-екологічні показники систематично нижчі, ніж середньостатистичні для місцевості.

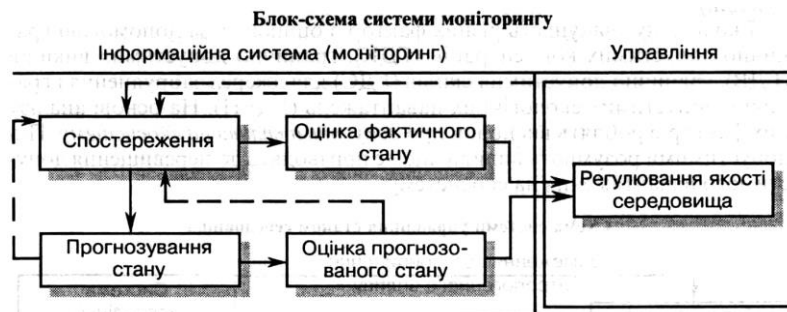
## 5.8. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ І ЯКІСТЬ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Для керування процесом охорони природи, раціонального природокористування та забезпечення екологічної безпеки навколишнього природного середовища потрібна організація обліку антропогенних змін та їх проявів як в окремих регіонах, так і в глобальних масштабах (державні, континентні, біосферні). Такий облік потрібно здійснювати з метою запобігання будь-яким негативним наслідкам у повсякденному господарюванні та погіршенню якості природного середовища, а також для прогнозування змін у середовищі та їх наслідків. Ці завдання вирішують за допомогою екологічного моніторингу. *Екологічний моніторинг* – це комплексна науково-інформаційна система спостережень, оцінки й прогнозування змін стану навколишнього середовища та живих організмів під впливом антропогенних факторів.

Розрізняють моніторинг фоновий, біологічний (біосферний) та господарський. За *фонового моніторингу* здійснюють систематичні стаціонарні заміри, які проводять за єдиною програмою стану атмосфери, ґрунту, природних вод та особливостей земної поверхні. За *біологічного моніторингу* здійснюють систематичну оцінку стану видів рослин і тварин. *Господарський моніторинг* проводять з метою оцінки діяльності окремих сільськогосподарських або промислових об'єктів. Проведення глобального моніторингу розпочато на основі рішення Міжнародної наради, що відбулася в 1974 р.

Для керування раціональним природокористуванням, що не допускає небажаних відхилень якості середовища або своєчасно запобігає їм, поряд з отриманням відповідної інформації потрібно визначити нормативи оптимального середовища для нормальних умов життя людини. Для цього необхідно установити *гранично допустимі екологічні навантаження* (ГДЕН) на навколишнє середовище, перевищення яких може призвести до його погіршення, а отже, до збитків і погіршення здоров'я самої людини. Якість середовища можна виражати в абсолютних або умовних одиницях (балах), що характеризують кожен з критеріїв або параметрів. Сумарне значення балів і характеризує стан середовища в певному регіоні. Так, США з 1969 р. характеризують стан середовища *індексом якості природного середовища* (ІЯПС). Його визначають за результатом бальних оцінок стану повітря, ґрунтів, природних ресурсів тощо. Максимальне значення ІЯПС становить 700 балів. У США цей індекс знизився з 406 балів у 1969 р. до 343 у 1977 р.

Бальна оцінка дає змогу щороку аналізувати, за рахунок яких факторів погіршується якість природного середовища. При цьому необхідне також ретельне спостереження за якістю середовища з отриманням відповідної оцінкової інформації, яке здійснюється за допомогою моніторингу. Основні елементи моніторингу такі: 1) стеження, тобто спостереження за факторами впливу і станом навколишнього природного середовища; 2) прогнозування майбутнього стану середовища; 3) оцінка фактичного й прогнозованого стану природного середовища:



Розрізняють три рівні стеження за станом навколишнього середовища: 1) глобальні космічні спостереження з супутників або пілотованих кораблів за станом біосфери; 2) регіональні аероспостереження за окремими великими регіонами, здійснювані з літаків; 3) наземні спостереження окремих районів. Для останніх використовують нерухомі (стаціонарні) і рухомі пости. Наприклад, у місті з населенням до 500 тис. чоловік має бути не менш як 3-5 стаціонарних постів, призначених для аналізу атмосферного повітря, води у водоймах і ґрунтів.

З добутої інформації на першому етапі виконують аналіз ефектів впливу різних факторів на навколишнє природне середовище, у тому числі визначення видів заподіяної шкоди та виявлення критичних факторів. На другому етапі визначають екологічні навантаження на природні екосистеми і на третьому -розраховують гранично допустимі екологічні навантаження (ГДЕН) на цю екосистему з урахуванням економічних і соціальних факторів.

Залежно від масштабу та об'єктів спостереження розрізняють медико-біологічний моніторинг – моніторинг факторів, пов'язаних із здоров'ям людини, кліматичний – зі станом клімату, екологічний – зі станом екосистеми та ін. Ю. А. Ізраель визначив критерії високої якості навколишнього природного середовища:

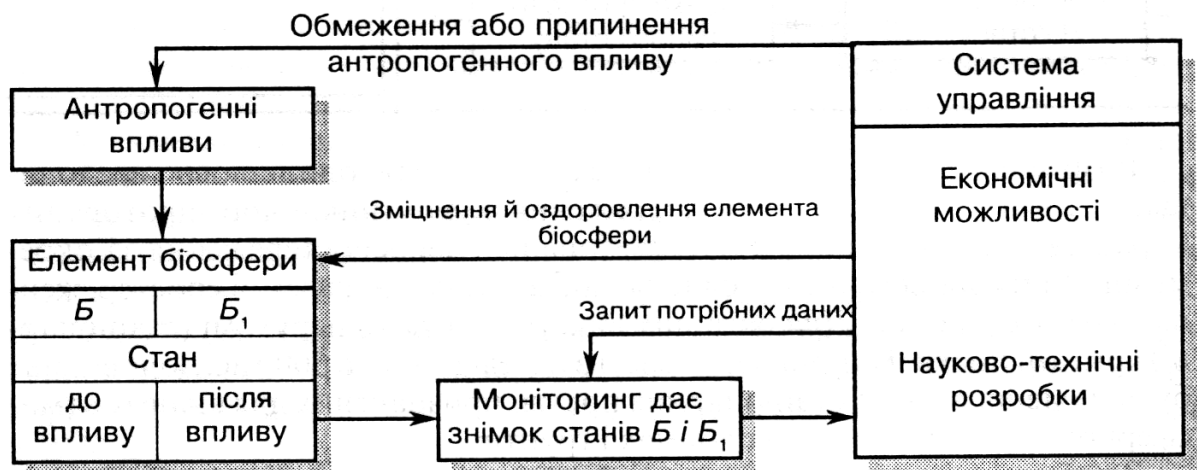
1) таке середовище дає можливість для сталого існування і розвитку екосистеми в певному місці, яка історично виникла, створена або перетворена людиною;

2) у таких умовах відсутні нині й не загрожують у майбутньому несприятливі наслідки для будь-якої популяції, що перебуває в цьому місці історично або тимчасово.

Для постійного підтримання високої якості навколишнього середовища потрібно мати систему керування його станом, яка б впливала на екологічне нормування, тобто на систему норм забруднювальних речовин і допустиму інтенсивність їх надходження в природне середовище. При цьому особливу увагу слід приділяти стійким полютантам (хлороорганічні пестициди – ДДТ, альдрин та ін., поліхлорбензол (ПХБ), ртуть, радіонукліди).

Екологічну значущість різних факторів оцінюють за допомогою гранично допустимих концентрацій (ГДК), гранично допустимих викидів (ГДВ), гранично допустимих скидів (ГДС) для джерел забруднення і гранично допустимих екологічних навантажень (ГДЕН). На основі аналізу цих факторів роблять висновок про *допустимі впливи на екосистему*. Під допустимими розуміють впливи, що не призводять до перевищення допустимого навантаження на екосистему:

### Схема системи управління станом середовища



В екосистемі має постійно створюватися середовище, оптимальне для життя людини. Незважаючи на всі досягнення розуму людини, вона залишається біологічним видом, для задоволення життєвих потреб якої необхідні певні умови середовища: склад повітря і води, якість їжі, температура тощо. З погляду на ці фактори і говорять про якість середовища, тобто про ступінь його відповідності потребам людини та біоценозам.

Для нормальної життєдіяльності людства потрібна система екологічного захисту, яка б забезпечувала екологічну безпеку біосфери. Ці функції виконує система глобального моніторингу, організована на базі космічної та обчислювальної техніки на основі міжнародного співробітництва. Штучні супутники Землі ведуть спостереження за станом біосфери, а ЕОМ обробляють добуту інформацію. Національний (у межах держави), регіональний (у межах району) і локальний (у межах населеного пункту або підприємства) моніторинги забезпечують постійний контроль за ступенем забруднення навколишнього природного середовища, що дає змогу вчасно вживати запобіжних заходів для забезпечення задовільної якості середовища. Система моніторингу допомагає уникнути переходу критичних рівнів якості середовища, тобто запобігти незворотним змінам, які призводять до екологічної катастрофи.



**Опрацювавши цей розділ, ви повинні вміти:**

- 1) дати визначення забруднення навколишнього природного середовища;
- 2) назвати основні принципи класифікації забруднень природного середовища та основні їх види;
- 3) дати визначення понять «екологічна криза» та «екологічна катастрофа»;
- 4) схарактеризувати природні та антропогенні забруднення біосфери;
- 5) зробити аналіз екологічного стану навколишнього середовища з визначенням причин негативних наслідків та шляхів їх подолання;
- 6) схарактеризувати основні поллютанти та їх вплив на здоров'я людини;
- 7) пояснити принципи нормування та методи визначення властивостей забруднень;
- 8) дати визначення понять «гранично допустиме екологічне навантаження» та «якість середовища»;
- 9) пояснити, в чому полягає сутність екологічного моніторингу.



**Запитання і завдання для самостійної роботи**

1. Що називають забрудненням навколишнього середовища?
2. Які методи класифікації забруднень ви знаєте? Дайте характеристику і наведіть приклади.
3. Що називають «екологічною кризою» і «екологічною катастрофою»?
4. Які фізичні забруднення біосфери ви знаєте? Дайте пояснення на прикладах.
5. Які види відходів ви знаєте?
6. У чому полягає суть класифікації речовин за ступенем небезпечності?
7. Які природні забруднення біосфери ви знаєте? Наведіть приклади.
8. Якщо людство планети щороку споживатиме нафти стільки, скільки Франція в 1970 р., скільки споживатиметься її всього?
9. Щороку в атмосферу планети викидають 22 млрд т вуглекислого газу і понад 150 млн т сірчистого газу. Розрахуйте, скільки спалюють при цьому кам'яного вугілля, якщо інші види палива не використовують, і який у ньому вміст сірки.
10. На початку 90-х років ХХ ст. споживання енергоресурсів становило 10 млрд т умовного палива (теплотворна здатність 27000 кДж/кг). Скільки при цьому виділиться CO<sub>2</sub>, якщо це паливо вуглецеве?
11. Скільки кисню споживають усі автомобілі світу і яка площа лісу потрібна для його вироблення?
12. Які найпоширеніші забрудники атмосферного повітря ви знаєте і якої шкоди вони завдають здоров'ю людини?
13. Що називають шумовим забрудненням і які діапазони шумів допускаються в приміщеннях різного призначення?
14. Які джерела радіаційного забруднення ви знаєте? У чому полягає їх небезпека?
15. Як здійснюють нормування забруднень навколишнього середовища і які методи визначення їх властивостей ви знаєте?
16. Що таке ГДК поллютанта і як її визначають?
17. Що таке ГДВ і ГДС?
18. Що таке санітарно-захисна зона і які розміри вона має для різних типів підприємств?
19. Що таке «модуль техногенного навантаження» і від чого він залежить?
20. Що таке «гранично допустиме екологічне навантаження» і від чого воно залежить?
21. Що називають екологічним моніторингом? Які види моніторингу ви знаєте?
22. Від чого залежить якість природного середовища?
23. Дайте характеристику екологічного стану району вашого проживання і спробуйте підрахувати для нього модуль техногенного навантаження.
24. Скільки оксиду карбону (IV) і оксиду карбону (II) викидають в атмосферу всі автомобілі планети? Скільки органічного палива при цьому спалюється?

## Розділ 6 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА АТМОСФЕРИ

### 6.1. ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

У результаті антропогенної діяльності відбувається забруднення атмосфери, що призводить до зміни хімічного складу атмосферного повітря. Під забрудненням атмосфери розуміють рідкі й тверді часточки та газуваті речовини, що надходять в атмосферу внаслідок побутової та промислової діяльності людей, а також фізіологічного життя людей і тварин у понаднормовій кількості. І взагалі, *забрудненістю атмосфери* називають несприятливі зміни стану атмосферного повітря, цілком або частково зумовлені діяльністю людини, які безпосередньо чи опосередковано впливають на розподіл енергії, що надходить, рівні радіації, фізико-хімічні властивості атмосфери та умови існування живих організмів.

Забруднення атмосфери відбувається також і природним шляхом: вулканічні гази, природний пил, спори грибів, мікроорганізми, пилок рослин тощо. Різні джерела забруднення природного та антропогенного походження наведені в табл. 6.1. Щороку в атмосферу внаслідок спалювання палива та з інших джерел потрапляє до 25 млрд т оксиду карбону (IV), понад 200 млн т оксиду карбону (II), близько 200 млн т оксиду сульфуру (IV), понад 50 млрд т різних вуглеводнів. До 2050 р. вміст вуглекислого газу в атмосфері може подвоїтись порівняно з 1978 р. У 1988 р. в колишньому СРСР викиди в атмосферу від стаціонарних джерел становили 64 млн т, а викиди транспорту досягали 37 млн т. У багатьох містах України концентрації забруднювальних речовин у кілька разів перевищували ГДК (табл. 6.2).

Основними джерелами забруднення є енергетика (теплові та електричні станції), промислові підприємства, транспорт (у першу чергу автомобільний), комунальне й сільське господарство та військово-промисловий комплекс. При цьому частка різних джерел дуже різниться. Так, у США на транспорт припадає 42 %, спалювання палива в стаціонарних установках – 21, промисловість – 14, спалювання деревного палива – 8, спалювання сміття – 8, на інші джерела – 10 %. Внаслідок спалювання палива утворюється 15 % вуглеводнів, 60 – оксидів нітрогену, 80 – сірчистого ангідриду і 26 % – пилу; від автотранспорту – 50 % вуглеводнів, 15 – оксидів нітрогену, 21 – пилу і 1 % – вуглекислого газу. У містах багато пилу утворюється внаслідок стирання автопокришок об поверхню покриття, а також органічних речовин і бактерій з побутових відходів та сміття.

Таблиця 6.1. Види забруднень і джерела забруднення атмосфери (Франсуа Рамад, 1981)

Забруднювальна речовина		Джерела забруднення
Гази	Вуглекислий газ	Вулканічна діяльність, дихання живих організмів, спалювання вичопного палива
	Оксид карбону (II)	Вулканічна діяльність, двигуни внутрішнього згоряння
	Вуглеводні	Рослини, бактерії, двигуни внутрішнього згоряння
	Органічні сполуки	Хімічна промисловість, спалювання відходів, різне паливо
	Сірчистий газ та інші похідні сірки	Вулканічна діяльність, морські бризи, бактерії, спалювання вичопного палива
	Похідні азоту	Бактерії, горіння
	Радіоактивні речовини	Атомні електростанції, ядерні вибухи
Тверді часточки	Важкі метали і мінеральні сполуки	Вулканічна діяльність, метеорити, вітрова ерозія, водяний пил, промисловість, двигуни внутрішнього згоряння
	Органічні речовини, природні й синтетичні	Лісові пожежі, хімічна промисловість, різне паливо, спалювання відходів, сільське господарство (пестициди)
	Радіоактивні речовини	Ядерні вибухи, аварії на атомних електростанціях

Таблиця 6.2. **Викиди шкідливих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел**  
(за даними Держкомстату СРСР)

Місто	У тому числі					
	Усього	Викиди, тис. т				
		Твердих	Газоподібних і рідких	З них		
сірчистий ангідрид	оксиди нітрогену			оксид карбону (II)		
Донецьк	178	22	156	31	7	110
Запоріжжя	267	70	197	25	14	147
Київ	70	12	58	19	22	5
Маріуполь	777	113	664	54	30	573
Одеса	88	19	69	15	5	27
Москва (Росія)	312	30	282	70	99	28

Вихлопні гази автомобільного транспорту містять у середньому 4-5 % оксиду карбону (II), а також ненасичені вуглеводні й альдегіди з неприємним запахом, сірковмісні сполуки та сполуки плюмбуму в разі застосування етильованого бензину. До їх складу входять також канцерогенні сполуки. Легковий автомобіль під час руху викидає до 3 м<sup>3</sup> за годину оксиду карбону (II) CO, а вантажний – 6 м<sup>3</sup> і більше. Щороку понад 200 млн автомобілів викидають в атмосферу близько 200 млн т оксиду карбону (II), 40 млн т вуглеводнів, 20 млн т оксидів нітрогену та значну кількість свинцю.

Значною мірою забруднюють атмосферу літаки. Так, викиди чотиримоторного реактивного літака на злеті з повним навантаженням еквівалентні вихлопу 6850 автомобілів марки «фольксваген». У цих вихлопах міститься багато бензпірену. В портових містах джерелом забруднення є суднові дизельні двигуни, які споживають до 2 т палива за годину.

Одним із головних забрудників повітря є спалювання палива в теплоенергетиці. Під час спалювання 1 т вугілля в трубу викидається до 23 кг попелу, 15 кг оксиду сульфуру (IV) і значна кількість сажі. Теплові електростанції світу щороку викидають 120 млн т попелу і приблизно 60 млн т оксиду сульфуру SO<sub>2</sub>. Очікується, що до 2002 р. викиди попелу можуть збільшитись до 1,5 млрд т, SO<sub>2</sub> – до 450 млн т за рік.

Кожне з наведених джерел пов'язане з викидами специфічних домішок, склад яких не завжди піддається ідентифікації. Найпоширенішими забрудниками, що надходять з промисловими викидами, є попіл, сажа, оксид цинку, силікати, хлорид плюмбуму, сірчистий і сірчаний ангідриди, гідрогенсульфід, меркаптани, альдегіди, вуглеводні, смоли, оксиди нітрогену, аміак, озон, оксиди карбону, фторид і хлорид гідрогену, силікофторид натрію, радіоактивні гази та аерозолі.

Теплові електростанції викидають в атмосферу гази, що містять азот, кисень, оксиди сульфуру і нітрогену, оксиди карбону й металів, попіл та радіонукліди. Підприємства чорної металургії викидають гази, що містять пил і оксиди карбону, сульфуру, нітрогену та металів. На 1 т виплавленого чавуну припадає 4,5 кг пилу; 2,7 кг SO<sub>2</sub>; 0,1-0,5 кг мангану, а також сполуки арсену, фосфору, стибію, плюмбуму, меркурію, рідкісних металів та смолистих речовин.

Агломерційні фабрики викидають гази з великим вмістом пилу та оксиду сульфуру (IV) (до 190 кг SO<sub>2</sub> на 1 т руди). Мартенівські і конверторні цехи викидають гази з великою кількістю пилу. На 1 т мартенівської сталі викидається 3000-4000 м<sup>3</sup> газів з пиловмістом 0,5 г/м<sup>3</sup>, 60 кг CO і 3 кг SO<sub>2</sub>. Коксохімічні виробництва забруднюють атмосферу пилом і леткими сполуками.

Підприємства кольорової металургії викидають запилені гази, що містять флуориди, оксид сульфуру (IV) та оксиди кольорових і важких металів. З 1 т пилу, що викидається в атмосферу під час виплавлення мідних руд, можна вилучити до 100 кг міді й трохи менше свинцю та цинку. Хімічні виробництва забруднюють атмосферу пилом, що містить органічні та неорганічні сполуки, а також різними газами. Найхарактерніші газові викиди деяких хімічних виробництв наведені в табл. 6.3.

Заводи промисловості будівельних матеріалів викидають пил, фториди, оксиди сульфуру (IV) та нітрогену (IV). У викидах нафтодобувної та нафтопереробної промисловості містяться різні вуглеводні, гідрогенсульфід і гази з неприємним запахом (стирол, дивініл, толуол, ацетон, ізопрен та ін.).

Під впливом атмосферних опадів, сонячної радіації, перенесення повітряних мас, взаємодії з гідросферою й літосферою та діяльності мікроорганізмів атмосферне повітря позбавляється від сторонніх домішок. Цей процес називають *самоочищенням атмосфери*. Проте в результаті антропогенної діяльності утворюється така велика кількість забруднень, що атмосфера вже не здатна самоочищатися і відбувається значне накопичення забруднювальних речовин у повітрі.

За останні десятиріччя масштаби техногенних викидів в атмосферу істотно зросли і за розмірами наближаються до їх природних надходжень або за деякими інгредієнтами перевищують їх. В атмосферу викидається все більше ксенобіотиків, від яких вона не встигає очищатися.



Таблиця 6.3. Викиди в атмосферу деяких хімічних виробництв  
(за даними І. Є. Кузнєцова і Т. М. Троїцького)

Виробництво	Компоненти викидів
Нітратної кислоти	NO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>
Сульфатної кислоти	NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Гідрогенхлориду	HCl, Cl <sub>2</sub>
Оксалатної кислоти	БЮ, MO <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (пил)
Сульфамінової кислоти	NH <sub>3</sub> , NH(SO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Фосфору і фосфатної кислоти	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , HF, Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (пил)
Оцтової кислоти	CH <sub>3</sub> CHO, CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H
Складних добрив	NO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , HNO <sub>3</sub>
Карбаміду	NH <sub>3</sub> , CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (пил), CO
Аміачної селітри	CO, NH <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (пил)
Суперфосфату	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HF, пил суперфосфату
Аміачної води	NH <sub>3</sub>
Рідкого хлору	HCl, Cl <sub>2</sub> , Hg
Хлорного вапна	Cl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> (пил)
Поліхлорвінілової смоли	Hg, HgCl <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>
Тетрахлоретилену	HCl, Cl <sub>2</sub>
Ацетону	CH <sub>3</sub> CHO, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO
Аміаку	NH <sub>3</sub> , CO
Метанолу	CH <sub>3</sub> OH, CO
Капролактаму	NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO
Оксиду титану (IV)	TiO <sub>2</sub> , FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeSO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (пил)
Ацетилену	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (сажа)
Карбофосу	SO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , H <sub>2</sub> S, пил карбофосу
Мінеральних пігментів	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeSO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Целюлози	H <sub>2</sub> S, Cl, SO <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> SH, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S

На форзаці I представлено у спрощеному вигляді карту забрудненості атмосферного повітря на території України (В.А. Барановський, 2000). Вона характеризує сумарну забрудненість атмосферного повітря і містить якісну та кількісну оцінку можливого впливу на здоров'я населення. Ступінь забрудненості атмосферного повітря встановлювали за кратністю перевищення фактичної концентрації забрудників відповідної ГДК з урахуванням класу небезпечності, сумачі біологічної дії забруднень повітря і частоти перевищення ГДК.

Для складання карти автор використав розраховані показники зон розсіювання і величини сумарного забруднення. В результаті цього на карту нанесено ареали розсіювання сумарного забруднення навколо населених пунктів. Інтегральна фоновая оцінка забрудненості повітря відображена за допомогою ізоліній та ареалів і має такі рівні: низький (індекси від 0 до 1); нижчий від середнього (1-3); середній (3-6); підвищений (6-12); високий (12-24); дуже високий (24-48) і надзвичайно високий (понад 48).

Основні забрудники атмосферного повітря згруповано в такі класи: галогени, сульфур та його сполуки, нітроген та його сполуки, карбон та його сполуки, органічні сполуки, метали та завислі речовини. Для порівняння класів між собою проведено їх стандартизацію. За стандарт прийнято 3-й клас шкідливості речовин.

Як видно з цієї карти, найвище забруднення характерне для Донець-ко-Придніпровського регіону, а також для зон навколо обласних центрів. Порівняльний аналіз карт забрудненості атмосферного повітря і метеорологічного потенціалу атмосфери свідчить про те, що на території України переважають процеси розсіювання забрудників. Виняток становлять гірські райони Криму і Карпат, де умови сприятливі для їх накопичення. Проте в цих районах невеликий рівень промислового забруднення, в них недоцільно розміщувати промислові об'єкти. Вся територія України має певний позитивний потенціал самоочищення атмосфери. Це дає змогу прогнозувати поліпшення екологічного стану атмосферного повітря за умови дотримання певних природоохоронних заходів.

## 6.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАБРУДНЕНЬ АТМОСФЕРИ

За агрегатним станом забруднювальні речовини поділяють на газуваті, рідкі, тверді та змішані. Промислові викиди в атмосферу також поділяють:

- за організацією відведення й контролю – на організовані і неорганізовані;
- за температурою викидних газів – нагріті, температура яких вища від температури атмосферного повітря, та холодні;

- за локалізацією – в основному, допоміжному та підсобному виробництвах;
- за ознаками очищення – викиди без очищення (організовані і неорганізовані) та після очищення (організовані). Під очищенням газу розуміють відокремлення від газового потоку або переведення в нешкідливий стан забруднювальних речовин.

*Організований промисловий викид* – це викид, який надходить в атмосферу через спеціально споруджені газоходи. *Неорганізованим* називають промисловий викид, що надходить в атмосферу у вигляді неспрямованих потоків газу внаслідок порушення герметичності обладнання, відсутності або незадовільної роботи обладнання для відсмоктування газу в місцях завантаження, вивантаження та зберігання продукту, а також через повітряні ліхтарі цехових приміщень.

Промислові викиди в атмосферу поділяють на первинні й вторинні. *Первинні* – це викиди, що надходять в атмосферу безпосередньо від джерела, *вторинні* є продуктами первинних, але можуть бути токсичнішими й небезпечнішими, ніж первинні (наприклад, перетворення деяких речовин у результаті фотохімічного окиснення). Всі існуючі джерела забруднення атмосферного повітря можна розподілити на природні та штучні, або антропогенні: (див. схему на с. 79, табл. 6.1).

Космічний пил утворюється під час згоряння метеоритів. Природний пил є постійною складовою частиною земної атмосфери. Він складається з дрібних завислих у повітрі часточок розміром  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  см, які мають органічне або неорганічне походження. Пил утворюється під час вивітрювання гірських порід і ґрунту, виверження вулканів, пожеж у лісах, степах і торфовищах, випаровування з поверхні морів та океанів, а також аеропланктоном, бактеріями, спорами рослин, цвільовими та іншими грибами, продуктами гниття, бродіння й розкладання тварин і рослин.

Атмосферний пил сприяє конденсації водяної пари і, таким чином, утворенню роси, поглинає пряму сонячну радіацію і захищає організми від сонячного опромінення. Біологічне розкладання, що включає життєдіяльність ґрунтових бактерій, сприяє утворенню гідрогенсульфіду, аміаку, вуглеводнів, оксидів нітрогену й карбону.

Усі джерела забруднення атмосферного повітря промисловими викидами можна класифікувати за такими ознаками:

1) за призначенням: *технологічні*, що складаються з хвостових газів після вловлювання на установках, продування апаратів та повітряних витяжок; *вентиляційні викиди* – місцеві відсмоктування від обладнання та загальнообмінна витяжка;

2) за місцем розташування: *незатінені*, або *високі*, що знаходяться в зоні недеформованого вітрового потоку (високі труби і точкові джерела, що видаляють забруднення на висоту, більшу від висоти будівлі в 2,5 раза); *затінені*, або *низькі*, розташовані на висоті, меншій у 2,5 раза від висоти будівлі; *наземні*, розміщені близько до земної поверхні (відкрито розташоване обладнання, каналізаційні колодязі, проліті токсичні речовини і скиди відходів виробництва);

3) за геометричною формою: *точкові* (труби, шахти, дахові вентилятори), *лінійні* (аераційні ліхтарі, відкриті вікна, близько розташовані витяжні шахти й факели);

4) за режимом роботи: *безперервні* і *періодичної дії*, *залпові* та *миттєві*. Залпові викиди можливі під час аварій, спалювання швидкогорючих відходів виробництва на спеціальних площадках знищення. Миттєві викиди забруднення викидаються впродовж часток секунди інколи на значну висоту. Вони трапляються під час підливних робіт і аварій;

5) за місцем розташування: *внутрішньоплощеві*, коли викинуті в атмосферне повітря забруднення залишаються у високій концентрації на території промислової зони, тоді як у житлових районах забруднень не спостерігається; *позаплощеві*, коли вони можуть спричинювати значні забруднення повітря на території житлового району.

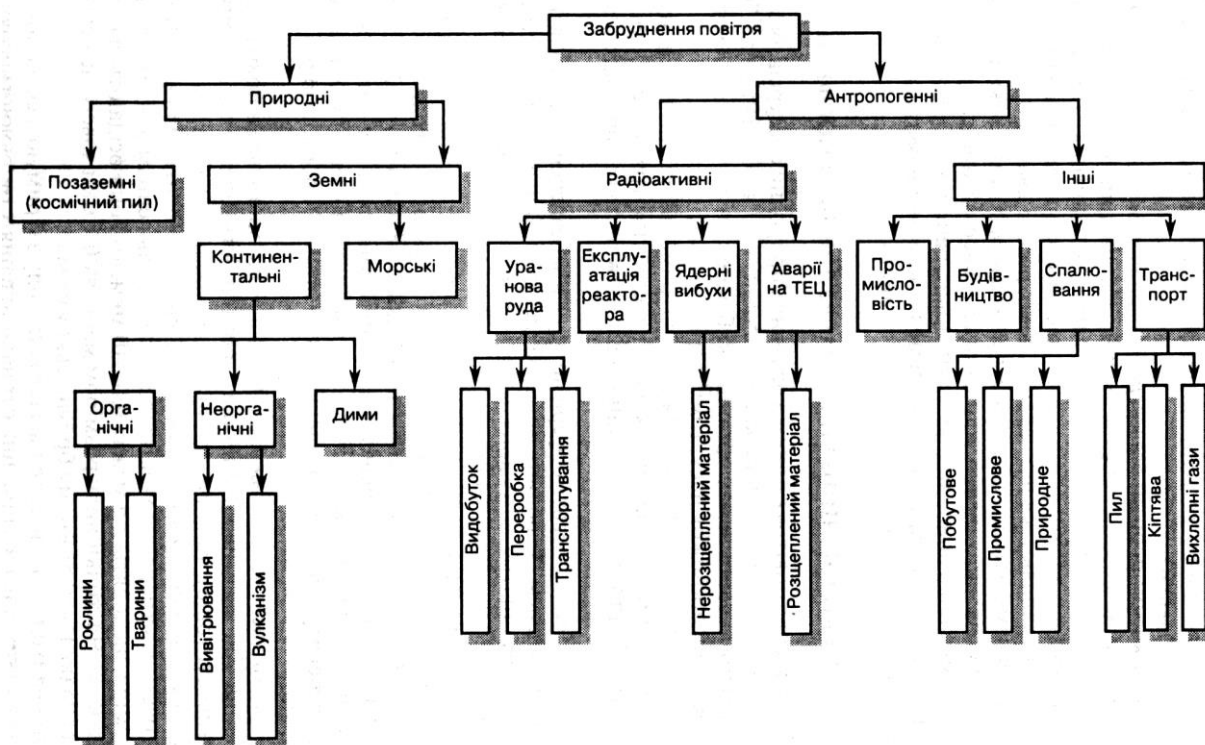
### 6.3. ЕКОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ ЗАБРУДНЕНЬ АТМОСФЕРИ

Атмосферне повітря є одним з основних природних ресурсів, без якого людина може прожити лише кілька хвилин, тоді як без їжі – до 70 діб. В організмі людини немає органів, які б забезпечували запас кисню хоч на невеликий проміжок часу, тому її організм змушений постійно і безперервно споживати свіже повітря для підтримання процесів життєдіяльності. Зміна хімічних і фізичних властивостей повітря може порушувати гомеостаз її організму, спричинюючи небажані негативні відхилення в здоров'ї.

Гігієнічне значення атмосфери полягає в забезпеченні процесів життєдіяльності киснем. У людини немає захисних механізмів, які б компенсували нестачу повітря, тому вона повинна постійно споживати в спокійному стані 8-10 л за одну хвилину, 500 л за годину і 12 000 л (15 кг) за добу свіжого повітря. При фізичних навантаженнях споживання повітря збільшується в десятки разів. Якщо в стані спокою людина за годину споживає 500 л кисню, то під час ходьби зі швидкістю 8 км/год – 5200 л (5 кг). Організм людини адаптувався до чистого повітря, тому він завжди потребує його в чистому вигляді зі сталими властивостями: хімічним складом, температурою, тиском, електричним станом, швидкістю руху та йонізацією.

Ступінь дисперсності твердих часточок, що містяться в повітрі, впливає як на їхні властивості (леткість, розчинність, електричні та оптичні властивості тощо), так і на глибину їх проникнення в органи дихання та затримку в легенях. Якщо розмір часточок становить більш як 10 мкм, вони осідають з наростаючою швидкістю зі збільшенням їх розмірів. Якщо їх розміри знаходяться в межах 0,1-10 мкм, то вони осідають зі сталою швидкістю. Часточки пилу розміром менш як 0,1 мкм зовсім не осідають і перебувають у постійному броунівському русі.

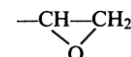
### Класифікація забруднень атмосферного повітря (за Г. В. Стадницьким і А. І. Радіоновим)



При надходженні до легенів часточки пилу затримуються на поверхні легеневої тканини, що спричинює їх накопичення, створюючи високу концентрацію токсичних речовин. Маючи велику активну поверхню, самі часточки не тільки мають негативний вплив, а й адсорбують на своїй поверхні велику кількість різних речовин (газів, золів тощо), що також спричинює накопичення токсинів та їх негативну дію на організм. Особливо це небезпечно в разі накопичення радіоактивних і канцерогенних речовин та важких металів. Налічується до 400 канцерогенних речовин, серед яких найбільш активними і дуже небезпечними є бензпірен, дибензантрацен, діоксини та ін.

Радіоміметичні речовини так само, як і йонізуюче випромінювання, пригнічують поділ клітин, викликають злоякісні переродження і мутації. До них належать сполуки, що містять хлоретилову

групу  $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$  (іприт), метилтіоксигрупу  $-\text{O}-\text{SO}_3\text{CH}_2$ , епоксидну та



етиленімідну  $\begin{array}{c} \text{—N—CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_2 \end{array}$  групи. Характерною особливістю цих речовин є здатність зв'язуватися з

білками. В організм вони потрапляють у вигляді золів (туманів) або сорбуючись на аеродисперсіях.

Аеродисперсії змінюють клімат, особливо освітленість. Вплив аеродисперсій визначається їх кількістю, дисперсністю, хімічним складом та іншими фізико-хімічними властивостями. Чим менші розміри часточок, тим слабкіше вони затримуються. В альвеолах легенів найкраще затримуються часточки розміром близько 1 мкм. Гігроскопічні часточки здатні коагулювати і збільшувати свої розміри. Поглиблене дихання, наприклад, під час значних фізичних навантажень, збільшує ступінь затримання пилу в легенях. Часточки неправильної форми осідають повільніше. Легше сорбуються в легенях часточки сферичної форми. Часточки з гострими гранями можуть спричинювати мікротравми дихального епітелію, порушувати його бар'єрну функцію, сприяти проникненню мікроорганізмів та розвитку пневмоконіозів.

Більшість твердих часточок несуть на собі негативний або позитивний заряд, що посилює їх здатність затримуватися в легенях. Від хімічних властивостей пилу залежить їхня біологічна активність, зокрема алергенні властивості, фіброгенність, подразнювальна дія тощо. До особливо агресивних фіброгенних речовин належить оксид силіцію (IV), здатний викликати фіброз легенів. На поверхні дихальних шляхів оксид силіцію (IV) утворює силікатну кислоту, яка спричинює силікоз. Шкідливим є пил з кислотними або лужними властивостями, оскільки він зумовлює зміну рН і порушує роботу епітелію. Пил з алергенними властивостями (пил борошна, соломи, льону, бавовни, шовку, шерсті, фруктів, хрому) призводить до появи бронхіальної астми.

Якщо часточки пилу сорбували гази, то вони погано змочуються і слабо коагулюють. Пил може сорбувати також отруйні гази і за певних умов їх десорбувати, спричинюючи отруєння. У разі сорбції пилом кисню він стає легкозаймистим і може викликати вибух. Вибухонебезпечність пилу залежить від його концентрації, дисперсності, вологості, наявності летких сполук тощо. Найнебезпечнішим є

органічний пил.

Пил може спричинювати захворювання на туберкульоз, сибірку (легенева форма) у робітників, що займаються заготівлею шерсті. Зерновий пил містить спори різних грибів, у тому числі збудників актиномікозу. Якщо атмосфера забруднена пилом, легені незадовільно вентилуються і стають сприйнятливими до різних легеневих захворювань. Пил може призводити до атрофії та ерозії слизової оболонки носа й носоглотки, катару бронхів, трахеї, загострення туберкульозу легенів, нападів бронхіальної астми. Пил може сорбувати й нести на собі канцерогенні, мутагенні, токсичні та радіоміметичні речовини.

Забруднення атмосферного повітря призводить до погіршення санітарно-гігієнічних показників: збільшується частота туманів, зменшується видимість і прозорість для ультрафіолетового випромінювання, погіршуються санітарно-побутові умови життя населення, спостерігається негативний вплив на розвиток рослин та організм людини. Тумани збільшують охолоджувальність тіла, гнітюче впливають на настрій та самопочуття людей. Збільшення кількості пилу в атмосфері зменшує її прозорість і видимість. Пил і сажа проникають у помешкання, забруднюючи їх. Це призводить до того, що мешканці менше провітрюють свої помешкання, а отже, менше споживають свіжого повітря. Забруднення споруд і будинків попелом, сажею та смолами призводить до того, що сірчисті сполуки руйнують будівельні матеріали і зумовлюють корозію металів.

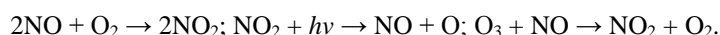
Забруднення атмосфери вражають фруктові дерева, ліси, сільськогосподарські культури та трав'яний покрив. Для рослин особливо небезпечними є сірчистий газ, хлор, фтор, пил і смолисті речовини. Отруйні гази токсично діють на протоплазму рослинних клітин, сірчистий газ пригнічує процеси фотосинтезу. Пил і сажа закупорюють пори клітин рослин, ускладнюють доступ сонячних променів до хлоропластів. У лісах, які задимлюються промисловими підприємствами, зникають бджоли, птахи та звірі.

#### 6.4. ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗАБРУДНЕНЬ В АТМОСФЕРІ

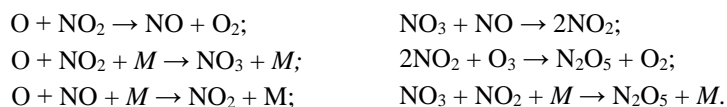
Атмосферне повітря завдяки нерівномірному нагріванню сонячним промінням у різних широтах, особливо між полярними й екваторіальними зонами, інтенсивно циркулює. Циркуляція повітря усереднює склад компонентів у ньому та сприяє переміщенню водяної пари з океанів у континентальні райони і забруднень на великі відстані. Крім переміщення забруднень відбуваються їх різноманітні хімічні перетворення. В атмосфері під дією йонізуючих випромінювань відбуваються фотохімічні процеси з утворенням оксидів нітрогену, озону та ін. Озон утворюється у повітрі під впливом УФ-випромінювання з довжиною хвилі 253 нм, а оксид нітрогену – до 100 нм. Поверхні Землі досягають лише промені з довжиною хвилі близько 290 нм. При цьому можливе перетворення оксиду нітрогену (II) на оксид нітрогену (IV), утворення та накопичення озону в атмосфері тощо. Під час взаємодії вуглеводнів з озоном або атомарним киснем утворюються вільні пероксидні високоактивні речовини, здатні вступати в реакцію з оксидами нітрогену та іншими сполуками і утворювати складні комплексні сполуки з окиснювальними властивостями – оксиданти. Під дією сонячної радіації утворюються електронно-збуджені молекули:  $A + h\nu \rightarrow A^*$ , відбувається дезактивація за рахунок флуоресценції:  $A^* \rightarrow A + h\nu$  та дезактивація шляхом зіткнення з іншими молекулами:  $A^* + Q \rightarrow A + Q'$  також дисоціація:  $A^* \rightarrow B + C$  ( $h\nu$  – енергія фотона, випромінюваного Сонцем;  $\nu$  – частота, пов'язана з певним фотоном;  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж · с – стала Планка).

Хімічні перетворення в тропосфері й стратосфері ініціюються продуктами фотолізу молекул  $O_3$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2O$  і  $NO_2$ . В атмосфері на висоті 80 км і вище утворюється атомарний кисень:  $O_2 + h\nu \rightarrow 2O$ , який утворює озон:  $O + O_2 + M_2 \rightarrow O_3 + 2M$ , де  $M$  – речовина, що приймає надлишок енергії. Озон зазнає фотохімічної дисоціації:  $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$ .

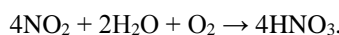
Оксиди нітрогену антропогенного походження здебільшого потрапляють в атмосферу у вигляді  $NO$ . Далі відбуваються такі перетворення:



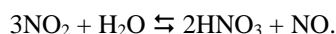
Можливі й інші численні реакції за участю речовин, що містять кисень і азот:



Далі утворюється нітратна кислота:



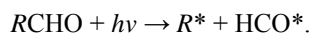
Оксид нітрогену (IV) може гідролізуватися в газовій фазі:



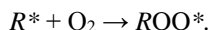
Нітратна кислота реагує з йонами металів, утворюючи нітрати. Атомарний кисень і озон можуть взаємодіяти з органічними сполуками з утворенням органічних і неорганічних вільних радикалів. Для олефінових вуглеводнів можливий перебіг реакції



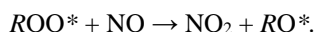
де  $RO^*$  і  $HCO^*$  – вільні радикали. Утворений альдегід  $RCHO$  може зазнавати фотодисоціації за реакцією



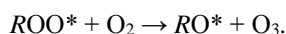
Крім альдегідів фотохімічно активні також кетони, пероксиди й ацилнітрати. Поглинаючи сонячну енергію, вони також утворюють пероксид-ні радикали:



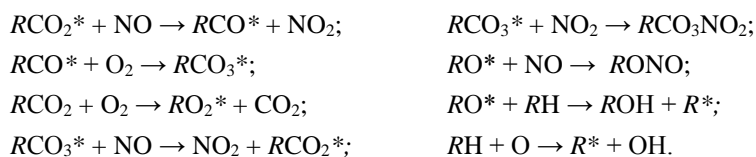
Ці радикали здатні окиснювати  $NO$  до  $NO_2$  за реакцією



Може утворюватися також озон за реакцією пероксидних радикалів з киснем:



Можливий перебіг й інших реакцій:



Наявність вільних радикалів в атмосферному повітрі призводить до утворення смогу. Основними продуктами фотохімічних реакцій є альдегіди, кетони, оксиди карбону, органічні нітрати та оксиданти. Останні включають озон, оксид нітрогену (IV), сполуки типу пероксіяцетилнітратів (ПАН) тощо. ПАН подразнює слизові оболонки дихальних шляхів і пошкоджує рослинність. Подразнювальною речовиною, що міститься в смозі, є також пероксибензоїлнітрат (ПБН).

За наявності  $NO_2$  і  $SO_3$  відбувається фотодисоціація  $NO_2$  з утворенням атомарного кисню й озону, а далі оксид сульфуру (IV) взаємодіє з атомарним киснем за реакцією  $SO_2 + O + M \rightarrow SO_3 + M$ .

Сірчаний ангідрид, сполучаючись з парою води, утворює пароподібну сульфатну кислоту, при взаємодії з йонами металів – сульфати. У забрудненій атмосфері за одночасної наявності  $SO_3$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  та вуглеводнів, під час опромінення олефінів і ароматичних сполук утворюються значні кількості аерозолів. Кількість аерозолів зменшується з підвищенням відносної вологості повітря.

Атмосферні забруднення спричиняють гострі та хронічні отруєння, чинять метатоксичну й промоторну дію. Широко відомі випадки масових отруєнь людей внаслідок короткочасного підвищення рівня забруднення атмосферного повітря. У 1930 р. в Бельгії в долині річки Маас внаслідок виникнення токсичного туману захворіли тисячі людей, померло 60 чоловік. У 1948 р. в США в місті Донора захворіло 50 % населення (6 тис. чол.), 20 чоловік померли. У 1952 р. внаслідок утворення токсичного туману в Лондоні померло 4 тис. чоловік.

В разі утворення смогу різко збільшується забруднення повітря сажею й сірчистими сполуками, вуглеводнями, озоном та оксидами нітрогену. Утворенню смогу сприяє температурна інверсія, що настає в ясні сонячні дні при охолодженні землі за рахунок випромінювання. При цьому в безвітряну погоду всі забруднення поширюються в приповерхневому шарі. Під час смогу особливо потерпають і частіше гинуть люди з хронічними респіраторними та серцево-судинними захворюваннями.

Інтенсивне забруднення атмосфери внаслідок антропогенної діяльності призвело до глобальних екологічних криз, пов'язаних з потеплінням планети, появою кислотних дощів та руйнуванням озонового шару.

## 6.5. ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ

Упродовж усього історичного періоду планети її клімат неодноразово змінювався. Однак ці зміни, як свідчать дослідження, відбувалися поступово. Останнім часом у результаті швидкого зростання населення планети та його потреб відбувається інтенсивний розвиток промисловості й енергетики. Усе це призвело до утворення й викиду в атмосферу величезної кількості забруднень та невикористаної теплоти.

За підрахунками, внаслідок спалювання значної кількості палива в атмосферу викидається понад  $3 \cdot 10^{14}$  МДж теплоти, яка розсіюється в навколишньому середовищі. Потепління планети відбувається головним чином внаслідок забруднення атмосфери тепличними газами – переважно вуглекислим газом і меншою мірою метаном, оксидами нітрогену та ін. У земній атмосфері оксид карбону (IV) та деякі інші гази діють подібно до скла в парнику: вони пропускають сонячне світло, але затримують теплоту

розігрітої сонцем поверхні Землі, що зумовлює розігрівання поверхні планети. Це явище дістало назву «парникового ефекту». Появі «парникового ефекту» сприяють також оксид нітрогену  $N_2O$ , метан  $CH_4$ , водяна пара  $H_2O$ , фторхлорметани – фреони ( $CFCl_3$ ,  $CF_2Cl_2$  та ін.). Загальний вміст «парникових» газів в атмосфері становить, частини на мільйон: вуглекислого газу – 355; метану – 1,75; оксидів нітрогену – 0,31; фторхлорвуглеців – 0,001. Річне зростання концентрації цих газів в атмосферному повітрі становить, %: оксиду карбону (IV) – 0,5, оксидів нітрогену – 1,0, метану – 0,7, фторхлорвуглеців – 0,3. За останні 40 років кількість викидів оксиду карбону (IV) зросла на 35 %. Збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері спричинює також інтенсивне вирубування лісів. Вважають, що в другій половині XX ст. температура Землі збільшувалася за кожні 10 років на 0,3 °C. За даними підрахунків ООН, до 2100 р. температура зросте на 3 °C. Це може призвести до танення льодовиків Антарктики, Арктики та гірських районів. Можуть зникнути під водою густанаселені міста і навіть цілі країни.

Потепління спричинить істотну зміну клімату майже на всій планеті, що може мати негативні і навіть катастрофічні наслідки. Основні кліматичні зони змістяться на північ на 400 км. Настане потепління в зонах тундри, збільшиться посушливість у середніх широтах, де розвинуте зернове землеробство (деякі штати США, Україна, Кубань, чорноземні зони Росії). Клімат тут стане напівпустельним, що призведе до значного зниження врожаїв. Це потребуватиме змін в агротехніці та реорганізації сільського господарства, що, за підрахунками японського вченого Д.Утідзими, підвищить собівартість сільськогосподарської продукції на 10-20%.

Збитки, заподіяні майбутнім потеплінням клімату, оцінюють приблизно в  $10^{13}$  доларів. Людство не має таких коштів. А тому з метою запобігання впливу «парникових» газів на всесвітній конференції ООН у Токіо в 1998 р. було прийняте рішення про квотування викидів «парникових» газів. Це має на меті обмежити зростання викиду їх в атмосферу.

## 6.6. КИСЛОТНІ ДОЩІ

Оксиди сульфуру і нітрогену, що потрапили в атмосферу, окиснюються і, сполучаючись з водою, утворюють туманоподібні краплини сульфатної та нітратної кислот. Переносячись вітрами на значні відстані, вони згодом випадають разом з дощем, який має кислу реакцію. *Кислотними* називають взагалі будь-які опади – дощ, сніг, туман, якщо значення їх рН становить менш ніж 7,0. Кислотні дощі мають значення рН частіше в межах 4,1-2,1, а в деяких випадках навіть менш як 2,1. Спостереження свідчать, що ще 100 років тому дощова вода мала рН = 7,0, тобто осаді були нейтральними. Вперше кислотні дощі зареєстровані в Англії в 1972 р., вони були наслідком потрапляння в атмосферу оксидів сульфуру і нітрогену. Поступово індустріалізація охоплювала все більше число країн, а надходження оксидів сульфуру і нітрогену безперервно збільшувалось, особливо загрозливих масштабів набувши в наш час. Тому кислотні опади випадають всюди. У Західній Європі кислотність дощів у 1990 р. знизилась на 0,2 одиниці рН порівняно з 1989 р. В Україні кислотні дощі часто випадають у Сумській, Черкаській та Рівненській областях, де в повітря викидається значна кількість оксидів сульфуру і нітрогену. Україна забруднена також за рахунок транскордонного перенесення цих оксидів з країн Західної Європи.

Під впливом кислотних опадів відбувається закиснення водойм і ґрунтів, вимивання з ґрунту калію, магнію і кальцію та зменшення врожайності сільськогосподарських культур на 3-8 %, деградація флори і фауни. У закиснених водоймах гине риба і численні види комах. Внаслідок випадання кислотних дощів гинуть ліси, особливо букові, тисові та кедрові. Загибель лісів зумовлює гірські зсуви та селі. Кислотні опади прискорюють руйнування житлових будинків і архітектурних пам'яток, оздоблених мармуром і вапняком. Кислотний сніг завдає ще більшої шкоди, ніж дощ, оскільки він може накопичуватись упродовж тривалого часу, що призводить до значного закиснення ґрунту під час танення снігу навесні. Кислотність талої води в десятки разів вища від кислотності дощової.

У багатьох країнах кислотні дощі завдають значних збитків. Так, у Швейцарії від кислотних дощів гине третина лісів, у Великій Британії висихають 69 % букових і тисових лісів. Від кислотних опадів особливо потерпають закриті водойми – озера й ставки. У Швеції в 4 тис. озер риба повністю зникла. В Україні за останні 35 років площа кислих ґрунтів зросла на 33 %. Кислі ґрунти потребують вапнування, що підвищує собівартість сільськогосподарської продукції.

## 6.7. РУЙНУВАННЯ ОЗОНОВОГО ШАРУ

Розташований в атмосфері на висоті 20-35 км озоновий шар є природним захисним бар'єром від проникнення на поверхню Землі жорсткого ультрафіолетового випромінювання Сонця з довжиною хвилі 325-400 нм. Цей шар має відносно невелику товщину, він надійно захищає живу речовину біосфери від згубного впливу такої радіації. Якби не існувало озонового шару, то життя на суходолі Землі було б неможливим, як це було на світанку його зародження.

Як уперше помітили метеорологи США (М. Моліна і Ш. Роуланд), останнім часом озоновий шар атмосфери зазнає руйнування. Цей небажаний і небезпечний процес інтенсивно відбувається під дією деяких хімічних речовин – хлор- і бромпохідних вуглецю (фреони), тетрахлориду карбону, метилхлороформу та ін. Особливо небезпечними є фреони ( $CFCl_3$  – фреон 11,  $C_2FCl$  – фреон 12,  $CF_2ClBr$  – галон 1211), які широко застосовують у техніці й побуті як холодоагенти, розпорозувачі в аерозольних упаковках тощо. Світове виробництво фреонів на початку 90-х років XX ст. перевищило 1,4 млн т за рік.

Під дією ультрафіолетового випромінювання фреони розкладаються з виділенням атомарного хлору, який є ефективним каталізатором розщеплення озону на кисень. Так, один атом хлору призводить до розкладання 100 тис. атомів озону. Руйнування озонового шару спричинюють також космічна і ракетна техніка та сучасні надзвукові літаки. Викиди продуктів згоряння палива з їхніх двигунів розкладають озон до кисню та інших сполук.

Внаслідок руйнування озонового шару концентрація озону почала зменшуватися, а в деяких місцях, зокрема над Антарктидою, в ньому часто виникає «пульсівна дірка». Вміст озону в ній менший від звичайного на 40-50 %. Ця «дірка» чітко виявляється із серпня по жовтень (антарктична весна), а нині вона не затягується і влітку і має надзвичайно велику площу, що дорівнює площі Антарктиди. Внаслідок цього в країнах південної півкулі Землі спостерігається підвищений ультрафіолетовий фон. Це спричинює збільшення кількості захворювань людей на рак шкіри та катаракту. «Озонову дірку» виявлено і в північній півкулі над Антарктикою (Шпіцберген). За оцінками НАСА (США), з 1978 по 1990 рік кількість озону в озоновому шарі зменшилася на 45 %. Цей процес зменшення концентрації озону невинно триває. Так, за спостереженнями з канадського супутника «Німбус 7», за період з 1980 по 1991 рік швидкість руйнування озону становила 0,224 % за рік. Як показали супутникові спостереження, за останні 15 років ультрафіолетове випромінювання на поверхні Землі зросло більш ніж на 10 %, а в районах Антарктиди – більш ніж на 40 %. Це призводить до зниження імунітету та збільшення частоти інфекційних захворювань людей і тварин. Як стверджує «Грінпіс», зменшення товщини озонового шару на 10 % призводить до збільшення захворювань на рак шкіри 300 тис. населення.

З метою запобігання подальшому руйнуванню озонового шару атмосфери уряди багатьох країн підписали в 1985 р. у Відні (Австрія) Конвенцію про охорону атмосферного озону і скорочення виробництва фреонів та інших речовин, що руйнують озон.

## 6.8. ЯДЕРНА ЗИМА

Надзвичайно небезпечними є забруднення атмосфери радіонуклідами, яке трапляється під час аварій на атомних електростанціях та інших ядерних об'єктах і випробувань ядерної зброї. Особливо небезпечною, навіть катастрофічною була б ядерна війна, яка призвела б до загибелі не тільки людства, а й усього живого на Землі. Розрахунки, виконані на електронно-обчислювальних машинах американськими і російськими вченими, свідчать, що в разі ядерного конфлікту з використанням ядерних зарядів потужністю 1000 Мт тротилу, незалежно від місця вибуху, виникнуть величезні пожежі, які спричинять потепління на 1 °С. Це супроводжуватиметься буревіями і призведе до значних руйнувань будівель та рослинного покриву. Радіонукліди течіями повітря швидко поширяться по всій земній кулі. Внаслідок пожеж і руйнування нафтових і газових свердловин в атмосферу виділиться багато «парникових» газів (оксидів карбону, метану та ін.), значна кількість пилу і сажі. Це призведе до підвищення температури ще на 4-5 °С, танення льодовиків та підвищення рівня води в Світовому океані, в результаті чого будуть затоплені величезні території суходолу. Надходження в стратосферу значної кількості оксидів нітрогену спричинить істотне (на 40-60 %) руйнування озонового шару. Це значно збільшить ультрафіолетове опромінення Землі. У повітря здійметься понад 5 млрд т дрібнодисперсних часточок пилу і попелу. По земній поверхні прокотяться вогняні смерчі. Пил, попіл і сажа чорною хмарою затягнуть усе небо над землею, прозорість атмосфери зменшиться в 200 разів. Настане ядерна ніч, що призведе до повної загибелі рослинного покриву біосфери.

При цьому відбудеться нагрівання тропосфери й охолодження приземного шару повітря на 15-30 °С упродовж першого місяця конфлікту. Локальні зниження температури сягатимуть -40... -50 °С. Настане ядерна зима, що триватиме кілька місяців. Після осідання пилу і сажі атмосфера прогріється на 20-30 °С вище від норми, що спричинить повені на великих площах і селі в гірських районах, які супроводжуватимуться буревіями та снігопадами, масовою загибеллю рослин, тварин і людей. Поширяться епідемії хвороб. Гіршого пекла і не уявити. Таким чином, локальний ядерний конфлікт може спричинити загибель людства, а можливо, і всього життя на Землі.

Людство, нарешті, зрозуміло, яку загрозу приховує в собі ядерна зброя. І тому заявило: *ядерній зброї на Землі – ні!*

## 6.9. НОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНИКІВ В АТМОСФЕРІ

З метою визначення токсичних речовин, що містяться в атмосферному повітрі у вигляді газів, пари, аерозолів і пилу, проводять дослідження атмосферних забруднень. Взагалі забруднення токсичними речовинами, які можуть міститися в складному поєднанні, нелегко дослідити і проаналізувати. Дослідження атмосферного повітря пов'язані з визначенням мікрограмових кількостей речовин, тому для його аналізу слід застосовувати високочутливі методи. Проте для оцінки забруднення атмосферного повітря самих визначень концентрації забрудників, нехай навіть і точних, недостатньо. Потрібно ще визначити ГДК, щоб мати можливість порівняти, наскільки визначена концентрація домішок перевищує допустиму межу. Як вже зазначалося, для повітря встановлені ГДК<sub>р.3</sub> – гранично допустимі концентрації робочої зони – та ГДК шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених місць. Гранично допустимі концентрації дають змогу сформулювати вимоги до очисних споруд та визначити санітарно-захисну зону. Тому ГДК можна розглядати як один із шляхів запобігання надмірним забрудненням атмосфери. Однак ГДК санкціонують на законних засадах забруднення атмосферного повітря до певної межі. Крім

того, слід завжди пам'ятати, що ГДК встановлені для однієї речовини, а на практиці в повітря викидається кілька одночасно. Їхню спільну дію не вивчено. Крім того, визначення ГДК проводили на тваринах, і ці дані ми переносимо на людей. А тому все це слід враховувати в практичних умовах, зокрема визначати сумарний ефект комплексу забруднювальних речовин.

З метою стабілізації стану повітряного середовища та поліпшення якості повітря в країні передбачається розробити стандарти якості повітря, пов'язавши їх з міжнародною системою стандартів. Передбачається також створити нову систему екологічного нормування. Будуть уведені технологічні стандарти і нормативи для забруднювальних речовин викидних газів з урахуванням можливостей новітніх технологій.

Значення ГДК деяких забруднювальних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів наведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів

Речовина	Гранично допустима концентрація, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	максимальна разова	середньодобова	
Оксид нітрогену (IV) NO <sub>2</sub>	0,085	0,085	2
Аміак NH <sub>3</sub>	0,2	0,2	4
Ацетон	0,35	0,35	4
Бензин нафтовий (малосірчистий)	5,0	1,5	4
Бензпірен	-	0,1 мкг/100м <sup>3</sup>	1
Бутиловий спирт	0,1	0,1	3
Оксид ванадію (V)	-	0,002	1
Дихлоретан	3,0	1,0	2
Метанол	1,0	0,5	3
Нітробензол	0,008	0,008	2
Ртуть металева	-	0,0003	1
Сажа (кіптява)	0,15	0,05	3
Свинець та його сполуки в перерахунку на Pb	-	0,0007	1
Сірчистий ангідрид SO <sub>2</sub>	0,5	0,05	3
Гідрогенсульфід H <sub>2</sub> S	0,008	0,008	2
Карбондисульфід	0,03	0,005	2
Ціанідна кислота HCN	-	0,01	2
Хлоридна кислота HCl	0,2	0,2	2
Оксид карбону (II) CO	3,0	1,0	4
Фенол	0,01	0,01	3
Хром CrO <sub>3</sub>	0,0015	0,0015	1
Етанол	5,0	5,0	4
Етилен	3,0	3,0	3

Важливим нормативом, який дає змогу кількісно оцінити викид забруднювальних речовин в атмосферу, є гранично допустимий викид.

Під час проектування промислових підприємств слід дотримуватись певних норм викидів шкідливих речовин, для чого визначають максимальне значення приземної концентрації забруднювальної речовини C<sub>т</sub> (мг/м<sup>3</sup>). У разі викиду шкідливих газів з одиночного точкового джерела з круглим устям за несприятливих метеорологічних умов на відстані X<sub>м</sub> (м) від джерела C<sub>м</sub> визначають за формулою

$$C_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt[3]{\Delta TV_1}}$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери (табл. 6.5); M – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу, г/с; F – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від швидкості осідання шкідливих речовин (для газуватих речовин і дрібнодисперсних аерозолів – пилу, попелу F = 1. Для дрібнодисперсних аерозолів з коефіцієнтом очищення викидів не менш як 90 % F = 2, від 75 до 90 % F = 2,5, менш як 75 % і в разі відсутності очищення F=3); H – висота джерела викиду над рівнем землі, м; η – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від рельєфу місцевості (у разі рівної місцевості або з перепадом висоти не більш як



Таблиця 6.5. Значення коефіцієнта  $A$ 

Географічний район	Значення $A$
Європейська територія СНД і Урал на північ від 52° пн. ш. (за винятком центра європейської території), Україна	160
Для розташованих в Україні джерел заввишки до 200 м у зоні від 50° до 52° пн. ш.	180
Те саме на південь від 52° пн. ш.	200

50 м на 1 км  $\eta = 1$ );  $\Delta T$  – різниця температур викидних газів  $T_2$  і навколишнього атмосферного повітря  $T_n$  (за останню приймають середню максимальну температуру повітря найжаркішого місяця року);  $m$  і  $n$  – коефіцієнти;  $V_1$  – витрата викидних газів, м<sup>3</sup>/с, яку визначають за формулою

$$V_1 = \pi D^2 W_0 / 4,$$

де  $D$  – діаметр устя джерела викиду, м;  $W_0$  – середня швидкість викидних газів з устя джерела викиду, м/с.

Значення коефіцієнтів  $m$  і  $n$  залежать від параметрів  $f$ ,  $V_m$ ,  $V'_m$  і  $f_e$ :

$$\begin{aligned} f &= 1000 W_0 D / H^2 \Delta T; \\ V_m &= 0,65 \cdot \sqrt[3]{\Delta T V_1 / H}; \\ V'_m &= 1,3 W_0 D / H; \\ f_e &= 800 (V'_m)^3. \end{aligned}$$

Коефіцієнт  $m$  визначають залежно від  $f$  за формулами:

$$\begin{aligned} m &= 1 / (0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}) && \text{при } f < 100; \\ m &= 1,47 / \sqrt[3]{f} && \text{при } f \geq 100. \end{aligned}$$

Для  $f_e < f < 100$  значення коефіцієнта  $m$  обчислюють при  $f = f_e$ . Коефіцієнт  $n$  при  $f < 100$  визначають залежно від  $V_m$  за формулами:

$$\begin{aligned} n &= 0,532 V_m^2 - 2,13 V_m + 3,13 && \text{при } 0,5 \leq V_m < 2; \\ n &= 4,4 V_m && \text{при } V_m < 0,5. \end{aligned}$$

Відстань  $X_m$  (м) від джерела викидів, на якій приземна концентрація  $C$  (мг/м<sup>3</sup>) за несприятливих метеорологічних умов досягає максимального значення  $C_m$ , визначають за формулою

$$X_m = \alpha H (5 - F) / 4,$$

де безрозмірний коефіцієнт  $\alpha$  при  $f < 100$  обчислюють за формулами:

$$\begin{aligned} \alpha &= 2,48 (1 + 0,28\sqrt[3]{f}) && \text{при } V_m \leq 0,5; \\ \alpha &= 4,95 V_m (1 + 0,28\sqrt[3]{f}) && \text{при } 0,5 < V_m < 2; \\ \alpha &= 7\sqrt{V_m} (1 + 0,28\sqrt[3]{f}) && \text{при } V_m > 2. \end{aligned}$$

Якщо  $f > 100$  або  $\Delta T = 0$ , значення  $\alpha$  визначають за формулами:

$$\begin{aligned} \alpha &= 5,7 && \text{при } V'_m \leq 0,5; \\ \alpha &= 11,4 V'_m && \text{при } 0,5 < V'_m < 2; \\ \alpha &= 16\sqrt{V'_m} && \text{при } V'_m > 2. \end{aligned}$$

Для холодних викидів ( $\Delta T \approx 0$ ) висоту труби визначають за формулою

$$H = [AMFD\eta / 8 V_1 (\Gamma ДК - C_\Phi)^{3/4},$$

де  $C_\Phi$  – фонові концентрації шкідливої речовини, мг/м<sup>3</sup>.

Значення гранично допустимого викиду (ГДВ, г/с) для одиночного джерела з круглим устям у разі,

коли  $C_{\phi} < \Gamma_{ДК}$ , визначають за формулою

$$\tilde{\Delta} \hat{\Delta} = (\tilde{\Delta} \hat{E} \cdot \tilde{N}_0) \dot{I}^2 \sqrt[3]{\Delta \dot{O} V_1} / AFm\eta.$$

Якщо  $f \geq 100$  або  $\Delta T \approx 0$ , ГДВ обчислюють за формулою

$$\Gamma_{ДВ} = (\Gamma_{ДК} \cdot C_{\phi}) H^{4/3} \cdot 8V_1 / (AFmD).$$

### 6.10. ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗОДИМОВИХ ВИКИДІВ

З метою зменшення забруднення атмосферного повітря пилом та іншими шкідливими домішками потрібно на всіх промислових підприємствах організувати ефективне очищення відхідних газових викидів. Усі методи очищення можна розподілити на три групи: механічні, фізико-хімічні й хімічні (див. схему).

Вибір методу очищення залежить від кількості відхідних газів та їхнього складу. Механічні методи застосовують для очищення вентиляційних та інших газових викидів від грубодисперсного пилу. В них пил відокремлюється під дією сили гравітації, інерції або відцентрової сили.

Вибираючи систему пиловловлювання, слід враховувати швидкість газового потоку, вміст пилу та його фізико-хімічні властивості, розмір часточок і наявність водяної пари. Існує два види пиловловлювання: сухе і мокре. З екологічного й економічного погляду досконалішими є сухі пиловловлювачі. Вони дають змогу повернути у виробництво вловлений пил, тоді як при мокрому утворюються водяні суспензії, переробка яких потребує більших матеріальних затрат. Недоліком сухого пилоочищення є те, що воно забезпечує високий ступінь очищення тільки у разі малої запиленості відхідних газів.

Механічне *сухе пиловловлювання* здійснюють в осаджувальних камерах, циклонних сепараторах, механічних та електричних фільтрах. В осаджувальних камерах очищають гази з грубодисперсними часточками пилу розміром від 50 до 500 мкм і більше (рис. 6.1, а). Ефективнішою є осаджу-вальна камера Говарда (див. рис. 6.1, б), в якій газовий потік розбивається горизонтальними пластинами на окремі секції. Незважаючи на незначний аеродинамічний опір і невисоку вартість, ці апарати застосовують рідко через труднощі їх очищення. З них відхідні гази направляють в інші, ефективніші апарати для подальшого очищення.

#### Методи очищення відхідних газодимових викидів



Значно поширеніші циклонні сепаратори (рис. 6.2). У них запилений газ, обертаючись по спіралі, відкидає часточки пилу на стінки апарата 3, 4, звідки вони потрапляють у пилоосаджувальну камеру 5. Циклонні сепаратори ефективно очищають газ, що містять часточки розміром не менш як 25 мкм. Коефіцієнт корисної дії циклонів залежить від концентрації пилу і розмірів його часточок. Середня ефективність знепилення газів у циклонах становить 78-86 % для пилу розміром 30-40 мкм. Основний недолік циклонів – значне абразивне спрацювання частин апарата пилом. Тому ці частини вкривають синтетичними матеріалами або зносостійкими сплавами, що здорожує конструкцію апарата. Циклони використовують для очищення заплених газів і повітря з великими часточками в різних галузях промисловості.

У фільтрах газовий потік проходить крізь пористий матеріал різної щільності й товщини. Очищення від грубодисперсного пилу здійснюють у фільтрах, заповнених коксом, піском, гравієм, насадкою різної природи й форми. Для очищення від тонкодисперсного пилу використовують фільтрувальний матеріал типу паперу, повсті або тканини різної щільності. Папір використовують для очищення атмосферного повітря або газів з низьким вмістом пилу. В промислових умовах застосовують тканини або рукавні фільтри. Вони мають форму барабана, тканинних мішків або кишень, що працюють паралельно. Їх очищують струшуванням або продуванням повітря. Останнім часом як фільтрувальні тканини широко використовують синтетичні матеріали та скловолокно, що можуть витримувати температуру 150-250 °С, вони хімічно і механічно стійкіші і менш вологоємні порівняно з шерстю та бавовною. Останні дають змогу очищати газ з температурою не вище за 100 °С. Головною перевагою рукавних фільтрів є висока ефективність очищення, яка досягає 99 % для всіх розмірів часточок. Для тонкого очищення застосовують керамічні фільтри, фільтри з пластмас або скла. Ефективність пиловловлювання в них може досягати 99,99 %, а температура очищуваного газу – 500 °С.

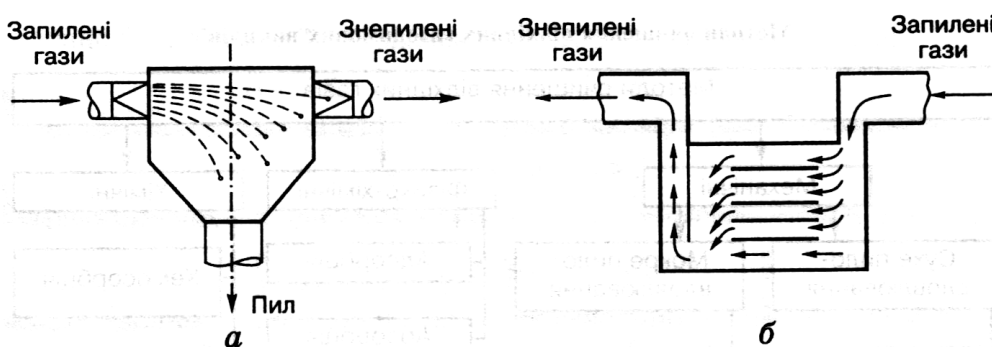


Рис. 6.1. Пилоосаджувальна камера (а) та осаджувальна камера Говарда (б)

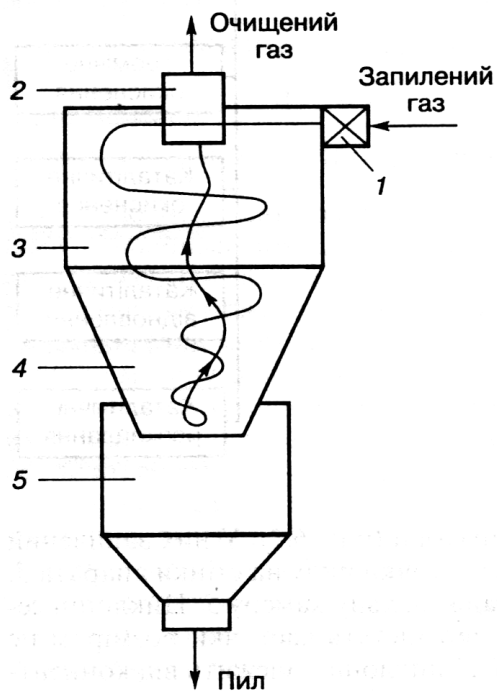


Рис. 6.2. Циклон:

1 — вхідний патрубок; 2 — вихлопна труба; 3 — циліндрична камера; 4 — конічна камера; 5 — пилоосаджувальна камера

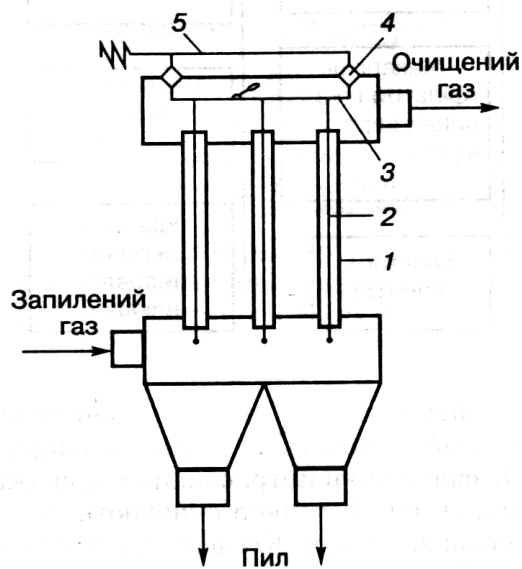


Рис. 6.3. Трубчастий електрофільтр:

1 — осаджувальний електрод; 2 — коронувальний електрод; 3 — рама; 4 — ізолятор; 5 — струшувальний пристрій

Для тонкого очищення газів від пилу використовують електрофільтри (рис. 6.3). Крім пилу вони можуть також очищати гази від аеро- та гідрозолів, тобто вловлювати більш дисперговані часточки. Електрофільтр складається з коронувального (негативного) 2 і осаджувального (позитивного) 1 електродів. Останній виготовляють у вигляді трубки або пластини. Електрофільтр живиться постійним струмом високої напруги (50- 100 кВ). При напруженості електричного поля між електродами 15 кВ/см повітря йонізується і створює позитивні та негативні заряди. Заряджені частинки осідають на часточки пилу, внаслідок чого вони рухаються до протилежно заряджених електродів і осідають на них. У сухих електрофільтрах для очищення поверхні електродів від пилу використовують струшувальні пристрої 5 ударно-молоткового типу. За допомогою електрофільтрів очищають значні об'єми газів від пилу з розміром часточок 0,01- 100 мкм за температури газів до 500 °С. Фільтри ефективно працюють при невеликих газових потоках, досягаючи ступеня очищення 99,9 %.

Для підвищення ефективності роботи електроди інколи змочують водою. Такі електрофільтри називають *мокрими*. У мокрих пиловловлювачах запилений газ зрошується рідиною або контактує з нею. Найпростішою конструкцією є промивна башта, заповнена кільцями Рашіга, скловолокном або іншими матеріалами. До апаратів такого типу належать скрубери та труби Вентурі. Часто для видалення шламів, що утворюються, труби Вентурі доповнюють циклонами. На рис. 6.4 зображено порожнистий форсунковий скрубер. Він являє собою циліндричну (або прямокутну) башту, виготовлену з металу, цегли чи залізобетону. Скрубери працюють за принципом протитечії: газ рухається знизу вгору, а поглинальна рідина (частіше вода) розпилюється форсунками згори вниз. Швидкість газу в скруберах – 1,0-1,5 м/с. Ефективність очищення газів залежить від змочуваності пилу і досягає 96-98 %. Для вловлювання важко-змочуваного пилу, наприклад вугільного, у воду додають поверхнево-активну речовину (ПАР). Скрубери можна застосовувати для холодних і гарячих газів, які не містять токсичних речовин (кислот, хлору тощо), оскільки вони видаляються в атмосферу разом з очищеним газом у вигляді туману.

У барботажних апаратах запилений газ пропускають крізь рідину (воду). Їх доцільно використовувати для очищення гарячих газів з часточками пилу розміром понад 5 мкм. Барботаж використовують також у пінних апаратах. Для створення піни у воду додають ПАР. Ефективність очищення в цих апаратах досягає 97-99 %.

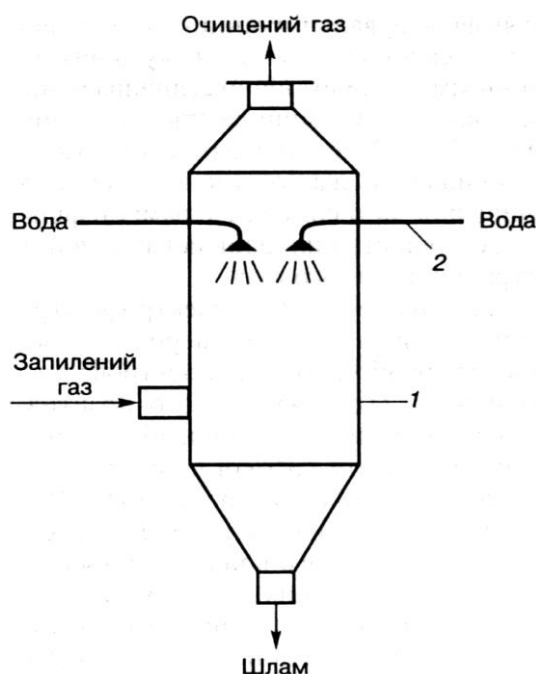


Рис. 6.4. Порожнистий форсунковий скрубер: 1 – корпус; 2 – форсунки

Недоліком мокрого очищення газів є те, що вловлений пил перетворюється на мокрий шлам. Для видалення останнього потрібно будувати шламову каналізацію, що здорожує конструкцію. Мокрі пиловловлювачі типу труби Вентурі характеризуються значними витратами електроенергії для подавання й розбризкування води, особливо для уловлювання пилу з розміром часточок менш як 5 мкм. Під час очищення деяких газів можлива лужна або кислотна корозія. Значно погіршуються умови розсіювання через заводські труби відхідних газів, зволжених під час охолодження в апаратах цього типу.

В апаратах інерційного пиловловлювання різко змінюється напрямок потоку (рис. 6.5). Часточки пилу за інерцією вдаряються об поверхню, осаджуються і через розвантажувальний пристрій видаляються з апарата. У середині апаратів розміщені пластини або кільця, об які вдаряється газ. Зверху апарати можуть зрошуватися водою. Тоді пил з них видаляється у вигляді шламу.

Ультразвукові апарати використовують для підвищення ефективності роботи циклонів або рукавних

фільтрів. Ультразвук сприяє адгезії і закріпленню часточок пилу. Ці апарати ефективні у разі високої концентрації пилу в очищуваному газі. Для збільшення ефективності роботи апарата його зрошують водою. Такі апарати в комплексі з циклоном застосовують для уловлювання сажі, туману різних кислот тощо.

До фізико-хімічних методів очищення газових викидів належать абсорбція і адсорбція. *Абсорбція* – це процес хімічного осадження або зв'язування забруднювальних речовин під час пропускання очищуваного газу крізь рідкий поглинач. Апарати для такого очищення називають абсорберами. В цих апаратах очищуваний газ і абсорбувальна рідина рухаються назустріч один одному. Абсорбцію застосовують для очищення повітря і відхідних газів, що містять токсичні забруднення – кислотні тумани, оксиди карбону (IV) і (II), ціанідну або ацетатну кислоти, сірчистий газ, оксиди нітрогену, різні розчинники тощо. Як поглинач використовують суспензії, що містять оксиди магнію і кальцію або вапняк:

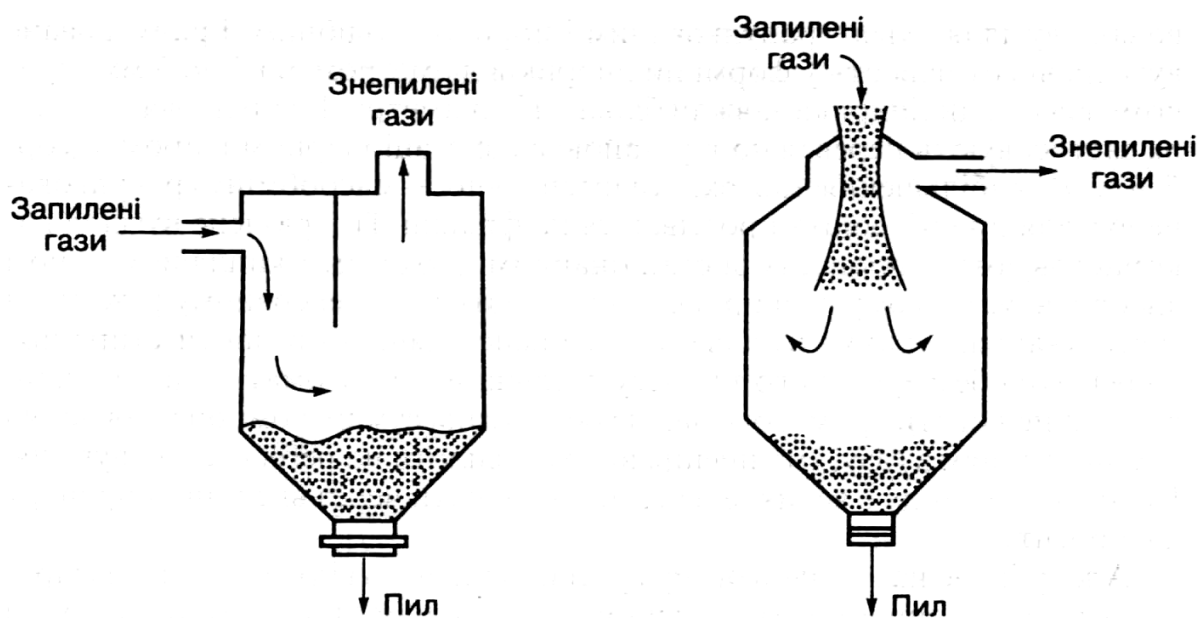
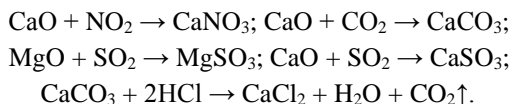


Рис. 6.5. Інерційні пиловловлювачі

Ефективність очищення становить 90-95 %. Шлами після очищення можуть використовуватись для подальшого перероблення й отримання продуктів. Недоліком цих апаратів є ускладнення процесу видалення шламів у разі утворення важкорозчинних речовин.

*Адсорбційний метод* очищення газів – це сорбція газуватих речовин на поверхні або в об'ємі мікропор твердого тіла. Тверду речовину, на поверхні або в об'ємі пор якої відбувається концентрування очищуваних речовин, називають *адсорбентом*. Поглинявані забруднювальні речовини, що перебувають у газовій або рідкій фазі, називають *адсорбтивом*, а після переходу в адсорбований стан – *адсорбатом*. У техніці використовують тверді адсорбенти з сильнорозвинутою внутрішньою поверхнею. Найчастіше як адсорбент використовують активоване вугілля, силікагель та глини, що мають велику поверхню. Один грам активованого вугілля має поверхню близько 5 км<sup>2</sup>. Вилучені з очищуваних газів речовини – адсорбтиви, які в подальшому видаляють шляхом десорбції, можуть бути використані для тих чи інших цілей. Цей процес називають регенерацією адсорбента і здійснюють здебільшого нагріванням перегрітою парою.

Апарати, в яких здійснюють адсорбцію, називають абсорберами. Їх виконують вертикальними, горизонтальними і з кільцевими полицями, на яких розташовують адсорбент. За розміром і формою часточок активоване вугілля буває гранульованим і порошкоподібним. Гранульоване вугілля виготовляють у формі циліндриків діаметром від 2 до 5 мм, причому висота циліндрика завжди більша від діаметра. Гранульоване вугілля застосовують переважно в установках зі стаціонарним шаром адсорбенту. Для збільшення поверхні та інтенсивності масообміну гранульоване вугілля подрібнюють і розсівають на фракції. Подрібнене вугілля використовують у процесах зі стаціонарним, рухомим і киплячим шаром адсорбенту. В цьому разі процес здійснюють у безперервному режимі і з застосуванням гранул вугілля з підвищеною міцністю проти стирання. Перевагою безперервного процесу є повна його автоматизація, можливість здійснювати хроматографічне розділення суміші компонентів поряд з їх виділенням з газу, зменшення витрат теплоти на регенерацію вугілля. Недоліком методу є великі енергетичні витрати через високий опір шару адсорбенту.

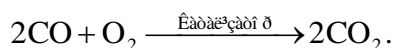
Адсорбцією на активованому вугіллі очищують відхідні газів від гідрогенсульфіду у виробництві

штучного волокна. За допомогою адсорбції на силікагелі очищують газові викиди від оксидів нітрогену. Цей метод широко застосовують для очищення викидних газів від багатьох інших шкідливих домішок.

*Хімічні методи* очищення викидних газів засновані на хімічному зв'язуванні шкідливих забруднювальних речовин. Дуже поширеним методом є хемосорбція, коли очищуваний газ промивають розчином речовин, що реагують із забруднювальними домішками. Так, для вловлювання оксидів нітрогену застосовують торфолужні композиції з гідроксидом кальцію або аміаком. У результаті хемосорбції утворюється добриво з 6 – 8 %-м вмістом зв'язаного азоту у вигляді нітратів кальцію і амонію.

*Спалювання* використовують для знешкодження горючих вуглеводнів, що не використовуються у виробництві. З економічного погляду це малоефективний процес, оскільки теплота не використовується і тільки призводить до теплового забруднення навколишнього середовища. Якщо концентрація горючих речовин недостатня для горіння, то застосовують *термічне окиснення*. При цьому очищуваний газ спалюють у полум'ї пальника.

У багатьох випадках для знешкодження відхідних газів застосовують *каталітичні процеси* окиснення, відновлення та розкладання. Наприклад, вихлопні автомобільні гази очищують від оксиду карбону (II) шляхом його окиснення до вуглекислого газу на мідно-мангановому каталізаторі, що являє собою суміш оксидів мангану і купруму:



Каталітичне відновлення оксидів нітрогену до  $\text{N}_2$  здійснюють за допомогою відновників – водню, метану або аміаку за наявності платино-паладієво-родієвих каталізаторів.



#### **Опрацювавши цей розділ, ви повинні вміти:**

- 1) схарактеризувати забруднення атмосфери;
- 2) назвати основні принципи класифікації забруднень атмосфери і пояснити їх практичне значення;
- 3) пояснити, що таке організовані й неорганізовані промислові викиди;
- 4) навести класифікацію джерел забруднення атмосферного повітря;
- 5) описати екологічний вплив забруднень атмосфери на здоров'я людей та стан довкілля;
- 6) схарактеризувати хімічну та фізико-хімічну поведінку забруднень в атмосфері;
- 7) пояснити хімічну та фізико-хімічну сутність «парникового ефекту», кислотних опадів, «озонової дірки» та вплив ядерних випробувань на стан атмосфери;
- 8) визначити сутність нормування якості атмосферного повітря;
- 9) зробити розрахунки приземної концентрації шкідливих речовин та гранично допустимих викидів в атмосферу;
- 10) схарактеризувати різні методи очищення газових викидів та можливості їх застосування на підприємствах.



#### **Запитання і завдання для самостійної роботи**

1. Назвіть види забруднень атмосфери і дайте їх коротку характеристику.
2. Знаючи обсяги добування енергетичних ресурсів у країні, зробіть розрахунки можливих викидів вуглекислого газу і сірчистого ангідриду в атмосферне повітря в Україні. Як зміниться викид цих речовин в атмосферу, якщо споживання палива збільшити вдвічі?
3. Які шкідливі викиди в атмосферу і в якій кількості зроблять 200 тис. легкових автомобілів за добу? За рік?
4. Яку кількість і яких шкідливих речовин викидає в атмосферу щороку чорна металургія, енергетика та автомобільний транспорт України?
5. Дайте визначення і поясніть на прикладах, що таке організований і неорганізований, первинний і вторинний викиди.
6. Назвіть ознаки, за якими класифікують джерела забруднення атмосферного повітря, і наведіть приклади.
7. Як впливає забруднення атмосфери на здоров'я людей та стан довкілля?
8. Скільки кисню споживає сім'я з чотирьох чоловік за добу і скільки потрібно дерев для його вироблення?
9. Як можна зменшити забруднення атмосфери?
10. Що відбувається з оксидами нітрогену, водяною парою, гідрогенсульфідом і оксидом сульфуру (IV), які потрапили в атмосферу з газовими викидами?
11. Як «поводяться» хлорфторорганічні сполуки в атмосфері?
12. Схарактеризуйте сутність «парникового ефекту» та його можливі наслідки.
13. Що сприяє випаданню кислотних опадів? Які їх наслідки?
14. Що таке «озонова дірка» і що спричинює її утворення?
15. Як запобігти випаданню кислотних опадів? Як зменшити руйнування озонного шару?
16. Як запобігти катастрофічним змінам клімату внаслідок антропогенної діяльності?
17. Які можливі наслідки термоядерної війни?

18. У чому полягає відмінність між ГДК і ГДВ?
19. В атмосферу викидають 1000 г/с відхідних газів, у яких міститься 7 %CO<sub>2</sub> і 0,3 % SO<sub>2</sub>. Визначте максимальне значення приземної концентрації цих забрудників, якщо підприємство розташоване в Київській області і має 100-метрову димову трубу діаметром 6 м. Температура викидних газів 120 °С. Середня кількість викидних газів становить 10 тис. м<sup>3</sup> за годину.
20. На підприємстві утворюються газодимові викиди, що містять пил з розміром часточок від 2 до 500 мкм та 0,8 % оксидів сульфуру. Запропонуйте конструкцію очисної споруди.
21. В яких випадках застосовують очищення викидних газів від пилу в пиловловлювальних камерах, циклонах та електрофільтрах?
22. Сформулюйте оптимальні умови роботи циклонів та електрофільтрів.
23. В яких випадках використовують абсорбційне і адсорбційне очищення газодимових викидів?
24. Чому на більшості підприємств при спалюванні палива в котельнях не використовують очищення викидів від «парникових» газів?
25. У чому полягає сутність методів очищення викидних газів спалюванням, термічним та каталітичним окисненням, каталітичним відновленням?
26. Скільки і яких викидів в атмосферу здійснюється в процесі виробництва 100 млн т сталі?

### 7.1. СПОЖИВАЧІ ВОДИ

Вода входить до складу всіх організмів біосфери, в тому числі і до складу тіла людини. У ньому вона виконує роль структурного компонента, розчинника і переносника поживних речовин, учасника біохімічних процесів, регулятора теплообміну з навколишнім середовищем. Від забезпеченості водою залежить життєдіяльність усіх живих організмів. Вода регулює клімат планети, забезпечує господарську та промислову діяльність людей.

Основними споживачами води є сільське й комунальне господарство та промисловість. У сільському господарстві воду використовують для поливу рослин, напування й приготування корму для свійських тварин, у комунальному господарстві – для пиття та приготування їжі для людей, для задоволення їхніх санітарно-гігієнічних потреб, як теплоносій тощо. У промисловості воду використовують як сировину, реагент та розчинник для проведення різних технологічних процесів, а також для промивання сировини й продуктів тощо.

Усі галузі господарства за відношенням до водних ресурсів поділяють на користувачів і споживачів. *Користувачі* використовують воду як середовище або джерело енергії і не забирають її з джерел (водний транспорт, рибальство, туризм, спорт, гідроелектростанції тощо). *Споживачі* забирають воду з джерел і використовують її за призначенням (пиття, приготування їжі, вирощування сільськогосподарської продукції, здійснення технологічних процесів на виробництві, обігрівання приміщень тощо).

У багатьох випадках вода після використання частково або повністю повертається до джерел, але зі зміненою якістю. Найбільше (до 70 %) прісної води споживає сільське господарство. Особливо велика кількість води витрачається в зрошувальному землеробстві. Нині у світі зрошується близько 15 % площ усіх сільськогосподарських угідь (в 1970 р. – 235 млн га). За деякими прогнозами, зрошувальні площі найближчим часом зростуть до 420 млн га. Питоме споживання залежить від виду сільськогосподарських культур, фізико-географічних умов району, технічного стану зрошувальних систем і способу поливу. Як приклад наведемо норми зрошення деяких культур, м<sup>3</sup>/га: зернові – 1500-3500, цукрові буряки – 2500-6000, багаторічні трави – 2000-8000, рис – 8000-15000.

Обсяг споживаної води в промисловості оцінюють *водоємністю виробництва*, під якою розуміють кількість води, необхідної для виробництва однієї тонни готової продукції. Водоємність різних видів продукції коливається в дуже широких межах, м<sup>3</sup>/т: сталі, чавуну – 15-20, сульфатної кислоти – 25-80, синтетичного волокна – 500, міді – 500, пластмас – 500-1000, синтетичного каучуку – 2000-3000. Для роботи ТЕС потужністю 300 тис. кВт потрібно близько 300 км<sup>3</sup> води на рік. Середній хімічний комбінат щодоби витрачає 1-2 млн м<sup>3</sup> води.

Споживання води населенням характеризують *питомим водоспоживанням*, під яким розуміють добовий об'єм води в літрах, необхідний для задоволення всіх потреб одного мешканця міста чи села. Питоме водоспоживання в містах більше, ніж у селах, і значною мірою залежить від ступеня благоустрою (наявності водопроводу, каналізації, центрального водяного опалення тощо). Так, питоме водоспоживання для деяких міст становить, л/добу: Нью-Йорк – 600, Париж – 500, Москва – 400, Київ – 300, Лондон – 263. У великих містах з населенням понад 3 млн чоловік добові витрати води сягають 2 млн м<sup>3</sup>, а річні – близько 1 км<sup>3</sup>. При цьому використовується вода досить високої якості, що потребує складної технології водопідготовки.

Якість води в кожному конкретному випадку визначається вимогами споживача. *Якість води* – це сукупність фізичних, хімічних, біологічних та бактеріологічних показників, які задовольняють вимоги споживачів. Вимоги до якості води нормуються державними галузевими стандартами або технічними умовами.

### 7.2. ЗАБРУДНЕННЯ ВОД СВІТОВОГО ОКЕАНУ

Основними джерелами забруднення вод є атмосферні опади, стоки з сільськогосподарських полів, ферм та інших об'єктів, міські й промислові стічні води та водний транспорт. Усі водні ресурси поділяють на підземні, поверхневі та атмосферні. *Підземні води* поширюються в земній корі до глибини 13-14 км. Вони заповнюють пори, тріщини й пустоти, мають тісний контакт з ґрунтом і породами земної кори. Для них характерне пошарове розміщення водоносних горизонтів, що відокремлені водонепроникними пластами породи, слабкий зв'язок з атмосферою, незначний розвиток біологічних процесів, бідність форм життя, підвищені температура й тиск. Усе це сприяє меншому забрудненню вод нечистотами та мікроорганізмами, завдяки чому вони переважно доброякісні. Знаходячись на значних і різних глибинах, вони характеризуються стабільнішим хімічним складом, містять більше корисних для здоров'я людини речовин (сполук кальцію, йоду, флуору та ін.). Проте й підземні води можуть



забруднюватися, якщо фільтрувального шару порід недостатньо.

За глибиною залягання підземні води поділяють на три зони. Верхня зона, глибина якої здебільшого становить 2-6 м, але може досягати 20- 60 (середина України) і навіть 300 м (південна частина України), має активний водообмін, зазнає дії фільтрівних атмосферних опадів та деякою мірою атмосферного повітря. Мінералізація води коливається в межах 100-1000 мг/дм<sup>3</sup>. Середня зона розміщена на глибинах 300-600 м, інколи – 2000 м. Цю воду використовують для бальнеологічних цілей. Нижня зона залягає на глибині кількох кілометрів. У ній практично немає водообміну і містяться високомінералізовані води хлорнатрієво-кальцієвого складу, інколи зі значним вмістом галогенсульфіду, броду та рідкісних елементів. Ці води використовують у промисловості для добування йоду, броду та рідкісних елементів.

З господарсько-питною метою використовують переважно води верхньої зони. Якість води залежить від ґрунтів та порід, розміщених нижче. Ґрунти торф'яно-тундрової зони збагачують воду органічними речовинами рослинного походження. Це стосується також болотних вод. Чорноземи, каштанові та солончакові ґрунти сприяють появі у воді переважно мінеральних речовин. Зі збільшенням глибини залягання вод зменшується число мікроорганізмів і на глибині 6 м і нижче воно дорівнює нулю. Шар ґрунту завтовшки 3,5-4 м на полях фільтрації затримує до 90 % мікроорганізмів.

Господарська діяльність людей спричинює забруднення підземних вод. Найбільший вплив на хімічний склад підземних вод мають інтенсивний розвиток промисловості, міст і хімізація сільського господарства, які супроводжуються появою значної кількості стічних вод і газових викидів. При цьому в атмосферу, ґрунти й поверхневі води потрапляють різні неорганічні та органічні речовини. Біологічне забруднення підземних вод зумовлюють різні мікроорганізми (бактерії, віруси та ін.). Найнебезпечнішим є забруднення вод хвороботворними мікроорганізмами, що можуть надходити в ґрунтові води з полів фільтрації, скотних дворів, вигрібних ям тощо.

До поверхневих вод належать води океанів, морів, озер, річок, боліт, ручаїв та штучних водосховищ. Океани, моря та деякі озера мають солону воду. Ріки, більшість озер, ставки, штучні водосховища, болота й ручаї містять прісну воду, яку використовують для господарського водозабезпечення. Річкову воду найчастіше використовують для господарсько-питного й технічного водозабезпечення.

Характерною особливістю річкової води є нестабільність і неоднорідність хімічного й бактеріологічного складу, незначна мінералізація за значного вмісту органічних речовин, рослинних і тваринних організмів, у тому числі й мікроорганізмів. У ній інтенсивно відбуваються біологічні процеси. Ці води доступні для будь-яких забруднень. Нестабільність складу пояснюється зміною кількості води в ріках залежно від пори року та метеорологічних факторів, а також локальними забрудненнями водоєм промисловими та господарсько-побутовими стічними водами. Основними джерелами забруднення є господарсько-побутові й зливові води. Останні змивають з ґрунтів значні кількості броду і переносять їх у ріки та інші поверхневі водойми. До них додаються промислові стічні води, в яких містяться шкідливі хімічні речовини. *Стічні води* – води, які відходять після використання в побутовій, промисловій та сільськогосподарській діяльності людини або які пройшли через будь-яку забруднену територію чи об'єкт.

Залежно від характеристики стічні води поділяють на умовно чисті (оборотні) і брудні. *Умовно чистими* (оборотними) стічними водами вважають води після охолодження технологічного обладнання, компресорів та іншого устаткування. Після використання в технологічних процесах їх охолоджують у градирнях і заводських ставках, у деяких випадках звільняють від зависей і знову повертають на охолодження. *Брудні* стічні води різняться за складом забрудників, який визначається технологією виробництва.

Усі види забруднень можна розподілити на хімічні, фізичні, біологічні й теплові. У різних технологічних процесах у промисловості використовують воду, внаслідок чого утворюються такі відпрацьовані стічні води:

- *реакційні* води, що виділяються в ході реакцій. Вони забруднені домішками сировини і продуктів реакції;
- *промивні* води після промивання сировини, продуктів, обладнання, тари, маточні водні розчини;
- *води, що надходять із сировиною* у вигляді вільної та зв'язаної води;
- водні екстрагенти і абсорбенти;
  
- *охолодні води*, що не стикаються з сировиною і продуктами;
- *побутові* води з їдалень, душових, після миття приміщень, пралень, туалетів та ін.;
- *атмосферні опади*, що стікають з території промислових підприємств та інших господарських об'єктів.

Залежно від виду виробництва ці води містять різні шкідливі сполуки неорганічної (луги, кислоти, мінеральні солі) та органічної (органічні сполуки, поверхнево-активні речовини, мийні засоби, пестициди, нафтопродукти тощо) природи. Більшість з них отруйні для біоти водоєм. Ці сполуки поглинаються фітопланктоном і передаються ланцюгами живлення більш високоорганізованим організмам. У результаті вміст шкідливих речовин у м'ясі хижої риби (щука, судак, окунь) може в тисячі разів перевищувати їх вміст у воді. Це дуже небезпечно для людей, птахів і тварин,

що споживають цю рибу.

Особливо сильно забруднюють природні поверхневі води промислові стічні води хімічних, нафтопереробних, металургійних, шкіряних заводів, текстильних і целюлозно-паперових фабрик,

м'ясокомбінатів та інших підприємств. Підприємства целюлозно-паперової промисловості скидають у водойми значні кількості целюлозного волокна та розчинених органічних сполук (вуглеводів, смол, жирів). Забруднені стічні води утворюються під час обробки целюлозної й паперової маси, під час промивання й загушення целюлози, конденсації звуков, розганяння скипидару-сирцю, видалення шлаків, «мокрого» обкорування деревини.

Значну кількість органічних сполук, не властивих природі (ксенобіотиків), містять стоки хімічних підприємств органічного синтезу, виробництва пластмас і мийних засобів. Багато з цих речовин дуже стійкі, біологічно активні і важко видаляються зі стоків, наприклад мийні засоби – детергенти.

У сільському господарстві для підвищення врожаїв і продуктивності земель застосовують пестициди, які змиваються з полів у ріки, озера та інші водойми. Тваринництво є постачальником значної кількості мертвої органіки – гною, підстилки, сечовини, які потрапляють у водойми. Наявність сполук нітрогену в поверхневих водах спричинена органічними речовинами тваринного або рослинного походження. При цьому вміст аміаку може коливатися від 0,05 до 1,0 мг/дм<sup>3</sup> і більше, нітритів – від 0,01 до 0,09 і вище, нітратів – до 5-10 мг/дм<sup>3</sup>. У відкритих водоймах міститься також багато різних органічних речовин – феноли, вуглеводні, гумінові сполуки тощо. Їх кількість нерідко сягає 70 % маси сухого залишку. Окиснюваність коливається в межах 2-30 мг Ог/дм<sup>3</sup>, зменшуючись узимку і збільшуючись улітку. Найбільшу окиснюваність мають води з вмістом гумінових речовин, що спричинює підвищену кольоровість (50-100 градусів і більше).

Біологічне забруднення води відбувається за рахунок надходження зі стічними водами різних мікроорганізмів, рослин і тварин (найпростіші, гриби, черви, бактерії, віруси та ін.). Багато з них є хвороботворними для людей, тварин і рослин. Найбільшими біологічними забрудниками є комунально-побутові стічні води. Промисловими біологічними забрудниками є підприємства шкірообробної промисловості, м'ясокомбінати й цукрові заводи. Бактеріальне обсіменіння рік, що протікають повз густонаселені райони, є дуже значним. Так, у водосховищі Москва число колоній досягає 429 000 в 1 мл, а подекуди може бути і значно вищим (600 000 і більше). Колі-індекс становить відповідно кілька мільйонів.

Фізичне забруднення води пов'язане зі зміною її фізичних властивостей: прозорості, вмісту зависей та інших нерозчинних домішок, температури й радіоактивності. Нерозчинні речовини (пісок, намул, глинисті часточки та ін.) потрапляють у воду з поверхневим зливом, особливо в разі розорювання водозахисних смуг уздовж річок і наближення орних ділянок до узрізу води. Багато зависей потрапляє у водойми із суспензіями з підприємств гірничорудної промисловості (драги, промивні установки та ін.). Пил заноситься з поверхні ґрунту сильними вітрами, особливо в суху погоду. Тверді завислі часточки зменшують прозорість води, пригнічуючи таким чином процеси фотосинтезу водних рослин, забивають зябра риб тощо. Особливу небезпеку для всього живого становлять радіоактивні домішки, що потрапляють у водойми з викидами АЕС, особливо під час аварій, з часточками попелу ТЕС.

Теплове забруднення спричинює спускання у водойми теплих вод з різних енергетичних установок. Надходження нагрітих вод у ріки й озера істотно змінює їх термічний і біологічний режими. Найбільшими тепловими забрудниками є ТЕС і АЕС. Підвищення температури води у водоймах призводить до таких негативних наслідків: до 26 °С шкідливого впливу не спостерігається; в інтервалі 26-30 °С відбувається пригнічення життєдіяльності риб; понад 30 °С спостерігається шкідлива дія на біоценози, а за 34-36 °С гине риба та деякі види інших організмів. У теплих водах порушуються умови нересту риб, гине зоопланктон, риби уражуються паразитами і хворобами.

Води морів і особливо океанів характеризуються не тільки високою мінералізацією (до 35 г/дм<sup>3</sup>), а й порівняно сталим сольовим складом. Це зумовлено величезною масою води в морях і океанах. Тому постачання ріками значної кількості різних речовин практично не впливає на співвідношення головних йонів у водах Світового океану. Проте спостерігаються коливання солоності води в окремих його частинах і на різних глибинах. Величина солоності коливається залежно від кліматичних умов, випаровування, льодоутворення, течій, стоку вод великих рік тощо. Найвищу солоність мають води тропічних широт (350-370 г/дм<sup>3</sup>), меншу – у високих широтах північної та південної півкуль (300-340 г/дм<sup>3</sup>). Солоність і хімічний склад внутрішніх морів, що мають обмежений водообмін зі Світовим океаном або зовсім його не мають, значно відрізняється від солоності вод океану. Так, у деяких містах Фінської затоки солоність становить 10-20 г/дм<sup>3</sup>, в Азовському морі – 110-120 і в Чорному – 170-180 г/дм<sup>3</sup>. У морських водах містяться також азот нітратів – 0,003-0,68 мг/дм<sup>3</sup>, сполуки фосфору – до 0,1 мг/дм<sup>3</sup> та деякі мікроелементи: рубідій, цезій, літій, арсен, бром, йод, флуор, ферум, манган, купрум, ванадій, молібден, нікол, аурум, аргентум та ін., а також радіоактивні елементи.

Води Світового океану значно забруднені і їх стан викликає занепокоєння. Води океанів і морів забруднюються річковими стоками, з якими щороку надходить понад 320 млн т заліза, 6,5 млн т фосфору та інших речовин. З атмосфери у воду океанів потрапляє 1 млн т вуглеводнів, 200 тис. т свинцю, 62 млн т фосфору й азоту, 5 тис. т ртуті. До найбільших забрудників вод Світового океану належать нафта та її продукти. Щороку її потрапляє 5-6 млн т. Нафтове забруднення в деяких районах Світового океану стає катастрофічним, що загрожує життєдіяльності місцевої флори і фауни.

Моря й океани забруднюються також побутовими й промисловими твердими відходами, яких накопичилося понад 20 млрд т. Особливо небезпечним є радіоактивне забруднення, що спричинюється випробуваннями ядерної зброї, роботою ядерних реакторів на військових підводних човнах і криголамах, скиданням контейнерів з радіоактивними відходами. Загальна радіоактивність у водах Світового океану визначається в  $5,5 \cdot 10^{19}$  Бк або  $1,5 \cdot 10^{19}$  Кі, що в 30 разів перевищує викиди під час аварії на Чорнобильській АЕС.

Несприятливий стан вод Світового океану і проблеми його захисту турбують усе світове співтовариство. Тому ООН розробила кілька важливих угод, підписаних більшістю країн, які регулюють видобуток корисних копалин з морських родовищ, судноплавство та вилов риби. До цих угод належить і «Хартія морів», підписана більшістю країн у 1982 р. За станом вод Світового океану стежить міжнародна служба моніторингу.

### 7.3. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ВОДОЙМ УКРАЇНИ

Коротко розглянемо екологічний стан водойм України. Ріки Дніпро та Дністер є найбільшими прісноводними водоймами країни, в басейнах яких проживає близько 80 % населення. Ці ріки впродовж тривалого часу мали велику біологічну продуктивність, а їх природні ресурси споживали мільйони людей. З інтенсивним розвитком промисловості, сільського й житлово-комунального господарства було побудовано понад 800 водосховищ, у тому числі 13 з об'ємом понад 100 млн м<sup>3</sup>, значно зросло споживання прісної води та скидання забруднених стічних вод. Для потреб промисловості й сільського господарства з Дніпра щороку відбирають близько 15 млрд м<sup>3</sup> води і скидають у нього близько 10 млрд м<sup>3</sup> неочищених стічних вод. В атмосферу басейну щороку викидається понад 10 млн т газопилових забруднень з промислових об'єктів. У басейні Дніпра працюють 5 атомних електростанцій. У стічних водах містяться в надлишковій кількості амонійний та нітритний азот, нафтопродукти, фенол, солі важких металів та хлорорганічні пестициди. З дощовими й талими водами в Дніпро та його водосховища потрапляє близько 500 тис. т сполук нітрогену, 1 тис. т заліза, 40 тис. т фосфорних і 20 тис. т калійних добрив, 40 т нікелю, 2 т міді, 0,5 т хрому. В результаті води Дніпра містять 3- 38 ГДК амонійного азоту, 5-29 ГДК цинку, 2-25 ГДК мангану та ін.

Значної шкоди Придніпров'ю завдало будівництво шістьох ТЕС та водосховищ, що затопили майже 700 тис. га родючих заплавлених земель (близько 2,1 % загальної площі України). В результаті такого будівництва режим Дніпра наблизився до застійного озерного. Різко зменшився водообмін і створилися застійні зони. Ріка втратила здатність самоочищатися. Піднявся рівень ґрунтових вод далеко від берегів. Почастішала евтрофікація вод і посилилося засолення ґрунтів. Майже в десять разів збільшився об'єм підземного стоку вод. У нижній частині басейну іригації змінився водно-сольовий режим ґрунтів, зменшився вміст гумусу в ґрунтах та посилилася їх ерозія в прибережній зоні. Внаслідок знищення під водою садів та городів щороку втрачається 3-4 млн т фруктів і овочів та близько 1 млн т зерна. Екологічна, енергетична та рибогосподарська вигода від створення водосховищ незначна, а нині вони перетворилися на гігантські накопичувачі промислового й побутового бруду. Майже половина річного обсягу стоку Дніпра забруднена.

Надзвичайно небезпечним є радіаційне забруднення донних відкладів Дніпра, особливо Київського водосховища, після аварії на ЧАЕС. У намулах Дніпродзержинського й Дніпровського водосховищ накопичуються значні кількості заліза, важких металів, фенолу та нафтопродуктів. Київське, Канівське й Дніпродзержинське водосховища забруднені нітратним та амонійним азотом (11-16 ГДК). Максимальні концентрації міді (110ГДК) спостерігалися в Дніпродзержинському водосховищі, цинку (140 ГДК) – у Канівському водосховищі біля м. Києва.

Більшість приток Дніпра забруднені переважно амонійним і нітратним азотом, фенолами, нафтопродуктами та сполуками важких металів. Найвищий рівень забруднення встановлено у воді річок Устя, Тур'я, Мокра Московка, особливо сполуками купруму й цинку, максимальні концентрації яких відповідно дорівнюють 30-35 і 14-19 ГДК. Високий вміст міді (44-17 ГДК) і мангану (38 ГДК) спостерігався у водах Горині (смт. Оржів), Тетерева (м. Житомир), Гнилоп'яті (м. Бердичів), Десни (м. Чернігів).

У басейні р. Дунай спостерігається високе забруднення нітратним азотом (11-16 ГДК), сполуками цинку (11 ГДК), мангану (10-21 ГДК) та нафтопродуктами, р. Дністер – нітратним азотом (13-19 ГДК), сполуками купруму (80), цинку (1,1) і мангану (16-61 ГДК). Особливо забрудненими є притоки Дністра – річки Тисьмениця, Свіча, Чечва, Бистриця-Сологвинська, Золота Липа, Коропець, Серет – амонійним і нітратним азотом, фенолами та сполуками купруму й цинку.

У надзвичайно незадовільному екологічному стані перебуває Азовське море. Погіршення екологічної ситуації зумовлене будівництвом гребель і водосховищ на ріках Дон і Кубань, які живлять море, впровадженням зрошувального землеробства та рибосіяння в прибережних районах, облаштуванням великих водозаборів у басейнах Дону й Кубані, які щороку недодають в Азовське море 10-15 км<sup>3</sup> прісної води. Зростання забруднення навколишнього середовища викидами хімічної та металургійної промисловості (Ростов, Таганрог, Камиш-Бурун, Маріуполь, Донецьк), змив пестицидів з полів та будівництво численних баз відпочинку також сприяли погіршенню екологічного стану і призвели до різкого зменшення біологічної продуктивності екосистем. Так, вилов риби, який 50 років тому був у 40 разів більшим, ніж у Чорному й Балтійському морях разом узятих, скоротився в 40 разів.

У Чорному морі поступово підіймається до поверхні межа насичених гідрогенсульфідом глибинних вод. Якщо раніше вона була на глибині 150-200 м, то нині – 80-110 м. Значно погіршилася якість води в Дністровському й Дніпровському лиманах, Каркінітській і Каламітській затоках, а також у Сасикському водосховищі. Шельфові води Чорного моря забруднюються незадовільно очищеними стічними побутовими водами міст, розташованих на узбережжі. Внаслідок незадовільного санітарного стану часто закривали пляжі цих міст.

На форзаці II наведено в спрощеному вигляді карту «Україна. Забрудненість поверхневих вод» (В. А. Барановський, В. Г. Бардов, С. Т. Омельчук, 2000), що базується на санітарно-гігієнічному підході до

якості води в природних водоймах. Стан водних об'єктів аналізували за результатами досліджень поверхневих вод на пунктах господарсько-питного, культурно-побутового та рекреаційного водокористування, проведених Центральною СЕС у 1983-1985 та 1995-1997 рр. Гігієнічна класифікація водних об'єктів за ступенем забруднення передбачала оцінку якості води за органолептичними, токсикологічними, загальносанітарними та бактеріологічними показниками. Перевищення концентрації забруднювальних речовин у 4-8 і більше разів ГДК оцінювалася в 3-4 бали (норма 2), що є перешкодою для питного водокористування. Небажаною є питна вода з дуже високою (понад 1000 мг/дм<sup>3</sup>) і дуже низькою (менш як 100 мг/дм<sup>3</sup>) мінералізацією.

Санітарний режим природних вод оцінювали за вмістом розчиненого кисню, БСК5 і БСК20, окиснюваністю і ХСК. До цієї групи належать важливі характеристики вмісту у воді розчинних органічних речовин, мікроорганізмів і бактерій. Бактеріологічні показники визначали за індексом ЛКП (вмістом бактерій групи кишкової палички). Вміст цих компонентів оцінювали порівнянням їх з ГДК, а сумарний їх вміст – за допомогою індексного принципу, який дав змогу привести всі показники окремих полютантів до єдиної системи вимірювання та їх зіставлення.

За отриманими індексами забрудненості оцінювали якісний стан води за ступенем забрудненості: допустима (індекси 0-5), помірна (5-10), підвищена (10-15), висока (15-20) і дуже висока (понад 20). Вода з допустимим рівнем забрудненості (індекс 0-5) характеризується як чиста і може використовуватися без обмеження. У разі вживання води з помірним забрудненням, що характеризується як умовно чиста, існує ризик несприятливого її впливу на стан здоров'я людей. Решта градацій гігієнічної оцінки характеризують її як забруднену і непридатну для вживання.

Загалом для водомірних постів України переважають помірно забруднені води, тобто умовно чисті. Екологічно чиста вода виявлена в Закарпатській, у південній частині Вінницької, на південному сході Харківської та заході Одеської областей, а також у південно-західній частині Автономної Республіки Крим. Підвищена забрудненість води відмічена у Львівській, Одеській, Запорізькій, Дніпропетровській та Донецькій областях. Висока забрудненість води – в північній частині Донецької області і дуже висока – на значній території Херсонської області.

Малі річки забруднені значно більше, ніж великі. Вони мають невисоку стійкість і низький потенціал самоочищення. Отже, швидшими темпами деградуєть малі річки.

Забруднення поверхневих вод значною мірою впливає на якість підземних вод. Найбільш незадовільний якісний стан підземних вод на Півдні України: в Одеській, Миколаївській, Херсонській і Запорізькій областях та Автономній Республіці Крим. Понаднормове забруднення пестицидами спостерігається у Вінницькій, Житомирській, Луганській та Миколаївській областях і Автономній Республіці Крим. Нітратне забруднення, що перевищує ГДК, відмічається практично на всій території України, за винятком її західних областей.

## **7.4. ПОВЕДІНКА ЗАБРУДНЕНЬ У ВОДОЙМАХ ТА ВПЛИВ ЇХ НА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ ОРГАНІЗМІВ І ЗДОРОВ'Я ЛЮДЕЙ**

### **Самоочищення води**

У природних водоймах, розташованих далеко від населених пунктів, розвиваються типові для певних місцевостей біоценози: водорості, бактерії, гриби, найпростіші, вищі, рослини й тварини. Ці біоценози перебувають у певній біологічній рівновазі, властивій даним кліматичним та екологічним умовам. Стічні води, що потрапляють до водойм, призводять до зміни умов середовища і біологічного складу. Якщо хімічний склад та інші властивості стічних вод стали, у водоймі складається співтовариство організмів, що відповідає новим екологічним умовам. Різні групи організмів поетапно розкладають органічні речовини. У результаті складних біохімічних процесів бактерії та інші мікроорганізми розкладають вуглеводи, білки та жири на простіші сполуки. Кінцевими продуктами є мінеральні солі (сульфати, нітрати, фосфати), гази (вуглекислий газ, водень, гідрогенсульфід, аміак) і вода. Ці сполуки споживають із води водорості та вищі рослини. Водорості за наявності сонячного випромінювання засвоюють вуглекислий газ і виділяють кисень, який використовується для окиснення органічних сполук.

Дуже важливу роль у процесі самоочищення відіграють нижчі види тварин: найпростіші одноклітинні та ракоподібні. Вони живляться водоростями, грибами й бактеріями, запобігаючи надмірному розвитку останніх і можливості вторинного забруднення. Дрібні тварини поїдаються рибами, а риба використовується в їжу людиною та більшими тваринами. Так замикається ланцюг біологічних змін, пов'язаних із самоочищенням водойм. Якщо розкладання органічних речовин відбувається повністю, а його продукти використовуються для побудови нової органічної матерії, надлишок її постійно видаляється з води. У водоймі встановлюється біологічна рівновага, наслідком якої є чиста вода.

Однією з найважливіших умов, необхідних для перебігу біологічних та біохімічних процесів у напрямку самоочищення води, є наявність у ній розчиненого кисню. Якщо кількість кисню достатня для біологічних перетворень органічних забруднень, процес самоочищення води відбувається безперервно з підтриманням у середовищі достатнього вмісту кисню. Якщо ж кисню у воді міститься недостатньо, його може не вистачити для підтримання життєвих процесів: аеробне середовище в такому разі перетворюється на анаеробне. Органічні сполуки замість окиснення зазнають анаеробного розкладання з виділенням гідрогенсульфіду, метану, водню, оксиду карбону (IV), що призводить до вторинного забруднення водойми.

Швидкість біологічних процесів у водоймі залежить від багатьох факторів. Так, з підвищенням температури вона зростає, що супроводжується швидшою витратою кисню у водоймі. Це спричинює певну небезпеку для водойм у разі скидання в них значної кількості стічних вод улітку або теплих стоків. Влітку кисень витрачається значно швидше, ніж узимку.

### Евтрофікація водойм

Стічні води з сільськогосподарських полів і тваринницьких ферм та деякі промислові містять у своєму складі багато біогенних речовин – органічних сполук нітрогену та фосфору. Багато азоту і фосфору міститься в побутових стічних водах. В них міститься (в грамах на людину за добу): сполук нітрогену (в перерахунку на N) – 7-8 ; фосфору (в перерахунку на P) – 1,5-1,8; калію (в перерахунку на K) – 3. Зростання вмісту біогенних елементів, особливо фосфатів, у ріках, озерах та інших водоймах спричинює інтенсивний розвиток синьозелених та деяких інших водоростей («цвітіння» водойм). Це супроводжується різким зниженням вмісту у воді кисню. Вода стає непридатною для життя, гинуть риба та інші водні тварини. У водоймах починають переважати анаеробні процеси. Цей процес називають евтрофікацією. *Евтрофікація вод* – накопичення у водоймах органічних речовин під впливом антропогенних факторів (забруднення стічними водами) або з природних причин. Підвищення біологічної продуктивності екосистеми відбувається внаслідок збагачення її поживними речовинами (фосфором, азотом та ін.). Природна евтрофікація спостерігається тисячоліттями, а антропогенна настає набагато швидше, особливо у водоймах з уповільненим обміном води – озерах, ставках, водосховищах тощо. Евтрофікація вод – процес оборотний. Ефективними засобами боротьби з евтрофікацією вод є припинення надходження біогенних елементів у водойми, очищення стічних вод, агротехнічні й лісогосподарські заходи, що зменшують винесення біогенних речовин з площі водозабору, і збагачення киснем води.

### Вплив забруднень на життєдіяльність організмів і здоров'я людей

Забруднення рік, озер, морів і океанів набуває загрозового характеру і в багатьох районах перевищує їх здатність до самоочищення. У результаті зменшуються ресурси прісної води. Вже нині в багатьох країнах та південних районах України спостерігається її нестача. Незадовільне водозабезпечення населення часто є наслідком істотного погіршення якості води, зумовленого антропогенним забрудненням патогенними мікроорганізмами та різними ксенобіотиками господарсько-побутового й техногенного походження. За даними ООН, у світі щороку виробляють до 100 тис. нових хімічних сполук, серед яких близько 15 тис. є потенційними токсикантами. Скидається понад 120 км<sup>3</sup> стічних вод за рік, які здатні зробити непридатною для вживання близько 7 тис. км<sup>3</sup> чистої води, що в 1,5 раза більше від усього річкового стоку колишнього СРСР упродовж року (4700 км<sup>3</sup>). Внаслідок непродуманих і нерациональних рішень створюються загрозові та катастрофічні екологічні ситуації на багатьох акваторіях. До них належать забруднення вод найбільшого прісноводного озера Байкал, катастрофічне обміління озера Арал внаслідок надмірного використання річкових стоків Амудар'ї й Сирдар'ї для поливу бавовняних полів тощо.

Забруднення вод Світового океану нафтою порушує тепло- і волого-обмін між атмосферою і океаном, становить загрозу для розвитку флори і фауни. Так, локальні забруднення в Середземному та Північному морях призводять до загибелі сотень тисяч морських птахів, риб, тюленів та інших тварин.

Дуже небезпечні наслідки має біологічне забруднення, особливо в місцях масового відпочинку людей (курортні й рекреаційні зони узбережжя озер, морів та інших водойм). Упродовж останніх років багаторазово закривалися пляжі Чорного та Азовського морів та на багатьох інших водоймах внаслідок виявлення у воді збудників холери, дизентерії, вірусного гепатиту та інших інфекцій.

Вживання мешканцями японської затоки Мінамата риби й крабів, виловлених у забруднених пестицидами водах, спричинило хронічне захворювання центральної нервової системи (хвороба «Мінамата»). Там само, в Японії, забруднення вод кадмієм на рисових плантаціях викликало масове захворювання «ітай-ітай» («ох-ох»), пов'язане з ураженням кісткової системи людини. Щороку від таких хвороб, як холера, дизентерія, бильгарціоз, онхоцеркоз та ін., що передаються через воду, у світі вмирає до 50 тис. чоловік. Спалахи холери відмічалися в країнах Африки (Танзанія і Мозамбік). Встановлено, що близько 80 % хвороб у світі зумовлено незадовільною якістю води. Від хвороб, пов'язаних з водою, потерпає близько половини населення планети.

### 7.5. ЛАСИФІКАЦІЯ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН

Згідно з класифікацією, запропованою Л. А. Кульським, забруднювальні речовини за їх фазово-дисперсним станом і відношенням до дисперсійного середовища поділяють на чотири групи. Домішки перших двох груп (крім високомолекулярних сполук) утворюють термодинамічно нестійкі гетерогенні системи, а двох інших – термодинамічно рівноважні оборотні гомогенні системи (див. схему на с. 98).

До *першої групи* належать не розчинні у воді зависі, а також бактерії та планктон. Вони кінетично нестійкі і підтримуються у завислому стані динамічними силами водяного потоку. В стані спокою зависі осідають. Розмір їх часточок становить 10<sup>-3</sup>-10<sup>-7</sup> м.

*Друга група* домішок поєднує гідрофільні й гідрофобні мінеральні та органо-мінеральні колоїдні часточки ґрунтів, недисоційовані і нерозчинні форми високомолекулярних гумусових речовин,

детергенти та інші речовини. До цієї групи належать також віруси і мікроорганізми, які за своїми розмірами близькі до колоїдних часточок. Розміри дисперсних часточок знаходяться в межах  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  м. Кінетична стійкість гідрофобних домішок характеризується співвідношенням сил гравітаційного поля і броунівського руху. Агрегативна стійкість їх зумовлена електростатичним станом міжфазної поверхні і утворенням на поверхні частинки стабілізуювальних шарів.

Третя група забруднювальних домішок включає молекулярно-розчинні сполуки розміром менш ніж  $10^{-9}$  м. До неї відносять розчинені гази, органічні речовини біологічного походження та інші домішки, що можуть міститися в складі промислових і господарсько-побутових стоків. У водному середовищі можливий перебіг двох процесів: сполучення різнорідних молекул (гідратація) і сполучення однорідних молекул (асоціація). Молекулярно-розчинні речовини здатні за рахунок водневих зв'язків утворювати з водою неміцні сполуки, що існують лише в розчині. Велике значення ці зв'язки мають також при асоціації молекул розчиненої речовини. Необхідною умовою їх виникнення є достатня полярність валентних зв'язків гідрогену у вихідних речовинах.

### Класифікація забруднювальних речовин у природних і стічних водах

Система	Гетерогенна		Гомогенна	
Група	Перша	Друга	Третя	Четверта
Фізико-хімічна характеристика	Суспензії та емульсії	Колоїдно-розчинні речовини	Молекулярно-розчинні речовини	Речовини, дисоційовані на йони
Розміри, м	$10^{-3}$ $10^{-4}$ $10^{-5}$ $10^{-6}$ $10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$
Основні представники	Тонкі зависі Крупні зависі Планктон	Гідрофобні колоїди Гумінові речовини Віруси	Розчинені гази Органічні речовини Органічні електроліти	Катіони Аніони
Методи контролю	Мікроскоп Пори фільтрів: паперових мембранних Седиментаційний аналіз	Ультрамiкроскоп Електронний мікроскоп Діаліз Релєєвське розсіювання	Електропровідність Пори гіперфільтраційних мембран Поглинання світла в ультрафіолетовій і видимій частинах спектра	

До четвертої групи забруднювальних домішок належать електроліти – речовини з йонним або сильно полярним зв'язком, які під впливом полярних молекул води дисоціюють на йони. Кристалічні структури цих речовин руйнуються переважно в результаті процесу гідратації.

Для кожної групи домішок можна виділити деякі специфічні фізико-хімічні методи контролю їх вмісту. При цьому враховують розмір часточок, рухливість в електричному полі, взаємодію зі світловим випромінюванням, кінетичну нестійкість системи «вода – домішка» та інші особливості.

### 7.6. КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВОДИ

Рациональне використання і відтворення водних ресурсів та екосистем має бути спрямоване на забезпечення стійкого функціонування водних екосистем, захист, збереження та відновлення водних ресурсів поверхневих, підземних і морських вод. Це здійснюють з метою забезпечення безпечного для життя і здоров'я населення використання водних об'єктів, достатніх водних ресурсів для потреб комунального, сільського та рибного господарства, промисловості, енергетики й транспорту.

Контроль і управління якістю води є одним із засобів санітарної охорони водойм від антропогенних забруднень та забезпечення максимальної продуктивності водних екосистем і рационального

використання водних ресурсів. Основним завданням інженера-технолога є економне використання чистої води та запобігання забрудненню водою промисловими стоками.

Ступінь допустимого забруднення води у водоймах, що визначається її фізичними властивостями і здатністю до нейтралізації домішок та самоочищення, розглядають як *гранично допустиме навантаження на водойму (ГДН)*. Оскільки в результаті споживання води її ресурси зменшуються і можливі ушкодження екосистем або можливе використання водою для купання, рибальства та відпочинку, обмеження навантаження тільки з погляду потрапляння у воду промислових забруднень є недостатнім. У цих випадках потрібно розробляти нормативи *гранично допустимого екологічного навантаження на водойму (ГДЕН)*.

Відповідно до регламенту водокористування «Правила охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» допустиме навантаження на водойму ( $C_{\text{доп}}$ ) визначається як різниця між установленим нормативним навантаженням (тобто можливістю) та існуючим ( $C_{\text{існ}}$ ). Так, якщо під нормативним навантаженням розуміють концентрацію деякої речовини ( $C_{\text{норм}}$ ), то можливість скидання цієї речовини у водойму ( $C_{\text{доп}}$ ) становить

$$C_{\text{доп}} = C_{\text{норм}} - C_{\text{існ}}$$

Якщо показники складу і властивостей води у водоймі змінилися в результаті виробничої діяльності та побутового використання і стали непридатними для одного з видів водокористування, таку водойму вважають забрудненою. Якщо різні домішки перебувають у межах, допустимих нормативами, водойму вважають не забрудненою.

Поняття «забрудненість води» не є абсолютним. Воно стосується певного місця водойми і конкретного водокористувача. Тому водний об'єкт поза місцем водокористувача не вважають забрудненим навіть у разі повної руйнації екосистеми внаслідок скидання шкідливих речовин. Незважаючи на те, що подібний підхід розглядається поки що як об'єктивно необхідний (з технічних причин повністю припинити скидання відходів виробництва у водойми неможливо), з екологічного погляду він зовсім не правомірний. Звідси випливає правило – порада інженеру виробництва: незалежно від того, забезпечується чи не забезпечується нормативне навантаження на водний об'єкт в установленому місці водокористування, інженер зобов'язаний ужити всіх технічно допустимих заходів для того, аби звести до мінімуму скидання шкідливих речовин від технологічних процесів.

## 7.7. НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ ВОДИ

Під забрудненістю розуміють такий стан водного об'єкта в офіційно встановленому місці його використання, за якого спостерігається відхилення від норми в бік збільшення вмісту тих чи інших компонентів. Критерієм забрудненості води є погіршення її якості внаслідок зміни хімічного складу, органолептичних властивостей і вмісту шкідливих для людей та рослинних і тваринних організмів речовин, а також підвищення температури води, що несприятливо впливає на умови життєдіяльності водяних організмів. *Водоохоронними* називають заходи, вжиття яких забезпечує дотримання норм якості води у водоймі. Розрізняють п'ять основних аспектів водоохоронних заходів: юридичний, організаційний, екологічний, економічний і технічний. Основна нормативна вимога до якості води у водоймі – збереження встановлених гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин.

Склад і властивості води у водоймах мають відповідати нормативам у створі, закладеному на водотоках, на відстані одного кілометра вище від найближчого за течією пункту водокористувача (господарсько-питне водопостачання, місця купання, організованого відпочинку, територія населеного пункту тощо), а на непроточних водоймах – на відстані одного кілометра по обидва боки від пункту водокористувача. У багатьох випадках стічні води скидають у межах міської забудови. Отже, першим пунктом водокористування в даному випадку є населений пункт. Тому стічні води слід очищати або розбавляти перед скиданням у водойму чи розсіювати відразу після випускання до встановлених нормативів ГДК.

Як і для забрудників атмосферного повітря, для води встановлено окреме нормування якості води. Принцип розподілу тут інший і пов'язаний з категорією водокористувачів. Останніх поділяють на дві категорії: використання води для задоволення потреб населення та для рибогосподарських цілей. Для потреб населення, підприємств харчової промисловості та культурно-побутових цілей (купання, відпочинок) використовують воду господарсько-питного призначення. Вода для рибогосподарських цілей має відповідати умовам життєдіяльності цінних порід риб, що мають високу чутливість до вмісту у воді кисню.

Гранично допустимі концентрації деяких речовин у питній воді та воді для рибогосподарського призначення наведені в табл. 7.1. Лімітуючі показники шкідливості забруднювальних домішок стічних вод установлюють за санітарно-токсикологічним, загальносанітарним, органолептичним та бактеріологічним показниками.

Органолептичні показники визначають за запахом, смаком, кольором, кількістю завислих речовин, рН, загальною твердістю, загальною мінералізацією, сухим залишком, вмістом магнію, мангану, заліза, хлоридів, сульфатів, нафтопродуктів тощо. Питна вода має містити не більш як 1 г/л (в деяких випадках допускається 1,5 г/л) солей. Вона не повинна містити галогенсульфід і метан, що надають їй неприємного запаху і смаку. Вміст солей кальцію і магнію зумовлює твердість води. Загальна твердість

води має становити 7-10 мг екв/л.

**Таблиця 7.1. Гранично допустимі концентрації деяких домішок у водоймах господарсько-побутового водокористування**

Домішки	Лімітуючий показник	ГДК шкідливих домішок у водоймах, мг/л	
		господарсько-побутового призначення	рибогосподарських
Аміак (у перерахунку на азот)	Загально-санітарний	2,0	0,1
Арсен [As(III)], крім органічних сполук	Санітарно-токсикологічний	0,05	0,05
Каламутність	Загальносанітарний	1,5	-
Солі амонію (в перерахунку на NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	-“-	-	5,0
Бензин	Органолептичний	0,1	-
Бензол	Санітарно-токсикологічний	0,5	-
Берилій (Be)	-“-	0,0002	-
ДДТ технічний	-“-	0,2	0,0
Дихлоретан	Органолептичний	2,0	-
Залізо [Fe(II)]	-“-	0,5	-
Кобальт (Co <sup>2+</sup> )	Санітарно-токсикологічний	1,0	0,01
Магній (Mg <sup>2+</sup> )	Загальносанітарний	-	50,0
Мідь (Cu <sup>2+</sup> )	-“-	0,1	0,01
Нітрати за азотом	Санітарно-токсикологічний	10,0	-
Поліакриламід	-“-	2,0	-
Свинець (Pb)	-“-	0,1	0,01
Гідрогенсульфід	Органолептичний	1,0	1,0
Сульфід	Загальносанітарний	0,0	-
Нафтосірковмісна	Органолептичний	0,1	0,05

Важливим показником є прозорість води, яка зумовлює інтенсивність фотосинтезу, глибину проникнення світла в товщу води. Прозорість залежить від каламутності води, тобто від вмісту в ній завислих речовин. Водневий показник, або концентрація йонів водню (pH), визначає кислотність чи лужність води. При pH = 7 вода нейтральна, pH < 7 – кисла і pH > 7 – лужна. Водневий показник питної води має становити 6,5-8,5.

Токсикологічні властивості води визначають за вмістом азоту (аміаку, нітратів, нітритів), фтору, СПАР (сполук поверхнево-активних речовин), фенолу, ціанідів, міді, свинцю, цинку, хлору, нікелю, цезію-137 і стронцію-90. Санітарні показники оцінюють за вмістом розчиненого кисню, хімічним споживанням кисню (ХСК) та біологічним споживанням кисню (БСК).

Бактеріологічні показники визначають за вмістом бактерій, які поділяють на сапрофітних (не шкідливі для людини, інколи навіть корисні) та патогенних (хвороботворні). Оскільки патогенні бактерії виділити із всієї маси мікроорганізмів складно, то для оцінки якості води користуються мікробним числом (загальне число бактерій в 1 см<sup>3</sup> води) і колі-індексом (кількість кишкових паличок в 1 см<sup>3</sup> води) або колі-титром (об'єм води в кубічних сантиметрах, що припадає на одну кишкову паличку).

Допустимі концентрації радіонуклідів у поверхневих водах встановлюють виходячи з умов, щоб у разі потрапляння радіонуклідів в організм щодня впродовж усього життя створювалося внутрішнє опромінення, безпечне для людини. Важкорозчинні радіонукліди, потрапляючи в травний канал, легко надходять у кров, розносячись по всьому організму, накопичуються в печінці, кісткових тканинах, щитоподібній залозі тощо.

Гранично допустимі концентрації деяких радіонуклідів у воді відкритих водойм наведені в табл. 7.2. Різні категорії водокористувачів ставлять неоднакові вимоги до якості води. Так, наявність пестициду гексахлорану в господарсько-питній воді не повинна перевищувати 0,02 мг/л, тоді як у воді для рибогосподарських цілей його вміст зовсім не допускається. Це пояснюється зростаючим накопиченням



цієї речовини в ланках ланцюга живлення. Деякі домішки небезпечні в разі потрапляння в травний канал, тоді як інші – при контактній дії. Відповідно наявність перших обмежує можливість використання води для приготування їжі та пиття (санітарно-токсикологічне обмеження), а других – купання (санітарне обмеження).

Таблиця 7.2. ГДК деяких радіонуклідів у воді відкритих водойм

Радіонуклід	Критичний орган	ГДК, Бк/кг	Радіонуклід	Критичний орган	ГДК, Бк/кг
<sup>32</sup> P	Кров	1,8 · 10	<sup>90</sup> Sr	Кісткова тканина	1,1
<sup>56</sup> Fe	Кров	3,70 · 10	<sup>131</sup> I	Щитоподібна залоза	22,2
<sup>64</sup> Cu	Печінка	2,20 · 10	<sup>140</sup> Ba	Кісткова тканина	2,59 · 10 <sup>2</sup>
<sup>89</sup> Sr	Кісткова тканина	1,11 · 10	<sup>144</sup> Ce	Травний канал	1,1 · 10 <sup>2</sup>
<sup>137</sup> Cs	М'язова тканина	3,70 · 10			

Деякі речовини шкідливі у відносно високих концентраціях саме під час контактної або органолептичної дії, тому їх ГДК у господарсько-питній воді значно вища із загальносанітарного погляду. Проте у воді для рибогосподарських цілей вони небезпечні для іхтіофауни, відповідно, норми ГДК на ці речовини тут вимогливіші. Так, для господарсько-питної води ГДК аміаку (за азотом) становить 2 мг/л, тоді як для води рибогосподарського призначення – у 40 разів менша. Нафтопродукти належать до слабкоотруйних речовин, проте вони мають різкий запах, тому в основу обмежень тут закладають органолептичні властивості води (ГДК – 0,3 мг/л). Проте м'ясо риби, що мешкає в забрудненій нафтою воді, має більш різкий запах. Крім того, нафта токсична для ікри, мальків і личинок. Тому у водоймах для розведення риби вміст нафти має бути меншим (0,05 мг/л).

Для води культурно-побутового та господарсько-питного призначення в основу нормування покладені переважно санітарно-токсикологічні, загальносанітарні та органолептичні обмеження, а для води рибогосподарського призначення – рибогосподарські, токсикологічні і почасти органолептичні ліміти. Всього для води господарсько-питного призначення встановлені ГДК для 640 речовин, рибогосподарського призначення – для 147 речовин.

У 1997 р. Міністерство охорони здоров'я України з метою забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення затвердило Державні санітарні правила і норми (САНПІН) «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання», де сформульовані жорсткіші вимоги щодо вмісту забруднювальних речовин, які за своїм значенням наближаються до нормативів Всесвітньої організації охорони здоров'я (табл. 7.3).

Одного дотримання гранично допустимих концентрацій недостатньо для забезпечення якості води. Для гарантування якості води в створі водокористування і водоспоживання для кожного підприємства встановлюють *гранично допустиме скидання (ГДС)* шкідливих речовин. ГДС – це маса забруднень у стічних водах, допустима для відведення з установленим режимом у певному пункті водного об'єкта за одиницю часу з метою забезпечення норм якості води в контрольному пункті. ГДС виражають у грамах за секунду і визначають за формулою

$$ГДС = C_{ст} q,$$

де  $C_{ст}$  – максимально допустима концентрація забруднювальної речовини в стічній воді, мг/л;  $q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с. ГДС встановлюють з урахуванням ГДК шкідливих речовин у місцях водокористування, здатності водойми до самоочищення та оптимального розподілу маси речовин, що скидаються.

Таблиця 7.3. Показники якості питної води

№ пор.	Показник	Одиниця	Норматив, не більше	Клас безпеки
<i>Неорганічні компоненти – токсикологічні показники</i>				
1	Алюміній	мг/дм <sup>3</sup>	0,2(0,5)	2
2	Барій	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2
3	Арсен	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	2
4	Селен	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	2
5	Свинець	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	2
6	Нікель	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	3
7	Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	45,0	3
8	Фтор	мг/дм <sup>3</sup>	1,5	3

Продовження табл. 7.3

№ пор.	Показник	Одиниця	Норматив, не більше	Клас небезпеки
<i>Органічні компоненти</i>				
1	Тригалометани (ТГМ, сума)	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2
2	Хлороформ	мг/дм <sup>3</sup>	0,06	2
3	Дибромхлорметан	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	2
4	Тетрахлоркарбон	мг/дм <sup>3</sup>	0,002	2
5	Пестициди (сума)	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	-
<i>Інтегральні показники</i>				
1	Окиснюваність (К <sub>2</sub> МпО <sub>4</sub> )	мг/дм <sup>3</sup>	4,0	-
2	Загальний органічний вуглець	мг/дм <sup>3</sup>	4,0	-
<i>Органолептичні показники</i>				
1	Запах	ПР	2	-
2	Каламутність	НОМ	0,5(1,5)	-
3	Кольоровість	град	20(35)	-
4	Присмак	ПР	2	-
5	Водневий показник, рН, у діапазоні	Одиниці рН	6,5-8,5	-
6	Мінералізація загальна (сухий залишок)	мг/дм <sup>3</sup>	1000(1500)	-
7	Твердість загальна	мг · екв/дм <sup>3</sup>	7(10)	-
8	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	250(500)	4
9	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	250(350)	4
10	Міль	мг/дм <sup>3</sup>	1,0	3
11	Манган	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	3
12	Залізо	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	3
13	Хлорфеноли	мг/дм <sup>3</sup>	0,0003	4
<i>Показники радіаційної безпеки</i>				
1	Загальна об'ємна активність альфа-випромінювачів	Бк/дм <sup>3</sup>	0,1	-
2	Загальна об'ємна активність бета-випромінювачів	Бк/дм <sup>3</sup>	1,0	-
<i>Мікробіологічні показники безпеки</i>				
1	Число бактерій в 1 см <sup>3</sup> води, що досліджується (ЗМЧ)	Колонієутворювальних одиниць (мікроорганізмів)/см <sup>3</sup> , КУО/см <sup>3</sup>	100	-
2	Число бактерій групи кишкових паличок (коліформних мікроорганізмів) в 1 см <sup>3</sup> води, що досліджується (індекс БГКП)	Колонієутворювальних одиниць (мікроорганізмів)/дм <sup>3</sup> , КУО/дм <sup>3</sup>	3	-
3	Число термостабільних кишкових паличок (фекальних коліформ - індекс Фк) в 100 см <sup>3</sup> води, що досліджується	Колонієутворювальних одиниць (мікроорганізмів)/ 100см <sup>3</sup> , КУО/100см <sup>3</sup>	-	-
4	Число патогенних мікроорганізмів в 1дм <sup>3</sup> води, що досліджується	Колонієутворювальних одиниць (мікроорганізмів)/дм <sup>3</sup> , КУО/дм <sup>3</sup>	-	-
5	Число коліфагів в 1дм <sup>3</sup> води, що досліджується	Бляшкоутворювальних одиниць /дм <sup>3</sup> , БУО/дм <sup>3</sup>	-	-

Продовження табл. 7.3

№ пор.	Показник	Одиниця	Норматив, не більше	Клас небезпеки
<i>Паразитологічні показники безпеки</i>				
1	Число патогенних кишкових найпростіших у 25 дм <sup>3</sup> води, що досліджується	Штук (клітин, цист)/25дм <sup>3</sup>	-	-
2	Число кишкових гельмінтів у 25 дм <sup>3</sup> води, що досліджується	Штук (клітин, яєць, личинок)/25дм <sup>3</sup>	-	-

Якщо у водойму скидають кілька речовин з однаковим лімітуючим показником шкідливості і з урахуванням домішок, що надходять сюди з вищерозташованих випусків, сума відношень фактичних концентрацій цих речовин ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) до відповідних ГДК ( $ГДК_1, ГДК_2, \dots, ГДК_n$ ) не повинна перевищувати одиниці, тобто  $C_1/ГДК_1 + C_2/ГДК_2 + \dots + C_n/ГДК_n \leq 1$ .

Забруднення, які містяться в промислових стоках, здатні окиснюватися в природних водах, що пов'язано зі споживанням розчиненого у воді кисню. Це може призвести до його нестачі у воді і евтрофікації водойми. За хімічним складом і кількістю домішок у воді розраховують потребу в кисні на окиснення і визначають ступінь загрози евтрофікації. Для цього використовують такі показники, як хімічне (ХСК) і біологічне (БСК) споживання кисню, які контролюються санітарними лабораторіями підприємств.

**ХСК** – це кількість кисню в міліграмах або грамах на один літр води, потрібна для окиснення вуглецевмісних речовин до  $CO_2, H_2O$ , і  $NO_3^-$ , сірковмісних – до сульфатів, а фосфоровмісних – до фосфатів. **БСК** – кількість кисню, що витрачається за певний проміжок часу на аеробне біохімічне окиснення (розкладання) нестійких органічних сполук, які містяться в аналізованій воді. БСК визначають для різних проміжків часу: за 5 діб ( $БСК_5$ ), за 20 діб ( $БСК_{20}$ ), а також незалежно від часу – на повне окиснення органіки ( $БСК_{пов}$ ). Розмірність ХСК і БСК однакова: міліграми кисню на літр ( $мг O_2/л$ ). Отже, ХСК визначається як кількість кисню, що витрачається на хімічне окиснення органічних і неорганічних сполук, які містяться у воді, під дією окисників. БСК визначається як кількість кисню, що споживається для біохімічного окиснення речовин, які містяться у воді, в аеробних умовах. Отже, ХСК і БСК можуть розглядатися як міра загрози антропогенної евтрофікації водойми.

## 7.8. УМОВИ СКИДАННЯ СТІЧНИХ ВОД У ВОДОЙМИ

Розглянемо загальні вимоги до складу та властивостей води господарсько-питного призначення при скиданні у водойму стічних вод.

1. Водойма не повинна мати на поверхні води плівки будь-якого характеру.
2. Вміст завислих речовин не повинен перевищувати 1,5 мг/л.
3. Вода не повинна мати запахів і присмаків інтенсивністю понад два бали. Інтенсивність запахів і присмаків за балами розподіляється так:

Інтенсивність присмаку або запаху	Ніякого	Дуже слабкий	Слабкий	Помітний	Виразний	Дуже сильний
Бал	0	1	2	3	4	5

Зазвичай виділяють такі види запахів: ароматний (квітковий, огірковий), земляний, болотний, гнильний, деревинний, цвільовий, хлорний, нафтовий, фенольний, сірководневий, непевний (не схожий на жоден із зазначених запахів). Смак розрізняють гіркий, кислий і солоний. Усі інші смакові відчуття кваліфікують як присмаки.

4. Вода не повинна мати забарвлення при розгляданні її в стовпчику заввишки 20 см. Кольоровість води за платино-кобальтовою або імітувальною шкалою не повинна перевищувати 20 град. В окремих випадках допускається до 35 град. (Один градус кольоровості відповідає вмісту в 1л розчину 2,49 мг хлорплатинату калію і 2,018 мг хлориду кобальту.)

5. Температура води в результаті скидання стічних вод не повинна підвищуватися влітку більш як на 3 °С, взимку – більш як на 5 °С порівняно з максимальною природною температурою в цю пору року.

6. Реакція води має залишатися в межах  $pH = 6,5-8,5$ , тобто бути слабкокислою, нейтральною або слабколужною.

7. Мінеральний склад за сухим залишком не повинен перевищувати 1000 мг/л (в окремих випадках допускається до 1500 мг/л), у тому числі хлоридів – 300, сульфатів – 500, нітратів (за азотом) – 10 мг/л, загальна твердість – 7-10 ммоль · екв/л.

8. Вміст розчиненого кисню має становити не менш як 4 мг/л у будь-який період року в пробі, відібраній до 12 год дня.

9. Біохімічне споживання кисню ( $БСК_{пов}$ ) при 20 °С не повинно перевищувати 30 мг  $O_2/л$ . У чистих водоймах БСК не перевищує 2 мг  $O_2/л$ , у забруднених може досягати 50 мг  $O_2/л$ .

10.ХСК для побутового водокористування не повинно перевищувати 25 мг О<sub>2</sub>/л.

11.У воді не повинно бути збудників хвороб. Стічні води перед скиданням у водойму слід знезаражувати.

12.Отруйні речовини не повинні міститися в концентраціях, які можуть завдати шкоди здоров'ю людини.

Крім нормативних вимог до якості води у водоймах підприємства повинні незаперечно виконувати виробничі обмеження на скидання стічних вод. Забороняється скидати у водойми такі види стічних вод: 1) води, які за використання раціональної технології можуть бути максимально використані в системах оборотного водопостачання або організації безстічних виробництв; 2) води з цінними домішками, які необхідно утилізувати; 3) води, що містять виробничу сировину, реагенти, напівпродукти та кінцеві продукти виробництва в кількостях, які перевищують установлені нормативи технологічних витрат; 4) води, що містять шкідливі речовини, для яких не встановлені ГДК; 5) води, які з урахуванням їх складу та місцевих умов можуть бути використані для зрошування в сільському господарстві за умови дотримання санітарних вимог.

Не допускається скидання у водойми кубових залишків і технологічних відходів. Встановлені обмеження поширюються і на зливу каналізацію, що відводить атмосферну воду з промислових ділянок, товарно-сировинних баз та інших територій, стік з яких може спричинити забруднення водойм.

### Розрахунок концентрації шкідливої речовини в місці водокористування

Контроль і управління якістю води у водоймах передбачає вирішення таких завдань: 1) визначення необхідного ступеня очищення стічних вод; 2) встановлення достатнього ступеня розбавлення стічних вод для того,

щоб у пункті водокористування домішки розсіювалися до безпечних концентрацій; 3) прогнозування якості води на певну перспективу. Ці завдання вирішують для водотоків і непроточних водойм. Розглянемо це для водотоків.

**Розрахунок складу забруднень стічних вод.** Для розрахунку середньої концентрації забруднень одного показника шкідливості, за наявності кількох потоків стічних вод, потрібні дані про витрати кожного потоку  $q_i$  і вміст у ньому домішки  $C_i$ :

$$C_{\text{сеп}} = (q_1 C_1 + q_2 C_2 + \dots + q_n C_n) / (q_1 + q_2 + \dots + q_n). \quad (7.1)$$

Порівнюючи розрахункове значення  $C_{\text{сеп}}$  і гранично допустиму концентрацію (ГДК) цієї речовини у воді водного об'єкта, встановлюють, чи можливе скидання у водойми неочищених стічних вод, чи необхідне їх попереднє очищення. Залежно від величини  $C_{\text{сеп}}$  і необхідної глибини очищення вибирають відповідний метод знешкодження стічних вод.

**Визначення умов скидання стічних вод у водойму.** Балансове рівняння змішування стічних вод з природними записують у такому вигляді:

$$q C_{\text{ст}}^{\text{г}} + a Q C_{\text{р}} = (q + a Q) C_{\text{ГДК}}, \quad (7.2)$$

де  $q$  – витрати стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;  $Q$  – найменші середньомісячні витрати ріки, м<sup>3</sup>/добу;  $C_{\text{ст}}^{\text{г}}$  – допустима концентрація забруднювальної речовини в стічних водах, мг/л;  $C_{\text{р}}$  – концентрація тієї самої забруднювальної речовини в річці, мг/л;  $C_{\text{ГДК}}$  – санітарний норматив забруднювальної речовини у воді водойми, мг/л;  $a$  – коефіцієнт змішування стічних вод з водою ріки.

Розв'язуючи рівняння відносно  $C_{\text{ст}}^{\text{г}}$ , дістанемо вираз

$$C_{\text{ст}}^{\text{г}} = a Q (C_{\text{ГДК}} - C_{\text{р}}) / q + C_{\text{ГДК}}, \quad (7.3)$$

який дає змогу визначити допустиму концентрацію забруднювальних речовин у стічних водах перед скиданням у водойму і визначити необхідний ступінь очищення  $E$  за співвідношенням

$$E = 100 (C_{\text{ст}} - C_{\text{ст}}^{\text{г}}) / C_{\text{ст}}, (\%) \quad (7.4)$$

де  $C_{\text{ст}}$  – фактична концентрація забруднення в стічних водах, мг/л.

У разі високого забруднення води водойми, тобто при  $C_{\text{р}} \geq C_{\text{ГДК}}$ , рівняння (7.3) набуває вигляду

$$C_{\text{ст}}^{\text{г}} \leq C_{\text{ГДК}}. \quad (7.5)$$

У цьому випадку вимоги до стоків будуть такими самими, як до водойми в місці скидання стічних вод (у розрахунковому створі).

Друге завдання – визначення максимальної граничної концентрації політанта ( $C_{\text{мг}}$ ), яку можна допустити в стоках перед скиданням (ГДК в пункті водоспоживання). Її значення визначають за формулою

$$C_{\text{мг}} = a Q (C_{\text{ГДК}} - C_{\text{р}}) / q + C_{\text{ГДК}}. \quad (7.6)$$

Отже,  $C_{\text{мг}}$  беруть за основу при вжитті заходів санітарної охорони водойм. За допомогою цього рівняння можна визначити умови, за яких розбавлення стоків у водоймі неможливе, і скидання повинно виключатися. Якщо вода нижче від місця скидання вже забруднена так, що

$$C_{\text{мг}} = C_{\text{ГДК}}, \text{ або } [C_{\text{мг}} + a Q / q (C_{\text{ГДК}} - C_{\text{р}})] > C_{\text{ГДК}},$$

то в цих умовах скидання стічних вод не допускається, навіть якщо нормативні вимоги до води водойми

віднести до стічних вод.

**Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за вмістом завислих речовин.** Допустимий вміст завислих речовин ( $C_{ст}^g$ ) в очищуваних стічних водах, які скидають у водойми, розраховують виходячи з балансу забруднень з урахуванням розбавлення стоків водою ріки за рівнянням

$$C_{ст}^g = C_{доп}(aQ/q + 1) + C_p \quad (7.7)$$

де  $C_{доп}$  – допустиме збільшення вмісту завислих речовин у водоймі в результаті скидання стічних вод, мг/л, (вміст завислих речовин не повинен зростати більш ніж на 0,25 для господарсько-питного і на 0,75 мг/л – для культурно-побутового водозабезпечення);  $C_p$  – концентрація завислих речовин у водоймі до скидання стічних вод, мг/л;  $a$  – коефіцієнт змішування стічних вод з водою водойми;  $Q$  – найменша середньомісячна витрата води, м<sup>3</sup>/с;  $q$  – витрати стічних вод, м<sup>3</sup>/с.

Необхідний ступінь очищення розраховують за формулою

$$E = (C_{ст} - C_{ст}^g) / E_{ст} \cdot 100 \%, \quad (7.8)$$

де  $C_{ст}$  – концентрація завислих речовин у стічних водах до очищення, мг/л.

## 7.9. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО СТУПЕНЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Ступінь очищення або розбавлення стічних вод перед їх скиданням у водойму визначають після встановлення величини  $a$  за рівнянням Фролова-Родзіллера:

$$a = (1-\beta)/(1 + Q/q\beta), \quad (7.9)$$

де  $\beta = e^{-\alpha} \sqrt[3]{L}$ ;  $L$  – відстань за фарватером від місця скидання стічних вод до найближчого створу водокористування, м;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічні умови змішування; визначається за формулою

$$\alpha = \varepsilon \varphi \sqrt[3]{E/q}, \quad (7.10)$$

де  $\varphi$  – відношення відстаней між місцями скидання і водокористування за фарватером по прямій лінії;  $\varepsilon$  приймають таким, що дорівнює 1 за берегового і 1,5 – за стрижневого скидання стічних вод;  $E$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, що для рівнинних рік становить

$$E = V_{ср} H_{ср} / 200, \quad (7.11)$$

де  $V_{ср}$  – середня швидкість течії ріки, м/год;  $H_{ср}$  – середня глибина русла, м. Остаточна кратність необхідного розбавлення стічних вод дорівнює

$$n = (a + Q + q)/q \quad (7.12)$$

У разі скидання стічних вод у непроточні водойми (озера, водосховища тощо) використовують метод М. А. Рuffеля, за яким повне розбавлення стічних вод ( $n_{пов}$ ) є результатом сумісного впливу початкового розбавлення ( $n_{поч}$ ), ЩО відбувається в місці випускання у водоймі за рахунок швидкості вихідного струменя, і основного ( $n_{осн}$ ), що здійснюється під час подальшого протікання струменя:

$$n_{пов} = n_{поч} n_{осн}. \quad (7.13)$$

Величину  $n_{поч}$  визначають за додатковими формулами, різними для поверхневого й глибинного випускання, а  $n_{осн}$  – за графіками-номограмами, наведеними в довідниках.

З екологічного погляду розбавлення стічних вод перед скиданням у водойми є недосконалим технологічним прийомом, який не зменшує скидання забруднювальних речовин. Тому ним варто користуватися в окремих випадках, коли кількість забруднювальних речовин незначна і на підприємстві невеликий об'єм стічних вод.

## 7.10. ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

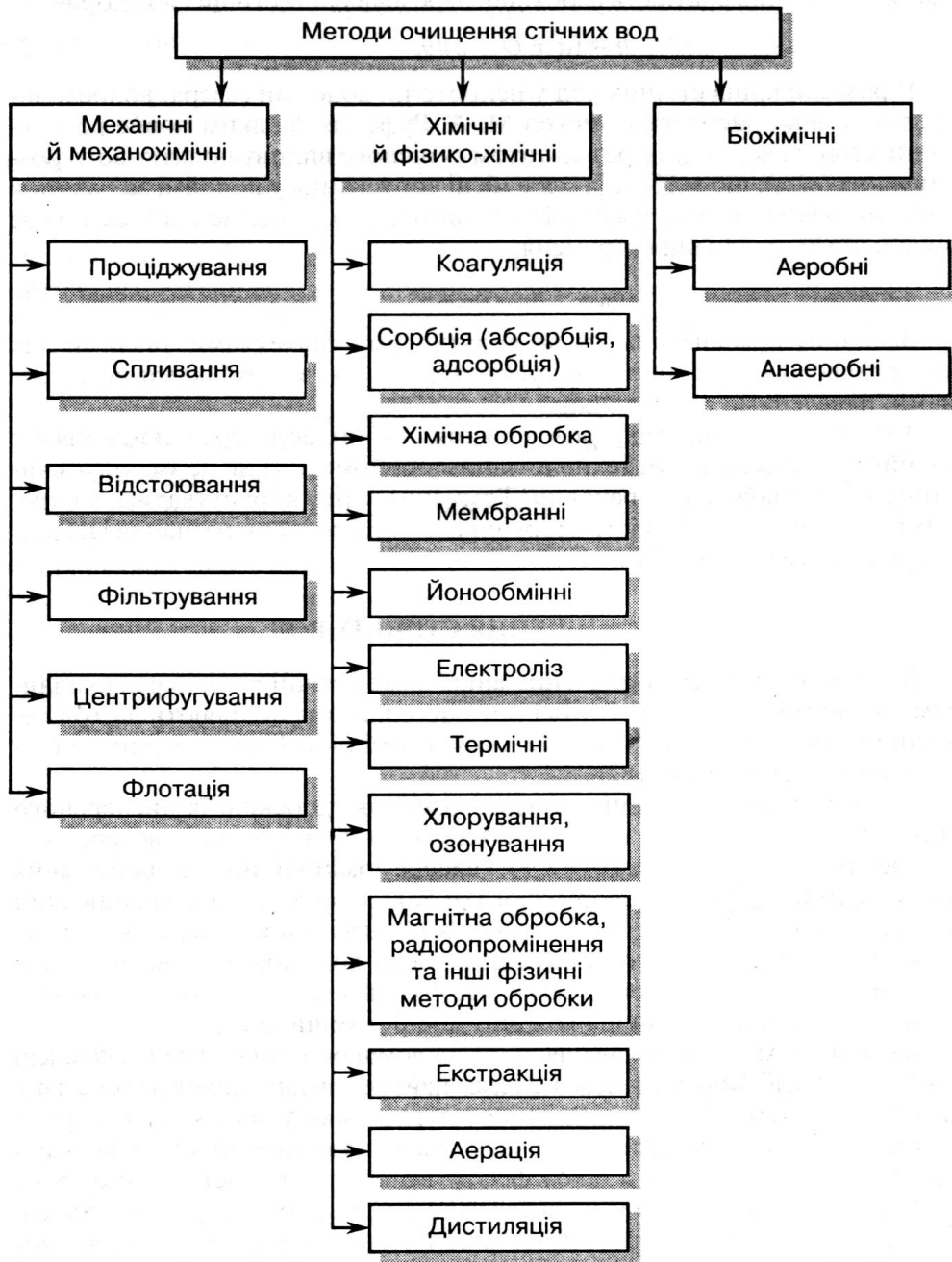
Для виконання всіх зазначених вище вимог стічні води перед скиданням у водойми слід очищати. Всі методи очищення поділяють на три основні групи – механічні й механохімічні, хімічні й фізико-хімічні та біохімічні (див. схему на с. 106).

Систематизація забруднювальних домішок на основі їх дисперсного стану та фізико-хімічних властивостей дає змогу згрупувати всі способи очищення також у чотири групи, як і власне домішки. Вихідні положення цього принципу можна сформулювати так: 1) фазово-дисперсний стан домішок води зумовлює їх поведінку в процесі очищення; 2) кожному фазово-дисперсному стану забруднювальних домішок відповідає сукупність методів, що дає змогу досягти необхідних якісних показників очищеної води шляхом зміни цього стану або без зміни його.

В основу технології очищення води від домішок кожної групи закладені процеси, що відбуваються під дією сил, які найефективніше впливають на дану дисперсну систему. Так, для видалення гетерофазних домішок першої групи рекомендують такі процеси: механічне розділення в гравітаційному полі або під дією відцентрових сил, а також фільтрування крізь пористі завантаження й дрібну сітку; адгезія на високодисперсних і зернистих матеріалах, а також гідроксидах алюмінію або феруму і глинистих мінералів; агрегація флокулянтами; флокація домішок тощо; для патогенних організмів –

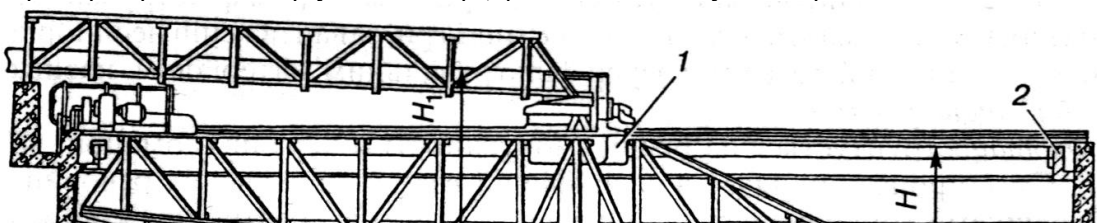
бактерицидна дія. При цьому комплекс очисних споруд включає відстоювання, фільтрування, мікропроцідування, центрифугування та безреагентну флотацію.

### Класифікація методів очищення стічних вод



*Відстоювання* використовують для вилучення зі стічних вод завислих грубодисперсних домішок, наприклад глинистих часточок, концентрацією до 500 мг/л, які можуть мати кольоровість 50 град. Для цього використовують відстійники різних конструкцій: вертикальні, горизонтальні та радіальні. Великі горизонтальні відстійники будують із залізобетону завдовжки до 36 м, завширшки від 6 до 18 м і завглибшки до 5 м. Радіальні відстійники (рис. 7.1) мають діаметр від 18 до 60 м і глибину до 6 м. Тривалість відстоювання становить близько 1,5 год. Горизонтальні відстійники застосовують у разі витрати стічних вод, що становить до 20 тис. м<sup>3</sup> на добу, радіальні – понад 20 тис. м<sup>3</sup>.

Для видалення завислих забруднювальних речовин концентрацією до 50 мг/л, які мають кольоровість до 50 град, використовують повільні фільтри. Попередні фільтри застосовують для видалення завислих домішок концентрацією до 1000 мг/л і кольоровістю до 50 град. Планктон за вмісту понад 1000 кл/см<sup>3</sup> і зависі видаляють за допомогою мікрофільтрів. Для видалення грубодисперсних домішок застосовують безперервно діючі центрифуги та гідроциклони. *Спливанням* очищають стічні води від нафтопродуктів у нафтовловлювачах, від жиру – в жировловлювачах. З цією метою можна також використовувати флотатори і пристрої для диспергування повітря, флотацію із застосуванням реагентів.

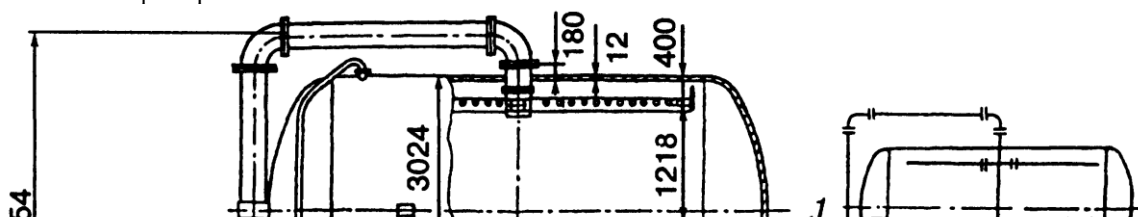


*Фільтруванням* називають процес розділення неоднорідних систем (суспензій) за допомогою пористих перегородок і шарів, які затримують одну (тверду) фазу цих систем і пропускають іншу (рідку). Апарат, у якому здійснюють цей процес, називають *фільтром*. По різні боки перегородки створюють різницю тиску, під дією якої здійснюється транспортування рідини крізь перегородку і затримання осаду на ній. Цей процес розділення суспензій називають *фільтруванням із затриманням осаду*. В тому разі, якщо тверді часточки проникають у пори фільтрувальної перегородки, затримуючись у них і утворюючи осад, називають *фільтруванням із закупорюванням пор*.

Під час фільтрування стічних вод, що містять завислі речовини, крізь шар допоміжних матеріалів (пісок, діатоміт, деревне борошно та ін.) завислі речовини можуть відкладатися на поверхні фільтрувального шару (плівкове фільтрування) або в порах фільтрувального шару, а також можливе одночасне утворення плівки та відкладання завислих речовин у порах завантаження (рис. 7.2). Залежно від швидкості фільтрування зернисті фільтри поділяють на повільні (0,1-0,2 м/год), швидкі (5,5-15 м/год) і надшвидкі (понад 25 м/год). За розміром зерен розрізняють *фільтри дрібнозернисті* (повільні фільтри з розміром зерен верхнього шару піску 0,5- 0,8 мм) і *крупнозернисті* (попередні фільтри з розміром верхнього шару піску 1-2 мм). Фільтри, завантажені однорідним шаром фільтрувального матеріалу, називають *одношаровими*. Фільтри, завантажені неоднорідним за щільністю й розміром зерен фільтрувальним матеріалом, називають *багатошаровими*.

*Флотація* ґрунтується на різній змочуваності мінералів (домішок) водою. Суть процесу полягає в специфічній взаємодії завислих речовин з бульбашками тонкодиспергованого у воді повітря з наступним утворенням на поверхні води шару піни з вилученими домішками. Оптимальні розміри домішок становлять  $10^{-5}$ - $10^{-3}$  м. Тонкодисперсні часточки розміром менш як 5-10 мкм флотуються дуже важко, тому їх необхідно попередньо укрупнити, наприклад, за допомогою коагуляції або флокуляції. Флотаційне очищення стічних вод здійснюють в апаратах двох типів, які відрізняються способом диспергування повітря: турбіною насосного типу (рис. 7.3) і напірною флотацією з додаванням коагулянту. В установках першого типу повітря розпилюється біля дна. Бульбашки спливають і виносять із собою домішки забруднень. Піну із забрудненнями знімають з поверхні. В установках напірного типу аерація води здійснюється під тиском. Флотацією очищають стічні води від твердих завислих речовин, нафтопродуктів, масел та інших емульгованих речовин, а також від окремих йонів розчинених речовин.

Адгезію на високодисперсних і зернистих матеріалах, а також на гідроксидах алюмінію й феруму застосовують під час фільтрування крізь наливний шар допоміжної речовини для видалення зі стічних вод тонко-дисперсних завислих сполук феруму й мангану (за потреби глибокого їх видалення). Для цього використовують діатомітові та інші наливні фільтри. Завислі речовини з вмістом до 150 мг/л і кольоровістю до 150 град видаляють фільтруванням з використанням явища контактної коагуляції та застосуванням установок для приготування й дозування розчинів реагентів, контактних прояснювачів або контактних фільтрів.



Патогенні бактерії та спори видаляють обробкою високодисперсними глинистими мінералами з наступним відстоюванням та фільтруванням. Для здійснення цих процесів застосовують установки для приготування і дозування суспензії глинистих мінералів, змішувачі, відстійники та фільтри. Під час обробки води коагулянтами з наступним видаленням завислих речовин відстоюванням і фільтруванням очищують стічні води з необмеженою кількістю й кольоровістю завислих речовин, а також від патогенних бактерій і спор. Для цього використовують установки для приготування й дозування розчинів реагентів, змішувачі, камери утворення пластівців, прояснювачі або відстійники та фільтри.

*Агрегацію* за допомогою флокулянтів використовують для обробки води коагулянтами із застосуванням флокулянтів з подальшим відстоюванням та фільтруванням. При цьому очищують води з необмеженим вмістом завислих речовин і кольоровістю в обладнанні, описаному вище.

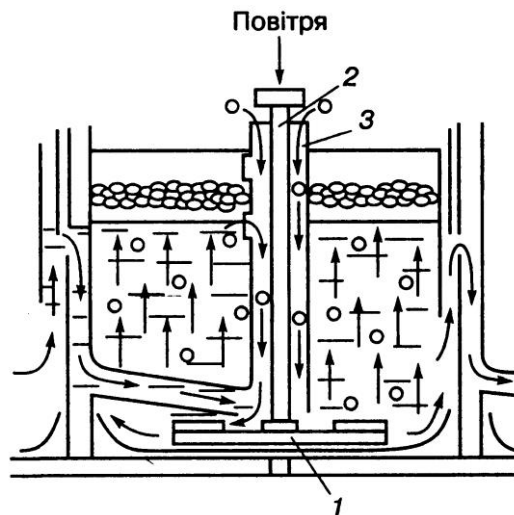


Рис. 7.3. Схема механічної флотажної машини з відцентровим імпелером:  
1 – імпелер; 2 – вал; 3 – обсадна труба

Видалення домішок другої групи (колоїдно-розчинні, високомолекулярні речовини тощо) здійснюють із застосуванням діалізу, ультрафільтрації, окиснення хлором і озоном, коагуляції колоїдних домішок, адсорбції на гідроксидах алюмінію або феруму, на високодисперсних глинистих матеріалах, а також електрофорезу та електродіалізу. Для видалення завислих колоїдно-дисперсних речовин застосовують ультрафільтрацію крізь крупнопористі мембрани. При видаленні колоїдних і високомолекулярних сполук, що зумовлюють окиснюваність і кольоровість води (35- 200 град), а також забруднення її вірусами, здійснюють окиснення хлором, озоном та іншими сполуками із застосуванням хлораторних і озонаторних установок.

*Коагуляцію* застосовують для видалення зі стічних вод найдрібніших колоїднодисперсних глинистих часточок, білкових речовин та інших високомолекулярних сполук. Коагуляцію здійснюють шляхом введення в очищувану воду незначної кількості електролітів –  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$  та деяких інших сполук, які називають *коагулянтами*. Фізико-хімічна суть цього процесу в спрощеному вигляді полягає в тому, що коагулянт, гідролізуючись, утворює позитивно заряджені аквагідроксокомплекси алюмінію і феруму, які адсорбуються на поверхні від'ємно заряджених колоїдних домішок і нейтралізують їхній заряд. Чим



більший заряд аквагідроксокомплексів, утворених під час гідролізу коагулянтів, тим менші їх витрати на коагуляцію. В результаті збільшення розмірів часточок під час адсорбції вони осідають у відстійниках під дією сили гравітації. Одночасно йде процес адсорбції на поверхні осаду домішок органічних забарвлених речовин, внаслідок чого вода знебарвлюється.

Адсорбцію застосовують переважно для видалення з води органічних сполук. Цей метод, як правило, використовують у комбінації з іншими, зокрема для початкового виділення грубодисперсних домішок механічними методами і коагуляцією. Потім молекулярно-розчинені домішки органічних речовин видаляють шляхом адсорбції на активованому вугіллі, яке крім речовин, що погіршують смак і запах води, сорбує також гербіциди, інсектициди, віруси тощо. Відпрацьоване активоване вугілля регенерують відгонкою адсорбованих домішок паром, якщо вони використовуються, або деструктивною регенерацією, якщо адсорбовані домішки знешкоджуються.

Застосування принципу завислого (киплячого) шару адсорбенту для сорбції забруднювальних органічних речовин дає змогу вирішити завдання безперервної заміни адсорбенту в установці (рис. 7.4), спрощує регенерацію відпрацьованого вугілля. Крім того, при цьому можна запобігти замулюванню шару адсорбенту і застосовувати дрібні фракції активованого вугілля (0,2-0,5 мм), що дає змогу значно скоротити час досягнення адсорбційної рівноваги. Адсорбцію можна здійснювати як в одному адсорбері, так і в блоці з двох або трьох послідовно з'єднаних апаратів.

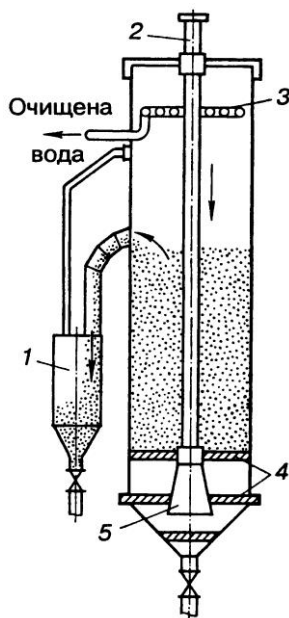


Рис. 7.4. Схема адсорбера із завислим (киплячим) шаром активованого вугілля:

1 – вносний вуглеушільнювач; 2 – центральна труба для подавання води на очищення; 3 – кільцева труба для виведення забруднень; 4 – розподільні ґратки; 5 – дифузор

Процес дифузії крізь пористу перегородку під дією градієнта концентрації солі з розчину з більшою в розчин з меншою концентрацією називають *діалізом*. Щоб здійснити перенесення йонів з менш концентрованого в більш концентрований розчин, тобто проти градієнта концентрації, потрібно прикласти різницю потенціалів. *Електродіаліз* – це перенесення йонів електроліту крізь селективні йонообмінні мембрани під дією постійного електричного струму. Швидкість перенесення визначається силою електричного струму.

Електродіалізний апарат (рис. 7.5) по чергово розділяється на камери аніоно- і катіонообмінними мембранами. Відстань між ними становить 0,5-1,5 мм. Крізь йонообмінні мембрани мігрують аніони, крізь катіонообмінні – катіони. Останні переміщуються в напрямку електричного струму, тоді як аніони – в протилежному напрямку, тобто катіони рухаються до катода, а аніони – до анода. В одній камері здійснюється знесолування розчину, в іншій – його концентрування. В промислових апаратах між електродами вміщують 250-500 комірок, які складаються з розсолних і диліатних камер. На кінцях апарата розміщені електроди, на які подають постійний електричний струм.

Виділення з води молекулярно-розчинних домішок і газів, що належать за фазово-дисперсним станом до третьої групи, здійснюють десорбцією газів і відгонкою летких органічних сполук (феноли та ін.) у процесі аерації з використанням розбризкувальних басейнів, аераторів і дегазаторів різних типів. Для цього використовують також евапорацію паро-циркуляційним методом або азеотропну відгонку. Доочищення від гідрогенсульфіду (0,3-0,5 мг/л) після аерації, а також від летких органічних сполук у разі низької ефективності хлорування на вуглецювання здійснюють окисненням із застосуванням хлору, озону, перманганату калію та інших окисників. За допомогою окиснення озonom можна очистити стічну воду від тетраетилсвинцю за наявності каталізатора – силікагелю.

Видалення фенолів та інших органічних сполук із стічних вод здійснюють за допомогою екстракції.

*Екстракція* ґрунтується на неоднаковому розподілі компонентів розчину між двома фазами, які утворюються при застосуванні органічної речовини – екстрагента (триетиламін, діетиламін, дипропіламін та ін.). Схема очищення води амінами наведена на рис. 7.6. Процес відбувається в протитічній екстракційному апараті 7, де солоня вода контактує з розчинником, який переміщується згори вниз. Екстракт, що містить прісну воду, спрямовується через систему теплообмінників 2 і нагрівник 3 у сепаратор гравітаційного типу 4, де в результаті підвищення температури і зміни розчинності відбувається розділення фаз. Відокремлений розчинник через теплообмінник 2 і холодильник 7 повертається в цикл, а опріснена вода і рафінад із залишками амінів прямують на вилучення розчинника в десорбційні апарати 5 і 6.

Ефективним методом видалення органічних домішок з води є *біохімічний*. Методи біологічного очищення ґрунтуються на застосуванні різних мікроорганізмів. Розрізняють *аеробний процес*, який здійснюється за наявності кисню, і *анаеробний* – без доступу кисню. Анаеробне очищення застосовують як перший ступінь для підготовки до наступного аеробного очищення стічних вод з високою концентрацією органічних забруднень.

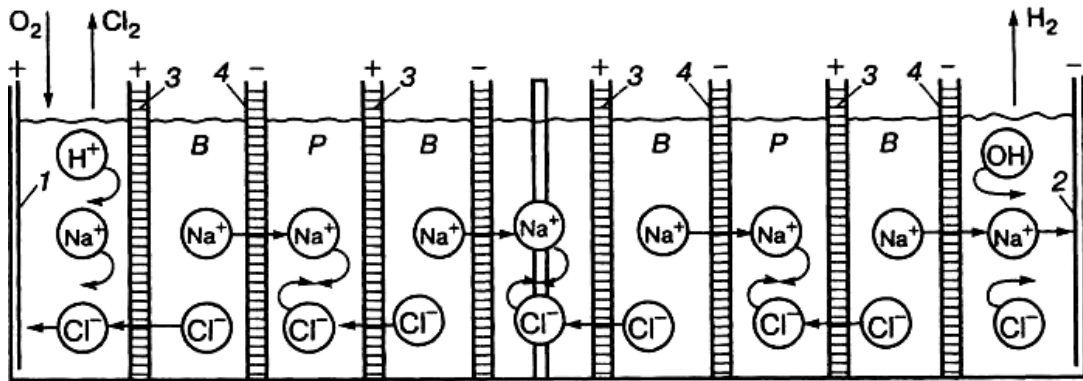


Рис. 7.5. Схема багатоканального електродіалізатора:

*B* – камери для води; *P* – камери для розсолу; 1 – анод; 2 – катод; 3 – аніоноактивна мембрана; 4 – катіоноактивна мембрана

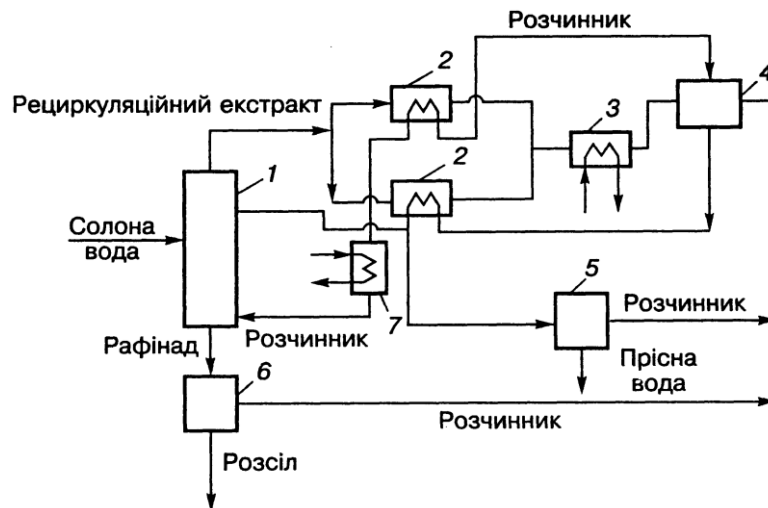


Рис. 7.6. Схема очищення води екстракційними амінами

Біологічне аеробне очищення здійснюють у біофільтрах, аеротенках, на зрошувальних полях та в біологічних ставках. *Біофільтри* будують у вигляді залізобетонних резервуарів діаметром до 30 м і заввишки: низькі – 1,5-2 м, високі – 2-4 м і баштові – 10-20 м. На дірчасте днище резервуара накладають щабіль, гальку, керамзит або ґратчасті блоки з пластмаси. На поверхні укладених матеріалів поселяють мікроорганізми, які живляться органічними домішками стічних вод. Мікроорганізми перетворюють органічні речовини на неорганічні (переважно на вуглекислий газ і воду або метан, аміак та ін.). Біофільтри доцільно застосовувати в районах з теплим кліматом для стічних вод з БСК не більш як 400-500 мг O<sub>2</sub>/л.

*Аеротенки* являють собою резервуари завдовжки до 100 м і більше, завширшки до 10 м і завглибшки до 5 м. В аеротенки постійно нагнітають повітря. Стічні води очищають методом «чистих культур» або за допомогою активного мулу. «Чиста культура» – це вирощені популяції мікроорганізмів, які живляться певними речовинами (наприклад, фенолом, роданидами і ціанідами з концентрацією до 100 мг/л і більше). Активний мул – це співтовариство різноманітних бактерій, які живляться органічними домішками стічних вод. У мулі залежно від виду виробництва розвиваються певні групи мікроорганізмів. Проте певна частина їх є спільною для всіх видів мулу: завжди присутні неспороносні бактерії роду

псевдомонас, сарцини, а також інші бактерії й мікрококи. Для очищення стічних вод харчових виробництв використовують також різні водорості, нафтохімічної промисловості – мікроорганізми з роду нокардія і культури дріжджів. Приріст активного мулу періодично виводять з апарата і після незаражувальної обробки його можна використовувати як добриво.

*Поля зрошення, поля фільтрації та біологічні ставки* належать до ґрунтових методів біологічного очищення. На полях зрошення одночасно з очищенням стічних вод вирощують різні культури рослин. Якщо на ділянках не вирощують рослини, а тільки очищають стічні води, їх називають полями фільтрації. Цей спосіб знайшов обмежене застосування, оскільки потребує рівні ділянки ґрунтів з доброю фільтрувальною здатністю.

*Біологічні ставки* облаштовують каскадом по 3-5 водойм завглибшки 1-1,5 м. Оскільки процеси біологічного очищення відбуваються повільно, вода в ставках має перебувати не менш як 20 діб. Біологічні ставки частіше використовують після попереднього очищення іншими методами, як буфер перед водоймою, в яку скидають очищену воду.

До четвертої групи забруднювальних домішок належать електроліти, що становлять гомогенні системи. Для їх видалення з води застосовують гіперфільтрацію (зворотний осмос), трансформацію йонів у малорозчинні та малодисоційовані сполуки, сепарацію йонів при різних фазових станах води, фіксацію йонів на твердій фазі йонітів (йонний обмін), електродіаліз та вилучення йонів металів мікробами.

Процес розділення розчинів, що полягає у фільтруванні рідини крізь напівпроникні мембрани, які пропускають розчинник (воду) і затримують розчинені речовини (гідратовані йони та молекули органічних сполук), називають *зворотним осмосом*. Фільтрування води під тиском, вищим за осмотичний, крізь непроникні для йонів мембрани застосовують для стічних вод із вмістом солей 20-35 г/л. Схема утворення зворотного осмосу зображена на рис. 7.7. Осмотичний тиск розчинів навіть у разі невисокої мінералізації досить значний. Так, для морської води з вмістом солі 3,5 % він становить 2,5 МПа. Робочий тиск в установках для опріснення визначається вмістом солей у розчинах і для морської води його підтримують у межах 4-5 МПа.

Трансформацію йонів у малорозчинні сполуки шляхом утворення гідроксидів, карбонатів або летких сполук використовують у хімічних методах очищення. За допомогою хімічних методів здійснюють пом'якшення води з видаленням солей твердості содово-вапняковим та фосфатним методами, видалення кольорових і важких металів, силіцію, заліза, мангану та ін.

За допомогою електролізу із стічних вод вилучають кольорові, благородні та інші метали (мідь, цинк, нікель, хром, золото, срібло тощо). Електролітичний метод очищення застосовують також для видалення ціаністих і хромовмісних сполук. Ціаністі сполуки окиснюються на аноді, а потім гідролізуються до карбонатів і амонію. Хромовмісні сполуки відновлюються до хромітів з утворенням нерозчинного осаду хроміту феруму або до хрому (III), який осаджують лугом у вигляді гідроксиду хрому (III).

*Йонообмінний метод* полягає у видаленні зі стічних вод йонів розчинених солей за допомогою йонітів, здатних обмінювати свої йони на йони, що містяться у воді. Розрізняють процеси катіонного і аніонного обміну. Відповідно йоніти називають катіонітами та аніонітами. Як *катіоніти* застосовують сульфувугілля або високомолекулярні смоли, що містять активні групи з йонами  $H^+$  чи  $NH_4^+$ . Схема Na-катіонітового фільтра зображена на рис. 7.8. Катіонітові фільтри випускають різних діаметрів і з різною висотою завантаження катіонітів, які розраховані на робочий тиск 0,6 МПа і робочу температуру до 60 °С.

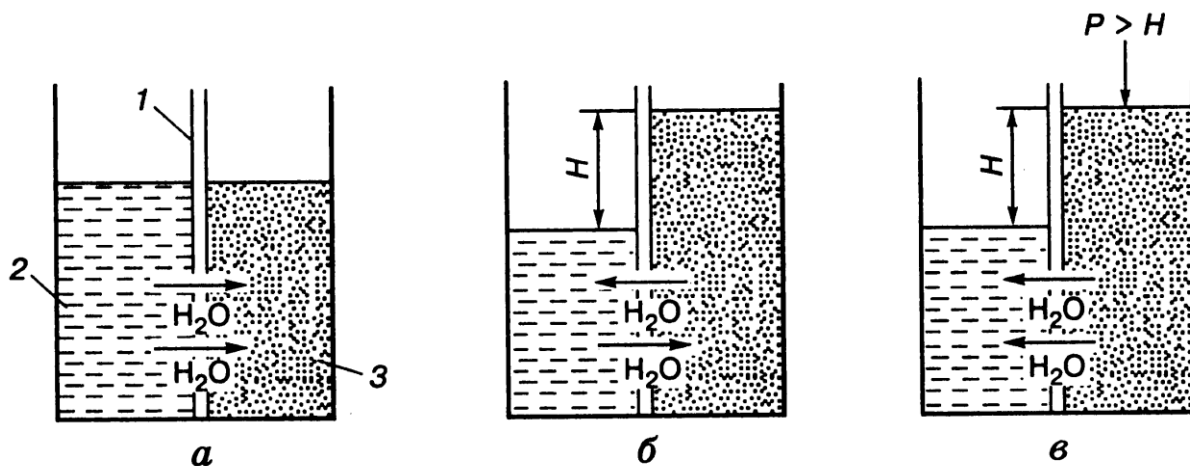


Рис. 7.7. Схема виникнення зворотного осмосу:

*a* — осмос; *b* — рівновага; *в* — зворотний осмос; *1* — напівпроникна мембрана; *2* — вода; *3* — розчин солей; *H* — осмотичний тиск

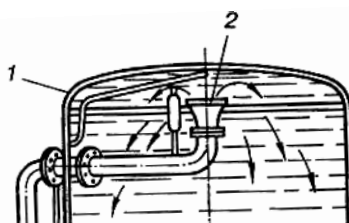
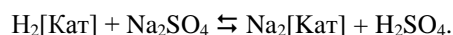
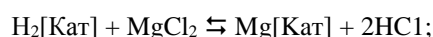
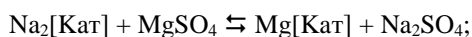
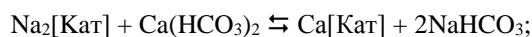


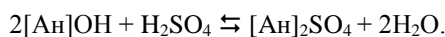
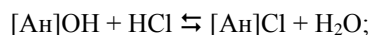
Рис. 7.8. Схема Na-катионітового фільтра:  
1 – корпус; 2 – збірна лійка; 3 – шар катионіту; 4 – колектор і дренажні труби

В основі катионного процесу пом'якшення води лежать реакції обміну йонів натрію і водню – катіонів на йони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  – солей твердості, розчинених у воді. Обмін йонів натрію називають Na-катионуванням, а йонів гідрогену – H-катионуванням:



Так само видаляють з води йони інших металів.

*Аніоніти* – високомолекулярні речовини, що містять активні групи з аніонами  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  або  $\text{CO}_3^{2-}$ . Пропускаючи крізь шар аніоніту воду, заздалегідь звільнену від катіонів, видаляють з неї аніони:



З наведених реакцій випливає, що йонообмінний спосіб може забезпечити пом'якшення і знесолювання води, тобто повне видалення з води солей. Реакції йонообміну обернені і для відновлення обмінної здатності йонітів здійснюють процес їх регенерації. Регенерацію Na-катионітів здійснюють за допомогою розчинів мінеральних кислот. Аніоніти регенерують розчинами лугів, гідрогенкарбонату або карбонату натрію.



**Опрацювавши цей розділ, ви повинні вміти:**

- 1) охарактеризувати споживачів води;
- 2) назвати джерела забруднення вод Світового океану;
- 3) охарактеризувати екологічний стан водойм України;
- 4) пояснити процеси самоочищення та евтрофікації водойм, поведінку окремих забруднень у водоймі;
- 5) охарактеризувати вплив забруднень на життєдіяльність організмів і здоров'я людини;
- 6) класифікувати забруднення природних та стічних вод;
- 7) дати визначення ГДН, ГДК забруднення, ГДС та сформулювати нормативні вимоги до якості води;
- 8) назвати умови скидання стічних вод у водойми;
- 9) зробити розрахунок концентрації шкідливої речовини в місці водокористування;
- 10) дати характеристику різних методів очищення стічних вод.



1. Назвіть основних споживачів води і дайте коротку їх характеристику.
2. Дайте визначення водоемності виробництва, питомого водоспоживання та якості води. Наведіть приклади.
3. Назвіть основні джерела забруднення вод Світового океану.
4. Що називають стічними водами? Які види забруднень ви знаєте?
5. Схарактеризуйте екологічний стан Дніпра, Чорного і Азовського морів, малих річок України.
6. Поясніть суть процесу самоочищення водойм.
7. Що таке евтрофікація водойм? Поясніть фізико-хімічну суть цього процесу.
8. Як впливають забруднення водойм на життєдіяльність організмів і здоров'я людей?
9. У чому полягає суть класифікації забруднень, запропонованої Л. А. Кульським?
10. Що таке гранично допустиме навантаження на водойму? Як його визначають?
11. Що таке забрудненість водного об'єкта і що є критерієм забрудненості?
12. Які характерні вимоги до якості води господарсько-питного та рибогосподарського призначення? Поясніть на певних значеннях ГДК.
13. Які лімітуючі показники закладають у нормативи ГДК?
14. Що таке гранично допустиме скидання шкідливих речовин і як його визначають?
15. Які вимоги ставлять у разі скидання у водойму кількох шкідливих речовин з однаковим показником шкідливості?
16. Що таке ХСК і БСК? Дайте визначення і поясніть на прикладі.
17. Які умови скидання стічних вод у водойми? Які специфічні вимоги повинні беззаперечно виконувати підприємства при скиданні стічних вод у водойми?
18. На підприємстві працюють три виробництва, на яких щодоби утворюються стічні води в кількості відповідно 200, 400 і 600 м<sup>3</sup> з вмістом завислих речовин відповідно 30, 15 і 5 мг/л. Визначте середню концентрацію завислих речовин і умови скидання стічних вод підприємства в річку.
19. На двох підприємствах, які працюють поряд, утворюються стічні води. На одному підприємстві є два види стічних вод: перша – 500 м<sup>3</sup>/добу з вмістом 500 мг/л алюмінату натрію і друга – 400 м<sup>3</sup>/добу з вмістом 350 мг/л сульфатної кислоти. На другому підприємстві також утворюється два види стоків: перший – 300 м<sup>3</sup>/добу з вмістом зависей 10 мг/л другий – 250 м<sup>3</sup>/добу з вмістом зависей 1,5 мг/л. Визначте, чи можна скидати стічні води в річку, у водах якої міститься 5 г/м<sup>3</sup> завислих речовин, 50 мг/л сульфатів, 0,05 мг/л алюмінію. Ріка має стік  $Q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$ .
20. У річку з витратою  $Q = 15 \text{ м}^3/\text{с}$  скидають стічні води з витратою  $q = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ . Ділянка водойми, в яку скидають стічні води, належить до категорії культурно-побутового призначення. Концентрація завислих речовин у річці до скидання стоків становить 5 г/м<sup>3</sup>. Вміст завислих речовин у стічних водах до очищення становить 200 мг/л. Коефіцієнт змішування стоків з водою ріки дорівнює 0,8. Чи можна скидати в річку неочищену воду?
21. У річку з витратою  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{с}$  скидають стічні води з витратою  $q = 0,25 \text{ м}^3/\text{с}$ . Ділянка водойми, в яку скидають стічні води, належить до категорії господарсько-питного призначення. Концентрація сульфатів у річці до скидання стоків становить 200 мг/л. Вміст сульфатів у стічних водах до очищення становить 700 мг/л. Коефіцієнт змішування стоків з водою річки дорівнює 0,8. Чи можна скидати в річку неочищену воду?
22. Запропонуйте схему очищення стічних вод, що утворюються в кількості 5 м<sup>3</sup>/добу і містять 800 мг/л завислих глинистих речовин та 1,5 г/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
23. Запропонуйте схему очищення стічних вод, що утворюються в кількості 20 м<sup>3</sup>/добу і містять 400 мг/л завислих глинистих речовин і 2 г/л NaAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 12H<sub>2</sub>O.
24. Запропонуйте схему очищення стічних вод, що утворюються в кількості 40 м<sup>3</sup>/добу і містять 5 г/л NaAlO<sub>2</sub>.
25. Запропонуйте схему очищення стічних вод, які отримують на двох виробництвах: на першому – стічні води в кількості 5 м<sup>3</sup>/добу з вмістом 3 г/л Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> і 1,5 г/л H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; на другому – стічні води в кількості 1,5 м<sup>3</sup>/добу з вмістом 200 мг/л Al<sup>3+</sup>, 800 мг/л SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> та 10 мг/л завислих речовин.
26. Запропонуйте схему очищення стічних вод, що містять 5 г/л NaCl і 2 г/л завислих речовин, а їх кількість становить 25 м<sup>3</sup>/добу.