

Міністерство освіти і науки України

Одеський державний екологічний університет

Т.А. САФРАНОВ

# ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Навчальний посібник

Одеса – 2002

ББК 28.081  
Н 47  
УДК 557.4

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для вищих навчальних закладів

**Рецензенти:**

Некос В.Ю. - доктор географічних наук, професор, академік УАЕН,  
завідуючий кафедрою геоєкології і конструктивної географії Харківського  
національного університету;

Довгань І.В. - доктор хімічних наук, професор, завідуючий кафедрою хімії  
і екології Одеської державної академії будівництва і архітектури

**Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування. Навчальний  
посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Одеса: ОДЕКУ,  
2002. – 226 с.**

В навчальному посібнику висвітлені найважливіші розділи традиційної та сучасної екології, розглянуті питання антропогенного забруднення довкілля та його негативні наслідки, екологічні основи та проблеми раціонального природокористування. Може бути використаний студентами вищих навчальних закладів при вивченні окремих розділів дисциплін: “Основи екології та природокористування”, “Основи екології”, “Основи загальної екології”, “Оптимізація природокористування” та ін.

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>5</b>
<b>1 ЕКОЛОГІЯ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ, ЇХ МІСЦЕ СЕРЕД ІНШИХ ДИСЦИПЛІН</b>	<b>9</b>
<b>2 СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО БІОСФЕРУ</b>	<b>16</b>
2.1 Зміст поняття	16
2.2 Еволюція біосфери	20
2.3 Сучасний етап розвитку біосфери	22
<b>3 СТРУКТУРНІ ОДИНИЦІ БІОСФЕРИ. ЕКОСИСТЕМИ</b>	<b>26</b>
3.1 Деякі уявлення про складові біосфери	26
3.2 Типи екосистем і їх характеристика	30
<b>4 ЖИВА РЕЧОВИНА І ЇЇ РОЛЬ В БІОСФЕРІ</b>	<b>36</b>
4.1 Загальні відомості про живу речовину	36
4.2 Біологічний контроль стану природного середовища	38
<b>5 КРУГООБІГ РЕЧОВИН У ЕКОСИСТЕМАХ</b>	<b>41</b>
5.1 Загальні відомості про склад біосферних середовищ	41
5.2 Біологічний кругообіг атомів у природі	42
5.3 Круговорот води	43
5.4 Кругообіг вуглецю	45
5.5 Кругообіг кисню	46
5.6 Кругообіг азоту	48
5.7 Кругообіг сірки і фосфору	49
<b>6 ПОТІК ЕНЕРГІЇ В ЕКОСИСТЕМАХ</b>	<b>51</b>
6.1 Загальна схема трансформації енергії в екосистемах	51
6.2 Поняття про екологічні піраміди	54
6.3 Енергетична класифікація екосистем	56
<b>7 ПРОБЛЕМА АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА</b>	<b>58</b>
<b>8 АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА ЙОГО НЕГАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ</b>	<b>64</b>
8.1 Види і джерела забруднення атмосфери	64
8.2 Перенесення і трансформація забруднюючих речовин в атмосфері	68
8.3 Вплив забруднюючих речовин атмосфери на біосистеми	71
8.4 Критерії санітарно-гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря	72
8.5 Принципи оцінки гранично допустимого викиду шкідливих речовин в атмосферу	74
8.6 Негативні наслідки забруднення атмосфери та шляхи її захисту	76

<b>9 АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД ТА ЙОГО НЕГАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ</b>	<b>85</b>
9.1 Загальні відомості про водні ресурси і водокористування	85
9.2 Забрудненість поверхневих вод суші	87
9.3 Забруднення підземних вод	92
9.4 Забруднення морських вод	99
9.5 Оцінка екологічного стану водних об'єктів	107
9.6 Негативні наслідки забруднення природних вод та їх охорона від забруднення	108
<b>10 АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ТА ЙОГО НЕГАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ</b>	<b>115</b>
10.1 Загальні відомості про літобіосферу та ґрунт	115
10.2 Основні причини деградації ґрунтів	117
10.3 Наслідки забруднення ґрунтів та їх охорона	121
<b>11 РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ БІОСФЕРНИХ СЕРЕДОВИЩ</b>	<b>129</b>
11.1 Деякі загальні відомості	129
11.2 Природні та антропогенні джерела радіації	130
11.3 Вплив радіації на біосистеми і екосистеми	133
<b>12 ПРИРОДНІ РЕСУРСИ ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ</b>	<b>136</b>
12.1 Енергетичні ресурси	140
12.2 Газово-атмосферні ресурси	149
12.3 Водні ресурси	151
12.4 Ґрунтово-геологічні ресурси	153
12.5 Біологічні ресурси	155
12.6 Комплексна ресурсна група	156
<b>13 ОСНОВНІ ЗАКОНИ, ПРАВИЛА І ПРИНЦИПИ ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ</b>	<b>159</b>
<b>14 ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРИРОДНИМИ СИСТЕМАМИ</b>	<b>167</b>
<b>15 ПРИНЦИПИ ОЦІНКИ РИЗИКУ ТА ВИТРАТНО–ПРИБУТКОВОГО АНАЛІЗУ В ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ</b>	<b>172</b>
<b>16 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ І ГЛОБАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ</b>	<b>179</b>
<b>17 ФАКТОРИ ДЕГРАДАЦІЇ ДОВКІЛЛЯ ТА ШЛЯХИ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ</b>	<b>188</b>
17.1 Антропогенна навантаження – основний фактор деградації довкілля	188
17.2 Основні шляхи екологізації природокористування	195
<b>ЛІТЕРАТУРА</b>	<b>223</b>
<b>УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ</b>	<b>226</b>

## **В С Т У П**

Збереження людської цивілізації залежить від наших знань про природу і дій, спрямованих на збереження і поліпшення навколишнього природного середовища шляхом розумного втручання, а не руйнування його в процесі нерационального використання.

Проблеми природокористування розглядаються з географічних, біологічних, правових, економічних і інших аспектів. Особливо важливе значення має екологічне обґрунтування раціонального використання природних ресурсів і умов, яке повинно базуватись на уявленнях як традиційної (класичної, геккелівської), так і сучасної екології.

Екологія набула практичного інтересу ще на зорі розвитку людства, бо кожний індивідуум, щоб вижити, повинен був мати певні знання про оточуюче його середовище - сили природи, рослини і тварини. Власне, цивілізація і виникла тоді, коли людина навчилася використовувати вогонь, інші засоби й знаряддя, що дозволяють їй змінювати і пристосовувати середовище мешкання. Завдяки науково-технічному прогресу людство, здавалося, вже менше залежить від природи. Багато хто схильний забувати, що ця залежність збереглася. Людство продовжує залежати від енергетичних, мінерально-сировинних, біологічних, водних, інших природних ресурсів і умов. Основні закони природи не втратили свого значення, а із збільшенням антропогенних навантажень лише змінилася їх відносна роль і ускладнилася залежність від них.

Одна з основних причин екологічної ситуації, що склалася, є протиріччя - незбалансованість економіки і екології в різних країнах. Прагнення в найкоротші терміни вирішити економічні проблеми, питання забезпечення народного господарства і населення енергетичними і сировинними ресурсами сприяло тому, що проводилося природокористування без урахування можливих негативних наслідків втручання в природні середовища.

Економіка колишнього СРСР, як правило, ігнорувала необхідність системи раціонального природокористування. Промислові об'єкти в багатьох регіонах розміщені без урахування екологічного навантаження. Свідомо, або помилково, занижувалася передбачувана екологічна шкода природним системам. Ситуація ускладнилася і продовжує ускладнюватись через відсутність належного зростання технічного рівня й екологічно чистих сучасних технологій, достатніх капітальних вкладень, низьку екологічну свідомість людей. Внаслідок цього багато народногосподарських об'єктів і оточуюче їх природне середовище перебувають в критичному стані. Незважаючи на спад економічної діяльності в багатьох регіонах, масштаби техногенного впливу на природні середовища лишаються вельми значними. Поки ще немає підстав говорити про екологічну кризу, але вже відзначається аж надто небезпечна

екологічна ситуація в багатьох регіонах. За даними А.В. Яблокова, 20% населення колишнього СРСР мешкають в зонах екологічного лиха, а 40% - в екологічно несприятливих умовах.

Зростає захворюваність, пов'язана з погіршенням стану всіх природних середовищ, бо здоров'я людей залежить від здоров'я навколишнього середовища, включаючи чисту воду, прибирання відходів і наявність достатньої кількості здорової їжі. Для запобігання захворюваності вже недостатньо заходів, що приймаються окремими державами, а потрібна міжнародна співпраця у галузі екології, бо не існує «екологічних кордонів», і екологічна катастрофа в одній країні відбивається на стані природного середовища інших країн. На конференції ООН по навколишньому середовищу і розвитку, яка проходила в Ріо-де-Жанейро в червні 1992 року, де зустрілися представники 179 країн, було зазначено, що економічний розвиток не може зупинитися, але він повинен посуватися іншим шляхом, припинивши так активно руйнувати навколишнє середовище.

Існує багато екологічних проблем різного масштабу і різної значущості, але основними екологічними проблемами сучасності є: 1) зміна клімату (геофізики) Землі на основі посилення теплового ефекту викидів метану і інших газових домішок, аерозолів, легких радіоактивних газів, зміни концентрації озону в тропосфері та стратосфері; 2) засмічування (контамінація) і інше забруднення найближчого космічного простору; 3) загальне ослаблення стратосферного озону, утворення великої «озонової діри» над Антарктидою, малих «дір» над іншими регіонами планети; 4) забруднення атмосфери з утворенням кислотних опадів, сильно токсичних і згубно діючих речовин внаслідок повторних хімічних реакцій, в тому числі фотохімічних (в цьому одна з основних причин руйнування озонового шару, на який впливають фреони, водяні пари, оксиди азоту, малі газові домішки); 5) забруднення Світового океану, поховання в ньому (дампінг) отруйних і радіоактивних речовин, насичення його діоксидом вуглецю з атмосфери, надходження в нього антропогенних нафтопродуктів, інших забруднюючих речовин, особливо важких металів і складних органічних сполук, підкислення мілководь за рахунок забруднення оксидами сірки і азоту атмосфери, розрив нормальних екологічних зв'язків між океаном і водами суші в зв'язку з будівництвом дамб на ріках; 6) виснаження і забруднення поверхневих вод суші, континентальних водоймищ, підземних вод; порушення балансу між поверхневими і підземними водами; 7) радіоактивне забруднення локальних ділянок і деяких регіонів, особливо в зв'язку з поточною експлуатацією атомних пристроїв, чорнобильською аварією і випробуванням ядерної зброї; 8) зміна геохімії окремих регіонів планети в результаті, наприклад, переміщення важких металів і концентрування їх на поверхні землі при нормальній дисперсності в літосфері; 9) накопичення,

що продовжується, на поверхні суші отруйних радіоактивних речовин, побутового сміття і промислових відходів, особливо практично нерозкладних і дуже стійких, типу поліетиленових виробів, інших пластмас; виникнення повторних хімічних реакцій у всіх середовищах з утворенням токсичних речовин; 10) порушення глобальної екологічної рівноваги, співвідношення екологічних компонентів, в т.ч. зсув екологічного балансу між Світовим океаном, його прибережними водами і впадаючими в нього поверхневими і підземними водами суші; 11) утворення техногенних пустель в нових регіонах планети, розширення вже існуючих пустель, поглиблення самого процесу утворення пустель (загальна площа пустель і напівпустель 48,4 млн. км<sup>2</sup>, з них на частку антропогенних припадає не менше ніж 10 млн. км<sup>2</sup>); 12) скорочення площі тропічних дощових лісів і тайги, яке веде до дисбалансу кисню і посилення процесу зникнення видів тварин і рослин (вважається, що під загрозою зникнення знаходиться близько 10 тисяч видів); 13) звільнення і утворення в ході вищезгаданого процесу нових екологічних ніш і заповнення їх небажаними організмами, шкідниками, паразитами, збудниками нових захворювань рослин, тварин, включаючи людину; 14) абсолютне перенаселення Землі і демографічний вибух в окремих регіонах; 15) погіршення середовища життя в містах і сільській місцевості, збільшення шумового забруднення, стресів присутності, забруднення повітря промисловістю, транспортними засобами, зорового придушення людини високими будівлями, виникнення «смутку нових міст», дискомфорту знеособленого будівництва, напруженого темпу міського життя і втрати соціальних зв'язків між людьми, виникнення «психологічної втоми». Населення всієї Землі і кожного її мешканця нарізно зачіпає глобальна екологічна проблема - охорона навколишнього природного середовища і раціонального природокористування [1, 9].

Сучасну екологічну ситуацію в Україні можна охарактеризувати як кризову, яка формувалася протягом тривалого періоду через нехтування об'єктивними законами розвитку і відтворення природно-ресурсного комплексу України. Відбувалися структурні деформації народного господарства, за яких перевага надавалася розвитку в Україні сировинно-видобувних, найбільш екологічно небезпечних галузей промисловості. Економіці України притаманна висока питома вага ресурсоемних та енергоємних технологій, впровадження та нарощування яких здійснювалося найбільш «дешевим» способом – без будівництва відповідних очисних споруд. Це було можливим за відсутності ефективно діючих правових, адміністративних та економічних механізмів природокористування та без урахування вимог охорони довкілля. Ці та інші чинники, зокрема низький рівень екологічної свідомості суспільства, призвели до значної деградації довкілля України, надмірного забруднення поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря і земель,

нагромадження у дуже великих кількостях шкідливих, у тому числі високотоксичних, відходів виробництва. Такі процеси призвели до різкого погіршення стану здоров'я людей, зменшення народжуваності та збільшення смертності, а це загрожує вимиранням і біологічно-генетичною деградацією народу України.

У зв'язку з цим велике значення мають «Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» (затверджено Постановою Верховної Ради України від 5 березня 1998 року № 188/98-ВР), які розроблені відповідно до статті 16 Конституції України, якою визначено, що забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України, подолання наслідків Чорнобильської катастрофи, збереження генофонду українського народу є обов'язком держави.



# **1 ЕКОЛОГІЯ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ, ЇХ МІСЦЕ СЕРЕД ІНШИХ ДИСЦИПЛІН**

Слово «*екологія*» утворено від грецьких «*oikos*» - дім, житло, місцеперебування і «*logos*» - вчення, наука. Німецький біолог-еволюціоніст Ернст Геккель (1834-1919), який ввів цей термін в 1866 р., під екологією розумів суму знань про взаємовідношення тварини з навколишнім середовищем, передусім - живими організмами, з якими вона контактує. Услід за Е. Геккелем, багато біологів розглядали екологію як науку про місце проживання живих організмів. Потрібно зазначити, що вже в працях Гіппократа, Аристотеля та інших древньогрецьких філософів містились відомості екологічного характеру. Однак, чисто екологічні дослідження стали проводитися лише в ХХ столітті, особливо в 1968-1970 рр., коли особливо гостро стали перед людством проблеми забруднення природних середовищ, зростання населення, виробництва продуктів харчування, мінеральних і енергетичних ресурсів та інш. Змінилося і саме поняття терміну «*екологія*».

Зараз екологію розуміють як науку про взаємовідношення живих організмів з середовищем їх мешкання або науку про закони взаємодії органічних угруповань один з одним і навколишнім їх абіотичним середовищем. Так, відомий еколог Ю.А. Израель в передмові до книги Ф. Рамада [2] зазначає: «Екологія - це наука про взаємовідносини між живими організмами, біологічними системами (надорганізменного рівня) і середовищем мешкання, практична наука про структуру і функції природи». Істотний антропогенний вплив на біосферу на усіх рівнях ще більш підвищив роль екології як одного з найважливіших наукових напрямів і не дивно, що екологію нерідко визначають як науку, що досліджує закономірності функціонування організмів в їх природному середовищі мешкання з урахуванням змін, що вносяться в середовище діяльністю людини.

Екологія – наука, що вивчає структуру і функціонування біологічних систем надорганізменного рівня (популяційних систем, екосистем і біосфери у цілому) в умовах антропогенного впливу. В основу екології покладені енергетичний і балансовий принципи існування екосистем, теорія трофічних (харчових) рівнів і ланцюгів, що забезпечують можливість вивчення потоків речовини, енергії і інформації у екосистемах, зміни їх структури і діяльності під впливом факторів середовища, які викликані діяльністю людини [3]. Екологія йде своїми коріннями в біологію, але вона вже вийшла з цих рамок, оформившись в принципово нову інтегральну дисципліну, яка пов'язує фізичні і біологічні явища і створює міст між природними і суспільними науками [4]. В наш час екологія розпадається на низку наукових галузей і дисциплін, часом далеких від первинного розуміння екології як біологічної науки, хоч в

основі всіх сучасних напрямів екології лежать фундаментальні ідеї біоекології (Ю. Одум, Р. Дажо, М.Ф. Реймерс, І. Дедю, Г.О. Білявський, В.Ю. Некос та інш.).

Екологію за розмірами об'єктів вивчення ділять на *аутоекологію* (організм і його середовище), *популяційну екологію або демекологію* (популяція і її середовище), *сінекологію* (угруповання і його середовище), *географічну або ландшафтну екологію* (великі геосистеми, географічні процеси за участю живої речовини і її середовища) та *глобальну екологію* (мегаекологія, учення про біосферу Землі). По відношенню до предметів вивчення екологію поділяють на *екологію мікроорганізмів, грибів, рослин, тварин, людини; сільськогосподарську, промислову (інженерну), загальну екологію* (як теоретичну узагальнюючу дисципліну). За середовищами і компонентами розрізняють *екологію суші, водоймищ, морську, Крайньої Півночі, високогір'їв, хімічну (геохімічну, біогеохімічну)* і т.д. За підходами до предмету виділяють *аналітичну і динамічну екологію*. З точки зору на фактор часу розглядають *історичну і еволюційну екологію* (рис.1.1). У системі екології людини виділяють *соціальну екологію* (взаємовідношення соціальних груп суспільства з їх середовищем життя), яка на відміну від екології індивіда і екології людських популяцій за функціонально-просторовим рівнем рівна сінекології, але має ту особливість, що співтовариства людей в зв'язку з їх середовищем мають домінуючу соціальної організації [5].

Г.О. Білявським та ін. [6] розроблено класифікацію напрямів сучасних екологічних досліджень, які згруповано на системній основі з урахуванням галузевих особливостей взаємозв'язків та ієрархії. Найвищим за рангом узагальнюючим поняттям, що використовується в класифікації, є «універсальна» або «загальна» екологія - наука про тактику й стратегію збереження та стабільного розвитку життя на Землі. Універсальній екології підпорядковані два основні блоки екологічних досліджень: *теоретична екологія та практична (прикладна) екологія*. У теоретичну екологію входить розділ екології живих організмів (з підрозділами екології людини, мікросвіту, рослин та тварин). Практична (прикладна) екологія об'єднує три розділи: науки про охорону та раціональне використання природних ресурсів («геоекологія» або енвайронментологія та оптимізація природокористування); науки про соціально-економічні фактори впливу на довкілля («соціоекологія»); науки про техногенні фактори забруднення довкілля («техноекологія»).

Як відмічає О.Г. Топчієв [7], аналіз екологічних дій в системі «природа – населення - господарство» складає предмет особливої наукової дисципліни - *геоекології* (екології географічної оболонки Землі).

Існує велика кількість сучасних визначень поняття «екологія», які мають як багато загального, так і принципово відрізняються. Одні автори дотримуються первинного визначення Е. Геккеля (1966 р.), інші істотно

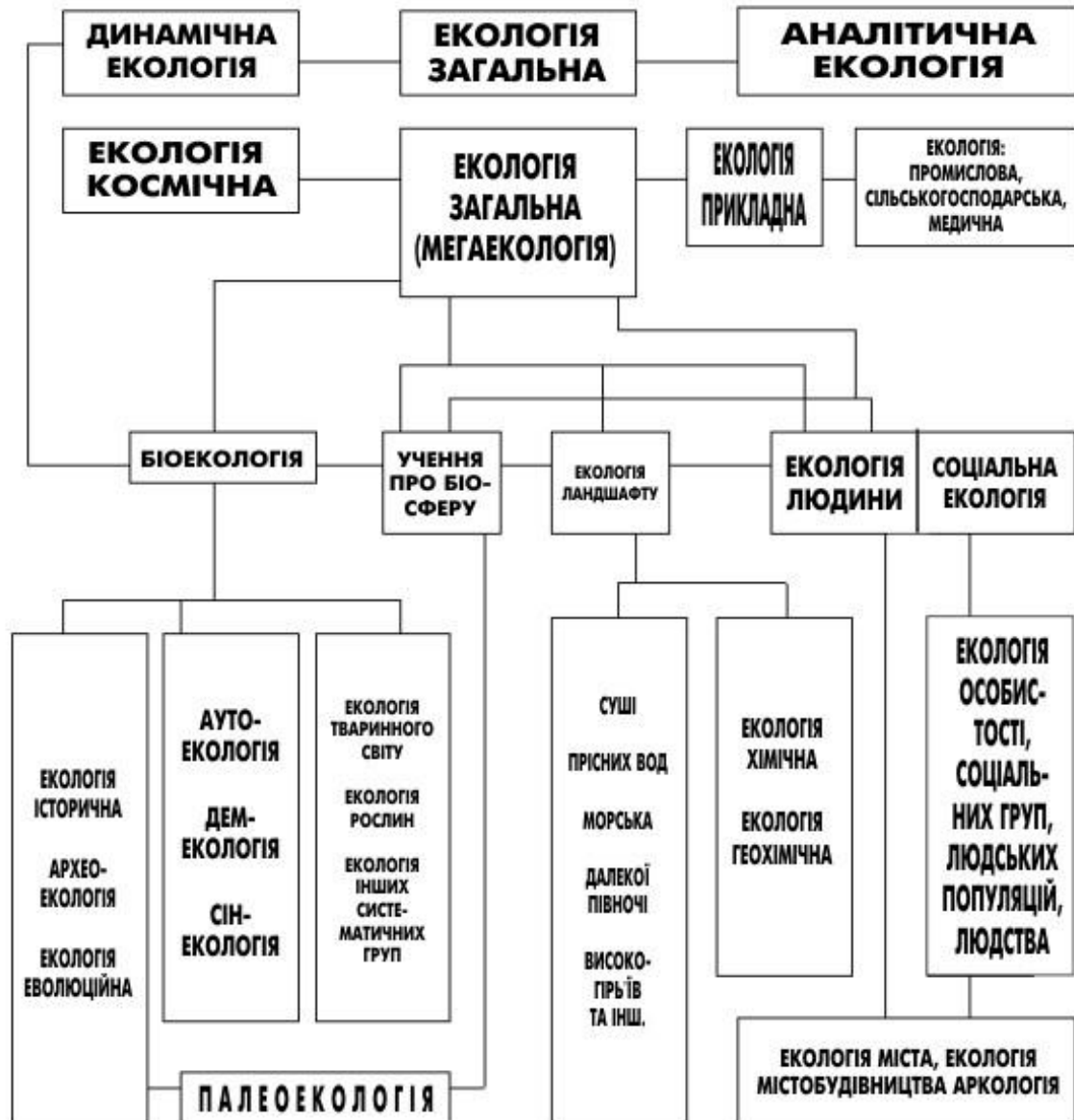


Рис. 1.1. Основні структурні підрозділи екології [5]

розширили зміст традиційної екології (біоекології), аж до придання абсолютно іншого значення самій науковій дисципліні. Формується сучасна екологія - «неоекологія» - зі своїм об'єктом дослідження, методами, понятійно-термінологічним апаратом і структурою [8]. Кожний структурний підрозділ неоекології є цілком самостійною науковою дисципліною, що складає разом з іншими вельми складну, багатоаспектну, міждисциплінарну дисципліну.

Аналогічно з іншими науковими дисциплінами, в структурі сучасної екології можна виділити теоретичні, прикладні, спеціальні і регіональні розділи. У рамках теоретичної екології розглядаються проблеми еволюції і стійкості біосфери, взаємозв'язку між біотичними і абіотичними складовими навколишнього середовища, взаємовідношення людини і

природи, можливість трансформації біосфери в ноосферу, екологічні теорії, закони, правила, принципи і гіпотези. Структурною гілкою, що найбільш розвивається, є прикладна екологія, яка виникла в зв'язку з необхідністю вивчення процесів деградації біосферних середовищ, запобігання цим процесам, оптимізації природокористування тощо. Навряд чи можна обмежуватися умовними кордонами промислової, сільськогосподарської, транспортної, медичної і іншими розділами прикладної екології, бо практично всі види господарської діяльності неминуче пов'язані з розв'язанням екологічних проблем. Беручи до уваги величезну різноманітність видів антропогенної діяльності, багатоаспектність екологічної проблематики, можна говорити про необхідність проведення спеціальних екологічних досліджень (наприклад, при конверсії військових об'єктів, дампінгу ґрунтів, знешкодженні, утилізації і похованні відходів тощо). В міру поглиблення наукових знань виникають все нові розділи сучасної екології (наприклад, екологічна хімія, екологічна фізика та інші). Одним з основних напрямів представляється регіональна екологія, задачі якої зводяться до вивчення екологічних ситуацій в конкретному регіоні, оцінки впливу природних і антропогенних факторів на стан екосистем.

Оскільки *навколишнє середовище* (НС) являє собою поєднання взаємопов'язаних природних, видозмінених природних, штучно створених і соціально-економічних компонентів [9], то аналіз екологічної ситуації в будь-якому регіоні повинен базуватися на такому багатоаспектному розумінні середовища мешкання живих організмів, включаючи людину. З позицій біоцентризму динаміка і сучасний стан біоценозів є основними показниками рівноважного стану екосистем, однак, в екосистемах, що зазнають значних антропогенних навантажень, доводиться акцентувати увагу на зв'язках між навколишнім середовищем і здоров'ям людини. Тому, якщо вийти з принципів антропоцентризму, то, як головний і інтегральний показник екологічної обстановки в тому або іншому регіоні, можна прийняти стан здоров'я народонаселення з подальшим визначенням патогенної ролі окремих природних і техногенних факторів.

Внаслідок невизначеності поняття «екологія» або «неоекологія», тісного зв'язку їх з енвайронментологією і природокористуванням поки немає єдиного уявлення про структурні підрозділи цієї дисципліни. Галузі екології формуються неоднорідно, а тому характеризуються різною повнотою й обсягом. Сьогодні налічується близько 50 розгалужень екології [9, 10]. «Екологія як така – лише фундаментальна основа для природоохоронного і середовище охоронного знання, є основа невід'ємна і абсолютно необхідна. Все інше – лише її прикладні сфери. Всі вони мають свої постулати і теоретичні узагальнення, які базуються на екологічному фундаменті» [9].

*Природокористування* (ПК) - сукупність впливів людства на географічну оболонку Землі, що розглядається в комплексі (на відміну від галузевих понять водокористування, землекористування, лісокористування та інш.). Існують і інші визначення ПК: 1) сукупність продуктивних сил, виробничих відносин і відповідних організаційно-економічних форм і установ, пов'язаних з первинним привласненням, використанням і відтворюванням людиною об'єктів оточуючого природного середовища для задоволення її потреб; 2) використання природних ресурсів в процесі суспільного виробництва з метою задоволення матеріальних і культурних потреб суспільства; 3) сукупність всіх форм експлуатації природно-ресурсного потенціалу; 4) комплексна наукова дисципліна, що досліджує загальні принципи раціонального (для даного історичного моменту) використання природних ресурсів людським суспільством [5]; 5) теорія і практика раціонального використання людиною природних ресурсів або сфера суспільно-виробничої діяльності, яка направлена на задоволення потреб людства в якості і різноманітності навколишнього середовища, на поліпшення використання природних ресурсів біосфери [11].

У формулюванні автора терміну «природокористування» Ю.Н. Куражковського [12], «задачі природокористування, як науки, зводяться до розробки загальних принципів здійснення усякої діяльності, що пов'язана або з безпосереднім користуванням природою і її ресурсами, або зі змінюючими її впливами». Кінцевою метою цієї розробки є забезпечення єдиного підходу до природи як до загальної основи праці.

*Об'єктом ПК* як науки служить комплекс взаємовідносин між природними ресурсами, природними умовами життя суспільства і його соціально-економічним розвитком. *Предметом ПК* можна вважати оптимізацію цих відносин, прагнення до збереження і відтворювання середовища життя. Під *оптимізацією* (від лат. optimum - найкраще) розуміється: 1) отримання максимуму можливого при мінімумі зусиль (витрат), звичайно у відносно коротких інтервалах часу (оптимізація економічна); 2) прагнення до стану, найбільш близького до динамічної рівноваги (квазістаціонарного стану); 3) отримання співвідношення, найбільш бажаного в господарському значенні; 4) прихід до стану, найбільш бажаного з точки зору людини для зберігання його здоров'я [5].

Природокористування, як наукова дисципліна, включає компоненти природних, соціально-економічних і технічних наук і в організаційному відношенні може вважатися таким же самостійним розділом знання, як біологія, географія, економіка, екологія тощо. Найчастіше ПК розглядається в зв'язку з розв'язанням екологічних проблем і питань охорони навколишнього середовища. ПК найтісніше пов'язано з *енвайронментологією* або *середологією* (дисципліною про оточуюче людину середовище, його якість і охорону), *енвайронменталістикою*

(технічним додатком енвайронментології, включаючи очищення викидів в атмосферу, стічних вод, утилізацію відходів тощо), *ресурсознавством* (вченням про інтегральний ресурс і його складові - природні, матеріальні і трудові), *екологією* (наукою про гармонізацію економіки і екології). Оскільки основним теоретичним базисом були і продовжують залишатися географія і екологія, то ПК поки що потрібно відносити до природничих наук [5], хоч навряд чи без урахування власне соціально-економічних аспектів можна розглядати ПК як цілісну науку.

Розрізняють *оптимізацію* навколишнього середовища, оптимізацію територіально-екологічну, господарську оптимізацію, економічну оптимізацію, еколого-господарську оптимізацію тощо [13]. Стосовно до ПК, під оптимізацією потрібно розуміти найкращий з можливих варіантів розв'язання задач природокористування, тобто оптимальне ПК є тотожним поняттю раціонального ПК. Оптимальне (раціональне) ПК - система діяльності по забезпеченню економічної експлуатації природних ресурсів і умов і найбільш ефективний режим їх відтворення з урахуванням перспективних інтересів господарства, що розвивається, і збереження здоров'я людей. Так, під раціональним (оптимальним) використанням природних ресурсів розуміється досягнення максимальної ефективності використання природних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки і технології і одночасне зниження техногенного впливу на навколишнє середовище [14]. Система діяльності, що не забезпечує збереження природно-ресурсного потенціалу, яка веде до вичерпання природних ресурсів, підриву відновлювальних можливостей природних середовищ, зниження оздоровчих і естетичних якостей природного середовища, називається нераціональним (неоптимальним) природокористуванням.

Як приклад, можна розглянути *оптимізацію ландшафту*, тобто систему заходів, які направлені на досягнення максимально можливої продуктивності ландшафту, найбільш раціональної екологічної рівноваги за допомогою сприятливого поєднання компонентів і екосистем з різним ступенем перетворення людиною [11]. Ця оптимізація у застосуванні до певних потреб людини носить еколого-економічний характер, використовуючи комплекс спеціальних технічних (агротехнічних, агрохімічних, агро меліоративних і інш.) прийомів. Так, на території України і Росії за останні десятиріччя внаслідок нераціонального використання земельних ресурсів посилюються процеси деградації ґрунтів, зокрема поменшав вміст гумусу в чорноземах в степовому ландшафті. У зв'язку з цим в останні роки проводяться роботи по екологічній оптимізації степового ландшафту. Це застосування агротехніки з мінімальною обробкою ґрунту, переведення малопродуктивної ріллі в поліпшені пасовища, агро меліоративні засоби та інші. За даними [15], в числі екологічно обґрунтованих заходів, які перешкоджають деградації степових пасовищ і сприяють їх відновленню, є: заборона і обмеження випасу

худоби в степу ранньою весною за рахунок створення додаткових запасів кормів; припинення одночасного використання пасовищ для різних видів худоби при граничних навантаженнях; заборона тривалого випасу худоби на одному і тому ж місці; вибір оптимальних навантажень худоби з урахуванням сучасного стану пасовищ; прискорення відновлення травостою шляхом підсиви трав, розпушування ґрунтів в поєднанні з повним припиненням випасу (на термін 1-2 роки).

У основу оптимального ПК необхідно покласти наступні принципи: 1) поєднання соціальних, екологічних і економічних критеріїв ПК; 2) превентивна, а не виправляюча система заходів; 3) урахування реалій, що склалися, тобто аналіз всіх можливих наслідків ліквідації екологічно небезпечного об'єкта; 4) комплексний аналіз наукових рекомендацій; 5) економічну вигоду природоохоронних заходів; 6) узгодженість природоохоронних заходів між суміжними регіонами (країнами). Оптимізація ПК повинна сприяти збереженню основних характеристик природних систем при досить високій соціально-економічній ефективності їх використання.

Ефективність охорони НС - максимальна результативність від проведення комплексу заходів щодо забезпечення якості довкілля і раціонального (оптимального) використання природних ресурсів. Досягнути ефективності управління якістю середовища можна тільки шляхом проведення розумної екологічної політики, тобто системи заходів, яка направлена на забезпечення якості навколишнього середовища, відтворення природних ресурсів і створення належних екологічних умов для життя населення. За характером (масштабом) здійснення екологічна політика може бути глобальною, державною і локальною, а за способами здійснення - адміністративна і за допомогою економічних (ринкових) методів регулювання [13].

## 2 СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО БІОСФЕРУ

### 2.1 Зміст поняття

Термін “біосфера” (БС) утворений з грецьких слів «*bios*» - життя і «*sphaira*» - сфера. Найбільш близько до сучасного поняття підійшов французький дослідник Ж.Б. Ламарк в 1802 р., який створив першу цілісну концепцію еволюції живої природи (ламаркізм), ввів термін «біологія» і відзначив істотний вплив живих організмів на процеси, що протікають на земній поверхні. Ж.Б. Ламарк не сформулював досить чітко це поняття. Уперше термін «біосфера» з'явився в роботі відомого австрійського геолога Е. Зюсса «Походження Альп» (1875 р.), в якій він виділив атмосферу, гідросферу, літосферу і біосферу (сферу життя). Спеціально вивченням біосфери Е. Зюсс не займався, уявлення про неї не розвивав і розглядав її як оболонку, яка залягає над сухопутною і водною поверхнях, або обмежену в часі і просторі сукупність організмів на поверхні Землі.

Основоположником сучасних уявлень про БС є наш великий співвітчизник В.І.Вернадський (1863-1945). Наукові ідеї, покладені в основу вчення про біосферу, В.І. Вернадський розвивав в окремих статтях, а пізніше в лекціях, прочитаних в 1922-1923 рр. в Карловому університеті у Празі та у Сорбонні. Він ввів цей термін в ужиток, систематизував проблему в монографії «Біосфера» (1926 р.), утворив узгоджене учення про БС, як сферу поширення життя, особливої оболонки нашої планети. Геніальні дослідження В.І. Вернадського набули важливого значення, зокрема, вони стали основою для вирішення однієї з найважливіших проблем сучасності - проблеми охорони і раціонального використання навколишнього природного середовища.

Поверхню Землі В.І. Вернадський розглядав як якісно своєрідну оболонку, розвиток якої в значній мірі визначається діяльністю організмів. Суть учення про БС полягає в тому, що вища форма розвитку матерії на Землі - життя - усереднює інші планетарні процеси, тобто сукупна діяльність живих організмів (в т.ч. людини) виявляється як геохімічний фактор планетарного масштабу і значення. В.І. Вернадський розглядав БС не як просту сукупність живих організмів, а як єдину термодинамічну систему (оболонку, простір), в якій відбувається постійна взаємодія усього живого з неорганічними умовами довкілля. Він та його послідовники (М.С. Будика, М.Б. Вассоевич, М.С. Соколов, Ф.Я. Шипунов, О.М. Яншин, М.А. Голубець та ін.) вважають, що БС включає в себе область активного життя, що охоплює нижні шари атмосфери (тропосфери), Всесвітній океан, поверхню суші з біогенними ландшафтами і, нарешті, частину земної кори, в якій на глибинах в сотні й тисячі метрів у підземних водах існують мікроорганізми. Склад і будова БС зумовлені сучасною і минулою життєдіяльністю всієї сукупності живих організмів (живої речовини).



Життя належить до «холодних» явищ, які відбуваються в нижній шкалі температур (від  $-270$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ), однак більшість організмів витримує температуру від  $0$  до  $80^{\circ}\text{C}$ . Оптимальна температура, при якій проявляється найвища активність організмів, - у межах  $0 - 30^{\circ}\text{C}$  [10].

Верхня межа БС, за В.І. Вернадським, є променевою (зумовлена наявністю твердого, короткохвильового ультрафіолетового проміння, від якого життя Землі захищає озоносфера), а нижня – термічною (наявністю високих температур). Межі БС звичайно визначаються від рівня  $20-22$  км над земною поверхнею до  $11$  км в глибину океану (і на самих великих глибинах є форми життя). Фактично потужність БС набагато менша: від поверхні Землі до  $6-7$  км над нею, тобто приземний шар атмосфери (аеробіосфера), де зберігаються умови, за яких ідуть нормальні біохімічні процеси, до глибинної ізотерми  $100^{\circ}\text{C}$  на суші (за даними надглибокої свердловини на Кольському півострові близько  $6$  км від земної поверхні) і максимальної глибини  $10924-11034$  м в океані. За даними Ф.Я.Шипунова (1980 р.), найбільшу товщину БС має на тропічних широтах –  $22$  км, найменшу – на полярних –  $12$  км. На відміну від сучасної БС, доцільно вирізняти також колишні БС (метабіосферу за М.Б. Вассоєвичем), тобто багатокілометрову товщу літосфери, на склад якої в минулі часи вплинуло функціонування живої речовини.

У роботах В.І. Вернадського немає універсального поняття БС і синтезом робіт, присвячених БС, є його труд «Хімічна будова БС і її оточення» (М., 1965), виданий більш ніж за  $20$  років після смерті вченого. Виходячи з цієї роботи, БС - цілісна геологічна оболонка Землі, заселена життям і якісно перетворена ним в напрямі формування і підвищення життєвих властивостей. Живі організми є функцією БС та матеріально і енергетично з нею пов'язані, є величезною геологічною силою, що її визначає. Внаслідок обмінних процесів змінюються не тільки самі організми, але і навколишнє абіотичне середовище. Гірські породи, повітря, вся поверхня суші під впливом організмів стають біогенними. Змінюється хімічний склад компонентів абіогенної природи, стає іншою динаміка протікаючих в них фізико-хімічних процесів, з'являються нові закономірності взаємодії і розвитку тіл неживої природи, що в свою чергу зумовлює нові зміни у всій сукупності організмів, які її населяють. Як організм не може бути зрозумілий поза єдністю з неживою природою, так і нежива природа в межах БС не може бути зрозуміла досить повно без урахування впливу з боку організмів.

Жива речовина відіграє виняткову роль як джерело енергії не тільки в живій, але і в значній частині неживої природи. Особливо велика в цьому відношенні роль продуцентів, які перехоплюють сонячну енергію в процесі фотосинтезу і трансформують її в енергію зв'язку органічних сполук. З розвитком фотосинтезу реакції окислення на планеті стали у багато разів інтенсивнішими ніж в добіосферний період, і в цьому полягає

особливе його значення. В.І. Вернадський припускав, що в геологічному минулому верхні шари БС, збагачені енергією живої речовини, поступово опускались в зони високих температур і тиску, віддаючи надмірну енергію земним надрам.

Взаємозв'язок різних видів організмів в біогеоценозах такий, що продукти життєдіяльності одних видів, шкідливі для них самих, виступають умовою життєдіяльності інших, тобто забезпечується циклічність обмінних процесів, їх замкненість. Кожний вид прагне збільшити свою біогеохімічну енергію, тому виживають тільки ті види, які це роблять найбільш ефективно, сприяючи загальному процесу акумуляції речовини і енергії у БС. Біосферу можна представити як систему взаємопов'язаних між собою біогеоценозів, але це цілісне утворення, в якому розвиваються властивості, відсутні у складових його частинах, однак багато які з властивостей самих частин є результатом саморозвитку БС як органічного цілого.

Як зазначає Ф. Рамад [2], «біосферу можна зобразити як частину планети, яка включає сукупність живих істот і у якій можливе постійне життя». Для численних характеристик БС основоположними є: всюди завжди є вода в рідкому стані; в БС постійно проникає сонячна радіація, яка являє собою єдине джерело енергії. Дійсно, не вся земна поверхня однаково сприятлива для існування живих організмів. Наприклад, в кратерах діючих вулканів, на свіжих лавових потоках, у високо мінералізованих водах Мертвого моря або на дні Чорного моря практично немає живих організмів; в полярних областях і у високогірних районах немає рослин, птахи можуть з'явитись там тільки тимчасово під час перельотів, а є там тільки бактерії і грибки, тобто поряд з біогенними ландшафтами існують і абіогенні ландшафти (центральні частини Антарктиди і Гренландії, високогірні зони). Подібні крайові зони називаються парабіосферними. Деякі дослідники вважають, що власне біосфера, парабіосферні зони, тропосфера + стратосфера і верхня частина літосфери складають екосферу. Ю. Одум [4] вважає, що поняття «екосфера» і «біосфера» - це синоніми.

Основними типами речовин БС по В.І. Вернадському є: 1) жива речовина - рослини, тварини і мікроорганізми; 2) біогенна речовина - органічні і органо-мінеральні продукти, створені живими організмами протягом геологічної історії планети (торф, вугілля, горючі сланці, нафта і інші нафтіди - продукти трансформації сонячної енергії, поховані в надрах Землі); 3) нежива (косна) речовина - гірські породи неорганічного походження і вода, які представляють субстрат або середовище для мешкання живих організмів; 4) біокосна речовина - результат синтезу живої і косної речовини (осадові гірські породи, кори вивітрювання, мули, ґрунти), співвідношення між живими і неорганічними компонентами в

біокосній речовині варіює в широких межах; 5) радіоактивна речовина; 6) космічна речовина (метеорити, космічний пил).

Як зазначає О.І. Перельман [16], до вивчення БС необхідно підходити з позицій системного аналізу, інформаційного підходу і принципу історизму. Сутність системного підходу полягає в розгляді БС як системи, тобто цілісного утворення, що складається з взаємопов'язаних частин. У першу чергу приділяється увага виявленню прямих і зворотних зв'язків. Прямий зв'язок можна зобразити символами  $A \Rightarrow B$ , тобто одне явище  $A$  (причина) впливає на інше  $B$  (наслідок). Наприклад, вплив сонячного випромінювання на процеси, що відбуваються на земній поверхні. Символом зворотного зв'язку служить  $A \Leftrightarrow B$ , тобто не тільки явище  $A$  (причина) впливає на інше  $B$  (наслідок), але й наслідок ( $B$ ), в свою чергу, впливає на  $A$ . Якщо результат процесу посилює його і система відрізняється від початкового стану, то такий зворотний зв'язок називається позитивним. Так, поява льодовиків збільшує відбиття променів з їх поверхні і сприяє подальшому охолодженню, збільшенню зледеніння. Позитивні зворотні зв'язки характерні для біодеградованих систем. Якщо результат процесу ослаблює його і стабілізує систему, відновлює її вихідний стан, то зворотний зв'язок негативний. Такі зв'язки також дуже характерні для БС. Наприклад, надходження  $\text{CO}_2$  в атмосферу в епохи активного вулканізму призводило до різкого збільшення фітомаси й торфонакопичення (накопичення вугілля). Виявлення механізму негативного зворотного зв'язку також важливе, оскільки таким шляхом досягаються причини стійкості біокосних систем і БС загалом, що необхідно у вирішенні питань охорони навколишнього середовища. Значення інформаційного підходу інтуїтивно відчував В.І. Вернадський, коли у статті «Декілька слів про ноосферу» (1944 р.) він відзначував, що не розуміє, як думка, не будучи матерією, викликає великі змінення. Характеризуючи біосферу, необхідно розглядати не тільки речовинний склад і енергетику цих систем, але й характерні для них інформаційні процеси, які поділяються на ентропійні – спрямовані на втрату інформації, зменшення складності, різноманітності, організації, упорядкування і неентропійні (антиентропійні) – що призводять до збільшення складності, різноманітності, упорядкованості, накопичення інформації [16]. Наприклад, у прокариотів, які не мають оформленого клітинного ядра і типового хромосомного апарату, спадкоємна інформація реалізовується і передається через ДНК (дезоксирібонуклеїнову кислоту), а у еукаріотів, які мають оформлене клітинне ядро, генетичний матеріал міститься у хромосомах. Всі науки про Землю розглядають розвиток природних процесів за мільйони і мільярди років (принцип історизму). Без уявлень про еволюцію БС важко аналізувати як сучасний стан її складових, так і їх можливе змінення внаслідок порушення природно-історичної рівноваги під впливом антропогенних факторів.

## 2.2 Еволюція біосфери

Довготермінова еволюція БС під впливом алотигенних (зовнішніх) сил, таких як геологічні і кліматичні зміни, а також аутигенних (внутрішніх) процесів, обумовлена активністю живих компонентів. За різними джерелами вік БС коливається від 4,25 до 3,5-3 млрд. років.

До появи організмів і кисню у атмосфері Землі, вона була схожа на інші планети Сонячної системи. Якщо припустити, що склад атмосфери формувався в добіосферний період внаслідок вихолодження розжареної земної оболонки, то він повинен бути схожий з продуктами вулканічної діяльності (80%  $\text{H}_2\text{O}$ , 10%  $\text{CO}_2$ , 5-7%  $\text{H}_2\text{S}$ , 0,5-1%  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  та  $\text{CO}$ , сліди  $\text{CH}_4$ ,  $\text{HCl}$ , інертні гази). За іншою схемою вміст  $\text{CH}_4$  повинен бути значно вищим. Безперечним є те, що серед компонентів атмосфери не було вільного  $\text{O}_2$ . Доказом цього є наявність в палеорічкових відкладеннях (вік 2,5 млрд. років) ураніту ( $\text{UO}_2$ ) і піриту ( $\text{FeS}_2$ ), які б окислились, якби палеоатмосфера містила вільний  $\text{O}_2$ . У складі атмосфери були наявними гази, отруйні для більшості організмів. Склад атмосфери багато в чому визначався надходженням вулканічних газів. Вулканічна діяльність на ранній стадії розвитку нашої планети була більш активною, ніж в подальший геологічний час. Через відсутність кисню не існувало озонового шару - екрана, який захищає живі організми від згубного впливу ультрафіолетового випромінювання. Але, як не парадоксально, вважається, що саме ультрафіолетов випромінювання призвело до виникнення таких складних органічних сполук як амінокислоти, які послужили «блоками» для розбудови перших примітивних біосистем. Відомо, що під дією короткохвильового випромінювання кисень перетворюється на озон. Невелика кількість кисню могла утворитися при дисоціації водяної пари під дією ультрафіолетового випромінювання. Але поки в атмосфері було мало кисню й озону, примітивні форми життя могли розвиватися під захистом шару води. Першими живими організмами були дріжджоподібні анаеробні мікроорганізми, які отримували необхідну для дихання енергію шляхом бродіння (бродіння - процес розщеплювання органічних речовин без використання кисню під дією мікроорганізмів або виділених ними ферментів). Оскільки бродіння менш ефективне, ніж кисневе дихання, то примітивне життя не могло еволюціонувати далі одноклітинної стадії прокаріотів, тобто організмів, які не мають оформленого клітинного ядра. Постачання прокаріотів, певне, відбувалось за рахунок органічних речовин, які повільно опускалися на дно і які синтезувались під дією сонячної радіації у верхніх частинах водного шару, куди не ризикували підійматися голодні мікроорганізми. Осередком життя могли бути придонні частини невеликих континентальних водоймищ і мілководних морів, які жились термальними джерелами, багатими

хімічними речовинами, пристосованими для функціонування мікроорганізмів.

Поступове збільшення у воді кількості кисню за рахунок життєдіяльності організмів та його дифузія в атмосферу близько 2 млрд. років тому (в протерозої) викликали істотні зміни в хімічному складі біосферних середовищ і зробили можливим утворення й розвиток еукаріотів, які мають оформлене клітинне ядро. Це, в свою чергу, призвело до еволюції більш великих і більш складних біосистем. З моменту появи автотрофних водоростей й процесу фотосинтезу, еволюція біосистем ішла шляхом створення усе більш складних і різноманітних систем, які контролювали склад атмосфери та утримували усе більш великі і високоорганізовані види багатоклітинних. В міру того, як зростав вміст кисню в атмосфері, озоновий шар ставав більш потужним і здатним екранувати ультрафіолетове проміння. Життя тепер могло розвиватися в приповерхневих частинах водоймищ. Далі виникло «позеленіння» суші. Аеробне дихання зробило можливим розвиток складних багатоклітинних організмів. Вважається, що при вмісті кисню близько 8 % (в протерозої - початку кембрія) з'явилися перші багатоклітинні організми (губки, корали, молюски, черв'яки, предки хребетних, предки насінневих рослин і т.д.). Протягом порівняно короткого часу (590 млн. років), тобто в палеозойську, мезозойську і кайнозойську ери, життя поширилось не тільки на морські, але й на континентальні ландшафти.

В.І. Вернадський висунув гіпотезу про поліфілетичне походження основних таксонів (достатньо відокремлених груп організмів), тобто про відсутність одного чи декількох предків усього живого на Землі. Він вважав, що ні один вид самостійно не міг виконувати основні геохімічні функції БС.

У середині палеозою, в девонському періоді (близько 410 млн. років тому) вміст кисню в атмосфері досяг рівня, близького до сучасного. У кам'яновугільному періоді (350 млн. років тому) відбулось деяке зниження вмісту  $O_2$  й збільшення вмісту  $CO_2$ , що сприяло «парниковому ефекту», пишному розвитку рослинності і похованню величезної маси органічних речовин в надрах у вигляді каустобіолітів. Наприкінці кам'яновугільного періоду концентрація  $CO_2$  дещо знизилась, що супроводжувалось зледенінням. Деякі дослідники вважають, що після цього відношення  $O_2/CO_2$  істотно не змінилося й відбиває стан, який можна назвати *коливним стаціонарним*. Однак антропогенне забруднення атмосфери може зробити цей стан «нестационарним».

Критичні для історії БС рівні вмісту кисню називаються «точками Пастера»: 1) досягнення  $O_2$  в атмосфері 1% від сучасного вмісту, коли стало можливе анаеробне життя (архей, 3,5 млрд. років тому); 2) точка формування озоносфери - досягнення кількості  $O_2$  в атмосфері 10% від сучасного (архей - кембрій, 3 - 2,6 млрд. років тому). Видимо, доцільно

говорити і про третю точку, відповідну вмісту  $O_2$  близько 20% від сучасного, коли стало можливе життя на суші (девон, 0,41 млрд. років тому).

М.А. Голубець (1997) на основі аналізу фактичного матеріалу виділяв 5 якісно відмінних етапів еволюції БС: 1) *гетеротрофної БС* з домінуванням прокариотів (4,25-3,5 – 2,9-2,5 млрд. років тому); 2) *автотрофної БС*, зосередженої у водному середовищі (2,7-1,8 – 0,4-0,36 млрд. років тому); 3) *суцільнопланетної БС*, утвореної після освоєння живими істотами суші (початок 0,4-0,36 млрд. років тому, а кінець – з появою нової геологічної сили на планеті - відчутної виробничої діяльності людини, яка почала впливати на біогеохімічні процеси в БС); 4) *ноосферний етап БС* (початок у першому тисячоріччі до нашої ери, коли стає помітним вплив виробничої діяльності людини на структуру біогеоценотичного покриву; кінець етапу припадає на другу половину ХХ століття); 5) *соціосферний етап* (БС переходить у суттєво нову якість, вона стає підсистемою соціосфери).

Весь хід розвитку БС дозволяє говорити про те, що організми, особливо мікроорганізми, разом з абіотичним середовищем утворюють складну систему регулювання, яка підтримує на Землі умови, сприятливі для життя. Організми не тільки самі пристосовуються до фізичного середовища, але й пристосовують його до своїх біологічних потреб, тобто людина залежить від інших організмів, які населяють середовищі у якому вона існує. Достатньо зазначити, що організми контролюють навіть склад атмосфери Землі [4].

### 2.3 Сучасний етап розвитку біосфери

Розглядаючи еволюцію БС, її перетворення внаслідок антропогенної діяльності, потрібно зупинитися на такому важливому понятті, як «*ноосфера*». Термін «ноосфера» введений в науку у 1927 р. французькими вченими Е. Леруа і П. Тейаром де Шарденом. Теоретичною основою їх концепції послужили лекції В.І. Вернадського в Сорбонні в 1922-1923 рр., де він викладав свої погляди на БС. Сама проблема трансформації БС в ноосферу стала широко розглядатися з різних позицій П. Тейаром де Шарденом і В.І. Вернадським.

Послідовники П. Тейара де Шардена вважають, що «*еволюціонуючий космогенез*» зазнає розвитку (*геогенез*  $\Rightarrow$  *біогенез*  $\Rightarrow$  *психогенез*  $\Rightarrow$  *ноогенез*) і ускладнення матеріальних об'єктів, які супроводжуються зростанням їх «психологічної зосередженості».

З виникненням людини і розвитком її виробничої діяльності до людства починає переходити роль основного геологічного чинника. Ця теза В.І. Вернадського покладена в основу розуміння ноосфери - цілісної планетної оболонки, населеної людьми і раціонально перетвореної ними

відповідно до законів збереження і підтримки життя для гармонійного співіснування суспільства з навколишніми природними умовами. Ноосфера - це поняття, що орієнтує людство в оптимальному виборі шляху подальшого розвитку і збереження людського суспільства. Хоч треба зазначити, що термін «ноосфера» трактується неоднозначно. У зв'язку з цим пропонуються і інші поняття. «*Антропосфера*» - це поверхня планети, заселена людьми і якісно ними перетворена; «*техносфера*» - поняття більш широке, ніж «антропосфера», бо охоплює всю сукупність техногенних змін на планеті; «*соціосфера*», на відміну від «техносфери», включає в себе всю сукупність соціальних факторів, характерних для даного стану суспільства і його взаємодії з природою.

В.І. Вернадський в даному питанні розвинув матеріалістичну методологію. «Ноосфера є нове геологічне явище на нашій планеті. У ній вперше людина стає найбільшою геологічною силою. Вона може й повинна перебудовувати своєю працею і думкою область свого життя, перебудовувати докорінним чином у порівнянні з тим, що було раніше». У відомій роботі «Декілька слів про ноосферу» (1944 р.) він відзначав: «Ноосфера - останній з багатьох станів еволюції БС в геологічній історії - стан наших днів. Хід цього процесу лише починає нам прояснюватися з вивчення її геологічного минулого в деяких своїх аспектах». В.І. Вернадський показав, що ноосфера є неминучим і закономірним етапом природно-історичного розвитку БС, по досягненні якого оточуюче людину природне середовище буде раціонально перетворене колективним розумом і працею людства для максимального задоволення його зростаючих матеріальних та духовних потреб, тобто розумного (оптимального) регулювання взаємовідносин природи і людини, виправлення негативних антропогенних впливів.

Сформоване при певному впливові людства нове природне середовище - біотехносфера (частина БС, перетворена людиною на технічні й техногенні об'єкти) - є наслідком соціального і науково-технічного розвитку людини. У багатьох випадках взаємостосунки між природою і людиною незбалансовані, вони не вигідні для оточуючого природного середовища і ведуть до його деградації. На етапі розумного відношення до природи повинно відбутися поступове перетворення біотехносфери в ноосферу - сферу розуму, біогенез (психогенез) повинен перейти в ноогенез - розвиток розуму. У цьому випадку біотехносферу слід розглядати як практично замкнену регіонально-глобальну майбутню технологічну систему утилізації і реутилізації, яка залучається до господарського обігу природних ресурсів, розраховану на ізоляцію господарсько-виробничих циклів від природного обміну речовини і потоку енергії. В.І. Вернадський говорив про БС, як про «природне тіло», про «моноліт», що вбирає в себе всю живу сукупність планети. Очевидно, що і людина, як жива речовина, також включається при цьому до БС, яка

сприймається як природно-біологічне утворення. У цьому випадку антропогенні фактори стають до одного ряду з природними факторами. Початок ноосфери відлічується В.І. Вернадським з моменту появи розуму, що відрізняє людину від інших організованих істот: «З появою на нашій планеті обдарованої розумом живої істоти, планета переходить у нову стадію своєї історії. Біосфера переходить в ноосферу». Але це вже не «моноліт», а двокомпонентна система, яка об'єднана еволюцією природи і суспільства. Вислів «біосфера і людина» в такому випадку некоректний, оскільки біосфера і є єдність людини і природи. Проте існує й інше розуміння БС як усього живого, виключаючи людину (наприклад, у соціальній екології). За визначенням М.А. Голубця (1997), *соціосфера* – сфера наукової та виробничої діяльності людини.

Підкреслюючи роль людини як «могутнього геологічного фактора», В.І. Вернадський висунув концепцію, згідно якої БС (технобіосфера) поступово перетворюється на ноосферу. Але В.І. Вернадський дещо ідеалізував можливості розуму людського суспільства. Наш розум представляє собою «устрій» з низькими кількісними енергетичними характеристиками і з величезними здібностями до управління; проте говорити про ноосферу, як вважає багато учених, іще передчасно. Не можна не визнати, що ми ще не володіємо достатньою прозорливістю, щоб розуміти наслідки нашого втручання в природні середовища. Ми поки не можемо оперувати з біосферною системою життєзабезпечення і підтримувати її в робочому стані або повністю замінити штучною системою. Апробовані природні процеси достатні і не завжди потребують альтернативи. Проте, без таких важливих понять як «ноосфера» і «ноогенез» не можна розглядати розвиток БС в умовах інтенсивних антропогенних впливів нашого часу.

Ноосфері, як і БС, властиві механічні, фізичні, хімічні і біологічні процеси, але вони не визначають її суті і своєрідності. Найважливішу роль тут відіграють антропогенні процеси. Геохімічну діяльність людини академік О.Є. Ферсман назвав *техногенезом*. Техногенез має велике значення, особливо при формуванні біотехносфери, під час розгляду питань забруднення й охорони навколишнього природного середовища. Іще В.І. Вернадський відзначав, що у давнину використовувались 18 хімічних елементів, у XVIII столітті - 25, наприкінці XIX століття - 62, а в 1915 році - 69. Пройшло небагато часу і почали використовуватися вже 89 елементів, відомих в літосфері. Почали одержувати і використовувати елементи, які ніколи не існували в земній корі (нептуній, плутоній, кюрій і інші трансурани). У перспективі можливе використання усіх відкритих до теперішнього часу 110 хімічних елементів. Використання елементів залежить від їх кларків (середніх концентрацій у земній корі), технології витягання і т.д. У межах біотехносфери відбувається грандіозне переміщення елементів, їх розсіювання і концентрація. Так, наприклад, з



сільськогосподарською продукцією по різних частинах планети розходяться біогенні елементи. Скупчення вугілля, горючих сланців, нафтидів, металевих руд, накопичені за мільйони років, розсіюються за десятки років. Навпаки, в таких штучних екосистемах як промислові міста, створюються нові (техногенні) концентрації елементів та їх сполук у невластивих природним екосистемам концентраціях і сполученнях. Для техногенеза, без якого вже немислимо існування сучасного індустріалізованого суспільства, людство використовує не лише природні види енергії (сонячна, вітрова, водяна і т.д.), але й енергію, накопичену в геологічному минулому в надрах планети (каустобіоліти, радіоактивні елементи). Все це збільшує дійову енергію біотехносфери й призводить до ще більшої нерівноважності. Частина енергії, що використовується, проводить роботу, частина у відповідності з другим законом термодинаміки неминуче знецінюється у вигляді тепла і призводить до розігрівання БС. У одних випадках людина використовує природні реакції, змінюючи лише їх швидкість (наприклад, фотосинтез в агроекосистемах), в інших діє всупереч природі, здійснюючи процеси, не властиві БС (отримання речовин, що не існували в природі - деякі метали у вільному стані, пластмаси, пестициди і т.д.). Людина не лише прискорює процеси міграції хімічних елементів у біосфері, але й добуває елементи, які давно вийшли з біологічного кругообігу атомів (при добуванні з надр каустобіолітів та їх використанні).

Отже, однією з істотних відмін БС і ноосфери (біотехносфери) є прискорений розвиток процесів міграції хімічних елементів під впливом факторів техногенезу в останній.

Щоб запобігти усіх небажаних наслідків антропогенної діяльності, потрібні засоби, засновані на розумінні законів біотехносфери. На даному етапі розвитку продуктивних сил можлива оптимізація біотехносфери, коли, з одного боку, виходить найвищий економічний ефект, а з іншого - не відбувається забруднення екосистем і вичерпання природних ресурсів вище за визначений рівень, що призводило б до негативних наслідків.

Необхідною умовою створення ноосфери В.І. Вернадський вважав наукове і культурне об'єднання всього людства, удосконалення засобів зв'язку і обміну, відкриття нових джерел енергії, підйом добробуту трудящих мас, рівність всіх людей та виключення воєн: «У геологічній історії БС перед людством відкривається велике майбутнє, якщо воно зрозуміє це і не буде застосовувати свій розум на самовинищення».

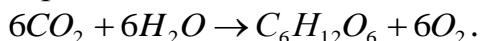
Людство ще недостатньо вивчило сучасну стадію еволюції БС Землі. Концепція ноосфери тільки починає розроблятися. Можливо, що «сфера розуму» і проблема її оптимізації тільки починають формуватися. Як слушно зауважував В.І. Вернадський: «Зараз ми переживаємо нове геологічне еволюційне змінення БС. Ми входимо до ноосфери».

## 3 СТРУКТУРНІ ОДИНИЦІ БІОСФЕРИ. ЕКОСИСТЕМИ

### 3.1 Деякі уявлення про складові біосфери

За *структурою* БС представляє собою якісно різномірне і відносно кількісного вмісту компонентів асиметричне утворення. Е.В. Гірусов і інш. [17] виділяють такі види неоднорідності БС: 1) агрегатна (складається із взаємодії трьох агрегатних станів - твердого, рідкого і газоподібного); 2) просторова (полягає в нерівномірності розподілу речовини і структур); 3) енергетична (виражається в нерівномірному розподілі по земній поверхні сонячної енергії і в неоднаковому співвідношенні речовини і енергії в тілах БС); 4) геохімічна (нерівномірність розподілу атомів різних хімічних елементів); 5) зональна (нерівномірне по широтних зонах розселення органічних форм і відкладення продуктів їх життєдіяльності).

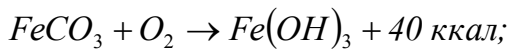
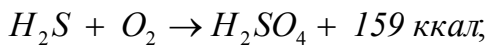
Верхня частина БС, куди проникає сонячне світло і де можливий фотосинтез, називається *фітосферою*. Відомо, що у процесі фотосинтезу із  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  та мінеральних елементів відбувається утворення органічних субстанцій, необхідних для життя. Схематично реакцію фотосинтезу можна представити таким чином:



Процес фотосинтезу веде до накопичення вільної енергії  $\Delta G$  у кількості 470 кДж/моль [18].

Щорічно в процесі фотосинтезу засвоюється близько 200 млрд. т  $\text{CO}_2$  і виділяється біля 145 млрд. т вільного  $\text{O}_2$ . Фотосинтез здійснюють не тільки водорості і вищі рослини, але і більш давні фототрофи: пурпурні і зелені бактерії, частково і синьо-зелені водорості (ціанобактерії). Фототрофні бактерії бувають одно- і багатоклітинні, але вони організовані простіше, ніж водорості і вищі рослини.

У нижню частину БС сонячне світло не проникає, процеси фотосинтезу неможливі і утворення біомаси з мінеральних сполук (хемосинтез) істотного значення не має. Цю область підземних глибин материків з ізотермами понад  $100^\circ\text{C}$  та значних (темних) глибин морів і океанів іменують *редусферою* [16]. Понад 100 років тому С.М. Виноградський винайшов **хемосинтез - процес синтезу органічних речовин із  $\text{CO}_2$ , але не за рахунок сонячної енергії, як під час фотосинтезу, а за рахунок енергії, яку одержують при окисленні  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  та інших відновлених неорганічних сполучень, який здійснюється бактеріями-хемосинтетиками (азото-, сірко- або залізобактеріями) у ході їх життєдіяльності. Процес отримання енергії при хемосинтезі йде за такими схемами:**



Угруповання хемобіосу на дні океанів (до 6 км і більше) вкрай обмежені за площею - у масштабі океанів це точки. Населення «оазисів» на дні океанів існують на базі хемолітотрофних бактерій, які можуть жити як вільно в товщі води й на дні, так і у симбіозі з тваринами на поверхні їх тіл або в спеціальних клітинах (бактеріоцитах). Як джерело енергії використовуються неорганічні сполучення, головним чином,  $H_2S$  та  $CH_4$ , а як джерело вуглецю –  $CO_2$ . Високотермальні впливи пристосовані до активних вулканічних ділянок серединно-океанічних хребтів і до зон **спредингу** (розходження літосферних плит). Окрім того, в різних частинах Тихого океану виявлені холодні виточування, також позбавлених  $O_2$  й збагачені  $CH_4$  і  $H_2S$ . Число угруповань хемобіосу близько 250. Ці дані розширюють межі БС.

*Асиметричність структури БС* проявляється у нерівномірному розподіленні морських та континентальних ландшафтів. *Ландшафти* - географічні комплекси, у яких рельєф, клімат, води, ґрунти і живі організми знаходяться у складній взаємодії й взаємообумовленості, утворюючи єдину нерозривну систему. Типи біогенних ландшафтів звично виділяються за такими основними показниками як однотипність ґрунтопідстиляючих утворень і ґрунтів, покритих однаковими рослинними угрупованнями. «*Центром*» БС, тобто такою її частиною, яка має провідне значення і визначає своєрідність БС, вважаються лісові ландшафти, у яких зосереджена основна маса живої речовини планети. Найбільш високі значення біомаси характерні для тропічних лісів (650 т/га), менші - для тайгових (300 т/га) і чорноземних (20 т/га) лісів, а мінімальні (2 - 2,5 т/га) - для пустель. За кількістю біомаси морські ландшафти близькі до пустель, але серед них відзначаються «згустки» життя (наприклад, коралові рифи). Можливо, що «центром» БС можна вважати й верхні горизонти океану, тобто фітосферу в цілому.

Нескінченна різноманітність структурних елементів БС знаходить відображення і в різноманітності угруповань рослин, тварин та мікроорганізмів, пов'язаних з певними умовами навколишнього середовища у біогенних ландшафтах різних типів. Для характеристики структури БС та її складових необхідно розрізняти деякі поняття, стисле тлумачення яких наведено нижче.

*Середовище мешкання* - середовище, де здійснюється взаємодія організму з його найближчим органічним та мінеральним оточенням.

*Екологічна ніша* - місце, яке займає організм у середовищі проживання, обумовлене його потребою в їжі, території та пов'язане з функцією відтворення. Якщо «середовище проживання» означає простір,

де мешкає певний організм, то «екологічна ніша» вбирає в себе ту роль, функцію, яку виконує даний організм в середовищі проживання. Американський еколог Грінел (1928) розглядав екологічну нішу як місце в біогеоценозі, яке займає вид організму, не конкуруючи з іншими видами за використання джерел енергії. Екологічна ніша характеризує ступінь біологічної спеціалізації виду. Інакше, «середовище - це адреса, за якою проживає даний організм, тоді як ніші додатково вказують на його заняття, його професію» [19]. Менш організовані, але більш здатні до мутації, види отримують перевагу і витісняють більш організовані види, займаючи їх екологічні ніші. При цьому, нові види часто виявляються більш агресивними за рахунок своєї високої мінливості (як це має місце з вірусом СНІДу, що прийшов на зміну вірусам корі, скарлатини, тифу, чуми тощо), а також дрібніших за розміром особнів (наприклад, копитних тварин в степах можуть замінити гризуни).

*Біотоп* - неорганічний субстрат, на якому розвиваються організми (угруповання організмів) або ділянка земної поверхні (суші або водоймища) з однотипними умовами середовища, зайнята певним угрупованням організмів - біоценозом.

*Біоценоз* - популяції (групи організмів певного виду), які займають цю ділянку суші або водоймища. Біоценоз включає в себе співіснування рослин (фітоценоз), тварин (зооценоз) і мікроорганізмів (мікробіоценоз), які можуть знаходитися в різних співвідношеннях (симбіоз, паразитизм і т.д.) й по різному пристосовані до умов навколишнього середовища (наприклад, біоценоз озера, лісу і т.д.). Німецький біолог К. Мебіус, який запропонував цей термін, розумів під ним організовану групу популяцій організмів, пристосованих до сумісного проживання в межах певного об'єму простору.

*Екосистема* (ЕС). Термін подано за пропозицією англійського фітоценолога А. Тенслі (1935), який запропонував таке визначення: «екосистема = біотоп + біоценоз». ЕС - сукупність специфічного фізико-хімічного оточення (біотопу) і сукупності живих організмів (біоценозу), об'єднаних у єдине функціональне ціле, що виникло на основі взаємозалежності й причинно-слідчих зв'язків, існувавших між окремими компонентами. У ЕС живі та косні речовини пов'язані між собою обміном речовин і енергії. Поняття екосистеми застосовується до природних об'єктів різної складності й розмірності: Світовий океан або невелике озеро (або навіть акваріум), тайга чи то ділянка дубового гаю і т.д. Розрізняють мікроекосистеми (стовбур гниючого дерева), мезоекосистеми (став, кораловий риф), макроекосистеми (увесь океан) та глобальні ЕС (біосфера у цілому).

*Біогеоценоз*. Термін «біогеоценоз» був запропонований російським вченим В.М. Сукачовим (1944). Дуже влучне визначення запропонували Е.М. Лавренко і М.В. Диліс (1968): «біогеоценоз – екосистема в межах

фітоценозу». Існує декілька варіантів визначення біогеоценозу, однак усі вони, по суті зводяться до того, що біогеоценоз – це ділянка земної поверхні з відносно однорідною рослинністю, тваринним світом, кліматичними і ґрунтовими умовами; ці разом взяті компоненти розглядають як єдиний організм. Терміни «біогеоценоз» і «екосистема» можна вважати синонімами лише в тому випадку, коли вони розглядаються як біоценоз, який займає певну ділянку земної поверхні з подібними атмосферними, літосферними, гідросферними і педосферними умовами і характеризується однорідністю взаємозв'язків і взаємовпливів всередині біоценозу та зв'язків з його середовищем місцезростання, наявністю в цьому комплексі живої і неживої природи кругообігу речовини і енергії. Отже, біогеоценоз – це сукупність рослинності, тваринного світу, мікроорганізмів і певної ділянки земної поверхні, які пов'язані між собою обміном речовин та енергії [10].

*Екотон.* У ЕС (біогеоценозів) немає чітких кордонів і між двома сусідніми екосистемами виділяється перехідна зона, де характеристики обох екосистем перехрещуються. Ці перехідні зони називаються екотонами (між лісом і степом, між степом і пустелею, між озером і лісом і т.д.).

*Біом.* Складні й тісні взаємодії між кліматом, живими організмами та фізичним субстратом призводять до утворення характерних регіональних угруповань або великих системно-географічних підрозділів в межах ґрунтового-кліматичних зон, тобто біомів. Найбільш значні біоми: тундра, хвойні ліси, листяні ліси, степи, чапаралі (райони з м'якою дощовою зимою й довгим жарким та сухим літом, з вічнозеленими рослинами з жорстким, товстим листям), пустелі. Біоми - це здебільшого поверхні, ніж об'єми, тому БС не можна розглядати як сукупність континентальних і морських біомів.

*Екологічні фактори.* Життя живих організмів залежить від екологічних факторів, які поділяються на абіотичні, біотичні та антропогенні. *Абіотичні фактори* включають кліматичні (сонячна радіація, зміна освітленості, вологість атмосферного повітря і кількість опадів, оптимальний газовий склад повітря, температура, вітер і атмосферний тиск) та едафічні (кількість у ґрунті елементів мінерального живлення, вміст гумусу, насиченість ґрунту повітрям і хімічний склад цього повітря, рН ґрунтового розчину та інш.). *Абіотичні компоненти* складають екотоп. До *біотичних факторів* відноситься вся сукупність впливів життєдіяльності одних організмів на інші, як всередині видів, так і між видами. Найбільш поширеним міжвидовим відношенням є хижацтво - поїдання одних видів іншими; сюди можна віднести і поїдання рослин, і паразитизм - живлення одного організму іншим, але без негайної загибелі господаря. Дуже поширений також коменсалізм, при якому один вид харчується залишками їжі іншого. В окремих випадках таке

«співробітництво» доходить до мутуалізму, або симбіозу, при якому організми один без одного існувати не можуть (наприклад, симбіоз бобових рослин з бактеріями-азотфіксаторами; рослини створюють для бактерій спеціальні бульбочки на своєму корінні і забезпечують їх вуглеводами, а бактерії забезпечують рослини нітратом). Дуже поширена конкуренція, як між видами, так і всередині видів за їжу, світло, воду, територію і житло. При такому типі взаємовідносин, як аменсалізм, один організм (інгібітор) губить інший (аменсал), не отримуючи для себе ніякої вигоди; людина все більше стає не тільки хижаком, але і інгібітором по відношенню до живих організмів. антропогенні. Різноманітність форм людської діяльності (запланованій і випадковій, сучасній і минулій), , які змінюють біотичні й абіотичні елементи природи є *антропогенні фактори*. Взагалі антропогенні фактори - це впливи людини на ЕС, що зумовлюють у її компонентів (біотичних і абіотичних) суттєві відгуки (реакції).

*Середовище, оточуюче людину* - сукупність на даний момент фізичних, хімічних, біологічних, а також соціальних факторів, здатних здійснювати прямий або непрямий, негайний або віддалений вплив на живі істоти і діяльність людини. Середовище, оточуюче людину являє собою систему ландшафтів (біогенних, абіогенних та техногенних) або територіальних утворень. Поняття «середовище, оточуюче людину» нерідко використовується як утилітарне для визначення екологічних умов життя людини або будь-якого біоценозу, який цікавить людину, за умови антропогенного впливу.

### **3.2 Типи екосистем і їх характеристика**

Дуже стисле визначення ЕС - просторова обмежена взаємодія організмів і оточуючого їх абіотичного середовища. Межа може бути фізико-хімічною) або пов'язаною з кругообігом речовин, інтенсивність якого всередині ЕС вища ніж між нею і зовнішнім світом. Потрібно зазначити, що будь-яка екосистема складається з двох взаємопов'язаних підсистем сукупності організмів (біоценоз) і абіогенного середовища (біотоп).

Незалежно від міри складності будь-яка ЕС має такі характеристики: 1) видовий склад; 2) чисельність біоти; 3) біомаса (звично у вигляді сухої маси всіх організмів на певний період часу спостереження в  $г/м^2$ ,  $г/м^3$  тощо); 4) відповідність окремих трофічних (харчових) зв'язків; 5) інтенсивність генерації і деструкції органічної речовини (інтенсивність біотичного кругообігу речовин).

З метою зручності ЕС розглядається як ізольована одиниця, однак різні компоненти фактично переміщуються з однієї ЕС в іншу (наприклад,

листя і ґрунти змиваються в озеро, птахи мігрують з літніх місць в зимові тощо).

У число основних компонентів ЕС входять:  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , різні органічні речовини і різні види живих організмів. Крім того, ЕС повинна мати енергетичне забезпечення. Відносно існуючого кругообігу речовин ЕС може бути в тій або іншій мірі автономною. Потік енергії в ЕС повинен бути крізним, що є показником цілісності ЕС. Найважливіша здатність ЕС - нагромаджувати ресурси і позбуватися відходів, що є показником нормального функціонування [20].

ЕС є основним об'єктом вивчення екології. Найчастіше терміни «екосистема» і «біогеоценоз» уживають як синоніми. Приблизно цим поняттям відповідають «біокосне тіло», «біокосна система», «голоцен», «холон». Кордони біогеоценозу проводяться по межах конкретного рослинного співтовариства, в той час як ЕС є більш широким і менш певним поняттям, бо відноситься як до краплі води зі ставка, так і до БС загалом. Біоценоз та біотоп взаємно впливають один на одного, що перш за все відбивається на безперервному обміні енергією як між двома цими складовими, так і усередині кожної із них. Будь-яка ЕС містить сукупність живих організмів, які прийнято поділяти на автотрофи й гетеротрофи. Автотрофи (тобто ті, які самі себе годують) - це зелені рослини, здатні здійснювати фотосинтез, використовуючи мінеральні компоненти для синтезування біохімічних субстанцій, необхідних для росту й відтворення. Угруповання автотрофів - це продуценти ЕС. Але головна роль рослин полягає у перетворенні світлової енергії на біохімічну. Гетеротрофи - організми, яким для живлення необхідні органічні речовини. Обмін речовин в них більш складний, ніж у автотрофів. Серед них розрізняють консументи (травоїдні й м'ясоїдні тварини) та деструктори або редуценти (бактерії і гриби). Для деструкторів характерний більш прискорений обмін речовин, ніж у консументів, тому вони несуть відповідальність за мінералізацію органічних відходів, кінцеві продукти якої знову беруть участь в кругообігу і використовуються автотрофами. З екологічної точки зору автотрофи і гетеротрофи складають функціональні механізми природи, які характеризуються різними типами живлення та власними джерелами енергії.

Звично в ЕС не більше ніж 3 - 4 трофічних рівні (продуценти - первинні консументи - вторинні консументи - редуценти), оскільки біомаса на подальшому трофічному рівні на 90 - 99% менше, ніж на попередньому. Наприклад, якщо на 1 га біомаса продуцентів дорівнює 10000 кг, то біомаса травоїдних консументів буде 100 кг, біомаса м'ясоїдних - не більше за 10 кг.

Таким чином, одна із загальних рис екосистем (наземних, прісноводних, морських, аграрних та ін.) - це взаємодія автотрофних і гетеротрофних компонентів. Виходячи з цього, Ю. Одум [4] в структурі

екосистеми виділяє: 1) *верхній автотрофний ярус* або «зелений пояс», який включає рослини або їх частини, що містять хлорофіл, де переважає фіксація сонячної енергії, використання простих неорганічних сполучень та накопичення складних органічних сполучень; 2) *нижній гетеротрофний ярус* або «коричневий пояс» ґрунтів і опадів, речовин, які розкладаються, коріння рослин і т.д., у якому переважає використання, трансформація і розкладання складних сполук. До першого пристосовані автотрофні, а до другого – гетеротрофні процеси, які розподілені у просторі і у часі, тому що може бути значний розрив між продукуванням органічних речовин автотрофами та їх споживанням гетеротрофами. Наприклад, в лісовій ЕС при фотосинтезі лише частина продуктів, що утворились, безпосередньо й негайно використовується самими рослинами, рослиноїдними тваринами й паразитами, які живляться листям; більша частина синтезуючого матеріалу переходить у підстилку й ґрунт (в гетеротрофний ярус) та можуть минути роки, перш ніж вони будуть використані.

Усі ЕС існують довгочасно, інколи сотні років, причому чисельність одних популяцій збільшується, чисельність інших зменшується, але система знаходиться в рівновазі. Цей стан рухливо-стабільної рівноваги ЕС називається *гомеостазом*. Область сталості ЕС називається *гомеостатичним плато*, яке міститься між верхньою межею позитивного зворотного зв'язку та нижньою межею негативного зворотного зв'язку. ЕС може функціонувати тільки в межах тієї області порушення зворотних зв'язків, коли елементи ЕС іще можуть компенсувати відхилення, визначені позитивним зв'язком (наприклад, при введенні забруднення у водну ЕС вона самоочищається). У межах дії зворотних зв'язків ЕС за рахунок компенсаторних регуляторів зберігає сталість, причому в умовах антропогенних навантажень для сталого функціонування екосистеми людина повинна сама відігравати роль компенсуючого регулятора (наприклад, озеленюючи поверхню Землі замість вирубаних лісів, очищуючи воду, повітря тощо).

Різні організми володіють різною мірою стійкості, величиною витривалості до зміни тих або інших факторів. Крім того, для нормального розвитку організмів необхідна наявність різних факторів строго певної якості, кожен з них повинен бути ще і в певній кількості. Згідно із *законом толерантності* надлишок будь-якої речовини може бути шкідливий, так само як і його недостача (наприклад, урожай зернових може загинути як при дефіциті, так і надлишку вологи). При цьому, згідно із *законом мінімуму*, недостача якої-небудь однієї речовини не компенсується надлишком всіх інших (наприклад, якщо в ґрунті багато азоту, калію і інших біогенів, але дефіцит або надлишок фосфору, то рослини не будуть нормально розвиватися). Фактори, стримуючі розвиток організмів через нестачу або надлишок речовин в порівнянні з потребами, називаються



лімітуючими. Лімітуючі фактори, передусім абіотичні, визначають, які саме види краще пристосовані до існуючих умов. Згідно з принципом еколого-географічного максимуму видів для нормального функціонування будь-якої ЕС в ній повинно існувати стільки і таких видів, скільки і яких необхідно для максимального використання енергії, яка надходить і забезпечує кругообіг речовин.

*Сукцесія* - послідовна безповоротна зміна біоценозів, виникаючих послідовно на одній і тій же території внаслідок впливу приміських або антропогенних факторів. Розрізняють первинну і вторинну сукцесію. *Первинна сукцесія* починається на субстратах, не порушених процесами генерації ґрунтів (піщані дюни, вулканічна лава). Наприклад, після відступу льодовика відбувається наступна послідовна зміна рослин: мохи - осоки - чагарникові - вільхи і ялини. *Вторинна сукцесія* відбувається на місці біоценозів, що сформувалися, після їх порушення (лісові пожежі, вирубки лісу, засуха, ерозії і інш.). Наприклад, на місці покинутих сільськогосподарських угідь (бавовник, кукурудза) відмічаються такі стадії: бур'ян - злаки - сосни з домішкою листяних порід.

Поміж сусідніми ЕС встановлюються певні зв'язки і обмін, але менш важливі, ніж між біоценозом однієї системи. Про це можна говорити на прикладі двох суміжних ЕС - лісів і озер. У лісовій ЕС існує цілий ланцюжок зв'язків між складовими біоценозу (продуценти - рослиноїдні - м'ясоїдні і т.д.). Те ж саме можна спостерігати у такій ЕС як озеро: фітопланктон поїдається зоопланктоном, останнім харчуються риби, хижі риби поїдають більш дрібних і т.д. Отже, у обох ЕС відзначаються свої трофічні ланцюжки. На перший погляд між ними немає зв'язку. Однак восени частину листя, що опало, вітром переносить у озеро, де воно розкладається і стає їжею для деяких гідробіонтів. Личинки комах живуть у воді, але дорослі особи покидають водне середовище і оселяються у лісі. Уже ці приклади дозволяють говорити про зв'язки та обмін між сусідніми ЕС, які, певна річ, більш різноманітні і складні.

Складні зв'язки характерні як для природних, так і штучних ЕС (особливо для останніх). Про це можна судити на прикладі коралових рифів, промислових міст і агроecosystem.

*Коралові рифи* - своєрідні угруповання мілководних морських організмів тропічної зони Світового океану, представляють собою симбіоз мадрепорових коралів і одноклітинних водоростей (дінофлагелатів). Для них характерна видова різноманітність, багатство форм. Великий Бар'єрний риф вздовж північно-східного узбережжя Австралії має протяжність більше за 2 тисячі км при ширині 30-250 км. Рифи утворюються на глибинах не більше ніж 50-60 м при температурі 18-35°C, нормальній океанічній солоності, при прозорості водної товщі і високій насиченості її киснем. У мадрепорових коралів окремим особнем є поліп, який живе всередині вапнякової чашки, яку сам і будує, витягуючи з

морської води  $\text{CaCO}_3$  і поживні речовини. У процесі фотосинтезу дінофлагеляти виділяють  $\text{O}_2$ , який необхідний для дихання, а корали виділяють  $\text{CO}_2$ , потрібний водоростям для фотосинтезу. Коралові рифи відрізняються високою біологічною продуктивністю і являють собою надходять з інших угруповань в мінімальних кількостях, але які майже нічого не втрачають. У зв'язку з цим при оптимізації ПК пропонується «стратегія коралового рифу».

*Промислове місто* - гетеротрофна ЕС, паразит свого сільськогосподарського оточення, яка отримує енергію, продукти харчування, воду та інші необхідні матеріали зі значних територій, що знаходяться за її межами. На відміну від природної ЕС, наприклад, коралового рифу, місто відрізняється більш інтенсивним метаболізмом на одиницю площі, великими потребами у надходженні речовин із зовні (палива, металів і ін.), більш потужним і більш отруйним потоком відходів (багато із яких відповідно до принципу емерджентності більш токсичні, ніж природна сировина, з якої вони одержані - синтетичні матеріали та ін.). Без великих надходжень їжі, води, пального та інших матеріалів міста не здатні були б функціонувати. «Зелений пояс» тут істотної ролі не відіграє, якщо не враховувати його естетичного й санітарного значення (поглинання шумів, пилу і т.д.). Міська ЕС (урбоєкосистема) являє собою мозаїку природних і штучних біогеоценозів, які перебувають у різних стадіях: зародження, розвиток і відмирання [21]. Незважаючи на незначну площу (1-5% у різних регіонах) суші, яка зайнята містами, останні виявляють значний вплив на довкілля. На одиницю площі міста припадає у 1000 разів більше енергії, ніж на ту ж площу у сільській місцевості. Це робить їх «гарячими точками» або «тепловими островами». Як правило, у містах тепліше, в них підвищена хмарність, менше сонячного світла, більше туману й мряки, ніж у прилягаючій сільській місцевості. Навіть віддалені від міст райони можуть піддаватися їх впливу, тому що із них надходять необхідні для функціонування міст речовини та енергія. На них відбивається вплив забрудненої води, повітря й ґрунту. Міста є джерелами кислотних дощів, важких металів та інших токсичних компонентів. Сучасні міста майже не виробляють їжі або інших органічних речовин, не очищають повітря, не повертають в кругообіг воду та багато які неорганічні речовини (Ю. Одум, 1986). Міста відрізняються високою густотою заселення (у Лондоні, Нью-Йорку та Токіо вона дорівнює 10-12 тисяч чоловік на  $1 \text{ км}^2$ ). Темпи урбанізації (розвитку населених пунктів по типу міста) дуже високі. Наприклад, в Україні до 1918 р. частка міського населення складала 18%, а у 1991 р. – 67,8% від загальної чисельності населення. В містах переважають споруди трьох типів: виробничі, адміністративні та побутові. В містах зосереджена основна маса транспортних засобів; автотранспорт дає 70% усіх токсичних викидів у атмосферу та 90% шумового забруднення. Природний тип ландшафту

знищений повністю або різко змінений. Для міста як ЕС характерна розірваність трофічних ланцюгів, що створює можливість масового розмноження окремих видів організмів і призводить до низького біологічного різноманіття [18].

На відміну від міст невід'ємну частину *агроекосистем* складає «зелений пояс», хоч агроекосистеми також залежать від енергетичних потреб віддалених від них районів. Вони відрізняються і від природних ЕС, працюючих на сонячній енергії, тому що одержують допоміжну енергію, добрива та пестициди під контролем людини. При цьому знижується різноманітність видів і домінуючі види рослин та тварин піддаються штучному, а не природному відбору. Компоненти початкових біоценозів звичайно зникають, чи то зберігаються лише у вигляді реліктів. Основу агроекосистеми складає культурний фітоценоз (багаторічні і однорічні трави, зернові, просапні і інш.), який поповнюють угруповання комах, тварин і птахів. Агроекосистеми займають близько 10% всієї поверхні суші (1,2 млрд. га) і дають людству близько 90% всієї харчової енергії. Біологічна продуктивність їх вища, але стійкість нижча, ніж у природних ЕС. Виділяють два типи агроекосистем: 1) доіндустріальні з додатковою енергією у вигляді м'язових зусиль людини (на них припадає близько 60% орних земель планети в країнах Азії, Африки і Південної Америки); 2) інтенсивні механізовані з великими енергетичними дотаціями у вигляді роботи машин, агрохімікатів тощо.

Єдиної класифікації ЕС немає. ЕС розрізняються: 1) за генетичними ознаками (природні, штучні і напівштучні); 2) за розмірами (мікро-, мезо-, макро-, глобальні); 3) за типом енергетичного забезпечення тощо. Так, Ю. Одум [4] пропонує біомну класифікацію екосистем: 1) наземні біоми (тундра, бореальний хвойний ліс, листопадний ліс, степ помірної зони, тропічні грасленд і савана, чапараль, пустеля, напіввічнозелений тропічний ліс, вічнозелений тропічний ліс); 2) прісноводні екосистеми (озера, стави, річки, болота і ін.); 3) морські екосистеми (відкритий океан, води континентального шельфу, райони апвелінгу, естуарії).

## 4 ЖИВА РЕЧОВИНА І ЇЇ РОЛЬ В БІОСФЕРІ

### 4.1 Загальні відомості про живу речовину

*Жива речовина* (ЖР) перетворює енергію сонячних променів в потенційну, а потім - в кінетичну енергію біохімічних процесів. Як вважають К.М. Ситник та С.П. Вассер (1992) жива речовина БС утворює 1447609 видів живих організмів; на думку інших дослідників – до 80 - 90 млн. видів. Повнота виявлення живих організмів неоднакова в різних царствах; види судинних рослин виявлені на 80%, мохів на 70%, водоростей на 50%, грибів на 1-10%, членистоногих на 3-20%, монер на 15-20% і вірусів на 5% . За останніми оцінками ЖР складає  $18 \cdot 10^{11}$  тонн [18]. Фітомаса в 2,5 тисячі разів перевищує зоомасу, в той час як видова диференціація тварин у 6 раз більша, ніж у рослин. Якщо б ЖР розмістити рівномірно на поверхні Землі, то вона утворила б плівку товщиною всього лише 5 міліметрів. Однак, жива речовина надто нерівномірно розподілена в різних частинах БС і відіграє величезну роль в планетарних процесах. Це знайшло відображення в трудах В.І. Вернадського в області біогеохімії, які набули практичного значення у наш час, бо є прикладною частиною учення про БС.

Сукупність і біомаса живих організмів в БС, або сукупність організмів усієї БС або будь-якої її частини, які виражаються у одиницях маси, енергії та інформації слідом за В.І. Вернадським звично називають «живою речовиною». Зважаючи на такий підхід, роль ЖР у земній корі та на її поверхні уявляється у зовсім іншому вигляді. Як відзначав В.І. Вернадський, на земній поверхні немає хімічної сили, більш постійно діючої, а тому більш могутньої за кінцевими наслідками, ніж жива речовина. «Жива речовина за вагою складає зовсім малу частину планети. Певно, це спостерігається протягом усього геологічного часу, тобто геологічно вічне». «Людство, як жива речовина, нерозривно пов'язане з матеріально-енергетичними процесами визначеної оболонки Землі - з її біосферою. Воно не здатне фізично бути від неї незалежним ні на одну хвилину», - писав В.І. Вернадський. Ці ідеї В.І. Вернадського лягли в основу біогеохімії, в основу учення про біосферу, які є теоретичною основою вивчення й охорони довкілля. До робіт В.І. Вернадського роль ЖР недооцінювалася, тому що маса її складає зовсім малу частину порівняно із масою інших складових БС. Великий норвезький учений, один із основоположників геохімії, В.М. Гольдшміт (1887-1947) наводив таке образне порівняння: якщо літосферу (земну кору) уявити у вигляді кам'яної чаші вагою 13 фунтів, уся гідросфера, яку розміщено у цій «чаші» мала б вагу 1 фунт, маса атмосфери відповідала б вазі мідної монети, а маса ЖР - вазі поштової марки. Але, не дивлячись на незначну масу ЖР, на відміну від гірських порід - це дуже активна маса у хімічному відношенні.

Крім того, це «діюча» маса, яка постійно відтворюється. За даними О.І. Перельмана [16] та інших дослідників за час еволюції БС загальна маса ЖР набагато перевищила її неорганічну масу, тобто масу літосфери і гідросфери. В.І. Вернадський масу ЖР оцінював в  $10^{15}$  т, однак Н.І. Базільович (1971 р.) уточнив цю величину (табл. 4.1):

Таблиця 4.1

Біомаса організмів Землі

Континенти	Зелені рослини	$2,4 \cdot 10^{12}$ т	99,2%
	Тварини і мікроорганізми	$0,02 \cdot 10^{12}$ т	0,8%
	<b>Усього</b>	<b><math>2,42 \cdot 10^{12}</math> т</b>	<b>100%</b>
Світовий океан	Зелені рослини	$0,0002 \cdot 10^{12}$ т	6,3%
	Тварини і мікроорганізми	$0,003 \cdot 10^{12}$ т	93,7%
	<b>Усього</b>	<b><math>0,0032 \cdot 10^{12}</math> т</b>	<b>100%</b>
Загальна біомаса організмів Землі		$2,4232 \cdot 10^{12}$ т	

Елементний склад ЖР відрізняється великою різноманітністю, але із великого числа (стабільних - 92) хімічних елементів домінують (% від ваги): О - 70%, С - 18%, Н - 10,5%, Са - 0,5%, К - 0,3%, Р - 0,07%, S - 0,05%, Mg - 0,04%, Si, Na, Cl - по 0,02%, Fe - 0,01%. На долю О, С та Н припадає 98,5%. Перелічені елементи відносяться до *макроелементів*. Крім того, до складу ЖР входять іще *мікроелементи* (Cu, Mn, Zn, V, Mo, Co та інші) і *ультрамикроелементи* (U, Os та інші).

Серед хімічних сполук перше місце в складі ЖР займає вода. Так, у медузи тіло містить 96% води, а маса тіла людини на 60-65% складається з води. Кількість хімічних сполук, що складаються із типових біогенних елементів (О, С, Н, N, S, Р) надзвичайно велика, але серед них можна виділити основні класи органічних сполук: вуглеводи, білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти. Наприклад, у рослинах переважають вуглеводи, а в тваринах - білки.

Кожний вид фіто- і зооценозу має свій хімічний склад. Це такий же видовий показник, як морфологія або біогеографічна зональність. Організми володіють вибіркою здатністю накопичувати хімічні елементи. Концентрації елементів у різних видах одного і того ж біоценозу різні. Наприклад, бурі водорості акумулюють йод в концентраціях, в 1000 разів більших, ніж інші компоненти біогеоценозу, синьо-зелені водорості активніше акумулюють уран, фосфор і т.д. Виявлені утворення біогенного генезису (каустобіоліти) часто збагачені означеними елементами (вугілля - германієм, нафти - ванадієм та нікелем, горючі сланці - фосфором та ураном і т.д.). Живі організми звичайно накопичують лише ті елементи, які

потрібні їм для функціонування. З іншого боку, живі організми пристосовуються до різного хімічного складу середовища і можуть перенести підвищені концентрації тих хімічних елементів, які зустрічаються вище за фонові концентрації. Але при цьому відзначаються зміни у живих організмах. Токсичними є ртуть, кадмій, радій, уран та ін., менш токсичним є двовалентне залізо порівняно із тривалентним і т.д. Деякі організми пристосувалися існувати в умовах, які згубні для інших організмів (рослини-галофіти можуть жити на перенасичених солями ґрунтах, синьо-зелені водорості розвиваються іще бурхливіше в умовах радіоактивного зараження і т.д.). Здатність деяких рослин і тварин до вибіркової акумуляції великої кількості елементів із оточуючих природних середовищ (ґрунтів, підґрунтів, вод, інколи повітря) дозволяє розглядати їх як біогеохімічні індикатори. Методи індикаційної біогеохімії широко застосовуються при вирішенні питань біогеографії, при пошуках родовищ деяких металевих і неметалевих корисних копалин (солей, руд та ін.), при контролюванні стану навколишнього середовища (наприклад, лишайники є індикаторами забруднення атмосферного повітря  $\text{NO}_2$  та  $\text{SO}_2$ ; певні види зникають при високих концентраціях цих шкідливих домішок в повітрі). Геоботанічні індикатори використовуються при вивченні ґрунтів, рельєфу, схилових процесів, селів, при пошуках ґрунтових вод в аридних районах і т.д. Мідії пропускають через себе велику кількість води (близько 50 л на добу). Колонія мідій на  $1 \text{ м}^2$  здатна за добу очистити  $200 \text{ м}^3$  морських і солоних стічних вод. Якщо вода водоймища чиста, то вони пропускають багато води, якщо забруднена, то вони «стискаються» і пропускають меншу кількість води, тобто міра відкритості стулок корелює з мірою забрудненості водних об'єктів.

В.І. Вернадський уперше відзначив величезну роль ЖР в геохімічних процесах. Міграція хімічних елементів в біосфері відбувається при безпосередній участі живої речовини (біогенна міграція) або при її непрямій участі. Це положення О.І. Перельман запропонував іменувати *законом Вернадського*.

## 4.2 Біологічний контроль стану природного середовища

Уперше нашу планету як живий організм став сприймати В.І. Вернадський, який зазначав, що геологічні (геохімічні) і біологічні процеси на планеті розвиваються спільно, допомагаючи один одному. Геохімічні процеси прямо або непрямю контролюють функціонування ЖР. Його думка різко відрізнялася від уявлень Ч. Дарвіна, згідно з якими геохімічні процеси створюють середовище, в якому живі організми з'являються, пристосовуються до нього і розвиваються.

Загальновідомо, що абіотичні фактори контролюють діяльність організмів, але і самі організми в свою чергу впливають на абіотичне

середовище і контролюють його розвиток, тому що між біотопом і біоценозом відбувається обмін речовинами та енергією. Організми, віддаючи до абіотичного середовища нові сполуки та енергію, постійно змінюють фізико-хімічну природу неорганічних речовин. На підтвердження цього можна навести наступні приклади: 1) склад морської води і донних відкладень значною мірою визначається активністю морських організмів (так, сульфатредуючі бактерії переводять сульфати в сульфіди); 2) рослини, які ростуть на піщаній дюні, утворюють в ній ґрунти, абсолютно відмінні від початкового піщаного субстрату; 3) коралові поліпи і водорості будують з простої сировини, що постачається морем, рифи і створюють умови для нормального функціонування різноманітних гідробіонтів; 4) кисень і нітрати, що містяться в морській воді, утворені внаслідок життєдіяльності організмів і значною мірою контролюються нею; 5) аміак, що виділяється ґрунтовими мікроорганізмами, підтримує в ґрунтах величину рН, сприятливу для життєдіяльності різноманітних мікроорганізмів; без цього величина рН була б різко кислою [4]. Весь хід розвитку БС говорить про те, що організми, особливо мікроорганізми, разом з абіотичним середовищем створюють складну систему регулювання, підтримуючи на Землі умови, сприятливі для життя, а на певній стадії розвитку БС організми почали і продовжують контролювати склад атмосфери. Розповсюдження біологічного контролю на глобальний рівень стало основою *гіпотези Геї* (Гея - давньогрецька богиня Землі).

Англійський хімік-фізик Дж. Лавлок і американський мікробіолог Л. Маргуліс (1973 – 1979 рр.) висловили думку про те, що біологічна і геохімічна складові пов'язані як симбіоз в атмосферних процесах, що підтримують земний клімат у відносно стійкому стані, який сприяє постійному розквіту життя. На їх думку, склад атмосфери з її унікально високим вмістом  $O_2$  і низьким вмістом  $CO_2$ , а також температурні умови і середовище кислотності на земній поверхні не можна пояснити, якщо не враховувати, що основну роль відіграла буферна (пом'якшувальна) активність ранніх форм життя (3 млрд. років тому). Вона координувалася активністю рослин і мікроорганізмів, що згладжувала коливання фізико-хімічних чинників. Дж. Лавлок і Л. Маргуліс показали, що температура поверхні планети ніколи не змінюється більш ніж на декілька градусів від її середньої величини. Ця величина залишається у вузькому температурному діапазоні, хоч, як вважають астрономи, з часу зародження БС сонячна радіація зросла на 30-50%. Дж. Лавлок розглядає повітря як «...складову частину самого життя, зроблену живими істотами для підтримки життя». Згідно з гіпотезою Геї, внаслідок взаємодії між біологічними і геохімічними процесами підтримується постійна кількість  $O_2$  (21%) в атмосфері. Відомо, що зростання  $O_2$  на 1% підвищує імовірність пожеж на 60%, а при збільшенні на 4% вся планета буде охоплена

напалмом і знищена вся жива речовина. Потрібно зазначити, що  $O_2$  і  $CO_2$  циклічно взаємодіють. Незважаючи на зміну сонячної активності, числа і різноманітності живих організмів, вміст  $O_2$  зберігається всередині дуже вузького діапазону. По Дж. Лавлоку, це пов'язано з тим, що надлишок  $O_2$  «гаситься»  $CH_4$  в процесі реакції:  $CH_4 + 2 O_2 = CO_2 + 2H_2O$ . Таким чином, протягом року 1 млрд. т  $CH_4$  «гасить» 2 млрд. т  $O_2$ . При цьому необхідно зазначити, що крім природних процесів, джерелом надходження  $CH_4$  є і антропогенні джерела.

Процеси фотосинтезу підтримують баланс між такими важливими компонентами, як  $O_2$  та  $CO_2$ . Тільки завдяки цим процесам у геологічному минулому (2 млрд. років тому) став можливим не лише істотно кисневий склад атмосфери Землі, але й такий важливий фактор існування біосистем, як озоносфера, що захищає від згубного впливу ультрафіолетових променів живі організми. Для порівняння можна зазначити, як різняться сучасний та добіосферний склад атмосфери Землі порівняно зі складом атмосфери Марса (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Порівняльна характеристика складу атмосфери  
Землі і Марса (за Дж. Лавлоком, 1979)

Параметри	Земля у наш час	Земля до появи біосфери	Марс
$CO_2$ , %	0,03	98,00	95,00
$N_2$ , %	79,00	1,90	2,70
$O_2$ , %	21,00	Сліди	0,13

Уявлення про те, що у результаті чисто випадкової взаємодії фізичних сил на Землі виникла сприятлива для підтримки життя атмосфера, невірні. Імовірніше за все, що організми відіграли основну роль у розвитку і регуляції геохімічного середовища. Людина намагається змінити фізичні абіотичні умови середовища задля задоволення своїх потреб, не помічаючи того, що рубає сук, на якому вона сидить. Знищуючи біотичні компоненти, фізіологічно необхідні, щоб існувати, порушується глобальна рівновага. Оскільки людина належить до гетеротрофів (фаготрофів), які перебувають на вершині складних трофічних (харчових) зв'язків, вона залежить від природного середовища, незважаючи на науково-технічні досягнення. Гіпотеза Геї вказує на важливість вивчення і збереження регулюючих механізмів, які дозволяють біосфері пристосуватися, щонайменше, до деякої кількості не зосереджених у одній точці забруднень, наприклад, забруднення  $CO$ , оксидами азоту, «теплом» і т.д. [4]. Знижуючи рівень забруднення, людина повинна зберігати цілісність і масштабність буферної системи життєзабезпечення, тобто підтримувати функцію біологічного контролю довкілля біосистемами.



## 5 КРУГООБІГ РЕЧОВИН У ЕКОСИСТЕМАХ

### 5.1 Загальні відомості про склад біосферних середовищ

Кількість хімічних елементів у періодичній системі Д.І. Менделєєва - 110, а природно існуючих у БС складає 92 (в т.ч. 286 стабільних довгоживучих ізотопів). Розповсюдженість їх в живій речовині, атмосфері, гідросфері й літосфері неоднакова. Як вже зазначалось, у живій речовині основну роль відіграють О (70%), С (18%), Н (10,5%) та інші біогенні елементи. У атмосфері домінують N, О, Ar, С, тобто елементи, утворюючі основні інгредієнти атмосферного повітря. Природно, що основними компонентами гідросфери, включаючи її підземну частину (гідрогеосферу), є водень та кисень, але Н<sub>2</sub>О є лише природним розчинником великого комплексу мінеральних і органічних компонентів. Найбільш складний елементний склад має літосферна частина БС. Для кількісної оцінки величини розповсюдження використовуються *кларки*, тобто середні концентрації хімічних елементів в земній корі (термін «кларк» запропонований О.Є. Ферсманом на честь американського геохіміка Ф.У. Кларка, який вперше оцінив середні значення елементів у земній корі). За даними О.П.Виноградова, найбільш високі кларки (% від ваги) характерні для таких елементів: О – 47%, Si – 29,5%, Al – 8,05%, Fe – 4,65%, Ca – 2,96%, Na – 2,50%, K – 2,50%, Mg – 1,87%, Ti – 0,45%, інші елементи в сумі – 0,52%. Слід зазначити, що кисень зберігає свою головну або, щонайменше, значну роль в усіх біосферних середовищах, що вказує на значну роль цього елемента («геохімічного диктатора») у геохімічних процесах планетарного масштабу.

В.І. Вернадським виділено шість груп хімічних елементів: 1) *благородні гази* - He, Ne, Ar, Kr, Xe - до складу живої речовини вони не входять; 2) *благородні метали* - Au, Pt, Ru, Rh, Pd, Os, Ir; 3) *циклічні або органогенні елементи*, які беруть участь у складних процесах кругообігу і більшість з них входить до складу живої речовини (H, C, O, S, N, P і інші - усього 44 елемента); 4) *розсіяні елементи* - Li, J, Br, Rb і інші (усього 11 елементів); 5) *сильно радіоактивні елементи* - Po, Re, Ra, Th, U і інші (усього 8 елементів); 6) *рідкісноземельні елементи* - La та інші (усього 13 елементів). Із цих шести груп особливе значення для БС мають циклічні хімічні елементи, які беруть участь в біогеохімічних кругообігах (циклах). Стосовно до біосфери під «*біогеохімічним кругообігом*» мається на увазі обмін елементами між живою речовиною й неорганічним середовищем.

Розрізняють такі основні типи біогеохімічних кругообігів: 1) кругообіг води (О, Н та інші водорозчинні елементи); 2) кругообіг елементів переважно в газовій фазі (С, О, N); 3) кругообіг елементів переважно в осадочній фазі (P, S та інші біогенні елементи). Перший тип

включає рух складної природної речовини - води; в інших - рух здійснюють прості речовини, які знаходяться у різних хімічних видах під впливом біологічного і геологічного факторів [2]. З 1944 року людина почала вводити до біогеохімічного круговороту радіоактивні елементи.

## 5.2 Біологічний кругообіг атомів у природі

Нескінченна взаємодія абіотичних і біотичних компонентів ЕС супроводжується безперервним кругообігом речовин між біотопом і біоценозом у вигляді чергування то органічних, то мінеральних сполучень. Існування у кожному угрупованні продуцентів, консументів та деструкторів, метаболізм (обмін речовин) яких взаємопов'язаний, обумовлює повторний кругообіг основних елементів, необхідних живій речовині.

У кожній ЕС кругообіг речовини відбувається внаслідок взаємодії автотрофів і гетеротрофів. С, Н, О, N, S, Р й ще близько 30 простих речовин, необхідних для створення живої речовини, безперервно перетворюються в органічні речовини або поглинаються у вигляді неорганічних компонентів автотрофами, а останні використовуються гетеротрофами (спочатку - консументами, потім - деструкторами).

Таким чином, біогенні елементи безперервно циркулюють: розчинюючись у континентальних водах (поверхневих), виносяться у моря або надходять до атмосфери, а поміж цими середовищами відбувається постійний газообмін. У зв'язку з цим звично говорять про *біологічний кругообіг атомів* (БК). Не зупиняючись поки що на особливостях кругообігу окремих біогенних елементів, можна зазначити, у чому полягає суть БК (рис.5.1).

Утворення ЖР та розкладання органічної речовини – дві сторони єдиного процесу - БК. У ході БК атоми поглинаються живою речовиною і заряджаються енергією, потім залишають живу речовину, віддаючи накопичену енергію у довкілля. За рахунок біогенної енергії відбувається багато хімічних реакції. БК може бути різних масштабів і різної тривалості - від швидкого кругообігу, що протікає в конкретному ґрунті, річці, озері до тривалого, охоплюючого усю біосферу. БК оборотний не повністю, частина речовин постійно виходить із кругообігу й заховується у товщі осадових порід (стратисфері) у вигляді органічних вапняків, гумусу, торфу та ін. Внаслідок кругообігу біосфера не повертається до початкового стану: для БС характерний поступовий рух, тому для БК більш слушним символом є не коло, а циклоїда. Відповідно до закону Вернадського, міграція хімічних елементів у БС відбувається при безпосередній або непрямій участі живої речовини - за участю головного геохімічного агента БС.



Рис. 5.1. Біологічний кругообіг атомів (БІК)

### 5.3 Кругообіг води

Розглядаючи круговорот води, необхідно нагадати, що вода виступає у ролі розчинника мінеральних, органічних і газових компонентів, і про те, що природні води є складними природними фізико-хімічними розчинами мінеральних, органічних і газових компонентів. До процесів вологообігу залучається широкий спектр хімічних елементів та сполук, оскільки вода присутня в усіх складових БС і відіграє величезну роль у ЖР. Так, наприклад, біомаса на суші надто чутлива до кількості опадів, і не випадково екстремально-високі її значення (в середньому 650 т/га) характерні для вологих тропіків, а мінімальні (2-2,5 т/га) - для аридних зон. Насіння рослин, у яких вміст води не перевищує 10%, представляє форми уповільненого життя. Таке ж явище (ангідробіоз) відзначається у деяких видів безхребетних, які за несприятливих умов можуть втратити

частину води із своїх тканин, але зберігати життєздатність. До самих негативних наслідків призводить зневоднення людського організму (середній вміст води у ньому складає 63%).

Сумарні запаси води на Землі у незв'язному стані складають 1386 млн. км<sup>3</sup>, в тому числі на долю Світового океану припадає 1338 млн. км<sup>3</sup>, тобто 96,5% (О.А. Спенглер, 1980). За даними В.І. Вернадського деяка кількість води знаходиться у зв'язному стані у магмі в глибинних частинах нашої планети, однак помалу її у вільний стан відбувається дуже помалу, приблизно зі швидкістю 0,3 км<sup>3</sup> на рік (за даними О.П. Виноградова, 1967). Отже, частка магматогенних (ендогенних, ювенільних) вод у складі гідросфери незначна. За даними американського дослідника Х.Л. Пенмана (1970), якщо воду рівномірно розподілити по земній кулі, то товщина утворених шарів складе для Світового океану - 2700 м, льодовиків - 100 м, підземних вод - 15 м, поверхневих прісних вод - 0,4 м, атмосферної вологи - 0,03 м. Незважаючи на відносно малий вміст атмосферної вологи, саме вона відіграє основну роль у циркуляції води і у її біогеохімічному кругообігу.

Утворення гідросфери у геологічному минулому Землі пов'язується з процесами охолодження й дегазації магми. На ранніх етапах еволюції планети водна оболонка була суцільною, але в міру того, як утворювались континенти, відбулося її роз'єднання. З появою БС процеси кругообігу води стали відносно складними, оскільки до простого фізичного випаровування додався процес біологічного випаровування, пов'язаний з діяльністю живої речовини, включаючи антропогенну діяльність.

Схематично кругообіг води можна описати таким чином: вода надходить до атмосфери у результаті випаровування з водної поверхні під дією сонячної енергії. Вологе повітря підіймається догори, де водяна пара конденсується, утворюючи хмари. Завдяки охолодженню атмосфери вода повертається на поверхню суші або океану у вигляді опадів різного типу. Над Світовим океаном випадає 78% від загальної кількості опадів, а над континентами - 22%, тобто кругообіг відбувається у основному між атмосферою й океаном (малий кругообіг). Волога, що перенесена повітряними потоками на сушу й випала у вигляді атмосферних опадів (великий кругообіг), потім витрачається на інфільтрацію, випаровування і поверхневий стік. Кількість води, яка виділяється внаслідок транспірації або випаровування з поверхні морських та континентальних водоймищ, залежить від місцевих умов. Так, з одиниці площі в лісовій місцевості, яка віддалена від моря, випаровується значно більше вологи, ніж з поверхні моря; зі зменшенням рослинного покриву зменшується і транспірація; стік лісових водозборів на 50-95% вищий за стік відкритих водозборів, тобто лісовий покрив відіграє важливішу роль в рівновазі елементів кругообігу води у біосфері.

За даними М.І. Львовича (1964) відзначаються такі співвідношення

між прибутковими (опади -  $X$ ) та витратними (випаровування -  $Y$ ) статтями водного балансу земної кулі:  $X = Y$  ( $557300 \text{ км}^3 = 557300 \text{ км}^3$  або  $1960 \text{ мм} = 1960 \text{ мм}$ ). Річний баланс води ураховує сталість загальної маси води на поверхні Землі й незмінної ємності океанічних та морських западин. Насправді картина балансу води на нашій планеті більш складна. Класичне рівняння водного балансу ( $Y = X + Z$ , де  $Z$  - стік) вірно для Світового океану як закритої термодинамічної системи й не враховує ще дві статті: надходження внутрішньопланетарної (ендогенної) води ( $E$ ) та втрати води під час фотолізу -  $F$  (при розкладанні води на водень та кисень у високих шарах атмосфери; при цьому більш важкий кисень поповнює атмосферу, а більш легкий водень звітряється у космос). З урахуванням цього рівняння водного балансу повинно мати наступний вигляд:  $X + Z + E - F - Y > 0$  [22], тобто рівноваги не існує, тому що відбуваються безповоротні втрати води при фотолізі й подальшій дисипації (розсіюванні, звітряванні) у космос водню, а також за рахунок безперервного надходження ендогенної (магматогенної) води. Малі у річному обчисленні, ці статті балансу відіграли вирішальну роль у еволюції геосфер в геологічному масштабі часу. І.А. Шикломанов [23] вважає, що немає істотного стоку водяних пар з атмосфери в космос в результаті фотолізу і істотного надходження ендогенних вод.

#### 5.4 Кругообіг вуглецю

У кругообігу вуглецю найважливішу роль відіграють  $\text{CO}$  та  $\text{CO}_2$ , введення і виведення яких здійснюється за участю природного круговороту. Це самий інтенсивний з усіх біогеохімічних циклів. Вуглець - один із важливіших біогенних елементів (18% від ваги живої речовини). Основними формами вуглецю у біосфері є: 1) карбонати біогенного походження (потужні органогенні вапняки); 2) вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), який є циркулюючою формою неорганічного вуглецю; 3) особлива форма органічного вуглецю - каустобіоліти (вугілля, горючі сланці та ін.).

Незважаючи на незначну концентрацію  $\text{CO}_2$  в атмосфері (0,03% за об'ємом), саме за рахунок цього компонента рослини суші здійснюють первинне продукування органічної речовини у процесі фотосинтезу. Споживання  $\text{CO}_2$  відбувається в результаті його асиміляції рослинами у процесі не лише фотосинтезу, але й розчинення природними водами.  $\text{CO}_2$  відіграє важливу роль у житті тварин і людини, оскільки є збудником дихального центру.

У самих загальних рисах кругообіг вуглецю у природі можна подати таким чином. Рослини добувають із атмосфери вуглець у вигляді  $\text{CO}_2$ , який надходить до організму тварин під час споживання рослинної маси (продукованої органічної речовини). Рослиноїдних поїдають м'ясоїдні, а тих і інших - людина. Частина  $\text{CO}_2$  у результаті дихання

гетеротрофів, розкладання останків організмів повертається у атмосферу (рис. 5.2).

При неповній мінералізації біомаси утворюються гумус та каустобіоліти. При взаємодії  $\text{CO}_2$  з різними компонентами гірських порід він включається до складу різних мінералів. При руйнуванні й фізико-хімічному вивітрюванні мінералів та гірських порід, особливо карбонатних і збагачених органічною речовиною, деяка частина  $\text{CO}_2$  повертається в атмосферу. Важливим регулювальником вмісту  $\text{CO}_2$  у атмосфері є океан. Кількість  $\text{CO}_2$ , розчиненого у океанічних водах, в 50 разів більша за його вміст у атмосфері.

Обмін між атмосферою, гідросферою та літосферою подається такими реакціями:

$\text{CO}_2$  (атмосферний)



$\text{CO}_2$  (водорозчинний)  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- = \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+$

Особливо слід відмітити антропогенну частину кругообігу вуглецю, яка пов'язана зі спаленням горючих копалин на різних промислових підприємствах, на транспорті, в процесі експлуатації родовищ вуглеводневої сировини і т.д. У результаті атмосфера поповнюється  $\text{CO}_2$  антропогенного генезису, що призводить до порушення природного коливного стаціонарного стану  $\text{O}_2/\text{CO}_2$ .

Викиди  $\text{CO}$  і  $\text{CO}_2$  при вулканічних виверженнях істотної ролі в процесах кругообігу не відіграють. До появи могутньої антропогенної складової кругообіг вуглецю був практично бездоганний: найбільша частина первинної продукції за рік розкладалася при диханні автотрофів і гетеротрофів, а  $\text{CO}_2$ , що видихається, майже повністю компенсував кількість  $\text{CO}_2$ , який видаляється з атмосфери в процесі фотосинтезу.

## 5.5 Кругообіг кисню

Кисень є головною складовою не лише ЖР (70% від маси), а й косної речовини (47% від ваги літосфери). Як вже зазначалось, кисень відіграє найважливішу роль в геохімічних процесах, що відбуваються в біосферних середовищах. Він необхідний для дихання рослинам і тваринам. У процесі фотосинтезу листя рослин протягом дня звільняють  $\text{O}_2$  й, навпаки, поглинають  $\text{CO}_2$ , а в процесі дихання вночі рослини поглинають  $\text{O}_2$  й виділяють  $\text{CO}_2$ , тобто рослини і споживають, і виробляють  $\text{O}_2$  (рис. 5.3). Середня концентрація  $\text{O}_2$  у атмосферному повітрі становить 20,9%, що складає лише 0,05% від загальної кількості кисню у БС.

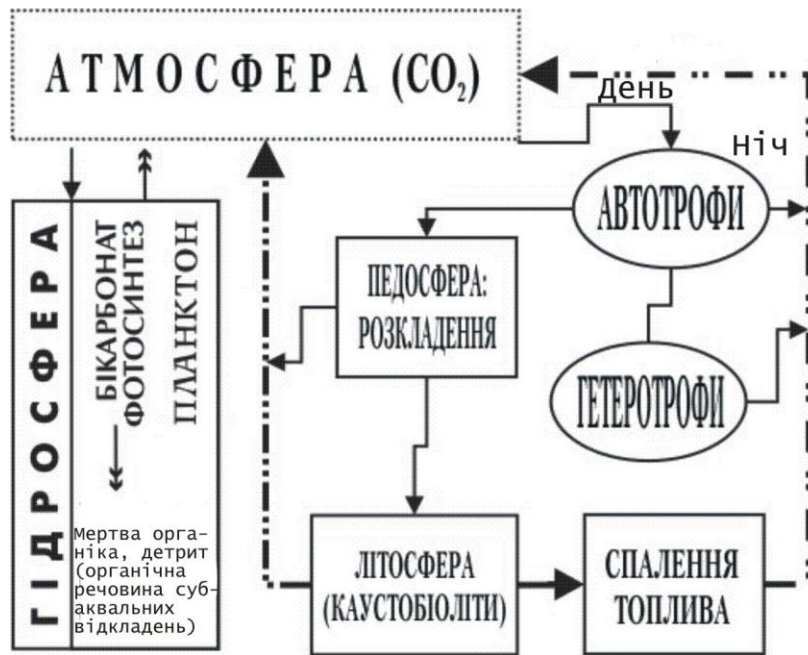


Рис. 5.2. Принципова схема кругообігу вуглецю у біосфері

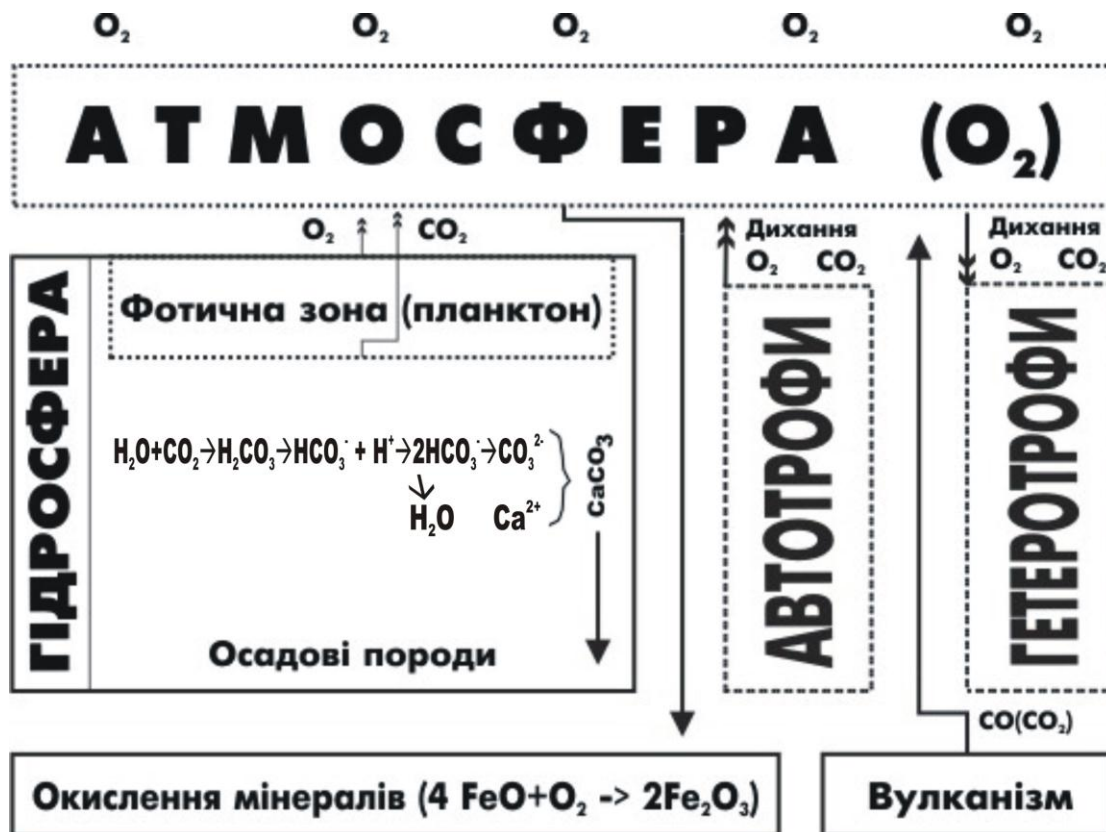


Рис. 5.3. Принципова схема кругообігу кисню у біосфері

Основні запаси кисню зосереджені в карбонатах, в оксидах металів, у деяких типах органічної речовини. Кругообіг кисню ускладнений його здатністю утворювати численні сполучення, подані у різних формах. У деякому відношенні кругообіг кисню нагадує зворотній кругообіг CO<sub>2</sub>, оскільки рух одного відбувається у зворотному напрямку іншого).

При певній концентрації O<sub>2</sub> дуже токсичний для клітин і тканин організмів. Іще Л.Пастер (1822-1895) зазначав, що організми не витримують концентрації O<sub>2</sub>, яка перевищує атмосферну на 1% (*ефект Пастера*). Низька концентрація O<sub>2</sub> у атмосферному повітрі також обмежує можливості існування організмів (у високогірних районах мале O<sub>2</sub> і розріджене повітря, тому в них практично немає життя і вони належать до парабіосферних зон).

Водорозчинний кисень також відіграє надзвичайно важливу роль. Вміст його зменшується з глибиною й продукування водної рослинності можливе лише вище за рівень компенсації, тобто при позитивному балансі «фотосинтез – дихання». В океанах, у залежності від широти, рівень компенсації знаходиться на глибинах від 50 до 100-150 м.

Молекулярний кисень може виникнути шляхом дисоціації (фотолізу) молекул води у верхніх шарах атмосфери під дією сонячної радіації і все-таки він повинен розглядатися як переважно біогенний компонент. До того ж, у основному кругообіг кисню відбувається між атмосферою й живими організмами. Процес продукування органічних сполук й виділення O<sub>2</sub> під час фотосинтезу протилежний процесу його споживання гетеротрофами під час дихання, який супроводжується руйнуванням органічних сполучень, взаємодією кисню з воднем, що відщеплюється від субстрату, й утворенням води. Споживання атмосферного O<sub>2</sub> та його надолужування первинними продуцентами здійснюється доволі швидко, але повільніше, ніж CO<sub>2</sub>. Підраховано, що для повного поновлення усього атмосферного O<sub>2</sub> потрібно 2000 років, у той час як для повного поновлення атмосферного CO<sub>2</sub> потрібно лише 300 років [19].

## 5.6 Кругообіг азоту

Азот складає лише 0,3% від ваги ЖР, але в атмосферному повітрі є чільним компонентом (78-79% за об'ємом). Більшість живих істот не може використати його безпосередньо; він спочатку зв'язується специфічними мікроорганізмами або хімічними процесами природно або штучно (наприклад, при виробництві азотних добрив). Основним джерелом азоту у БС є атмосфера. Газоподібний азот надходить до атмосфери внаслідок діяльності денітрифікуючих бактерій, тоді як бактерії-фіксатори та синьо-зелені водорості постійно поглинають його, перетворюючи на нітрати. Утворення нітратів неорганічним шляхом відбувається у атмосфері внаслідок електричних розрядів під час гроз, але цей процес не відіграє



такої істотної ролі як діяльність нітрифікуючих бактерій. Однак самими активними споживачами азоту є симбіотичні бактерії бобових. У водному середовищі також існують різні нітрифікуючі бактерії, але головна роль у фіксації атмосферного азоту належить синьо-зеленим водоростям, здатним до фотосинтезу. Кругообіг азоту простежується й на рівні деструкторів, тому що азот міститься у біомасі й безперервно надходить до середовища у складі органічного детриту, виділень і т.д. Частина аміачного азоту може проникати і у корені рослин й знову перетворюватись на азот протеїнів (білків). Денітрифікація, що відбувається у ґрунтах, призводить до нестачі нітратів (5.4). Ще одним джерелом атмосферного азоту є вулкани, які компенсують втрати азоту, виключеного з кругообігу при седиментації його на дні океанічних і морських басейнів.

В усій біосфері внаслідок процесів біологічної фіксації за рік утворюється 92 млн. тон зв'язаного азоту, у той час як втрати його внаслідок денітрифікації складають 83 млн. тон, тобто приплив азоту дорівнює 9 млн. тон [19]. Це та кількість азоту, яка затримується в ґрунтах, річках, озерах, ставках та океанах. Основна частина біогеохімічного циклу азоту здійснюється у ґрунтах.

## 5.7 Кругообіг сірки і фосфору

Із інших біогенних елементів особливе значення мають біогеохімічні цикли сірки і фосфору. Незважаючи на існування численних джерел газоподібних сполук сірки ( $H_2S$ ,  $SO_2$  та ін.), переважна частина кругообігу сірки має осадочну природу і відбувається у ґрунтах та водах. Основне джерело сірки, доступне всім організмам - різноманітні сульфати. Їх добра розчинність у воді полегшує доступ неорганічної сірки до ЕС. Поглинаючи сульфати, рослини їх поновлюють і виробляють сірковмісні амінокислоти. Різні покиді біоценозів розкладаються бактеріями, які перетворюють їх на сульфіди. Наприклад, донні відкладення Чорного моря містять сіркорозкладаючі та сульфатредуючі бактерії, які функціонують у анаеробних умовах; вони можуть відновлювати  $H_2S$  до елементарної сірки. З іншого боку, є бактерії, які окислюють  $H_2S$  до сульфатів. Остання фаза кругообігу сірки повністю осадова і полягає у випаданні в осад цього елемента в анаеробних умовах в присутності заліза та інших металів:  $H_2S + Fe \rightarrow FeS \rightarrow FeS_2$ . Утворення сульфідів у літосфері супроводжується виділенням розчинних форм сірки й надходженням їх до живої речовини. Основні запаси сірки знаходяться у вигляді сульфідів і сульфатів. Окрім того, сірка надходить внаслідок вулканічної діяльності, але в набагато менших кількостях. Особливо слід відзначити надходження сірки у вигляді  $SO_2$ , який є одним із основних забруднюючих інгредієнтів, надходить до атмосфери при використанні каустобіолітів, особливо сірчистих типів.



Рис. 5.4. Принципова схема кругообігу азоту у біосфері

Кругообіг фосфору відносно простий і неповний. Фосфор є однією із складових живої речовини (0,07% від ваги). Запаси фосфору, доступні організмам, повністю зосереджені у літосфері (апатити, фосфорити і т.д.). Неорганічний фосфор з порід земної кори вилуговується водами; він надходить до континентальних ЕС і поглинається рослинами, які за його участю синтезують органічні сполучення та включають фосфор в трофічні ланцюжки. Потім органічні фосфати разом із останками, відходами і виділеннями організмів повертаються на землю, де знов піддаються впливу мікроорганізмів й перетворюються на мінеральні ортофосфати, які готові до споживання автотрофами.

## 6 ПОТІК ЕНЕРГІЇ В ЕКОСИСТЕМАХ

### 6.1 Загальна схема трансформації енергії в екосистемах

Основним джерелом енергії, завдяки якому існує ЖР в біосферних середовищах є Сонце. Стабільність в існуванні цього енергетичного джерела є також одним із найважливіших факторів функціонування БС. Сонячна енергія проявляє себе в різних формах (кінетичній, потенціальній, радіоактивного розпаду, електромагнітних полів, морських хвиль, органічного палива та т ін.) і в певних умовах переходить з одного виду в інший (потенціальна в кінетичну, енергія випромінювання в теплову тощо). Спектр електромагнітного випромінювання Сонця розкладається на ультрафіолетову радіацію (0,19 – 0,39 мкм), фізіологічно активну радіацію – ФАР (0,38 – 0,7 мкм), інфрачервону радіацію (0,71 – 20-24 мкм). В приземному шарі сонячне електромагнітне випромінювання перетворюються в основному в теплову енергію (1 - 2% сумарної радіації і 2% ФАР) за рахунок фотосинтезу – в хімічну енергію, ще менше – механічну (фізичне вивітрювання гірських порід, термохімічний ефект та ін.) і електричну (встановлення електричного потенціалу рослин).

Перш за все необхідно пригадати, що властивості енергії визначаються законами термодинаміки. Згідно з першим законом, енергія може перейти із однієї форми в іншу, але вона не може зникати і створюватися наново (наприклад, сонячне світло є однією з форм енергії, оскільки його можна перетворити на роботу, тепло або потенційну енергію їжі в залежності від ситуації, але енергія не зникає). Процеси, пов'язані з перетвореннями енергії, можуть спонтанно відбуватися лише за умови, що енергія переходить із концентрованої форми у розсіяну, тобто деградує (наприклад, тепло гарячого предмета доволно прагне розсіятися в більш холодному середовищі). У цьому суть другого закону термодинаміки, який можна сформулювати і так: оскільки деяка частина енергії завжди розсіюється у вигляді недоступної для використання теплової енергії, то ефективність довільного перетворення кінематичної енергії в потенціальну (наприклад, сонячного світла в енергію хімічних сполучень) завжди менше ніж 100%.

Під *екологічною ентропією* розуміється безповоротне розсіяння енергії ЕС. Наприклад, втрата тепла через градієнт температур між ЕС і навколишнім середовищем. Найважливіша здатність організмів та ЕС - створювати й підтримувати високий ступінь внутрішньої впорядкованості, тобто стану з низькою ентропією (*ентропія* - міра внутрішньої невпорядкованості системи; чим більше ентропія, тим більше невпорядкованість і навпаки). Низька ентропія досягається постійним і ефективним розсіюванням енергії (наприклад, енергії світла і їжі) й перетворенням її на енергію, яка використовується з силою (наприклад, в

теплову). ЕС та організми являють собою відкриті нерівноважні термодинамічні системи, які постійно обмінюються з навколишнім середовищем енергією та речовиною, що зменшує цим ентропію усередині себе, але збільшує ентропію зовні згідно з законами термодинаміки. Усі перетворення в ЕС завжди відповідають термодинамічній моделі незамкненої системи. Дію двох законів термодинаміки можна показати на прикладі перетворення сонячної енергії на енергію їжі (цукор) в процесі фотосинтезу. Для опису «поведінки» енергії у ЕС підходить поняття «потік енергії», оскільки, на відміну біогеохімічним кругообігом, перетворення енергії йдуть у одному напрямку (рис.6.1).

Біосистеми у деякому розумінні можна порівняти зі своєрідними механізмами, що продукують біомасу. Кількість сонячної енергії, що досягає земної поверхні, становить 52% від загального випромінювання (решта витрачається на відбиття хмарами, пилом, поглинання водяною парою, озоном і т.д.); але із цієї кількості близько 10% витрачається на відбиття (альbedo). Лише 10% енергії, яку отримують рослини, трансформується в біомасу. Рослини фіксують лише 1% сонячного випромінювання, що надходить, та виробляють при фотосинтезі свій матеріал, тобто коефіцієнт корисної дії (ККД) фотосинтезу який дуже низький (0,1 - 1,6%). Більш високий ККД у культурних рослин (до 3 - 5% і вище). При такій незначній витраті сонячної енергії на трансформацію у біопродукцію (1%) виникає питання: на що витрачається решта 99%? Визначено, що переважна частина (60 - 70%) витрачається на дихання, достатньо значна кількість (30 - 40%), не проникаючи у листя, відбивається від поверхні рослин.

Зміни енергетики природної ЕС у межах 1% виводить її із рівноважного стану (правило 1%). Всі екстремальні події, які можуть відбуватися в природі (виверження вулканів, циклони, смерчі, землетруси тощо), як правило, мають сумарну енергію, яка не перевищує 1% енергії сонячного випромінювання, що падає на поверхню нашої планети. Природні фактори, які змінюють енергетику ЕС в межах 1% , характеризуються відносною частотою в БС. Антропогенні зміни, що перевищують допустиму межу, здатні викликати негативні наслідки у природних екосистемах. Отже, правило 1% не обходимо врахувати в природокористуванні для розробки обґрунтованих заходів, важливих в природних екстремальних умовах.

Енергія витрачається на кожному рівні трофічного (харчового) ланцюга. *Продуценти*, використовуючи сонячну енергію, виробляють хлорофілутримуючу рослинну масу, яка служить їжею гетеротрофним організмам (консументам та деструкторам). *Первинні консументи* - це рослиноїдні тварини, що харчуються продуцентами (травами, листям, соками, пилком, насінням і т.д.). *Вторинні консументи* - це м'ясоїдні тварини, які живуть в основному за рахунок первинних консументів.

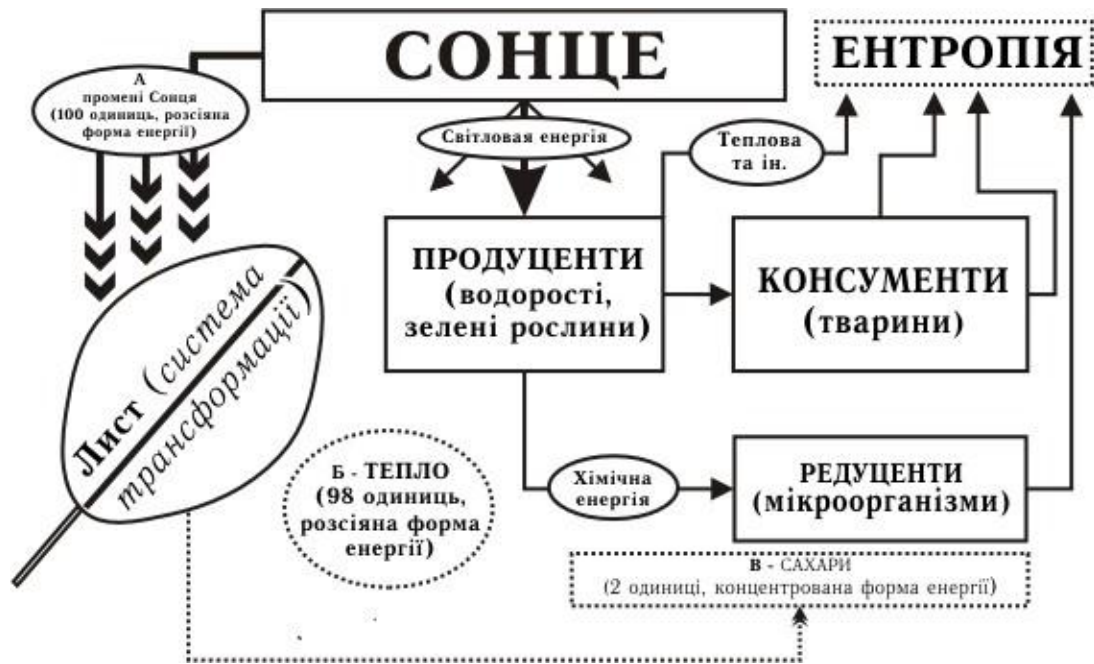


Рис. 6.1. Схема спрямованості і трансформації потоку енергії у біосфері

Трофічний ланцюг продуценти - рослиноїдні (травоїдні) - м'ясоїдні, насправді, більш складний. Так, до м'ясоїдних консументів додаються паразитуючі види і т.д. Щодо деструкторів, тобто мікроорганізмів, які викликають розклад органічних речовин і сприяють їх природній утилізації, то вони розташовуються на усіх рівнях трофічного ланцюга. Сукупність організмів, які одержують перетворену на їжу енергію Сонця і хімічних реакцій (від автотрофів) через однакове число посередників трофічного ланцюга (продуценти - первинні консументи - вторинні консументи та паразити вторинних консументів - вторинні хижаки й паразити вторинних консументів - паразити вторинних консументів - надпаразити високих порядків), називається трофічним рівнем. Яюсь «осторонь» опиняються редуценти, які можуть скласти трофічний рівень, починаючи з другого (безпосередньо розкладаючи тіла продуцентів). На трофічному рівні енергія, накопичена рослинами в процесі фотосинтезу, розсіюється. Будь-який рослиноїдних конкурент вибірково підходить до їжі: він споживає не усяку рослину і не будь-яку частину рослини. Отже, частина калорій, накопичених рослинами, неминуче втрачається. Але і не весь корм, споживаний травоїдними, перетворюється в тваринні тканини. Якщо кількість калорій, спожитих консументами, прийняти за 100%, то 60-70% цих калорій буде уведено до шлунку, із них тільки 5-10% підуть на виробництво тваринного матеріалу. Аналогічну картину можна спостерігати на кожному трофічному рівні.

Згідно із *правилом 10%* з нижчого на більш високий трофічний рівень (продуценти – первинні консументи – вторинні консументи) переходить близько 10% енергії. Консументи не просто пасивні споживачі, що входять в трофічний ланцюг. Вони, задовольняючи свої потреби в енергії, часто через систему позитивного зворотного зв'язку діють на трофічні рівні, що знаходяться нижче. Наприклад, виїдання рослинності саван Африки величезними стадами антилоп збільшує швидкість повернення біогенів в ґрунт; завдяки цьому, в дощовий сезон посилюється відновлення трави і збільшення її продукції. Краби, риючи ґрунт, посилюють циркуляцію води навколо коріння рослин, яким вони харчуються, і вносять в анаеробну зону кисень і біогени; постійно переробляючи багаті органікою відкладення, вони поліпшують умови для зростання і розвитку бентосних форм. Зворотний потік енергії, наприклад, від первинних консументів до продуцентів (мертві організми і екскременти тварин - редуценти, що виділяють з органічних речовин неорганічні сполуки, в т.ч. біогени - продуценти) складає не більше ніж 0,25-0,5% від загального потоку, тому говорити про кругообіг енергії в біоценозі не доводиться.

## 6.2 Поняття про екологічні піраміди

Як уже відзначалось, процес безперервної трансформації енергії супроводжується її розсіюванням, втратами, зростанням ентропії, які компенсуються постійним надходженням сонячної енергії (1 грам сухої фітомаси містить 18,7 кДж енергії). В ЕС утворюється і витрачається органічна речовина, що дозволяє оцінювати їх продуктивність як швидкість утворення органічної речовини: первинна продуктивність - це швидкість засвоєння сонячної енергії продуцентами, а вторинна - це продуктивність консументів. При передачі від кожної попередньої ланки наступній ланці трофічного ланцюга втрачається близько 90-99% енергії: так, якщо рослинами створено на 1 м<sup>2</sup> земної поверхні 84 кДж енергії, то продукція первинних консументів складає 8,4 кДж, а вторинних - близько 0,84 кДж. Співвідношення між продуцентами, консументами (першого, другого порядків) та редуцентами в ЕС, яке відбите у їх масі й зображене у вигляді графічної моделі, називається *пірамідою біомас*. Якщо трофічні зв'язки зобразити з урахуванням співвідношень у кількості осіб або видів, то кажуть про *піраміду чисел* (*піраміда чисел Елтона*), якщо з урахуванням кількості енергії, акумульованої одиницею поверхні за одиницю часу та використаної організмами на кожному трофічному рівні, то - про *піраміду енергії*. Такі моделі називаються *екологічними пірамідами*.

У наземних ЕС вага продуцентів (на одиницю площі і абсолютно) більше ніж вага консументів, консументів першого порядку - більша ніж консументів другого порядку і т.д., тому графічна модель звичайно має

вигляд піраміди. У деяких водних ЕС, які відрізняються високою біопродуктивністю продуцентів, піраміда біомас може бути переверненою, тобто біомаса продуцентів в них менша, ніж консументів, а іноді і редуцентів. У цілому ж екологічні піраміди відбивають зменшення видового різноманіття, кількості біомаси та енергії від більш низьких до більш високих трофічних рівнів, тобто відбивають основну спрямованість трансформації енергії в ЕС. Відповідно до закону *піраміди енергії* (Р. Ліндемман, 1942) з одного трофічного рівня екологічної піраміди переходить на інший рівень в середньому не більш ніж 10% (від 7 до 17%) енергії (або речовини у енергетичному виразі) і це, як правило, не веде до несприятливих наслідків для ЕС (і трофічного рівня, який втрачає енергію). Це дозволяє зробити деякі еколого-економічні підрахунки (необхідної земельної площі для забезпечення населення продовольством і т.д.).

Слід зазначити, що на вершині екологічної піраміди знаходиться людина. *Автотрофність людства* - поняття, що відповідає можливості отримання людьми їжі і енергії Сонця і її похідних видів (вітру, води, біомаси і т.д.) аналогічно тому, як відбувається утилізація неспожитої енергії рослинами (автотрофами). Вводячи цей термін в науковий ужиток, В.І. Вернадський (1937) мав на увазі одну з основних умов формування людьми ноосфери.

У наш час видається можливим говорити про первинну продуктивність, тобто про кількість енергії, продукованої рослинами у процесі фотосинтезу, і практично нічого не можна сказати про вторинну продуктивність, тобто про кількість енергії, продукованої на рівні консументів. Під первинною продукцією розуміється загальна кількість органічного матеріалу, зафіксованого фотосинтезом, включаючи органічні речовини, що використовуються рослинами для підтримки їх метаболічних потреб. Первинна продуктивність - це первинна продукція будь-якої екосистеми за одиницю часу з одиниці площі, яка виражається у т/га сухої речовини, синтезованої за рік. Загальна річна продукція наземних ЕС складає 30 млрд. тонн органічного матеріалу. Приблизно така і продукція органічного матеріалу всіх океанів, хоча поверхня їх удвічі більша за поверхню континентів [19]. За даними американських авторів річна продукція континентальних та морських ЕС складає 100 млрд. тонн.

Енергетичний потенціал нерівномірно розподіляється у БС, як і 10% оброблюваної земної поверхні. У цьому полягає важлива проблема існування людства, оскільки найбільша густина населення не завжди пристосована до ландшафтів де продуктивність органічного матеріалу максимальна.

### 6.3 Енергетична класифікація екосистем

Оскільки спільним знаменником і початковою рушійною силою усіх ЕС, як природних, так і антропогенних, є потік енергії, то за джерелом, рівнем та якістю енергії Ю. Одум (1986) виділяє 4 типи екосистем.

1. *Несубсидовані природні ЕС, які отримують енергію від Сонця.* Приклади: відкритий океан, високогірні ліси. Це основа життєзабезпечення «космічного корабля» Землі в Сонячній системі. Всі вони отримують мало енергії і мають низьку біопродуктивність. Організми цих екосистем можуть існувати на мізерній частці енергії та інших ресурсів і ефективно використовувати їх. Вони займають величезні площі, одні лише океани займають 70% площі земної кулі. У цьому величезному комплексі очищаються великі об'єми повітря, повертається у оборот вода, формується клімат і т.д. Без зусиль людини виробляється деяка частка їжі. Окрім того, морські та гірські ландшафти мають велику естетичну цінність.

2. *ЕС, які одержують енергію від Сонця, але з природною енергетичною субсидією.* Приклади: естуарії у припливних морях, деякі тропічні дощові ліси. Це ЕС, які мають природну високу біопродуктивність і виробляють надлишки органічних речовин, які накопичуються або виносяться у інші ЕС. Так, у естуаріях існує додаткова енергія припливів, прибою і течій, яка сприяє більш швидкому кругообігу мінеральних речовин й переміщенню їжі та відходів; організми можуть сконцентрувати свої зусилля на ефективному перетворенні сонячної енергії. Використовуючи додаткову енергію припливів, організми естуаріїв виробляють більше біопродукції, ніж прилеглі ділянки суші або прісноводні внутрішньоконтинентальні водойми, які отримують ту ж кількість сонячної енергії.

3. *Субсидовані людиною ЕС, які отримують енергію від Сонця.* Приклади: агроекосистеми, аквакультури (підводні плантації). Це ЕС, які виробляють продукти харчування і отримують дотації у формі пального (або у інших формах), що постачаються людиною. Паливо для сільгоспмашин, м'язова сила тварин і людини - це така ж енергія, що надходить до агроекосистем, як сонячне світло, яку можна виміряти в калоріях, кінських силах або в одиницях системи СІ. Як образно відмічає Г. Одум (1971): «Хліб, рис, кукурудза або картопля частково зроблені із нафти». Навіть найпродуктивніші типи цих ЕС порівняні з природними ЕС за потужністю споживаної енергії. Людина намагається направляти як можна більше енергії на виробництво продуктів харчування, які вона може використати негайно, а природа розподіляє продукти фотосинтезу між багатьма видами й речовинами і накопичує енергію «на чорний день», тобто різниця між природними та антропогенними екосистемами полягає у розподіленні потоку енергії.



4. *Промислово-міські ЕС, які отримують енергію палива.* Приклади: міста, пригороди, індустріалізовані зелені зони. У цих ЕС генеруються багатства людства, але в них утворюються й основні кількості забруднюючих речовин. Головним джерелом енергії служить паливо, а не сонячна енергія. Ці екосистеми залежать від вищезазначених екосистем, паразитують на них, одержуючи продукти харчування, паливо та інші матеріали. Для них характерна велика потреба в енергії; вона у 2-3 рази вище за той потік енергії, який підтримує життя у природних та напівприродних ЕС, спонукуваних сонячною енергією. З цієї причини безліч людей можуть жити на невеликій площі промислово-міських ЕС. Величина енергії, яка щорічно витрачається на 1 м<sup>2</sup> міста, визначається мільйонами ккал. Так, наприклад, на одного мешканця США припадає 87 млн. ккал на рік, а для функціонування людині необхідно лише 1 млн. ккал на рік. На домашнє господарство, промисловість, торгівлю, транспорт та інші види діяльності у США витрачається у 87 разів більше енергії, ніж потрібно для фізіологічних потреб людини. В Індії витрата енергії у 50 разів менша, а в Пакистані - у 100 разів менша ніж у США.

## **7 ПРОБЛЕМА АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Під забрудненням у екології розуміють несприятливу зміну навколишнього природного середовища (НПС), яке цілком або частково є результатом антропогенної діяльності, прямо або побічно змінює розподілення енергії, що надходить, рівні радіації, фізико-хімічні властивості середовища й умови існування живих організмів [1]. Ці зміни можуть впливати на людину безпосередньо або через воду, продукти харчування. Будь-яка забруднююча речовина (ЗР) може бути поглинена живими організмами завдяки багатогранним метаболічним процесам. Таким шляхом ЗР включається до трофічних ланцюгів ЕС, беручи участь у кругообігу речовин в біогеоценозах, виявляючи шкідливий вплив на тварин та рослини. Живі організми прискорюють розповсюдження токсичних ЗР, збільшуючи площі зараження, а з іншого боку, вони акумулюють ці ЗР у своєму організмі. Наприклад, так розноситься ртуть, ДДТ (інсектицид для боротьби зі шкідливими комахами, заборонений для використання через стійкість та здатність накопичуватись у НПС) та ін. Акумуляція (біонакопичення) ЗР у живих організмах зростає на кожному наступному трофічному рівні: фітопланктон - зоопланктон - ракоподібні та риби-мікрофаги - риби-хижаки - баклани - (в морських ЕС); продуценти - рослиноїдні - м'ясоїдні первинні - м'ясоїдні вторинні - (в континентальних ЕС). Б. Небел [20] наводить такий приклад збільшення біонакопичення ДДТ: морська вода (0,02) - водорості (5) - риби-мікрофаги (40 - 300) - риби-хижаки (2000 млн<sup>-1</sup>).

Згідно із законом максимізації енергії (Г. і Ю. Одумів) у суперництві з іншими системами виживає (зберігається) та із них, яка найкращим чином сприяє надходженню енергії й використовує максимальну її кількість найбільш ефективним способом. В усіх випадках хижаки й людина (макрофаги), які знаходяться на вершині трофічної (екологічної) піраміди, виявляються найбільш забрудненими токсичними речовинами. З цього виходить, що забруднюючи оточуюче середовище, людина, яка займає місце суперхижака по відношенню до інших живих організмів, стикається з ефектом бумеранга, тобто головний винуватець забруднення стає і головним відповідачем. Такий суворий закон природи.

За умовами утворення всі ЗР поділяються на домішки природного і антропогенного генезису. Домішки природного походження надходять до біосферних середовищ в результаті вулканічної діяльності, фізико-хімічного вивітрювання ґрунтів і ґрунтопідстилаючих порід, згоряння метеоритів, розкладу рослин та тварин і т.д. Антропогенні домішки утворюються в результаті спалення горючих корисних копалин, промислових та побутових відходів, під час ядерних вибухів, різних

аваріях і т.д. Такі ЗР як CO і *важкі метали* (*Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Sb, Sn, Bi, Hg*) надходять до біосферних середовищ разом із антропогенними викидами. Значна частина вуглеводнів надходить до біосферних середовищ в результаті «вуглеводневого дихання» надр Землі, дегазації скупчень вуглеводневої сировини, біохімічних процесів (виділення вуглеводнів деякими рослинами, «болотяний газ» і т.д.); ця величина складає 1 млрд. т/рік, що на порядок (1 млн. т/рік) вище, ніж антропогенні викиди вуглеводневих компонентів, але ступінь токсичності й негативності екологічних наслідків значно вищий. Фонове забруднення - фактичне забруднення, яке б існувало в даному пункті при відсутності конкретних джерел антропогенного забруднення (наприклад, на значному віддаленні від населених пунктів).

При порівнянні результатів природних і антропогенних змін навколишнього середовища потрібно використати три критерії: кількісний фактор, фактор часу і токсичність речовин, які виникають внаслідок антропогенної діяльності [24]. Вміст газів антропогенного генезису в атмосфері становить звичайно  $10^{-9}$  -  $10^{-6}$  %, тобто складає дуже низькі концентрації; така ж картина характерна для значень концентрацій ЗР у гідросфері та літосфері. Природні зміни більш повільні в порівнянні з антропогенними: збагачення земної атмосфери киснем від 1 % до 21 % продовжувалося приблизно 1- 1,5 млрд. років, тобто 0,004 % в 200 - 300 тисяч років, в той час як вміст антропогенного CO<sub>2</sub> в повітрі за останні десятиріччя збільшився на 0,004 %. При антропогенному впливі утворюється ряд дуже токсичних речовин, небезпечних і для людини, і для всього живого.

За *об'єктом* забруднення поділяються на: забруднення атмосфери (атмосферного повітря), забруднення гідросфери (природних вод); забруднення літобіосфери (гірських порід і ґрунтів); забруднення всієї БС.

За *тривалістю* впливи розрізняють: тимчасові (в тому числі епізодичні); постійні.

За *масштабом впливу* забруднення можуть бути: локальні, регіональні, глобальні.

За *фізичним станом* ЗР розподіляються на газоподібні, тверді та рідкі. Наприклад, на долю газоподібних, що надходять до атмосфери, припадає 90%, а на долю пилу, важких металів, мінеральних і органічних сполучень, радіоактивних речовин, тобто твердих домішок - близько 10%. Кількість рідких домішок (наприклад, різних кислот) дуже мала у порівнянні з газоподібними та твердими домішками. У складі останніх завжди присутня вода, вміст якої тим більше, чим вище відносна вологість повітря. При взаємодії біосферних середовищ відбувається і перерозподіл ЗР.

При характеристиці забруднення навколишнього середовища вживаються такі поняття, як полютанти, ксенобіотики, екотоксиканти

та інш. *Полютанти* - речовини, що забруднюють середовище життя, тобто забруднювачі. *Ксенобіотики* - сторонні для живих організмів шкідливі сполуки (пестициди, препарати побутової хімії і інш.), які попадають в значних концентраціях в природне середовище і призводять до загибелі організмів, а також порушують нормальний хід природних процесів в ЕС. Близьким по значенню є поняття *екотоксиканти* - шкідливі хімічні є речовини, що забруднюють НПС і отруюють живі організми, які знаходяться в середовищі. Вони рідко зустрічаються самотійно, тому два і більше екотоксиканта разом дають ефект, у багато раз перевищуючий суму дії кожного з них окремо (це явище називається сінергізмом і є прикладом вияву принципу емерджентності).

ЗР можуть представляти канцерогенну, мутагенну і тератогенну небезпеку. *Канцерогенні* ЗР сприяють виникненню і розвитку злякисних новоутворень, *мутагенні* ЗР викликають різкі спадкові зміни, *тератогенні* ЗР призводять до пошкодження зародків і біологічних агентів з виникненням аномалій і вад розвитку.

Існує декілька класифікацій типів забруднень і шкідливих впливів на біосферні середовища. Як приклад можна навести класифікацію Ф. Рамада [2]: 1) фізичні забруднення (радіоактивні елементи, випромінювання; нагрів або теплове забруднення; шуми і низькочастотна вібрація, інфразвук; 2) хімічні забруднення (газоподібні і рідкі похідні вуглецю; миючі засоби; пластмаси; пестициди та інші синтетичні органічні речовини; похідні сірки; похідні азоту; важкі метали; фтористі сполуки; тверді домішки; органічні речовини, підвладні бродінню); 3) біологічні забруднення (мікробіологічне отруєння дихальних і живильних шляхів - бактерії, віруси; зміни біоценозів у гідросфері та у ґрунтах через невміле впровадження рослинних або тваринних видів); 4) естетична шкода (порушення пейзажів і визначних місць грубою урбанізацією або малопривабливими будівлями; будівництво індустріальних центрів у незайманих або мало порушених людиною біотопах).

Г.В. Стадницький і А.І. Родіонов [25] забруднення класифікують таким чином: 1) *інгредієнтне забруднення* як сукупність мінеральних, органічних і органо-мінеральних речовин, кількісно або якісно чужих біоценозам (продукти згоряння органічного палива, відходи виробництва і споживання і інш.); 2) *параметричне забруднення*, пов'язане із зміною якісних параметрів навколишнього середовища (теплове, шумове, світлове, радіаційне, електромагнітне); 3) *біоценотичне забруднення*, що полягає у впливі на склад і структуру популяції живих організмів (порушення балансу популяції, інтродукція і так далі); 4) *стаціонально-деструкційне забруднення* (стація - житло популяції, деструкція - руйнування), що являє собою зміну ландшафту і ЕС в процесі природокористування (вирубка лісових насаджень, ерозія ґрунтів, осушення земель і інше).

**Фізичне забруднення.** Фізичне забруднення пов'язане із зміною фізичних, температурно-енергетичних, хвильових і радіаційних параметрів зовнішнього середовища.

*Температурні зміни* позначаються на погіршенні режиму земної поверхні і водних об'єктів, на посиленні хімічного і біологічного забруднення.

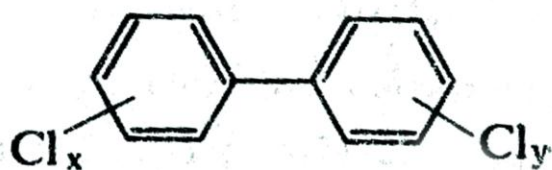
*Шум і вібрація* відносяться до енергетичних або фізичних видів забруднення навколишнього середовища. До джерел шуму можна віднести засоби міського, залізничного і авіаційного транспорту, промислові підприємства, будівельні майданчики, місця проведення ремонтних робіт тощо. Шум зумовлює нервову виснаженість, психічні розлади, підвищення кров'яного тиску і підвищення вмісту холестерину в крові тощо. Шум викликає найбільшу кількість скарг населення, оскільки його дратуючий ефект позначається негайно. Негативні впливи вібрації багато в чому схожі з впливом шуму. Крім того, вона спричиняє руйнування будівель і споруд, негативно впливає на найбільш точні технологічні процеси. Органи слуху людини здатні розрізняти у вигляді звуку коливання з частотою в середньому від 16 до 20000 Гц. Звуки з частотою до 16 Гц називаються інфразвуком, а з частотою більше за 20000 Гц - ультразвуком. Граничною межею шуму є величина 80 децибел (дБ), норма гучності вночі – 10 - 20 дБ, вдень – 30 – 40 дБ. Шум в 90 дБ викликає фізіологічні порушення, а при 140 - 170 дБ руйнується барабанна перетинка вуха.

*Електромагнітне забруднення* виникає внаслідок зміни електромагнітних властивостей середовища (поблизу ліній електропередач, радіо- і телевізійних антен, деяких промислових установок і т.д.), що призводить до геофізичних аномалій і змін у біосистемах. При тривалому впливі електромагнітних полів навіть у здорових людей відмічається підвищена стомлюваність, головний біль, апатія і т.д. Негативний вплив електромагнітного поля виявляється при його напруженості у 1000 вольт на метр. Найбільш чутлива нервова система, порушення якої призводить до зміни інших систем організму. Останнім часом з'явився ще один вид забруднення атмосфери - «електронний смог», який полягає у високій концентрації мікрохвиль у зв'язку з ростом кількості радіостанцій, працюючих в ультракоротких хвильових діапазонах та здатних погіршувати здоров'я людини. Небезпечний вплив і електромагнітних випромінювань від мереж електропередач та інших джерел.

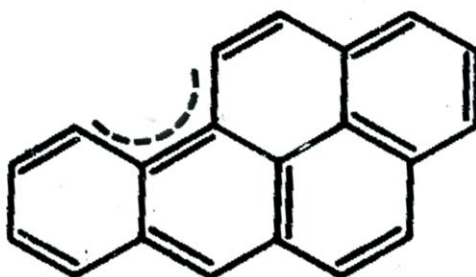
**Хімічне забруднення.** Хімічне забруднення - це збільшення кількості хімічних компонентів певного середовища, а також надходження в середовище хімічних речовин (ХР), не властивих йому або в концентраціях, що перевищують норму. Воно є найбільш небезпечним для природних ЕС і людини. У наш час в НПС міститься від 7 до 8,6 млн. хімічних сполук, причому ця кількість щорічно збільшується [11].

Сьогодні приблизно кожні 9 секунд робочого дня відкривають нову ХР; більшість з них залишаються лабораторними артефактами. У 1998 р. хіміки ідентифікували 18-мільйонну синтетичну ХР. З мільйонів відомих ХР менш 0,5% (50 - 100 тис.) зараз реально використовуються у комерційній діяльності. Переважна більшість з них – синтетичні органічні хімічні сполуки, сумарне світове виробництво яких збільшилося з 150 тис. т у 1935 р. до 150 млн. т у 1995 р. Негативні наслідки цієї “хімічної революції” очевидні. Особливу небезпеку представляють близько 200 речовин, серед яких можна відмітити: бензол, азбест, бенз(а)пірен, пестициди (ДДТ, елдрин, ліндан і інш.), важкі метали, різноманітні барвники і харчові добавки. Цілий ряд речовин антропогенного походження мають таку рухливість, що проникають майже всюди. До таких речовин відносяться фталати, хлорвуглеводні, поліхлорировані біфеніли (ПХБ), поліциклічні ароматичні вуглеводні, діоксини, пентахлорфенол, кадмій і інш. Надзвичайно небезпечними екотоксикантами, що не мають природних аналогів, є *діоксини*, які можуть бути поширені повсюдно в навколишньому середовищі. Усього нараховується більше 200 хлорованих діоксинів, але найбільш небезпечними є 12, а найтоксичнішою сполукою вважається 2,3,7,8-тетрахлордібензодіоксин (ТХДД). Поряд з ТХДД потрібно відмітити також поліхлоровані дібензофурані, які також виявляють токсичну дію (рис. 7.1).

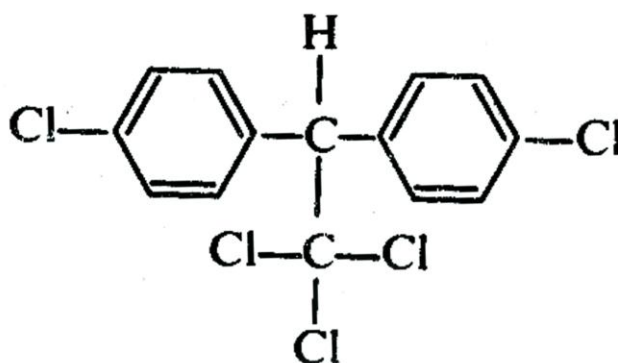
**Біологічне забруднення.** Під біологічним забрудненням розуміється: привнесення в середовище нових, не властивих йому раніше, біонтів; надмірне збільшення чисельності (біомаси) біонтів, що перевищують норму в природних умовах, в тому числі внаслідок набуття ними нових властивостей. Основними факторами, що спричиняють біологічне забруднення є: 1) перенесення людиною живих організмів (*інтродукція*) навмисно (в Нову Зеландію було перевезено 200 видів ссавців і птахів, більше 600 видів рослин) або випадково (колорадський жук, кліщ варроа і т.д.); є приклади успішного заняття вільних екологічних ніш, але є приклади, коли адвентивні види (інтродуценти) витіснили інші види (в Чорному морі молюск рапана витіснив устриць, а гребневик став поїдати зоопланктон, тобто підривати кормову базу риб); 2) антропогенна зміна середовища мешкання, яка сприяє непомірному розмноженню окремих видів біонтів або набуттю ними нових властивостей (наприклад, синантропних тваринних - тарганів, клопів, пацюків і інш., причетних до сфери діяльності людини); 3) відходи виробництва (підприємств біосинтезу, тваринницьких комплексів) і життєдіяльності людей (звалища побутових відходів і т.д.).



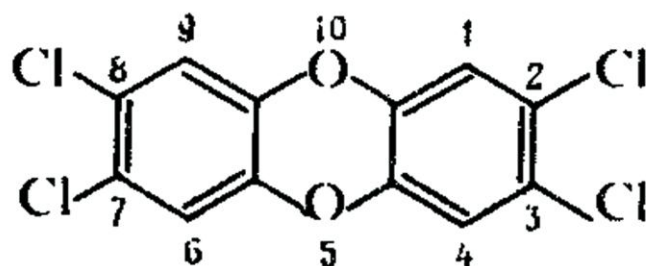
поліхлорбіфеніл (ПХБ)



Бенз(а)пірен



діхлордіфенілтрихлоретан (ДДТ)



2,3,7,8-тетрахлордібензодіоксин (ТХДД)

Рис. 7.1. Хімічна структура деяких екоотоксикантів

## 8 АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА ЙОГО НЕГАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКІ

### 8.1 Види і джерела забруднення атмосфери

Атмосфера - найбільш динамічна оболонка Землі; вона легко піддається впливу антропогенних факторів. Середній склад атмосферного повітря можна подати таким чином:  $N_2$  - 78,1%,  $O_2$  - 20,9 %, Ar – 0,95%,  $CO_2$  - 0.032 %, інші компоненти ( $H_2$ , Ne, He,  $CH_4$  та ін.) знаходяться у вигляді домішок. Є і дещо інші дані про середній склад сухого повітря (об'ємний вміст, %):  $N_2$  – 78,01,  $O_2$  - 20,95, Ar - 0.93,  $CO_2$  – 0,032, Ne –  $1,8 \cdot 10^{-3}$ , He -  $5.24 \cdot 10^{-4}$ ,  $CH_4$  -  $1.4 \cdot 10^{-4}$ , Kr -  $1,14 \cdot 10^{-4}$ ,  $NO_2$  –  $5 \cdot 10^{-5}$ ,  $H_2$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$ , CO, Xe та інші - менш  $млн^{-1}$  (Valley, 1965 - Ф.Рамад, 1981). Присутність в атмосфері газів, пари, твердих частинок і рідких речовин природного і антропогенного генезису, що змінюють фізико-хімічні властивості і склад, пригнічуючи діють на біосистеми, є показником забруднення атмосфери.

Природними джерелами забруднення атмосфери є гази, пил і різні продукти фіто-, зоо- та мікробіоценозів.

Промисловий пил утворюється внаслідок механічної обробки різних матеріалів (дроблення, помел, висадження, заповнення, розрівнювання), теплових процесів (спалення, сушка, плавлення), транспортування сипучих матеріалів. В атмосфері завжди міститься деяка кількість пилу, яка може різко зрости під час пилових бур та вулканічних вивержень (наприклад, після виверження вулкана Кракатау в Зондській протоці у 1883 р. пил обгорнув усю земну кулю). Неорганічний (мінеральний) пил містить продукти вивітрювання гірських порід, морську сіль, частинки попелу після вулканічних вивержень, лісових і степових пожеж. Органічний пил складається з часток рослин і мікроорганізмів. *Пил* - завислі в повітрі тверді частки діаметром більше за 1 мкм. *Аерозолі* - колоїдні системи (0,1 - 0,001 мкм), що містять не тільки тверді, але і рідкі крапельки (нерідко з розчиненими в них ЗР); звичайно до аерозолів відносять крапельки діаметром 0,1 - 1 мкм, тоді як частки такого ж розміру вважаються пилом. Частки діаметром менше за 5 мкм затримуються в бронхах, не вимиваються дощами і тривалий час перебувають в повітрі. Силікатний пил (3 мкм) викликає сілікоз, а азбестовий (голки довжиною більше за 5 мкм) представляє канцерогенну небезпеку. Небезпечні пил і аерозолі, що містять метали (Pb, Cd, Zn, Al, Be, W, Mo, Ti, V і інш.). Пил і аерозолі природного (з морської води, з сухих ґрунтів, при вулканічних виверженнях тощо), а особливо антропогенного походження (промислові і транспортні викиди) часто є причиною алергії, а їх відкладення на листі перешкоджає нормальному ходу фотосинтезу. Для очищення від промислового пилу широко застосовуються сухі (пиловідстійні камери,



циклони, фільтри тощо) і мокрі (турбулентні пиловловлювачі, електрофільтри та інші) методи очищення. Ефективне використання зелених насаджень; необхідно, щоб вони мали ширину 10-30 м і не були сильно густими, бо забруднене повітря огинає посадки зверху, утворюючи завихрення з підвітряного боку. Потрібно відмітити велику роль лісових екосистем: 1 га ялинового лісу збирає на рік 32 т пилу, соснового - 36,4 т, букового - до 68 т [24].

Рідкі ЗР утворюються при конденсації парів, розливі рідин, внаслідок хімічних реакцій та інших процесах.

Газоподібні ЗР формуються внаслідок хімічних реакцій (наприклад, окислення руд, випалення нерудної мінеральної сировини). При спаленні органічного палива утворюються величезні кількості газів - оксидів сірки, азоту та вуглецю, важких і радіоактивних металів. Могутнім джерелом газоподібних сполук є хімічні реакції розкладання (виробництво фосфорних добрив), електрохімічні процеси (виробництво алюмінію), випаровування, дистиляція [26].

Ступінь забруднення атмосферного повітря міст у 15 разів вищий від сільської місцевості і у 150 разів вищий, ніж над океаном; в промислових частинах міст випадає близько 1 кг пилу й сажі на 1 м<sup>2</sup>. У забруднених містах помітно знижується прозорість повітря. Від техногенних джерел щорічно в атмосферу надходить 350 млн. т оксидів вуглецю, 145 млн. т сірчистого газу, 20 млн. т оксидів азоту (табл.8.1).

Головними джерелами забруднення атмосфери є: 1) теплові електростанції (ТЕС) і теплоелектроцентралі (ТЕЦ); 2) транспорт (переважно автотранспорт); 3) чорна і кольорова металургія; 4) машинобудування; 5) хімічне виробництво; 6) видобуток і переробка мінеральної сировини; 7) відкриті джерела (видобутки, сільськогосподарське рілля, будівництво).

Навіть при значному вмісті природних домішок вони не справляють такого сильного негативного впливу на оточуюче природне середовище, як домішки антропогенного походження.

Теплові електростанції і теплоелектроцентралі, що спалюють тверде (торф, вугілля, горючі сланці), рідке (нафта, мазут) і газоподібне (газ) паливо, відносяться до найбільш поширених і могутніх джерел викидів шкідливих ЗР в атмосферу.

Таблиця 8.1

Порівняльна характеристика викидів забруднюючих речовин природного і антропогенного генезису в атмосфері [1]

Забруднююча речовина	Природні викиди, т/рік	Антропогенні викиди, т/рік
CO	-	$3,5 \cdot 10^8$
SO <sub>2</sub>	$1,4 \cdot 10^8$	$1,45 \cdot 10^8$
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	$1,4 \cdot 10^9$	$1,5-2,0 \cdot 10^7$
Тверді частки	$7,7-22,0 \cdot 10^{10}$	$9,6-26,0 \cdot 10^{10}$
Фреони	-	$2,0 \cdot 10^6$
O <sub>3</sub>	$2,0 \cdot 10^9$	-
Вуглеводні	$1,0 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^6$
Pb	-	$2,0 \cdot 10^5$
Hg	-	$5,0 \cdot 10^3$

Основними ЗР, що надходять до атмосфери при спаленні палива, є тверді частки (зола, сажа), оксиди сірки (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), оксиди азоту (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Оксиди сірки утворюються при спаленні сітчастого вугілля і нафтопродуктів. Утворення оксидів залежить від температури спалення, надлишку повітря, вмісту азоту в горючій масі; спочатку утвориться NO, який окислюється при високій температурі і надлишку повітря киснем до NO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. При неповному згорянні палива в газоподібних викидах знаходяться оксид вуглецю (CO), вуглеводні типу C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> і C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>, поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), токсичні сполуки типу бенз(а)пірену і пентаоксиду ванадію (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) та інш. Серед хімічних канцерогенів провідне місце займають ПАВ, що утворюються при спаленні палива і його термічній переробці. Разом з викидами в атмосферу надходять також вельми токсичні метали (Be, As, Se, V, Cd, Hg і інш.) і радіонукліди (<sup>236</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K), які можуть бути джерелами несприятливих впливів на природне середовище.

Транспорт (особливо автомобільний) є одним з найважливіших джерел забруднення атмосфери. Баланс викидів транспорту: автомобільний – 70%, сільськогосподарський – 9,4%, повітряний – 7,3%, водний – 4,1%. Понад 300 млн. автомашин щодня викидають в повітря 800 тис. т чадного газу (CO), близько 1 тис. т свинцю. Один автомобіль, проходячи за рік 15 тис. км, потребує близько 4 т кисню, спалює 2-3 т палива й викидає в довкілля 3250 кг CO<sub>2</sub>, 530 кг CO, 27 кг NO<sub>x</sub>, 10 кг гумового пилу. До складу вихлопних газів входить близько 200 хімічних сполук, з яких найбільш токсичні CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> (в т.ч. ПАВ), альдегіди, Pb. У великих містах автотранспортом викидається близько 90% CO, 70% C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> та 90-98% Pb. При спаленні бензину в повітря надходить

свинець, який входить до антидетонаторної добавки -  $(C_2H_5)_4Pb$  або  $(CH_3)_4Pb$ . Транспорт є джерелом пилу, а також шуму і вібрації. Кількість шкідливих речовин, що надходять в атмосферу в складі відпрацьованих газів, залежить від типу двигуна, режиму його роботи і загального технічного стану автомобіля. Так, при порушенні регулювання карбюратора викиди CO збільшуються в 4-5 раз. Максимальний викид бенз(а)пірену у вихлопних газах бензинового двигуна відмічається на холостому ходу, при роботі в режимі великих навантажень. Викид вихлопних газів відбувається поблизу органів дихання людини. Більшість компонентів вихлопних газів автомобілів негативно впливають на організм людини, а окремі компоненти беруть участь в утворенні смогу.

У чорній і кольоровій металургії кокс є продуктом багатьох технологічних процесів. Виробництво коксу супроводиться виділенням твердих і газоподібних ЗР. Джерелом викиду твердих часток в металургії є виробництво чавуна, сталі, феросплавів. Кольорова металургія є джерелом пилу і могутніх газоподібних викидів  $SO_2$ , оксидів As, Pb, Sb і Cu.

У машинобудівному і металообробному виробництві виділяється пил, що містить оксиди Fe, Mn, Mg, Al, P і ряду інших хімічних елементів. Велика кількість пилу виділяється при приготуванні формовочних сумішей. При газовому різанні металів виділяються токсичні сполучення Cr, Ni і Mn, CO,  $NO_x$ , а при плазменному різанні утвориться ще  $O_3$ . Гальванічні цехи є джерелом парів HCl,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  або HF.

З величезної кількості CO, що викидаються підприємствами хімічної промисловості, найбільш важливими як за об'ємом, так і за токсичністю є  $Cl_2$ ,  $NO_x$ ,  $H_2S$ , HF і інш., а з органічних сполук - тіоли, вуглеводні, альдегіди, кетони і органічні кислоти.

При видобутку і переробці мінеральної сировини атмосфера забруднюється пилом і частками самої корисної копалини в процесі подрібнення і випалення природних і штучних матеріалів. При окисленні і газифікації вуглистих порід териконів в атмосферу надходять  $CO_2$ , CO,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  та інш.

Відкрита розробка родовищ корисних копалин звичайно характеризується більш інтенсивним забрудненням атмосфери пилом, газами, що утворюються при вибухах і роботі транспорту ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , вуглеводні, альдегіди). Так, в кар'єрах Криворізького басейну утворюється 11 тис. т/рік токсичних газів (в перерахунку на CO).

При виробництві будівельних матеріалів джерелами надходження в атмосферу твердих часток (карбонати і оксиди кальцію, шлак, цемент тощо) є цементні заводи, установки по виробництву магнезиту, печі по випаленню цегли, кар'єри, підприємства по випуску ізоляційних матеріалів, керамічні заводи, установки по виробництву асфальту тощо. Найбільша кількість газоподібних ЗР утворюється при виробництві цементу; при випаленні цегли можуть виникнути викиди сполучень фтору

і діоксиду сірки, в скляній промисловості - викиди фтору і оксидів азоту.

У сільськогосподарському виробництві атмосферу забруднюють тваринницькі і птахівницькі ферми, промислові комплекси по виробництву м'яса (аміак, сірковуглець, меркаптани і інш.), енергетичні підприємства. До джерел поширення агрохімікатів відносяться склади, самі поля, на які вносяться отрутохімікати і мінеральні добрива.

Техногенні джерела забруднення розрізняються за призначенням (технологічні, вентиляційні викиди), за місцем розташування (високі, незатінені, такі, що знаходяться у зоні дії вітрового потоку; затінені, низькі, розташовані нижче за будинки; наземні), за геометричною формою (точкові та лінійні), за режимом роботи (безперервні, періодичної дії, залпові і миттєві) і за дальністю поширювання (внутрішньо-площинні й позаплощинні). Основна маса забруднювачів повітря (75%) припадає на продукти спалювання сучасної та викопної органічної речовини (деревина, торф, вугілля, горючі сланці, нафта і т.д.). Надзвичайно велике забруднення атмосфери ТЕС; їх «внесок» складає 100-120 млн. т золи на рік (великі ТЕС можуть викидати до тис. тонн на добу). За даними І.В.Давиденко (1982) після спалення протягом одного року 2,1 млрд. т кам'яного вугілля і 0,8 млрд. т бурого вугілля у довкілля викидається 225 тис. т миш'яку (для порівняння: річне виробництво миш'яку в світі - 40 тис. т), 255 тис. т германію (виробництво - 100 т), 153 тис. т кобальту (виробляється 1,3 тис. т). Забруднення атмосфери у районах паливно-енергетичних комплексів обумовлене інтенсивними газодимовими викидами, розробкою вугільних кар'єрів і т.д. При цьому однією із основних забруднюючих речовин є сірка і її сполуки. Внаслідок викидів підприємств металургії, хімічної, нафтопереробної та інших видів промисловості до атмосфери надходять величезні кількості різних оксидів, вуглеводнів, пилу, диму і багатьох інших речовин, в т.ч. токсичних, канцерогенних і мутагенних ЗР.

## **8.2 Перенесення і трансформація забруднюючих речовин в атмосфері**

Нерівномірний нагрів атмосфери і землі у різних частинах планети призводить до того, що над земною поверхнею відбувається складна циркуляція повітряних течій, трансформуються і переносяться на різні відстані ЗР незалежно від їх природи й агрегатного стану. Деякі ЗР техногенного генезису знаходяться у атмосфері в природних умовах і їх надходження збільшує лише фонові концентрації. До них відносяться  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  та його гомологи, які надходять внаслідок вулканічних та біохімічних процесів. Інші (радіоактивні речовини, пестициди, численні синтезовані органічні речовини і т.д.) мають виключно антропогенне походження. Основну роль у глобальному забрудненні БС відіграють

тропосфера й стратосфера. Середня тривалість існування легких частинок ЗР в стратосфері складає 2 роки, на рівні тропопаузи - 4 місяці, у верхній тропосфері - 30 діб, в нижній тропосфері - 6-10 діб. Однак тривалість існування газів антропогенного генезису сягає 2-4 місяців. У першу чергу це відноситься до малоактивних летючих синтетичних речовин і інертних газів; в результаті, в атмосфері нагромаджуються продукти викиду ядерних реакторів типу криптону-85 ( $^{85}\text{Kr}$ ) з періодом піврозпаду 10,5 років.

У більшості випадків основна частина ЗР, що надходять до атмосфери, випадає на поверхню землі на порівняно невеликих відстанях. Так, концентрація неорганічного пилу на відстані 15 км від міста зменшується майже на порядок, концентрація  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  зменшується у 1,5-2 рази. Радіус зони впливу забруднюючих підприємств складає 2-3 км; у межах цієї зони вміст  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Sn}$  у 3-5 разів перевершує фоновий, а у безпосередній близькості до джерела перевищує у 50-150 разів (М.Г. Журавльова і ін., 1982). Інтенсивність випадання бенз(а)пірену на різних відстанях від джерела емісії складає: до 18  $\text{кг/км}^2$  на відстані менше ніж 1 км, від 0,001 до 5  $\text{кг/км}^2$  - на відстані 10 км, близько 0,003  $\text{кг/км}^2$  - на відстані 30 км (А.І. Шиліна, А.В. Журавльова, 1980). Слід відзначити, що бенз(а)пирен, а також пестициди (наприклад, ДДТ) виявлені в пробах снігу і льоду в таких віддалених районах від техногенних джерел як Антарктида. Дальність переносу ЗР, що викидаються в атмосферу залежить від трансформації їх у атмосфері. Наприклад,  $\text{SO}_2$ , який надходить до атмосфери, зазнає ланцюжок перетворень:  $\text{SO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{MeSO}_4$  (Me – метал). Ці три види сполучень сірки випадають на різних відстанях (зона впливу  $\text{SO}_2$  - до 40-50 км, зона впливу  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{MeSO}_4$  – до 300 км, зона закислення опадів,  $\text{pH} < 5$  - до 2000 км). На дальність переносу ЗР у атмосфері впливає також і те, у якій формі, розчинній або нерозчинній атмосферними опадами, вони знаходяться. Більшою мірою з віддаленням від джерел викидів у опадах збільшується кількість розчинних форм домішок. Так, в міру віддалення від металургійного заводу доля важких металів у розчинних опадами сполученнях збільшується. Умовно виділяються три градації дальності переносу ЗР у атмосфері: локальний - до 10 км, мезомасштабний - 10-100 км та дальній - більш 100 км від джерела викидів (А.В. Лисак, І.М. Назаров, А.Г. Рябошапко, 1979).

Концентрації основних ЗР істотно змінюються в залежності від метеорологічних умов та рельєфу місцевості.

Одним з основних газоподібних ЗР є оксид вуглецю ( $\text{CO}$ ) - постійний компонент атмосфери (0,01-0,9  $\text{мг/м}^3$ ; причому в північній півкулі в 3 рази більше ніж в південній). Природні джерела  $\text{CO}$ : неповне згоряння органічної речовини, виділення живими організмами, вулканічні і болотяні гази, лісові та степові пожежі, окислення  $\text{CH}_4$  в тропосфері тощо. Антропогенні джерела  $\text{CO}$ : неповне згоряння сучасного і викопного

органічного палива (підприємства теплоенергетики, хімічної, металургійної, нафтохімічної промисловості, автотранспорт і ін.). Більше за 60% викидів CO припадає на автотранспорт; при пробігу 1 автомобіля за рік викидається більше ніж 500 кг CO, який становить 12% вихлопних газів, що містять крім нього більше ніж 200 хімічних сполук. Тривалість перебування в атмосфері складає близько 2 місяців. Досягаючи стратосфери, CO окислюється до CO<sub>2</sub>, а при взаємодії CO з гідроксильними радикалами утворює формальдегід і бере участь у відновленні HNO<sub>3</sub> в NO<sub>2</sub>. Оксид вуглецю поглинається мікроорганізмами і грибками, що окисляють його до CO<sub>2</sub>. Деякі морські водорості нагромаджують його до 5%; океан не тільки поглинає CO, але і є його джерелом. Він справляє токсичний вплив на клітки, порушуючи тканинне дихання і зменшуючи споживання тканинами кисню, він легко сполучається з гемоглобіном (червоними кров'яними тільцями) і утворює карбоксигемоглобін (COHb). У великих містах вміст CO варіює від 1 до 250 млн<sup>-1</sup> (середнє 20 млн<sup>-1</sup>).

*Оксиди азоту (NO<sub>x</sub>).* Значна кількість NO<sub>x</sub> утворюється в процесі горіння при високій температурі (N<sub>2</sub> ⇌ NO ⇌ NO<sub>2</sub> ⇌ N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) передусім в двигунах внутрішнього згорання, працюючих на вуглеводневій сировині. Діоксид азоту - стійкий газ, що зберігається в атмосфері близько 3 діб. Сполучившись з парами води, сприяє утворенню кислотних опадів (NO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O ⇌ HNO<sub>2</sub> ⇌ HNO<sub>3</sub>), взаємодіючи з вуглеводнями в присутності сонячного світла утворює *пероксиацетилнітрат (ПАН)* і інші фотохімічні окислювачі (O<sub>3</sub> і ін.) - складові фотохімічного смогу.

*Оксиди сірки (SO<sub>x</sub>).* утворюються в основному при спаленні органічного палива, що містить сірку (вугілля, нафтопродуктів і інш.). Під впливом ультрафіолетових променів руйнується з утворенням сірчаного ангідриду (2SO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> ⇌ 2SO<sub>3</sub> + 185 кДж), а при контакті з водяною парою утворюється сірчаста, а потім і сірчана кислота (SO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O ⇌ H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ⇌ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

*Озон* і багато інших фотохімічних окислювачів утворюються при хімічній взаємодії між NO<sub>x</sub> і вуглеводнями під дією сонячної енергії. Під дією сонячної енергії NO<sub>2</sub> розпадається на NO і атом O, а той, сполучаючись з O<sub>2</sub>, утворює O<sub>3</sub> (NO<sub>2</sub> ⇌ NO + O + O<sub>2</sub> ⇌ O<sub>3</sub>). Якщо відсутні інші фактори, то процес буде оборотним (O<sub>3</sub> + NO ⇌ NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>). Отже, NO<sub>2</sub> зв'язується і відбувається накопичення озону (NO<sub>2</sub> ⇌ NO + O + O<sub>2</sub> ⇌ O<sub>3</sub>).

Таким чином, багато які ЗР, навіть у дуже малих концентраціях, можуть вступати між собою в хімічні реакції і утворювати нові сильно токсичні речовини (наприклад, SO<sub>2</sub> окислюється у SO<sub>3</sub>, який, реагуючи з водяною парою, утворює H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; NO<sub>x</sub>, вступаючи в реакцію з вуглеводнями, утворюють ПАН). Майже у всіх випадках ЗР атмосфери рано чи пізно розчинюються у водах або поглинаються ґрунтами, а потім трансформуються рослинами або мікроорганізмами в інші речовини. Так,

CO окислюється до CO<sub>2</sub> ґрунтовими організмами, H<sub>2</sub>S перетворюється на сульфати й далі на сірку та включається автотрофами у амінокислоти. Тверді частинки осідають на земній поверхні або сорбуються опадами. Це обумовлює пряме попадання твердих частинок в океани і на сушу. Континентальними водами вони переносяться в океан, де течії закінчують їх розсіяння. Відбувається надходження ЗР до природних середовищ, контактуючих та пов'язаних з атмосферою.

### 8.3 Вплив забруднюючих речовин атмосфери на біосистеми

Атмосферне повітря є середовищем безпосереднього існування людей, а існуючий його склад - умовою життя. Якщо без їжі людина може прожити до 2 місяців, а без води - декілька днів, то без повітря - усього декілька хвилин. Протягом доби людина споживає 500 літрів кисню, пропускаючи через легені 10 тисяч літрів (12 кг) повітря, у той час як за такий же проміжок часу вона поглинає лише 1,5 - 2 кг їжі і води. Тому стан повітряного середовища має особливо важливе значення для нормального функціонування людського організму й підтримки здоров'я.

Всі ЗР атмосфери у тій чи іншій мірі справляють негативний вплив на здоров'я людини. Вони надходять до організму людини у основному через органи дихання. Близько 50% частинок діаметром 0,02 - 0,2 мкм (1 мкм = 10<sup>-6</sup> м), які проникають у легені, осаджуються там і справляють негативний ефект. У комплексі вони призводять до ураження верхніх дихальних шляхів, астми, емфіземи легенів, серцевої недостатності і т.д. Оксиди азоту поглинаються кров'ю, справляють шкідливий вплив на зір, дихання; свинець руйнує еритроцити крові; аренові вуглеводні є канцерогенами; дрібні частинки пилу подразнюють слизову оболонку, а азбестовий пил може викликати фіброз легенів і рак. Оксид вуглецю (чадний газ), який отрує організм людини, при тривалому впливі викликає безплідність. У природних умовах концентрація CO дуже незначна - не більш 0,2 млн<sup>-1</sup>. Концентрації CO значно вищі гранично допустимих (ГДК максимальна разова – 5 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова - 3 мг/м<sup>3</sup>) призводять до фізіологічних змін в організмі, а концентрації більші ніж 750 млн<sup>-1</sup> - до летального наслідку. Ступінь впливу залежить не лише від концентрації, але й від тривалості впливу CO. Щороку до атмосфери надходить близько 380 млн тонн CO, який може знаходитись у атмосфері 2-4 місяці. Однак концентрація CO у атмосфері не збільшується завдяки ґрунтовим мікроорганізмам, які розкладають CO, і, меншою мірою, через трансформацію CO в CO<sub>2</sub>. Основна маса CO утворюється при неповному згорянні вуглеводневого палива, вугілля, деревини, промислових відходів і при лісових пожежах.

Сумарна дія різних ЗР у повітрі може несприятливо впливати на організм, тому при нормуванні гранично допустимих концентрацій

передбачене урахування ефекту сумачії шкідливої дії ряду речовин (ацетону, фенолу, сірководню, сірчаної кислоти та ін.). Особливо небезпечні сполуки: сірчистий ангідрид - діоксид азоту, сірчистий ангідрид - фенол, діоксид азоту - формальдегід.

ЗР атмосфери негативно впливають на всі фіто- і зооценози. Так, деякі хімічні компоненти, проникаючи в рослинні тканини, порушують обмін речовин, структуру листя і пагонів. Найбільш небезпечні для рослин сірчистий ангідрид ( $\text{SO}_2$ ), фторутримуючі сполуки і смоги усіх типів. Рослини по-різному сприйнятливі до забруднення повітря (найбільш сприйнятливі - жито, пшениця, ячмінь, яблуня, береза, груша, сосна; більш стійкі - вишня, бузок, дуб тощо).

#### **8.4 Критерії санітарно-гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря**

Санітарно-гігієнічні нормативи забезпечують такий рівень забруднення, який не виводить концентрації певних пріоритетних антропогенних ЗР за допустимий діапазон, що є свого роду стандартом. Він являє собою величини гранично допустимих концентрацій (ГДК), тимчасово допустимих концентрацій (ТДК), ЛК (летальних концентрацій), порогових концентрацій (ПК), орієнтовно безпечних рівнів впливу (ОБРВ) та інш.

*Гранично допустима концентрація* - максимальна концентрація *шкідливої речовини* (ШР) в атмосферному повітрі, віднесена до певного часу осереднення, яка при періодичному впливі або протягом всього життя людини не впливає і не вплине шкідливим чином (включаючи віддалені наслідки) на неї і на навколишнє середовище загалом.

До останнього часу у всіх визначеннях ГДК переважав антропоцентричний підхід. Так, по визначенню М.Ф. Реймерса [5], «ГДК - норматив, кількість ШР в навколишньому середовищі, яка при постійному контакті або при впливі за певний проміжок часу практично не впливає на здоров'я людини і не викликає несприятливих наслідків у його потомства». Останнім часом при визначенні ГДК враховується не тільки міра впливу забруднювачів на здоров'я людини, але і їх вплив на диких тварин, рослини, гриби, мікроорганізми, а також на природні співтовариства загалом. Якщо речовина справляє шкідливий вплив на НПС в менших концентраціях, ніж на людину, то при нормуванні виходять з порогу дії цієї речовини на НПС (біологічні нормативи). Останні дослідження привели до висновку про відсутність нижніх безпечних порогів, а отже ГДК, при впливі канцерогенів антропогенного походження (наприклад, ПХБ, діоксини і інш.) і іонізуючої радіації. Будь-яке перевищення ними звичних природних фонів небезпечно для живих організмів, хоч би генетично, в ланцюзі поколінь.



Критерії якості НПС запропоновані Міністерством охорони здоров'я країни після дослідів на тваринах і добровольцях-людях по визначенню безпечних рівнів впливу токсичних речовин на живі організми. *ГДК* в Україні, Росії і інших країнах закріплені законодавчо. Відповідність якості НПС цим стандартам контролюється відповідними органами нагляду. Таким чином, повинно виконуватися таке співвідношення між концентрацією (*C*) і *ГДК* (обидві мають розмірність - мг/м<sup>3</sup>):

$$C \leq \text{ГДК} \quad (8.1)$$

Встановлено, що в місцях відпочинку людей (рекреаційні зони) рівень забруднення атмосфери не повинен перевищувати 0,8 *ГДК*. Деякі ШР мають однонаправлену дію або володіють *ефектом сумації*. При наявності в атмосфері декількох (*n*) шкідливих речовин, що справляють сумарну дію, їх безрозмірна сумарна концентрація не повинна перевищувати одиниці:

$$C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + \dots + C_n/\text{ГДК}_n \leq 1 \quad (8.2)$$

*Ефектом сумації* володіють, наприклад, фенол і діоксид сірки; діоксид сірки і діоксид азоту; діоксид сірки і сірководень; озон, діоксид азоту і формальдегід і ін.

У залежності від часу впливу розрізняють *ГДК максимальні разові* (*ГДК<sub>мр</sub>*), *середні добові* (*ГДК<sub>сд</sub>*) і *робочої зони* (*ГДК<sub>рз</sub>*). *ГДК<sub>мр</sub>* - відноситься до 20-30 хвилинного інтервалу осереднення, встановлюється для попередження рефлекторних реакцій людини (відчуття запаху, світлочутливість) і не викликає змін біоелектричної активності головного мозку. *ГДК<sub>сд</sub>* - концентрація ЗР в повітрі, що не справляє на людину прямого або непрямого шкідливого впливу при цілодобовому вдиханні; відноситься до необмеженого періоду осереднення і введена з метою попередження загальнотоксичної, мутагенної, канцерогенної або іншої дії. *ГДК<sub>рз</sub>* - це рівень концентрації ЗР, який не повинен викликати у робітників при щоденному вдиханні протягом 8 годин (але не більше 41 години на тиждень) захворювань або призводити до погіршення стану здоров'я у віддалені терміни. Під робочою зоною розуміють шар повітряного простору висотою 2 м, де розташовується постійне або тимчасове робоче місце.

Таким чином, санітарно-гігієнічні нормативи повинні забезпечувати фізіологічний оптимум для життя людини. Приклади *ГДК* деяких забруднюючих речовин наведені в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2

Гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин  
в атмосферному повітрі населених пунктів

<i>ЗР</i>	<i>ГДК<sub>мр</sub></i>	<i>ГДК<sub>сд</sub></i>	<i>ГДК<sub>рз</sub></i>	<i>Клас небезпеки</i>
Діоксид азоту	0,085	0,04	5,0	2
Діоксид сірки	0,5	0,05	10,0	3
Оксид вуглецю	5,0	3,0	-	4
Пил	0,5	0,15	-	3
Аміак	0,2	0,04	20,0	4
Ртуть	-	0,0003	0,01	1

Розроблені класи небезпеки шкідливих речовин: 1 - *надзвичайно небезпечні* (наприклад, бенз(а)пірен, свинець, барій, сполуки ртуті, озон, хром, гексахлоран, ціановодень, оксид ванадію, ДДТ і інш.); 2 - *високо небезпечні* (сірчана кислота, сірководень, кофеїн, феноли, діоксид азоту, бензол, хлор, оксиди марганцю і інш.); 3 - *помірно небезпечні* (діоксид сірки, тютюн, бутиловий спирт, пил, сажа і інш.); 4 - *мало небезпечні* (оксид вуглецю, етиловий спирт, аміак, нафталін, ацетон, скипидар і інш.).

### 8.5 Принципи оцінки гранично допустимого викиду шкідливих речовин в атмосфері

*Гранично допустимий викид* шкідливих речовин в атмосферу (*ГДВ*) встановлюється для кожного джерела забруднення атмосфери таким чином, що викиди шкідливих речовин від даного джерела і від сукупності джерел міста або іншого населеного пункту з урахуванням розвитку промислових підприємств і розсіювання ШР в атмосфері не створюють приземну концентрацію, що перевищує їх ГДК для населення, рослинного і тваринного світу (ГОСТ 17.2.3.02-78).

При встановленні *ГДВ* концентрація кожної ШР в приземному шарі атмосфери *C* не повинна перевищувати максимальної разової (8.1). При наявності в атмосфері декількох (*n*) шкідливих речовин, що володіють сумациєю дії, їх безрозмірна сумарна концентрація не повинна перевищувати одиниці (8.2).

Як вже було помічено раніше, при наявності фонового забруднення атмосфери, що формується внаслідок перемішування всіх викидів населеного пункту, в попередніх співвідношеннях замість *C* потрібно приймати  $C + C_f$ , де  $C_f$  - фонові концентрації ШР.

*ГДВ* (г/с) встановлюються для умов повного навантаження технологічного обладнання і системи очищення газів і їх нормальної роботи. *ГДВ* не повинні перевищуватися в будь-який 20-хвилинний період

часу. Поряд з  $\Gamma_{ДВ}$  для окремих джерел встановлюється  $\Gamma_{ДВ}$  для підприємства загалом.

$\Gamma_{ДВ}$  визначається для кожної речовини окремо, в тому числі і для речовин, що володіють ефектом сумачії. Значення  $\Gamma_{ДВ}$  (г/с) для одиночного гарячого джерела з круглим гирлом у випадках, коли фонові концентрація  $C_{\phi} < \Gamma_{ДК}$  визначається за формулою:

$$\Gamma_{ДВ} = \frac{(\Gamma_{ДК} - C_{\phi}) H^2}{A F m n \eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}, \quad (8.3)$$

Для одиночного джерела з холодними викидами ( $\Delta T \cong 0$ )  $\Gamma_{ДВ}$  визначається за формулою:

$$\Gamma_{ДВ} = \frac{(\Gamma_{ДК} - C_{\phi}) H^{4/3} V_1}{A F n \eta D}. \quad (8.4)$$

Тут  $\Gamma_{ДК}$  максимальна разова, вона також як і  $C_{\phi}$ , має одиниці вимірювання мг/м<sup>3</sup>;

$A$  - коефіцієнт, що враховує здатність атмосфери до розсіювання або накопичення домішки і залежить від температурної стратифікації атмосфери. Може приймати значення від 250 (Середня Азія, Забайкалля) до 140 (середня смуга Росії - Московська обл. і ін.); в районі Одеси  $A = 200$ ;

$F$  - безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі ( $F = 1$  для газоподібних домішок і дрібнодисперсних аерозолів, швидкість впорядкованого осідання яких практично дорівнює нулю,  $F$  може досягати 3, якщо тверді домішки надходять до атмосфери без очищення або при експлуатаційному коефіцієнті очищення менше за 75%);

$m, n$  - безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду (розраховуються за формулами з ОНД-86);

$\eta$  - безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості (для Одеси  $\eta = 1$ );

$H$  - висота джерела викиду над рівнем землі (м);

$V_1$  (м<sup>3</sup>/с) - витрата газоповітряної суміші, що визначається за формулою  $V_1 = \pi D^2 \omega_0 / 4$ ;

$D$  - діаметр гирла джерела викиду (м);

$\omega_0$  - середня швидкість виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду (м/с);

$\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) - різниця між температурою газоповітряної суміші  $T_{\text{г}}$ , що викидається, і температурою навколишнього атмосферного повітря  $T_{\text{а}}$ .

### 8.6 Негативні наслідки забруднення атмосфери та шляхи її захисту

Основними негативними наслідками антропогенного впливу на атмосферне повітря є: смоги різних типів, кислотні опади, руйнування озонового шару, глобальне розігрівання нижніх шарів атмосфери, погіршення умов мешкання аеробних живих організмів тощо.

**Смоги різних типів.** Розрізняють смог лондонського (в умовах вологого клімату з частими туманами), лос-анджелеського (в умовах сухого антициклонального клімату) та аляскинського (льодяного) типів. Найбільший інтерес представляє смог лос-анджелеського типу або фотохімічний смог - повторне забруднення атмосфери, яке виникає внаслідок розкладання ЗР сонячними, особливо ультрафіолетовим, випромінюванням (рис.8.1).

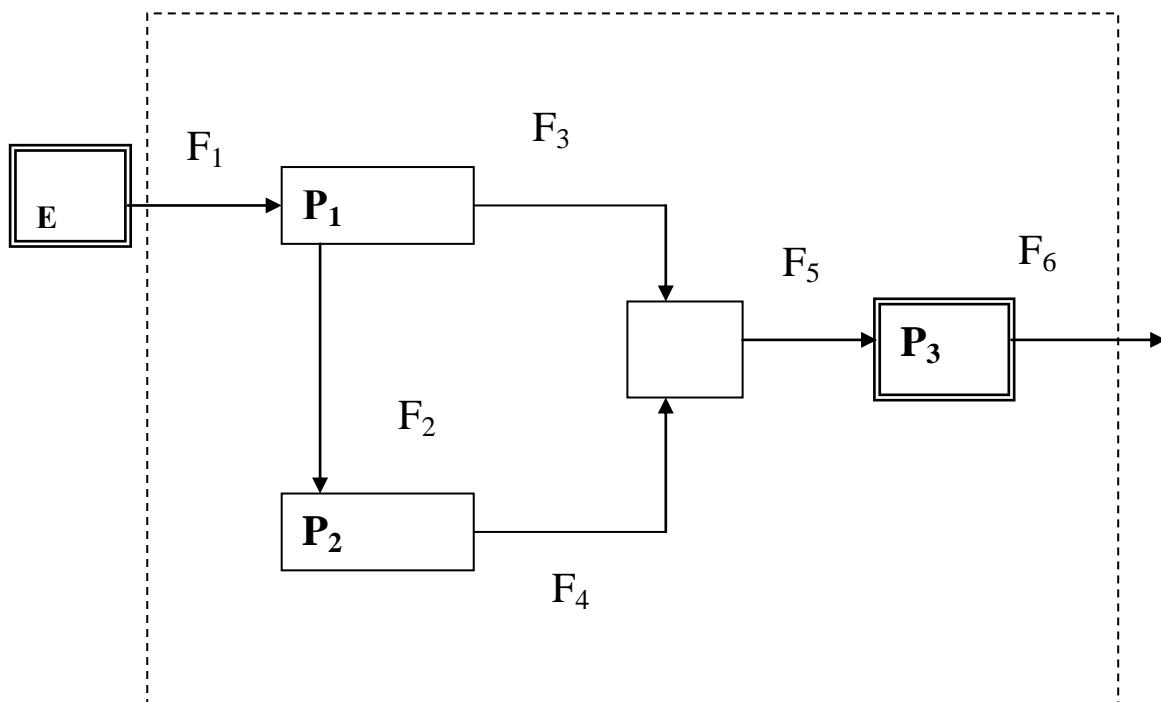


Рис. 8.1. Блок-схема утворення смогу [4]  
(E – рушійна сила, P – властивості, F – потоки, I – взаємодії)

Основними компонентами фотохімічного смогу є  $O_3$ , а додатковими -  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $HNO_3$ ,  $ПАН$  та інші. На утворення і стійкість фотохімічного смогу впливають температурні інверсії в атмосфері, негативні форми рельєфу і інші фактори, які ведуть до зниження поширення ЗР і збільшення їх концентрації в приземній частині атмосфери. Так, в Мехіко і Лос-Анджелесі навколишні гори перешкоджають горизонтальному стоку ЗР, а температурні інверсії - їх вертикальному стоку. Для формування фотохімічного смогу необхідно, щоб первинні ЗР поступали в значній кількості (наприклад, разом з вихлопними газами автомобілів) і досить активно протікали фотохімічні реакції. Вважається, що фотохімічний смог має місце при концентрації фотооксидантів не менше за  $0,21 \text{ мг/м}^3$ , що відмічається при великій кількості вихлопних газів або інших джерел ЗР. Смог лондонського типу - поєднання газоподібних ЗР (в основному  $SO_2$ ), пилюватих часток і крапель туману. Концентрація  $O_3$  при цьому може досягати  $18 \text{ млн}^{-1}$  при нормі  $2-4 \text{ млн}^{-1}$ . Смог аляскинського типу формується при поєднанні шкідливих газів, пилу і замерзлих крапель туману.

**Кислотні опади** (дощ, туман, сніг). Термін «кислотні дощі» введено в обіг англійським інженером Р. Смітом в 1872 р. у праці «Повітря і дощ: початки хімічної кліматології», однак дослідження кислотних дощів почалися лише в 60-х роках нашого століття.

Актуальність проблеми кислотних дощів обумовлена її глобальним характером внаслідок того, що кислотні опади, які утворюються, переносяться повітряними потоками на великі відстані й охоплюють своїм негативним впливом значні території. Утворення кислотних опадів пов'язане в основному з техногенними викидами в атмосферу  $SO_2$  і  $NO_x$ , але основне значення має надходження  $SO_2$ . Оксиди сірки і азоту поступово реагують з парами води і утворюють кислоти. Величина  $pH$  залежить як від кількості кислот, так і води, в якій вони розчинені (зливові опади звичайно менш кислі). Щорічно при спалюванні сіркоутримуючих каустобіолітів (вміст сірки може сягати 5%) в атмосферу надходить близько 150 млн. т  $SO_2$ , який утворює сірчисту кислоту:  $SO_2 + H_2O = H_2SO_3 + 76 \text{ кДж}$ . У забрудненій атмосфері відбувається також реакція:  $SO_2 + NO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_4 + NO$ , що призводить до утворення сірчаної кислоти. Навколо промислових зон атмосферні опади звичайно в 10-1000 раз кисліші за нормальних. Високі труби (до 300 м) були побудовані для зменшення забруднення приземного атмосферного повітря, але це призвело до розсіювання ШР на величезні відстані і перетворення оксидів сірки і азоту у відповідні кислоти на відстанях в сотні кілометрів від джерел їх викиду. Оксиди сірки та азоту, які викидаються в атмосферу, поєднуючись з атмосферною вологою, утворюють сірчану і азотну кислоти, які дисоціюють на іони  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  та  $H^+$  ( $pH$  для кислотних опадів знаходиться у межах від 5,6-5,5 до 2-1,5). Кислі опади утримують у

великій кількості іони  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $H^+$ , а також важкі метали. Кислотні опади вимивають біогени з ґрунтів, призводять до деградації лісів, погіршують якість природних вод, негативно позначаються на умовах мешкання гідробіонтів. Негативний вплив кислотних опадів відбивається на ґрунтово-рослинному покриві, поверхневих та підземних водах. Вони руйнівні діють і на інженерні споруди. Так, мармурові будівлі Рима, Афін та Каїру більш ушкоджені кислотними опадами у наш час, ніж за минулі 2,5 тис. років процесами природного фізико-хімічного вивітрювання. Захистити ЕС від змін під впливом кислотних опадів можуть *буфери* - речовини, здатні поглинати іони водню ( $CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + CO_2 + H_2O$ ), внаслідок чого величина *pH* стає близькою до 7. Однак буферна ємність знижується, що призводить до деградації ЕС.

**Деградація озонового шару.** Більше ніж 90% ультрафіолетового (УФ) випромінювання (довжиною менше за 0,1 мкм) поглинається озоновим шаром. Озон утворюється під впливом УФ-променів із молекул кисню, однак не весь  $O_2$  перетворюється на  $O_3$ , оскільки вільні атоми кисню, реагуючи один з одним, дають молекули  $O_2$  ( $O + O \rightarrow O_2$ ). Таким чином, між  $O_2$  і  $O_3$  встановлюється і підтримується рівновага. *Озоноактивні складові* атмосфери каталізують розпад  $O_3$ . Концентрації їх незначні:  $CFCl_2$  (ХФВ-11) - 0,226 млн<sup>-1</sup>,  $CFCl_3$  (ХФУ-12) - 0,392 млн<sup>-1</sup>,  $CH_3CCl_3$  (метилхлороформ) - 0,139 млн<sup>-1</sup> тощо. Однак деякі руйнівники озонового екрана присутні в більш високих концентраціях:  $N_2O$  - 307 млн<sup>-1</sup>,  $CH_4$  - 1638 млн<sup>-1</sup>,  $CO$  - 103 млн<sup>-1</sup>. Найбільшу небезпеку представляють викиди *хлорфторвуглеців* (ХФВ), які використовуються як холодоагенти, розчинники, препарати гасіння, для розпилення лаків і барвників в аерозольних упаковках. Досягши озоносфери, ХФВ під дією ультрафіолетового випромінювання руйнуються; відривається атом хлору, а радикали, що залишилися, легко окислюються. Атом хлору і молекула  $ClO$  є каталізаторами, а руйнуються атоми кисню і молекули озону. При подальшому зростанні ХФВ в 2050 році вміст  $O_3$  в середніх широтах поменшає на 4-8%, а в полярних областях - на 10-15%, що може стати початком глобальної екологічної катастрофи, оскільки надлишок ультрафіолетової радіації може викликати у вищих організмів пошкодження ДНК, порушення генетичного коду, імунної системи. Зменшення озонового шару на 50% збільшує руйнівну функцію ультрафіолетової радіації у 10 разів. Потужність озонового шару, якщо зібрати увесь озон за нормальних термодинамічних умов, складає всього 2,5-3 мм, тому велике значення має захист його від деградації через надходження у атмосферу фреонів і оксидів азоту. Поряд з ХФВ руйнуванню озону сприяє надходження  $N_2O$ ,  $CH_4$ . У 1982 р. японські, а в 1985 р. англійські вчені виявили у озоносфері над південним полюсом «діру» розміром близько 3 млн. км<sup>2</sup>. Ними було висунена декілька припущень про причини появи сезонного (вересень - жовтень) дефіциту  $O_3$

над Антарктидою: 1) підвищене вироблення  $NO_x$  внаслідок зміни сонячної активності в атмосфері (11-річний цикл; активність в останньому циклі була підвищеною) з подальшим перенесенням від озоносфери; 2) винесення озону з полярної області за рахунок зміни циркуляції атмосфери; 3) збільшення кількості ХФВ і інших озonoактивних речовин ( $CF_3B$ ,  $CF_2BCl$  і ін.); 4) надходження з рифтових зон Світового океану метану і ін. *Озонова "діра"* - простір в озоносфері з помітним пониженням (до 50%) концентрації  $O_3$ . У 1992 р. було зафіксоване зниження  $O_3$  приблизно на 50% над Антарктидою і прилеглими просторами Південної Америки (Аргентина, Чілі). «Озонові діри» у високих широтах пояснюють тим, що у більш низьких широтах іон хлору, відповідальний за руйнування стратосферного озону, поки що блокується метаном. Передбачається не тільки антропогенне (від викидів фреонів та зведення лісів як продуцентів кисню), але й природне походження «озонових дір» [27]. «Міні-діри» відмічалися над північними районами Канади, Великобританії, Скандинавським півостровом (пониження  $O_3$  на 10-40%).

**Парниковий ефект.** Відомо, що парник нагрівається на сонці, оскільки світлова енергія, яка проникає углиб крізь скло, поглинається і перетворюється на теплову (інфрачервоне випромінювання, менше за 1 мкм), що не проходить крізь скло. Поверхня Землі та атмосфера поглинають значну кількість випромінювання Сонця в діапазоні коротких хвиль, що призводить до їх нагрівання; одночасно вони випромінюють еквівалентну кількість енергії в діапазоні довгих хвиль (інфрачервоне теплове випромінювання) в космічний простір, тобто система знаходиться в стані радіаційної рівноваги. Температура земної поверхні залежить значною мірою від вмісту в атмосфері парів  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$  та інших газів, які легко пропускають випромінювання Сонця и досить ефективно відбивають інфрачервоні хвилі назад на поверхню Землі. Це явище називають природним парниковим ефектом. Якщо б не цей ефект, то середня температура земної поверхні не перевищувала б  $6-18^\circ C$ , реально ж на даний момент вона досягає  $+15^\circ C$ . Концентрації природних та антропогенних *парникових газів* ( $CO_2$ ,  $CO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_x$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ , ХФУ) впливають на клімат. Частка газоподібних ЗР в парниковому ефекті оцінюється таким чином:  $CO_2$  - 61%,  $CH_4$  - 23%, ХФВ - 12%,  $NO_x$  - 4%. Основні джерела та поглиначі парникових газів: 1) видобуток, транспортування та спалювання палива; 2) промислові неенергетичні процеси; 3) сільське господарство та рільництво; 4) лісове господарство та землекористування; 5) тверді побутові відходи, побутові та промислові стоки [28]. Забруднення атмосфери парниковими газами призводить до негативних наслідків в планетарному масштабі. Змінюється енергетичний баланс планети в зв'язку із зміною альбедо через забруднення атмосфери, збільшується відбита сонячна радіація від частинок пилу в атмосфері і зменшується відбиття від запилених льодовиків, що спричиняє їх танення.

Щорічно в оточуючому природному середовищі розсіюється  $14,2 \cdot 10^{16}$  кДж тепла від спалювання палива, що веде до підвищення температури планети. Промислові викиди складають близько 5 млрд. т/рік; з них 50% залишаються в атмосфері, а інша частина поглинається в процесі фотосинтезу і Світовим океаном. У останні роки відбувається глобальне підвищення температури атмосфери у зв'язку із постійним зростанням вмісту  $CO_2$ . Коли два століття тому почалася промислова революція, вміст  $CO_2$  був оцінений у 0,028%. У 1959 р., коли почалися регулярні вимірювання, рівень  $CO_2$  був 0,032% (13% за два століття), а у 1988 р. сягнув 0,037% (17% всього за 39 років). У середині XXI століття концентрація  $CO_2$  може подвоїтись. Середня температура поверхні Землі також зросла; у 1969-1971 рр. Вона була  $13,99^\circ C$ , а у 1996-1998 рр. –  $14,43^\circ C$ . Подвоєння вмісту  $CO_2$  може привести до підвищення середньої температури на  $1,5-4,5^\circ C$  (за іншими даними при концентрації  $CO_2$  0,06% середня річна температура в північній півкулі підвищиться на  $4-5^\circ C$ , а рівень Світового океану підніметься на 5-7 метрів. Підйом рівня Світового океану викличе серйозні негативні наслідки (затоплення, підйом дзеркала ґрунтових вод, погіршення якості природних вод, зміна умов в агроекосистемах тощо). Математичне моделювання дозволяє прогнозувати, що середня температура на планеті зросте на  $2-4^\circ C$ ; у помірних широтах сягає  $10-15^\circ C$ , в Арктиці  $15-20^\circ C$ . Наприклад, у Львові середня температура січня з  $-5^\circ C$  збільшиться до  $+5^\circ C - +10^\circ C$ , а липня з  $+18^\circ C$  до  $28-33^\circ C$ . Лише кількість кислотних опадів буде складати 100-200 мм на рік. Глобальне потепління призведе до швидкого танення покривних льодовиків Арктики і Антарктиди і при зменшенні їх об'ємів на 50% рівень Світового океану підніметься на 25-35 м. Це може призвести до екологічних наслідків, які значною мірою ускладнять існування людства.

Рамкова Конвенція ООН про зміну клімату наголошує на тому, що невідкладним заходом по запобіганню негативним наслідкам очікуваних змін клімату є розробка глобальної стратегії реагування, зокрема, спільний пошук шляхів «стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері на такому рівні, який не допускатиме шкідливого антропогенного впливу на кліматичну систему». На початку грудня 1997 р. у японському місті Кіото відбулася третя сесія Конференції Сторін Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату, яка стала визначною міжнародною подією. У Конференції брали участь 2200 офіційних делегатів та кілька тисяч представників недержавних організацій та засобів масової інформації. Українська делегація також брала участь у Конференції. Результатом напружених дискусій, що відбулися в ході роботи Конференції, було досягнення згоди щодо прийняття протоколу, згідно з яким промислово розвинуті країни мають знизити загальні викиди парникових газів принаймні на 5 відсотків порівняно з рівнями викидів 1990 р. протягом періоду дії зобов'язань з 2008 по 2012 рік. Загальне зниження викидів буде досягнуто шляхом



диференційованого їх зменшення у різних країнах. Наприклад, на 8% - у багатьох країнах Європи, на 7 -у США, на 6% - у Канаді, Угорщині, Японії, Польщі. Україна, Росія, Нова Зеландія мають стабілізувати викиди на рівні 1990 р., а Норвегія може їх збільшити на 1%, Австралія – на 8, Ісландія – на 10%. Протокол передбачає запровадження ряду механізмів, що сприятимуть досягненню кінцевої мети Конвенції - забезпечити дотримання їх кількісних зобов'язань щодо обмеження та скорочення викидів парникових газів. Це, зокрема, реалізація проектів спільного виконання зобов'язань, запровадження «механізму чистого розвитку», встановлення міжнародного режиму торгівлі квотами на викиди. Деталі щодо реальної дії цих механізмів ще мають бути розроблені та узгоджені. Як основні узагальнені джерела та поглиначі парникових газів розглядалися п'ять секторів: видобуток, транспортування та спалювання викопного палива; промислові неенергетичні процеси; сільське господарство та рільництво; лісове господарство та землекористування; тверді побутові відходи, промислові та побутові стоки. Викиди всіх парникових газів були перераховані в еквівалентний викид вуглецю з урахуванням коефіцієнтів глобального парникового потенціалу. Сумарний викид парникових газів у вуглецевому еквіваленті станом на 1990 р. становив 232,88 млн. тонн. Визначено, що Україна займала у цьому році шосте місце в світі (після США, Китаю, Росії, Німеччини, Японії) по загальних викидах парникових газів та п'яте місце по викидах на душу населення, що значною мірою пояснюється успадкованою від колишнього СРСР деформованою структурою економіки і неефективністю енергетичних та індустріальних технологій. Попередні розрахунки показали, що викиди парникових газів у 1994 –1996 рр. склали до 70% від викидів 1990 р. Це пояснюється загальним падінням рівня виробництва та споживання промислової продукції в державі. Розрахунки викидів парникових газів на перспективу до 2008-2012 рр. мають ґрунтуватися на прогнозах економічного розвитку на той самий період. Без таких прогнозів, зокрема для паливно-енергетичного комплексу, на який припадає лівова частка викидів, неможливо скласти точний прогноз майбутніх викидів парникових газів. За базовим сценарієм розвитку економіки України рівень викидів парникових газів у 2000 р. з урахуванням збільшення поглинання  $CO_2$  лісами становитиме 73,7% від рівня викидів 1990 р., а у 2015 р. – приблизно 80,9% [28].

Для запобігання кислотним опадам і зниження їх негативного впливу необхідно: 1) скорочення викидів кислотоутворюючих речовин (заміною високосірчистого вугілля і мазуту на низькосірчисті і без сірки; застосуванням рідких фільтрів, *скрубєрів* - газоподібні продукти згоряння пропускають через розпилений розчин  $CaCO_3$  і  $SO_2$  реагує з нею, утворюючи повторний гіпс ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ); створенням альтернативних електростанцій); 2) усунення симптомів впливу кислотних опадів

(вапнування ґрунтів і водоймищ тощо).

У Австралії розроблено замітник фреонів у аерозолях, який складається із азоту. Новий *пропелент* (газ, під тиском якого розпилюється рідина) можна використовувати в 65% із 8,6 млрд. аерозольних упаковок, які виробляються у світі. Після 2000 р. виробництво і використання всіх фреонів повинно бути припинене, за винятком метилхлороформу ( $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ ), який відносно слабо активний в руйнуванні озону. Виробництво і використання метилхлороформу (значне у цей час) повинно припинитися у 2005 р.

Україна є країною Монреальського протоколу по речовинах, що руйнують озоновий шар, з 1988 р. З 1 січня 1996 р. Україна зобов'язана припинити виробництво і використання таких речовин на своїй території. Такий захід вимагає модернізації багатьох підприємств з метою переведення їх на використання речовин, що не руйнують озоновий шар. Внаслідок труднощів перехідного періоду Україна досі не виконала своїх зобов'язань. З огляду на важкий економічний стан України 1995 р. Сьома зустріч Сторін Монреальського протоколу по речовинах, що руйнують озоновий шар, ухвалила рішення № 7/19, яким надала Україні відстрочку виконання зобов'язань до 2000 р. та рекомендувала Глобальному екологічному фонду надати фінансову підтримку Україні для переходу на озонобезпечні речовини.

Згідно із Законом України «Про охорону атмосферного повітря» (1992 р.) у повітря не повинні викидатися речовини, характер дії яких на здоров'я населення не визначений. Спостереження за забрудненням атмосферного повітря проводяться у 54 містах України на 166 стаціонарних постах та 2 станціях транскордонного переносу [29]. За даними про забруднення атмосфери визначаються величини концентрацій домішок: разові, середньомісячні, середньорічні. На всіх постах здійснюються систематичні спостереження ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ , *пил*, *свинець*, *бенза(a)пірен*, *формальдегід*). У повітрі багатьох міст України контролюється вміст специфічних ШР, які характерні для промислових викидів підприємств, розташованих на їх території. Основний внесок в забруднення атмосферного повітря в Україні дає промисловість (65%) і автотранспорт (35%). Серед промислових об'єктів одним з основних забруднювачів атмосферного повітря є підприємства теплоенергетики (29% усіх шкідливих викидів в атмосферу). Загалом енергетичній, металургійній та вугільній промисловості належать 33, 25 і 23% відповідно усіх ЗР, що викидаються в атмосферу; хімічній і нафтохімічній промисловості – 2%. Найбільша частка викидів припадає на Донецько-Придніпровський регіон (79% від загального обсягу в Україні). Підприємства енергетики та металургії дають 70% загального обсягу  $\text{NO}_x$ , а 85% викидів  $\text{SO}_2$  належить енергетичній, металургійній та вугільній промисловості. Підприємства вугільної, хімічної та нафтохімічної

промисловості дають 64% викидів вуглеводнів. Близько 20% ЗР, що викидаються в атмосферу стаціонарними джерелами, є мутагенами, тобто вони представляють загрозу здоров'ю не тільки нинішнього, а й наступних поколінь.

Атмосфера має здатність до самоочищення, однак в багатьох випадках ця здатність вже вичерпана. Будівництво високих і надвисоких заводських труб збільшує вміст ЗР. Очищення повітря від пилу дає лише частковий ефект. Дуже ефективним засобом боротьби з пилом і іншими ЗР є використання захисних властивостей рослин. Встановлено, що протягом вегетаційного періоду 1 га лісу може осадити із повітря 40-60 т пилу й знешкодити понад 200-250 кг діоксиду сірки, 100 кг хлору, 50 кг фтору. Газостійкі рослини у декілька разів краще поглинають шкідливі інгредієнти, тому потоки забруднюючого повітря, проникаючи углиб зелених насаджень середнього віку на 100-150 м, майже повністю звільняються від завислих речовин, а вміст інших домішок в них зменшується у десятки разів. Очисна здатність зелених насаджень перевищує вимивання домішок атмосферними опадами, особливо у літній час. Протягом року 1 га лісу очищає від пилу і інших шкідливих інгредієнтів більше 18 млн. м<sup>3</sup> повітря, що у 3-10 разів більше ніж культивовані польові рослини аналогічної площі. Крім того, 1 га лісу щодобово виділяє в атмосферне повітря 2-4 кг фітонцидів, 30 кг яких досить для знищення хвороботворних мікроорганізмів у великому місті. Крони дерев не тільки поглинають шкідливі інгредієнти і здійснюють їх детоксикацію, але й сприяють їх розсіянню в атмосфері, що впливає на характер потоків у приземному шарі повітря. При дуже високому ступені забруднення повітря рослини можуть виділяти у довкілля речовини, які відрізняються від поглинаючих ними. Виявлено, що кореневі системи рослин можуть виділяти деякі ШР, які поглинаються їх наземною частиною (наприклад, сірку).

Задля більш ефективної охорони атмосферного повітря необхідний комплекс заходів, який включав би перехід на екологічно чисті джерела енергії (сонячні, водні, вітрові, геотермальні та ін.), конструктивно-технологічні засоби для вилучення джерел викидів, покращання складу палива, удосконалення транспорту тощо. Однак, як окремі технічні рішення, так і нові технології можуть вирішити лише частину проблем запобігання забруднення. Важливу роль відіграє раціональне розміщення промислових об'єктів, виходячи із конкретних умов місцевості, впровадження замкнених технологічних циклів. Поки горючі корисні копалини будуть використовуватися досить широко, слід застосувати такі засоби: збільшити ККД енергетичних установок; економити електроенергію; удосконалити очисні споруди. Будівництво установок для очищення викидів - захід ефективний, але він дорого коштує; вартість будівництва цих установок досягає 8-10% загальної вартості основних

виробничих споруд. Європарламент ухвалив закон, згідно з яким ТЕС повинні мати установки не лише для очистки від пилу та диму, але від усіх газів. Вартість таких установок складає 40% від загальної вартості самих ТЕС.

Боротьба із викидами у атмосферу буде залежати: 1) від підвищення ефективності виробництва, передачі, розподілу й споживання енергії, а також від створення екологічно безпечних енергосистем; 2) від ефективності створення транспорту, що мінімально забруднює НПС, а також від розташування екологічно виправданої мережі доріг; 3) використання у промисловості екологічно прийнятних матеріалів і ресурсів, заміни хлорфторвуглеців та інших руйнуючих озонів шар речовин більш безпечними, істотного зниження відходів, а також встановлення устаткування, контролюючого забруднення середовища.

Лише кардинальні засоби з охорони атмосферного повітря можуть запобігти негативному впливу ЗР, які містяться в повітрі, на різні біосистеми. Образно зауважив один із американських екологів: «Одне із двох: або люди зроблять так, що буде у повітрі менше диму, або дим зробить так, що на Землі стане менше людей».

## **9 АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД ТА ЙОГО НЕГАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ**

### **9.1 Загальні відомості про водні ресурси і водокористування**

Гідросфера є переривистою водною оболонкою Землі, яка включає сукупність океанів, морів, поверхневих і підземних вод суші, льодяних покривів. Усі природні води єдині і між ними підтримується тісний взаємозв'язок. «Будь-який прояв природної води, - писав В.І. Вернадський - глетчерний лід, безмірний океан, ріка, ґрунтовий розчин, гейзер, мінеральне джерело - складають єдине ціле, прямо або побічно, але глибоко пов'язане між собою». Ідея єдності всіх природних вод, так чітко сформульована В.І.Вернадським, має велике значення при розгляді проблем раціонального використання, забруднення й охорони водних ресурсів. Усі види природних вод взаємопов'язані у процесі круговороту води в природі. Переважна частина вод припадає на океани та моря, які займають близько 71% земної поверхні і в яких зосереджено  $1,4 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup> або 96,5% усього об'єму. Велику частину поверхні суші (78%) складають периферійні області, які сполучені зі Світовим океаном, а 22% припадають на частку областей внутрішнього замкненого стоку, волога яких попадає у Світовий океан у загальному потоці атмосферної вологи.

Водні ресурси - це всі природні води Землі, які представлені водами річок, озер, водосховищ, боліт, льодовиків, підземних горизонтів, океанів і морів. Найбільш цінними водними ресурсами є запаси прісних вод, які складаються з статичних (м<sup>3</sup>, км<sup>3</sup>) і з безперервно відновлюваних водних ресурсів (км<sup>3</sup>/рік і т.д.).

Усі галузі господарства по відношенню до водних ресурсів поділяються на водоспоживачів і водокористувачів. *Водоспоживачі* забирають воду, використовують її для виробки промислової та сільськогосподарської продукції або побутових потреб населення, а потім повертають у водний об'єкт, але вже в іншому місці, в меншій кількості і з іншими якісними характеристиками. *Водокористувачі* використовують воду як середовище (водний транспорт, риболовство і т.д.) або як джерело енергії (ГЕС), але можуть змінювати якість води (наприклад, водний транспорт), гідрологічний режим (наприклад, ГЕС) і т.д. Оскільки важко провести чітку межу між водоспоживанням і водокористуванням, то у «Водному кодексі України» (1995) залишилося одне поняття «водокористування» – використання вод (водних об'єктів) для задоволення потреб населення і галузей економіки. Використання води в залежності від цілей можна підрозділити на господарсько-питне, комунальне, сільськогосподарське, промислове, транспортне і т.д. Наприклад, у 1990 р. у колишньому СРСР на потреби сільського господарства витрачалося 52%, на промислові - 39%, на комунальні - 9% від загального водоспоживання;

схожа структура водоспоживання характерна для США, Франції і інших країн.

Водокористування в Україні в 1990 р.: загальне – 40,6 км<sup>3</sup>; промисловість – 18,04 км<sup>3</sup>; сільське господарство – 18,4 км<sup>3</sup>; та комунальне господарство – 4,2 км<sup>3</sup>. Запаси водних ресурсів в Україні на одного жителя становлять 1,7 тис. м<sup>3</sup> на рік, що ставить її поряд з найменш забезпеченими водою країнами Європи [30].

Сільське господарство є основним споживачем води. Так, при вирощуванні капусти на 1 га витрачається 6000 т води, на зрошення 1 т пшениці - 1500 т води, 1 т бавовни - 10000 т води. Безповоротні втрати на зрошення складають від 20 до 60%. Сумарне водоспоживання світовим сільським господарством в 1970 р. склало 1900 км<sup>3</sup>, а до 2000 р. буде становити 3400 км<sup>3</sup>/рік.

Потреби промисловості у воді залежать не лише від галузі, але і від застосованої технології, системи водопостачання (прямоточної або оборотної), кліматичних умов тощо. Найбільш водоемними є целюлозно-паперова і нафтохімічна галузі, теплоенергетика, на долю яких припадає 80-90 % усього промислового водоспоживання. На виробництво 1 т азотної кислоти витрачається більше 100 м<sup>3</sup> води, 1 т синтетичних волокна й пластмас - близько 1000 м<sup>3</sup>, на виробництво 1 т чавуну - 200 м<sup>3</sup>, 1 т нікелю - 4000 м<sup>3</sup>. Для охолодження турбогенераторів усіх ТЕС в світі потрібно щорічно 250 км<sup>3</sup> прісної води. Якщо у 1970 р. для промислових потреб в усьому світі використовувалось 510 км<sup>3</sup>, то в 2000 р. очікується споживання 1900 км<sup>3</sup>. Частка безповоротного водоспоживання в промисловості невелика і складає 5-10% від об'єму водозабору, а у теплоенергетиці – 0,5-2%.

Сумарний об'єм води для комунально-побутових потреб визначається його питомим водоспоживанням і чисельністю населення. У великих містах питоме водоспоживання складає 500-600 літрів на добу на 1 людину (Москва, Санкт-Петербург, Нью-Йорк, Париж; Одеса – 350 літрів на добу). Безповоротні втрати загалом для земної кулі у 1970 р. склали 20 км<sup>3</sup> або 17% від забору води для комунально-побутових цілей.

Під впливом антропогенної діяльності відбуваються якісні та кількісні зміни водних ресурсів. Використані людиною природні води, крім тих, що випарились, представляють собою стічні води, які вміщують різні відходи. У колишньому СРСР із 150 км<sup>3</sup> стічних вод 40 км<sup>3</sup> скидалося без будь-якого очищення. У річки та водойми України в 1990 р. скидалось 3,2 км<sup>3</sup> забруднених стічних вод. Якщо вважати обов'язковим розводження у 30 разів, то для цього буде потрібно 96 км<sup>3</sup> чистої води, що перевищує увесь річний стік річок України з урахуванням сусідніх територій. Особливо забруднені малі річки, водоймища, акваторії Азовського моря, Сиваша, північно-західної частини Чорного моря, Дніпро, Дунай. Існуючі методи механічної та біологічної очисток далекі від досконалості,

тому навіть після очищення у стічних водах залишається до 10% органічних і 60-90% неорганічних речовин, у тому числі 60% азоту, 70% фосфору, 80% калію і майже 100% важких металів.

## 9.2 Забрудненість поверхневих вод суші

Розрізняють 3 види забруднення поверхневих вод суші: біологічне, хімічне і фізичне.

*Біологічне забруднення* створюється мікроорганізмами (в тому числі хвороботворними), а також органічними речовинами, здатними до бродіння. Головне джерело біологічного забруднення поверхневих вод суші та прибережних морських вод - комунально-побутові стоки: каналізаційний скид, харчові відходи, стічні води підприємств харчової промисловості (бойні, м'ясокомбінати, молочні, сироварні, цукрові заводи і інш.), целюлозно-паперової та хімічної промисловості, а в сільській місцевості - стоки великих тваринницьких комплексів. Біологічне забруднення може стати причиною епідемій холери, черевного тифу, паратифу та інших кишкових інфекцій, а також деяких вірусних захворювань (гепатит). Найбільш оптимальним санітарно-показовим мікроорганізмом води є кишкова паличка (*Escherichia coli*). З одного боку, вона - постійний мешканець кишечника людини, а з іншого - забруднення вод бактеріями кишкової групи знаходиться в тісному зв'язку з надходженням фекалій, господарсько-побутових стічних вод і т.д., а відповідно і з наявністю патогенних бактерій. Ступінь біологічного забруднення характеризується такими показниками: *Колі-титр* – це найменший об'єм води, який припадає на одну кишкову паличку, а *колі-індекс* – це абсолютна кількість кишкових паличок в 1 дм<sup>3</sup> води. Залежність між ними:  $\text{колі-індекс} = 1000 \text{ колі-титрам}$ . Якщо вода очищена до значення колі-титру 300 чи колі-індексу 3, вона є нешкідливою і не викликає ніяких епідемічних захворювань (ГОСТ 2874-82). Крім того, використовуються додаткові санітарно-показові організми: протей (мікроб гниття), термофільні (до 80°C) мікроорганізми, бактеріофаги, гідробіологічні одноклітинні і багатоклітинні організми.

З 01.01.2000 р. в Україні діють нові санітарні правила і норми (СанПіН) «Вода питна. Гігієнічні вимоги господарсько-питного водопостачання», затверджений в 1996 р. Підставою для розробки цих санітарних правил і норм стали ГОСТ 2874-82, проаналізовані міжнародні підходи до нормування окремих показників якості питної води і, частково, рекомендаційні документи ВОЗ (призначені, насамперед, для країн, що розвиваються, що тільки облаштовують свої системи централізованого господарсько-питного водопостачання). У новому документі на відміну від ГОСТ 2874-82 збільшено кількість показників, що нормуються, визначення яких є необхідним для забезпечення якості питної води,

нешкідливої і безпечної для здоров'я людини, а також змінений підхід до організації і проведенні лабораторного контролю.

*Гідробіонти* поділяються на: 1) *бентос* (мешканці дна водойми чи водотоку, а також прикріплені до підводних предметів організми); 2) *планктон* (мешканці товщі води – від дна водойми до її поверхні); 3) *нейстон* (організми, які мешкають у поверхневій плівці води); 4) *пагон* (найпростіші, коловратки, черви, молюски, ракоподібні та інш., які зиму проводять у льоду в стані анабіозу, а весною оживають і продовжують планктонний чи бентосний спосіб життя). Гідробіонти мають санітарно-показове значення. При оцінці води за шкалою Р. Кольквіца – М. Марсона [30] необхідно враховувати не окремі організми, а суму видів, які є характерними для даної зони: I – *полісапробна* (зона дуже сильного забруднення); II – *α-мезосапробна* і *β-мезосапробна* (зони середньої забрудненості); III – *олігосапробна* (зона чистої води).

*Біохімічне споживання кисню (БСК)* - показник забруднення органічними речовинами; показує яку кількість кисню потрібно мікроорганізмам для переробки усієї схильної до розкладання органічної речовини у неорганічні сполучення протягом декількох діб (наприклад, протягом 5 діб – *БСК<sub>5</sub>*; за вимогами Держстандарту *БСК<sub>5</sub>* для питної води не повинне перевищувати 3 мг O<sub>2</sub> на 1 дм<sup>3</sup> води). Вміст розчиненого кисню - обернено пропорційний *БСК* (питна вода повинна містити в собі більше 4 мг розчиненого O<sub>2</sub> на 1 дм<sup>3</sup>).

*Хімічне забруднення* створюється надходженням до поверхневих вод різних токсичних речовин, основними джерелами яких є доменне і сталеливарне виробництва, підприємства кольорової металургії, гірничодобувна, хімічна і нафтопереробна промисловості, а також екстенсивне сільське господарство (яке використовує додаткові мінеральні та людські ресурси, але не можливості технічного прогресу). Крім прямих скидів стічних вод необхідно враховувати також можливість забруднення поверхневих вод під час взаємодії з іншими природними середовищами (атмосферою, педосферою та літосферою). Масштаби забруднення поверхневих вод деякими металами такі: Mn - 262, Zn - 226, Cr - 142, Pb - 138, Ni - 113, Cu - 112, As, Se - 41, Sb - 18, V - 12, Mo - 11, Cd - 9,4 та Hg - 4,6 тисяч т/рік. Інтенсивно забруднюють поверхневі води целюлозно-паперова і нафтопереробна промисловості, у стічних водах яких містяться нафтопродукти, феноли, складні органічні сполуки, хлор, кольорові метали та інш. Наявність нафтопродуктів (НП) у водах знижує здатність водних об'єктів до самоочищення. Завислі і розчинені НП розкладаються не скоріше, ніж за 100-150 днів і призводять до порушення природних біологічних процесів у водному середовищі. У останні роки поверхневі води країн колишнього СРСР у 80% випадків спостережень виявились забрудненими НП, у 60% - фенолами і 40% - важкими металами. У поверхневі води суші надходить багато нітратів через нераціональне



використання азотних добрив і збільшення викидів автотранспорту; це стосується і фосфатів (добрива, миючі засоби), вуглеводнів (нафта і продукти її переробки). Одним із небезпечних ЗР є *синтетичні поверхнево-активні речовини* (СПАР), які широко використовуються у побуті для збільшення змочування, піноутворювання. Застосування синтетичних миючих засобів (детергентів) призвело до значного збільшення вмісту фосфатів у річках США і, як наслідок - до інтенсивного розвитку водної рослинності, цвітіння річок, зниження вмісту водорозчинного кисню, паралізації діяльності мікроорганізмів.

*Фізичне забруднення* поверхневих вод створюється скидом у них тепла і радіоактивних речовин. Теплове забруднення пов'язане, головним чином, з тим, що вода, яка використовується задля охолоджень ТЕС та АЕС, і відповідно близько 1/3 і 1/2 електроенергії, яка виробляється, скидаються в ту ж водойму. Внесок у теплове забруднення додають також і деякі промислові підприємства. Так, з початку цього сторіччя вода у Сені потеплішала більш ніж на 5°C, а багато річок Франції перестали замерзати узимку. У межах Москви на Москва-ріці тепер рідко можна побачити льодинки, а на притоках в районі скидів ТЕЦ спостерігались ополонки з зимуючими на них качками. На деяких річках промислового сходу США іще наприкінці 60-х років вода нагрівалася до 38-48°C.

Забруднюючі речовини у водні об'єкти надходять такими шляхами: із стічними водами населених пунктів, міст, промислових і сільськогосподарських підприємств; з дощами і талими водами в результаті змиву з поверхні ґрунту побутового бруду, нафтопродуктів, добрив, отрутохімікатів та інших речовин; від водного транспорту і споруд на берегах; безпосередньо з атмосферними опадами, в яких містяться розчинені забруднення від викидів в атмосферу.

За походженням *стічні води* поділяються на декілька груп: 1) *господарсько-побутові*; 2) *промислові*; 3) *поверхневий стік* підприємств і населених пунктів; 4) *сільськогосподарські*; 5) *рудникові і шахтні води*. Кожна група має свій специфічний склад, в якому переважає певна асоціація ЗР.

*Господарсько-побутові стоки* містять в собі велику кількість органічних і мінеральних речовин в розчиненому і завислому стані. Згідно з нормами (СНиП 2.04.03-84/Каналізація. Наружные сети и сооружения. – М.,1985) від одного мешканця за добу в каналізаційну систему надходять: 65 г завислих речовин, 70 г органічних речовин, 9 г хлоридів, 8 г азоту амонійного, 3,3 г фосфатів, 2,5 г синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР). Концентрація (мг/л) вказаних ЗР залежить від норми скиду в даному населеному пункті і визначається з виразу:

$$C = a / (n \cdot 1000), \quad (9.1)$$

де  $a$  - норма забруднення, г/добу на 1 мешканця;

$n$  - питома норма скиду, л/добу на 1 мешканця (СНиП 2.04.02-84/Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.- М.,1985).

*Промислові стоки* вирізняються великою різноманітністю складу і концентрацій ЗР, що визначається специфікою виробництва і системою водопостачання і водоскиду. На промислових підприємствах до 90% води витрачається на охолодження продуктів або апаратів і стоки зазнають лише теплового забруднення (I категорія). Іноді води служать як такі, що поглинають і транспортують нерозчинні дисперсні домішки і частково розчинні солі, якими забруднюються (II категорія). Води категорії III аналогічні по генезису, але додатково нагріваються при контакті з продуктами. Води категорії IV є безпосередньо реакційним компонентом і забруднені всіма складовими технологічного процесу. Крім того, стоки підприємств поділяються: 1) *за складом* (виробничі, побутові, атмосферні); 2) *за характером основних ЗР* (утримуючі мінеральні, органічні і органо-мінеральні домішки; 3) *за концентрацією* (слабо концентровані - до 0,5, середньо концентровані 0,5 - 5, концентровані - 5 - 30, дуже концентровані - більше за 30 г/л); 4) *за агресивністю* (неагресивні рН = 6,5-8, слабо агресивні рН = 6,5-9; дуже агресивні рН < 6 або рН > 9) [26].

*Поверхневий стік промислових підприємств і населених пунктів* формується за рахунок дощових, талих і поливомийних вод. Об'єм поверхневого стоку визначається: інтенсивністю випадання опадів і їх тривалістю; загальною площею міської території і характером її забудови; рельєфом місцевості. Концентрація і склад ЗР в стоках залежить від галузевої приналежності підприємств; загалом переважають завислі речовини (0,1 - 11,3 г/л), органічні речовини, нафтопродукти, біогенні елементи, важкі метали.

*Сільськогосподарські стоки* поділяються на стоки тваринницьких комплексів, поверхневий стік з полів, колекторно-дренажні води. У стоках тваринницьких комплексів переважають органічні речовини, азот, фосфор; розчинені речовини становлять 20-35%, завислі - 65-80% від загального об'єму. До складу поверхневого стоку, зливових і талих вод з полів входять азот, фосфор, калій і отрутохімікати. Винесення біогенних елементів залежить від дози внесення, хімічного складу добрив, об'єму поверхневого стоку і типу ґрунтів. Так, при тривалому застосуванні високих доз мінеральних добрив в ґрунті води надходить до 20% внесеного азоту і 1,5 - 2% фосфору. Винесення отрутохімікатів залежить від доз їх внесення, швидкості розкладання, міграційної здатності, інтенсивності водного стоку, періоду часу між їх внесенням і випаданням атмосферних опадів. Внаслідок надходження колекторно-дренажних вод у водних об'єктах збільшується мінералізація води (передусім за рахунок

сульфатів і хлоридів), а склад від гідрокарбонатно-кальцієвого змінюється до сульфатно-хлоридного магнієво-натрієвого.

*Шахтні і рудникові води* мають високу мінералізацію,  $pH < 7$ , і містять в собі велику кількість рудних елементів, які знаходяться як в рідкій фазі, так і у зависі. Істотним джерелом забруднення водоймищ є поверхневий стік з породних і рудних відвалів, територій гірничо-збагачувальних комбінатів.

Вміст ЗР у воді регламентується санітарними нормами і правилами та рибогосподарськими вимогами і вимірюється концентрацією в  $мг/дм^3$ . Характеристикою небезпечності речовини для людини і живих організмів є гранично допустима концентрація (*ГДК*) і *клас шкідливості* (I – надзвичайно шкідливі, II – дуже шкідливі, III – шкідливі, IV – помірно шкідливі). *ГДК* – максимальні концентрації, при яких речовини не впливають безпосередньо або опосередковано на стан здоров'я населення (при дії на організм продовж всього життя) і не погіршують гігієнічні умови водокористування.

*ГДК* встановлюється за *лімітуючою ознакою шкідливості (ЛОШ)*. Встановлено такі *ЛОШ*: санітарно-токсикологічна, загальносанітарна, органолептична, рибогосподарська. Таким чином, *ГДК* – це мінімальні концентрації речовин, при яких проявляється одна з лімітуючих ознак шкідливості. При розрахунках необхідного ступеня очистки стічних вод від ЗР враховують їх адитивну дію. Для речовин тієї ж *ЛОШ* повинно витримуватись співвідношення:

$$\sum_i^n (C_i / ГДК_i) \leq 1, \quad (9.2)$$

де  $C_i$  та  $ГДК_i$  – відповідно концентрація  $i$ -ої речовини в очищених стічних водах і її *ГДК*,  $мг/дм^3$ .

*Гранично допустимий скид (ГДС)* – кількість ШР у стічних водах, максимально допустимий для відведення в установленому режимі у певному пункті водного об'єкта за одиницю часу з метою забезпечення норм якості води у контрольному пункті. *ГДС* розраховується за найбільшими середньогодинними витратами стічних вод ( $м^3$ ) фактичного періоду їх спуску. Концентрація речовин приймається  $мг/л$  або  $мг/м^3$ , а величина *ГДС* розраховується в грамах на годину ( $г/год$ ). *ГДС* визначається за формулою:

$$ГДС = q_{cm} \cdot C_0, \quad (9.3)$$

де  $q_{cm}$  - витрата стічних вод ( $м^3/год$ );

$C_0$  – допустима концентрація речовини в стічних водах ( $г/м^3$ ).

Неочищені і частково очищені стічні води, що надходять до водних об'єктів, призводять до змінення фізико-хімічних властивостей та їх

забруднення. У забруднених водних об'єктах відбуваються складні процеси, які приводять до відновлення природного стану їх режиму. Сукупність гідродинамічних, біологічних, хімічних і фізичних процесів, які приводять до зниження концентрації ЗР у воді, називається *самоочищенням*. У багатьох водоймах та водотоках цей процес стає усе більш утрудненим через велику кількість ШР, які надходять і поділяються на: 1) *мінеральні* (пісок, глина, шлаки, зола, розчини і емульсії солей, кислот, лугів, радіоактивні сполучення); 2) *органічні* (речовини рослинного і тваринного походження, а також смоли, феноли, спирти, барвники, альдегіди, сірко- та киснеутримуючі сполучення і т.д.); 3) *біологічні* (хвороботворні бактерії, віруси, збудники інфекцій).

### 9.3 Забруднення підземних вод

Підземні води (ПВ) - всі води, які знаходяться під поверхнею землі в зоні аерації та насичення в прямому контакті з родючими ґрунтами і підґрунтами (ґрунтами).

*Забруднення ПВ* - скид людиною (прямий або непрямий) речовин в ПВ, який в результаті спричиняє ризик для здоров'я людей, шкоду живим ресурсам та водним ЕС, або заважає використовувати воду в інших законних цілях. Прямий скид - внесення в підземні води ЗР без фільтрації крізь родючий ґрунт чи підґрунт (ґрунт); непрямий скид - внесення в підземні води ЗР після фільтрації крізь родючий ґрунт чи підґрунт. Забруднення ПВ - це викликана антропогенною (техногенною) діяльністю зміна якості води у порівнянні з нормами якості води по видах водокористування (питне, іригаційне, технічне, бальнеологічне, промислове, теплоенергетичне), яка робить воду частково чи повністю непридатною для використання за призначенням. Причинами забруднення ПВ можуть бути складування різних відходів на земній поверхні, в різних накопичувачах рідких відходів, експлуатація водоносних горизонтів тощо. Чималий техногенний вплив на ПВ має місце при пошуках, розвідці, експлуатації, транспортуванні і переробці багатьох корисних копалин. Так, при розробці родовищ корисних копалин із надр вибираються ПВ, що призводить до порушення природного стану ландшафтних компонентів. При цьому здійснюється прямий чи непрямий вплив на ПВ, що призводить до зміни їх якісних та кількісних параметрів у процесі забруднення.

Забруднюючі речовини проникають у водоносні горизонти й викликають такі види забруднень: хімічне, бактеріальне (мікробне), теплове і радіоактивне.

**Хімічне забруднення.** Хімічне забруднення відбувається в результаті проникнення майже всіх ЗР, за винятком теплообмінних вод та радіоактивних речовин, але основну роль відіграють промислові відходи. Хімічне забруднення зазвичай проявляється у збільшенні, порівняно з

фоном, мінералізації, макро- і мікрокомпонентів, у появі невластивих їм мінеральних та органічних сполук, в збільшенні їх вмісту у часі. Найчастіше у забруднених водах зустрічаються  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , нафтові вуглеводні, феноли, органічні сполуки, важкі метали. Серед антропогенного хімічного забруднення ПВ найбільш поширеними є нафтове, хлоридне, нітратне; забруднення важкими металами. Хімічне забруднення інколи супроводиться зміною органолептичних властивостей і температури води [31].

*Нафтове забруднення.* Нафта та НП є гідрофобними речовинами. Частина НП розміщується у вигляді лінзи на поверхні ґрунтових вод (товщиною від декількох см до 1-2 м і більше). Так, на місцях колишніх військових аеродромів спостерігається не тільки нафтове забруднення, але й видобуток техногенних НП. Друга частина НП нижча фазовідособленої частини (лінзи) і за її межами утворює з водою двофазну суміш у вигляді емульсії. Нарешті, найбільш розчинні нафтові вуглеводні (в основному ацени) утворюють з водою розчин. Розміри площ, які зайняті емульсованими й водорозчинними нафтовими вуглеводнями у багато разів ( $\text{px}10$ ) більші за площі, що зайняті у вигляді лінзи. Джерелами нафтового забруднення є: нафтодобувні та нафтопереробні підприємства (аварійні розливи нафти, бурової рідини, стічних вод), об'єкти зберігання та перерозподілу НП (нафтобази, автозаправні станції). Причинами забруднення природного середовища найчастіше бувають аварійні витікання і розливи внаслідок несправності резервуарів зберігання, трубопроводів та інш.

*Хлоридне забруднення* спричиняється промисловими відходами високомінералізованих вод, добутих на поверхню, шахтними та рудниковими водами, морськими водами у прибережних районах тощо. Хлориди добре розчинні, стійкі, це речовини, що не розкладаються й не сорбуються, вони мають високу міграційну здатність і займають значні площі.

*Забруднення важкими металами.* Важкі метали займають одне з провідних місць серед ЗР; найбільш поширеними є Pb, Cu, Zn, Cd та їх сполуки. Забруднення важкими металами пов'язані із деякими промисловими відходами, викидами автотранспорту, отрутохімікатами тощо. Їх накопичення у ПВ має місце при забрудненні атмосфери, ґрунту, поверхневих вод. Важкі метали у катіонній формі добре сорбуються, тому їх гідрогеохімічні аномалії мають обмежені розміри. Важкі метали відносять до стійких ЗР, які погано розкладаються у природних умовах (неконсервативні).

*Нітратне забруднення.* Нітратний азот є кінцевим продуктом у ланцюзі послідовного окислювання азоту:  $\text{NH}_3$  ( $\text{NH}_4^+$ )  $\Leftrightarrow$   $\text{NO}_2^-$   $\Leftrightarrow$   $\text{NO}_3^-$ ). Процес нітрифікації, у результаті якого  $\text{NO}_2^-$  переходить у  $\text{NO}_3^-$  триває до 1-1,5 місяця ( $\text{NO}_2^-$  - «свіже» забруднення). Нітратне забруднення

пов'язане з сільськогосподарською діяльністю, меншою мірою з промисловими й комунально-побутовими відходами. Нітрати добре розчиняються у воді, відрізняються невеликою сорбційною властивістю, можуть мігрувати далі.

**Бактеріальне забруднення.** Під бактеріальним забрудненням (мікробним) розуміється збільшення вмісту у ПВ порівняно з природним фоном санітарно-показових мікроорганізмів. Особливе значення для мікробіологічної характеристики води має загальна кількість бактерій і кількість кишкових паличок. Особливістю бактеріального забруднення є обмеженість його розповсюдження в межах водоносного горизонту, що обумовлено незначним часом виживання бактерій в ПВ. Цей час може тривати 30-400 діб (в залежності від їх кількості у воді, швидкості фільтрації, геохімічних умов, наявності інших ЗР, температури та ін.). Наявність детергентів до 5 мг/л (СПАР, миючі засоби) і нафтопродуктів навіть сприяє розмноженню бактерій. Бактеріальне забруднення звично носить тимчасовий і локальний характер.

**Теплове забруднення.** Виявляється у підвищенні температури ПВ порівняно з фоном. Зміни температури викликає і зміну хімічного складу та органолептичних властивостей ПВ, що відзначається у районах функціонування АЕС та ТЕС, під час скиду на земну поверхню нагрітих стічних вод. У населених пунктах формується «острів тепла», як у атмосфері, так і у ПВ; найчастіше відзначається у ГВ. Так, при підвищенні температури від 15°C до 25°C токсичність Zn збільшується у 3 рази.

**Антропогенні (техногенні) джерела забруднення ПВ** виникають в результаті господарської діяльності людей, у тому числі прямого чи непрямого впливу на склад та інтенсивність природного забруднення й поділяються на: 1) неочищені або недостатньо очищені виробничі й комунально-побутові стічні води; 2) поверхневі стічні води (наприклад, річки Донбасу); 3) дренажні води; 4) аварійні скиди й переливи стічних вод; 5) фільтраційні витoki речовин із ємностей, трубопроводів та інш.; 6) тимчасові викиди у атмосферу (пил, аерозолі), які осаджуються на поверхні землі та у водних об'єктах; 7) нерегламентовані викиди й скиди (нафтопродуктів, пестицидів, добрив тощо); 8) промислові майданчики підприємств, місця зберігання, транспортування продукції та відходів виробництва; 9) звалище комунальних і твердих побутових відходів. Антропогенним джерелом забруднення ПВ є населений пункт у цілому (гідрогеохімічна аномалія, «тепловий острів»).

Антропогенні джерела забруднення ПВ можуть бути поділені за походженням: індустриальні, промислові, сільськогосподарські, комунальні, транспортні, урбанізовані.

Усі джерела за їх конфігурацією у просторі поділяються на: 1) місцеві - площа (F) < 100 км<sup>2</sup>, довжина (L) < 20 км; 2) обмежено-

регіональні -  $F = 100-1000 \text{ км}^2$ ,  $L = 20-200 \text{ км}$ ; 3) регіональні -  $F > 1000 \text{ км}^2$ ,  $L > 200 \text{ км}$ .

Джерела забруднення поділяються за ступенем обумовленого ними забруднення ПВ: 1) помірного забруднення від фонових – фон -1 ГДК; 2) джерела значного забруднення -1-10 ГДК; 3) джерела екстремального забруднення - більше 100 ГДК [31].

Існує взаємозв'язок забруднення ПВ із забрудненням атмосферних опадів, вод поверхневого стоку і ґрунтів. В багатьох випадках родючі ґрунти і породи зони аерації (1-3 м) є головним вмістилищем всіх ЗР, що надходять в атмосферу (викиди теплоенергетики, автотранспорт, промисловість і ін.) з поверхні землі. Проникнення ЗР здійснюється як природними шляхами (крізь літолого-фаціальні та тектонічні “вікна”), так і шляхами міграції, створеними при техногенній діяльності (кар'єри, криниці, накопичувачі, полігони тощо). Внаслідок цього ЗР можуть проникати до глибин порядку 1 км і більше (залежно від гідрогеологічних та техногенних факторів). Особливо уразливими для техногенного впливу є ґрунтові води (ГВ), які можуть забруднюватися навіть при низьких фільтраційно-ємнісних властивостях порід зони аерації і досить великих глибинах їх залягання.

Високий ступінь господарського освоєння територій відзначається при найбільшій густоті населення, що створює об'єктивні передумови для забруднення всіх складових навколишнього природного середовища, включаючи ПВ. Підприємства гірничодобувної, металургійної, хімічної і нафтової промисловостей, розвинена мережа автомобільних доріг, хімізація сільськогосподарського виробництва, значна кількість смітників, промислових і побутових відходів, зростаючі масштаби урбанізації і багато інших причин сприяють забрудненню ПВ.

За умовами забруднення і характером впливу на ПВ для регіонів, що знаходяться у сфері інтенсивного техногенного впливу, можна виділити декілька характерних ситуацій, що в принципі типові для багатьох регіонів, які зазнають значного техногенного навантаження.

В.Г. Магмедовим [32] наведено класифікацію основних джерел забруднення за генезисом і характером впливу на підземні води в Україні. Основними джерелами *скупченого (локального)* забруднення ГВ звичайно є численні полігони і неорганізовані смітники промислових, сільськогосподарських та побутових відходів, різноманітні накопичувачі рідких відходів, місця скиду вод нафтових родовищ на рельєф місцевості, витікання нафтопродуктів з різноманітних ємностей та ін. Джерелами *лінійного* забруднення ГВ є малі річки, які піддаються інтенсивному техногенному забрудненню, що впливає на концентрацію ЗР, особливо в періоди маловоддя. Лінійне забруднення може мати місце і при витоках з каналізаційної мережі. Інфільтрація забруднених стічних і річкових вод призводить до погіршення якості ГВ, появи як природних ( $Cl$ ,  $SO_4^{2-}$  та ін.),

так і типових антропогенних компонентів (СПАР, пестициди тощо). Основним джерелом *площового* (дифузного) забруднення ГВ є сільгоспвиробництво. Наднормативне застосування азотних мінеральних добрив призводить до нітратного забруднення ГВ на полях зрошення; в багатьох регіонах вміст  $NO_2^-$  у 2-3 рази і більше перевищує ГДК. В цих же районах простежуються підвищені концентрації важких металів, які надходять разом з добривами фосфору, а також калію. Визначено наявність пестицидів, в тому числі і заборонених до використання ДДТ, хлорофосу, та інших пестицидів в концентраціях до 0,002 мг/л. Крім того, нітрати, отрутохімікати, важкі метали, нафтопродукти, феноли та інші ЗР змиваються з різноманітних об'єктів поверхневим стоком і, інфільтруючись в ГВ, погіршують їх якість. Джерелом площового забруднення є й розпилення пестицидів сільгоспавіацією, яке проводиться в обмежених розмірах, але неприпустимо для густо заселених районів. *Регіональним* джерелом забруднення ГВ можуть бути забруднені атмосферні опади, що є одним з негативних факторів зміни якості вод.

Найбільшою мірою на антропогенне забруднення наражаються ПВ зони активного водообміну, які можуть бути розташовані близько до поверхні землі. В гідрогеохімічному відношенні ПВ зони активного водообміну, особливо ГВ, зазвичай прісні (мінералізація менше 1 г/л), здебільшого гідрокарбонатно-кальцієвого складу, і є об'єктом господарськопитного водопостачання в багатьох країнах. На їх склад можуть впливати навіть слабомінералізовані атмосферні опади (дошові опади мають мінералізацію 12-120 мг/л, туман -165 мг/л), які містять ЗР.

Зміна якості ГВ може виражатись в збільшенні їх мінералізації, жорсткості, вмісту типових макро- ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) і мікрокомпонентів (J,  $Bg^-$ , F<sup>-</sup>), в появі специфічних речовин антропогенного походження (СПАР, НП, феноли, пестициди та ін.), в зміні фізичних і органолептичних властивостей тощо.

Якість прісних ПВ, які використовуються для водопостачання, визначається, як і для поверхневих вод суші, державними стандартами (ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая»; СанПіН), що включають бактеріологічні, органолептичні та хімічні показники.

Показники хімічного складу ПВ включають ГДК речовин, що зустрічаються як в природних умовах, так і внаслідок промислового, транспортного, сільськогосподарського, комунального чи іншого забруднення, а також внаслідок очистки води. ГОСТ 2874-82 та інші стандарти лімітують вміст суми мінеральних компонентів, загальну жорсткість,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $H^+$  (рН), Be, Mo, As, Pb, Se, Sr тощо. Так, якщо ВОЗ рекомендовані такі значення показників якості питної води:  $Cl^- = 600$  мг/л,  $SO_4^{2-} = 400$  мг/л,  $Mn^{2+} = 0,5$  мг/л,  $Zn^{2+} = 15$  мг/л,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+} = 1$  мг/л, то ГОСТ 2874-82 передбачає більш жорсткі обмеження ( $Cl^- = 100-350$  мг/л,  $SO_4^{2-} = 250$  мг/л,  $Mn^{2+} = 0,1$  мг/л,  $Zn^{2+} = 5$  мг/л,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+} = 0,3$  мг/л).



Змінення якості прісних вод зони активного водообміну під впливом техногенних дій може виразитися у збільшенні їх мінералізації, вмісту токсичних макро- ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), мезо- ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^+$ ) та мікрокомпонентів (J, Br, B, F і ін.), у появі в підземних водах невластивих їм речовин антропогенного генезису (СПАР, пестициди та ін.), у змінненні температури, рН, Eh, у появі специфічного запаху, кольору і т.д.

Радіоактивні елементи враховуються згідно з нормами радіаційної безпеки (НРБ -76/37 та інші нормативні документи).

При вмісті в воді деяких ЗР (за винятком  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) сума їх концентрацій не повинна перевищувати 1, тобто:

$$C_1/C'_1 + C_2/C'_2 \dots + C_n/C'_n, \quad (9.4)$$

де  $C_1, C_2 \dots C_n$ - виявлені концентрації речовин, мг/л;

$C'_1, C'_2 \dots C'_n$ - ГДК цих же речовин, мг/л.

Якщо визначити показники якості води в природних умовах через  $C_e$  (фонові значення), а ГДК цих же речовин через  $C'$ , то величина  $C$  може виражати мінералізацію, загальну жорсткість, концентрацію окремих макро-, мезо- та мікрокомпонентів. В більшості випадків  $C_e < C'$ , але може бути, що це стосується мінералізації або жорсткості; відповідно до стандарту якості і по окремих компонентах  $C > \text{ГДК}$ .

В.М.Гольдберг [31] виділяє 2 основні стадії забруднення підземних вод:

I - *дограничне, початкове забруднення* чи ознаки забруднення, тобто коли вміст ЗР більше  $C_e$ , але менше  $C'$ . Для цієї стадії забруднення характерно зростання концентрації ЗР в часі, хоча воно залишається нижчим за значення ГДК:

$$C_e < C \leq C', \quad (9.5)$$

або

$$R_e < R \leq 1, \quad (9.6)$$

де  $R_e = C_e / C'$ , а  $R = C / C'$ .

В стадії I виділяють 2 міри початкового забруднення ПВ (Ia, Ib):

$$Ia: R_e < R \leq 0,5, \quad (9.7)$$

$$Ib: 0,5 < R \leq 1. \quad (9.8)$$

II - надграничне забруднення - вміст ЗР вище ГДК. В стадії II виділяються 3 міри забруднення:

$$IIa: 1 < R \leq 10, \quad (9.9)$$

$$IIb: 10 < R \leq 100, \quad (9.10)$$

$$IIв: R > 100. \quad (9.11)$$

Міра IIв - екстремальне забруднення в загальному випадку, а для токсичних речовин екстремальним треба вважати  $C > 100$  ГДК.

Найбільш небезпечною є стадія II, але не менш важливий своєчасний вияв стадії I. Ці стадії можуть мати місце за межами зони активного впливу техногенних джерел, а також на ділянках водозабірних споруд. Міра IIa визначається поблизу порівняно невеликих за інтенсивністю джерел забруднення; на водозабірних ділянках зустрічається рідко. Якщо забруднення перевищує в 1,5-2 рази ГДК, то водозабір зазвичай використовується для технічних цілей. Міри IIb і IIв характерні для ділянок, які зазнають тривалого інтенсивного впливу джерел забруднення.

Забруднення IIв може бути викликано більшою кількістю ЗР ( $n \times 10$  і більше). Звично обирають 2-3 типових ЗР і найбільш перевищуючих значення ГДК ( $C/C' > 1$ ), але при цьому враховуються і загальні, тобто ті показники, що виявляються часто і повсюдно (мінералізація, загальна жорсткість, хлор-іон, сульфат-іон, нітрат-іон, органічні речовини та ін.).

Техногенне (антропогенне) забруднення IIв неоднакове за інтенсивністю і масштабами.

Значне забруднення IIв спостерігається поблизу приймачів промислових комплексів і сільськогосподарських відходів. Зони забруднення, що формуються тут, носять локальний характер, але відрізняються високою інтенсивністю забруднення (стадія II,  $C > 10 - 100$  ГДК, де  $C$  - концентрація забруднюючої речовини).

Дуже важливим є вплив забруднення атмосфери на якість IIв, який носить регіональний характер (стадія I,  $C < 1$  ГДК).

Локальне забруднення характеризується невеликою площею і високим вмістом ЗР. Під впливом населених пунктів, сільськогосподарських площ концентрації ЗР дорівнюють 1-10 ГДК, а під впливом ділянок складування відходів, окремих промислових, комунальних та сільськогосподарських об'єктів - до 10-100 ГДК.

Якщо до забруднення IIв відносити лише випадки з  $C > 1$  ГДК, то картина забруднення IIв буде мати переважно локальний характер. Якщо відносити випадки, коли  $C > \text{фону}$ , але менше за ГДК, то картина буде носити регіональний характер.

Влив процесів техногенезу відбивається не лише у змінюванні хімічного складу, але й підвищенні температури («острів тепла» у містах), у зміні бактеріологічного складу тощо.

Основне навантаження ЗР, що надходять з поверхні землі, падає на ГВ, які є акумулятором ЗР, захисним шаром і одночасно джерелом забруднення для більш глибоких водоносних горизонтів. Якщо швидкість горизонтального водообміну ПВ у багато разів менша за швидкість вертикальної міграції ЗР з поверхні землі, то відбувається їх накопичення у верхніх водоносних горизонтах, особливо у ГВ.

Власне кажучи, у районах інтенсивного сільськогосподарського освоєння і особливо у промислових районах, відбувається формування антропогенного і гідрохімічного режимів ПВ. Має місце селективне проникнення ЗР у ПВ, переважно мінеральних компонентів.

Іншим важливим техногенним фактором, який впливає на зміну якості ПВ є водовідбір, з яким пов'язане підтягування до водозабірної споруди некондиційних підземних та поверхневих вод.

Серед техногенних джерел забруднення особливу небезпеку становлять поверхневі земляні ємності, призначені для зберігання рідких і твердих відходів. Пристосовані вони до природних і штучних заглиблень рельєфу і обваловані (обнесені) дамбами. Приймачі таких відходів входять і до системи промислової каналізації підприємств хімічної, металургійної, гірничодобувної, нафтохімічної, целюлозно-паперової, фармацевтичної та ін. промисловостей.

Процес забруднення ПВ відбувається у 3 стадії:

1. Прохідна фільтрація зі сховища рідких відходів (приймача відходів). Стічні води інфільтруються крізь зону аерації, в результаті чого на поверхні ГВ починає виростати «бугор» забруднених вод. Вільна фільтрація триває доти, поки потік із сховища відходів не зімкнеться з горизонтом ГВ. Тривалість прохідної фільтрації звично не більше 1-2 років. Разом із зростанням «бугра» забруднених вод відбувається їх розтікання по горизонту ГВ.

2. Змішування метаморфізованих (змінених) вод з ГВ.

3. Просування забруднених вод та їх розповсюдження по водоносному горизонту. У цей час і відбувається формування ділянки забруднення водоносного горизонту.

Взаємозв'язок забруднення ПВ із забрудненням інших природних середовищ обумовлює необхідність комплексного вивчення і моніторингу забруднення цих середовищ та планування комплексних досліджень.

## **9.4 Забруднення морських вод**

Океани, включаючи замкнені і напівзамкнені моря, є важливою частиною глобальної системи життєзабезпечення. Вони впливають на

клімат, погоду і стан атмосфери, а також є могутнім резервом продуктів харчування, мінерально-сировинних і інших ресурсів.

Світовий океан є безвідмовним приймачем усякого роду відходів. Скид у нього надто великої кількості шкідливих речовин, пестицидів, добрив, зростаюче забруднення морського середовища нафтопродуктами, засмічення річкових естуаріїв - все це робить реальним припущення про те, що може наступити такий момент, коли океан перестане служити людині. Океани - це загальна стічна яма, величезний септичний бак, із якого вода, здійснивши великий кругообіг, повертається до людини, тварин і рослин у чистому вигляді. Забруднення морських вод слід розглядати з урахуванням складного обміну природних вод між геосферами й утворюючими їх системами у процесі вологообороту і еволюційного розвитку Землі.

Близько 70% забруднення морського середовища пов'язане з наземними джерелами. Забруднення виникає також в результаті судноплавства і скиду відходів у море. До основних джерел забруднення морських вод можна віднести: скид промислових і господарських вод безпосередньо у море або з річковим стоком; надходження з суші різних речовин, що застосовуються в сільському і лісовому господарствах; навмисне поховання ЗР в морі; втрати різних речовин у процесі судових операцій; аварійні викиди з суден або підводних трубопроводів; розробка корисних копалин на морському дні; перенесення ЗР крізь атмосферу [1].

У моря виносяться величезні кількості речовин як у результаті природних, так і антропогенних процесів. Лише внаслідок природних процесів до Світового океану щороку надходять приблизно 25 млн. тонн заліза, 300-400 тонн марганцю, по 180 тис. тонн міді і цинку.

Нафта і НП - найбільш розповсюджені ЗР. У природних умовах до Світового океану їх надходить від 0,2 до 2 млн. тонн. Найбільшу шкоду морським екосистемам завдають морські перевезення. Танкерами перевозиться щорічно близько 2 млрд. тонн нафти і НП. Втрати відбуваються навіть і при безаварійній роботі морського транспорту. Але під час аварій, коли розливається до 40-50 тис. тонн, уражаються поверхні площею близько 100 км<sup>2</sup>. Внаслідок аварій та витоків до Світового океану надходить 5-10 млн. тонн нафти й НП на рік, тобто набагато більше ніж в природних умовах. У Світовий океан надходить до 16 млн. т нафти і НП, із них 8 млн. т - при видобутку й перевезенні танкерами та 8 млн. тонн - через втрати на суші з поверхневим стоком [33]. Щорічне забруднення океанів внаслідок морських перевезень, аварій та незаконного зливу складає близько 600 тис. тонн нафти. Нафта і НП справляють негативний вплив на морські біоценози, тому що їх плівки порушують обмін енергією, теплом, вологою й газами між океаном і атмосферою, а також впливають на фізико-хімічні і гідробіологічні умови, на клімат Землі, на баланс кисню у атмосфері.

Забруднення морських вод ДДТ, іншими пестицидами (особливо в пригирлових частинах морів) багатьма ученими розглядається як найбільш імовірна загроза необоротної деградації у майбутньому морських екосистем. Заборона ДДТ, інших найбільш стійких та токсичних пестицидів у деяких країнах не привела до корінного вирішення цієї проблеми, хоча в цілому кількість ДДТ, що надходить до морських вод, дещо скоротилась (близько 27-28 тис. т/рік).

Забруднення і отруєння морських вод відбувається при затоплюванні (*дампінгу*) ємностей з отруюючими речовинами, побутовими та промисловими відходами. З 1967 р. стали проводитись поховання у глибоководних частинах океану радіоактивних відходів у герметичних металевих контейнерах, залитих бетоном або бітумом. Однак екологічні наслідки дампінгу радіоактивних відходів після розгерметизації цих контейнерів можуть бути дуже негативними.

Забруднення морських вод відбувається нерівномірно. Особливо піддаються забрудненню прибережні та шельфові області, міжматерикові та внутрішньоматерикові моря, куди виноситься потік стічних вод річками; цьому сприяє також розташування у прибережних районах суші значної частини промислових підприємств, а на низькодолах - землеробських угідь. Для районів шельфу найбільш характерне нафтове забруднення. Здатність морських вод до самоочищення від нафтового забруднення залежать від географічної широти, температури води, розміру хвилювання на поверхні моря і т.д. Так, при низьких температурах розкладення нафтопродуктів, які потрапили у морську воду, відбувається повільніше, що призводить до їх накопичення і шкідливого впливу. Дуже широко в морських водах розповсюдились пестициди, половина яких надходить із повітря, а решта виноситься із агроекосистем поверхневим стоком. Дампінг радіоактивних відходів призвів до підвищення радіоактивності деяких районів (Ірландське море, Японське море, північно-східна частина Атлантики, тихоокеанське узбережжя США та ін.).

#### ***9.4.1 Особливості екосистеми і антропогенного забруднення Чорного моря***

Нижче наводиться стисла характеристика ЕС і факторів антропогенного забруднення Чорного моря, яка базується на матеріалах академіка НАН України Ю.П. Зайцева [34].

На місці сучасного Чорного моря в різні відрізки геологічного часу існували басейни, які мали інші риси біотопу і біоценозу: Сарматське море (5-7 млн. років тому), Мотичне море (2-3 млн. років тому), Понтійське озеро-море (1,5-2 млн. років тому), Чаудинське озеро-море (біля 1 млн. років тому), Давньоевксінський басейн (400-500 тис. років тому),

Карангатське море (100-150 тис. років тому), Новоевксінське море (18-20 тис. років тому). Релікти палеобіоценозів є в сучасному Чорному морі.

Чорное море відноситься до внутрішніх морів, які в тій або іншій мірі оточені сушею; за мірою ізолюваності від Світового океану воно поступається тільки Азовському морю. Площа акваторії Чорного моря – 423 тис. км<sup>2</sup>, об'єм його вод – 547 тис. км<sup>3</sup>. Максимальна глибина – 2112 м. Площа шельфу (глибини 150-200 м) біля 100 тис. км<sup>2</sup>, з них 64 тис. км<sup>2</sup> – в північно-західній частині Чорного моря (ПЗЧМ) навпроти берегів України, Румунії і Болгарії. Ширина шельфу досягає 150-180 км, однак в районах, прилеглих до гористої місцевості звужується до 10 – 2 км. Довжина берегової лінії складає 4340 км (в тому числі в межах України – 1628 км). Береги характеризуються ландшафтною різноманітністю. Водозбірний басейн нараховує більше 300 річок. Площа водозбірного басейну (більше як 2,3 млн. км<sup>2</sup>) охоплює території 22 країн Європи і Малої Азії. Місце, де річкові води зустрічаються з морськими, називається *гідрофронтом*.

Водний баланс Чорного моря виражається такими величинами (км<sup>3</sup> в рік): *приходні статті* - річковий стік (346), атмосферні опади (119), нижньобосфорська течія (176), верхньокерченська течія (32), усього – (694); *витратні статті* – випаровування (332), верхньобосфорська течія (340), нижньокерченська течія (32), усього - 704 км<sup>3</sup> в рік.

Солоність моря в центральних частинах біля поверхні складає близько 18 г/кг, а в ПЗЧМ знижується до 15 г/кг і нижче (особливо в пригирлових частинах). З глибиною солоність підвищується і на 200 м становить 20,5 г/кг, а на 2000 м – 22,4 г/кг. Максимальні значення солоності (вищі за 30 г/кг) спостерігались в нижньобосфорській течії.

Температура води в центральній частині моря в літній час досягає 23-24 °С, біля берегів до 28-30 °С. Нижче – шар холодної води і на глибині 150 м протягом року зберігається температура 8,6 °С; ще глибше вона підвищується до 9 °С і такою зберігається до дна. На глибинах від 50 м в центральних частинах моря до 100-150 м і до 100-150 м на шельфі відмічається «холодний проміжний шар» – від 7,2 до 7,5 °С. У зимові місяці температура в південних частинах моря знижується до 10-13 °С, в північних - до 4-5 °С.

Низька солоність і низька зимова температура в Чорному морі були перешкодою для проникнення в неї середземноморських гідробіонтів. Іншою особливістю біотопу є сірководневе зараження; біля 87% об'єму вод позбавлені O<sub>2</sub> і забруднені H<sub>2</sub>S міститься на глибинах від 150-200 м і до дна моря. Вміст H<sub>2</sub>S в морській воді коливається від 0,19 мг/л на 150 м, до 0,83 мг/л на 200 м, 2,34 мг/л на 300 м, 8,48 мг/л на 1000 м, і 9,6 мг/л

на 2000 м. Верхній кордон  $H_2S$  коливається, але не виявляє істотних тенденцій до підйому.

Донне відкладення представлені піщаними, мулкими, кам'янистими, галечними, перехідними (мулко-піщаними, галечно-піщаними, глинисто-піщаними) і іншими утвореннями, з якими пов'язані певні угруповання гідробіонтів.

Гідробіонти Чорного моря представлені 3774 видами (в т.ч. 1619 – грибів, водоростей і вищих рослин, 1983 – безхребетних тварин, 168 – риб, 4 – морських ссавців). Для порівняння: в Середземному морі нараховують 8000 видів (в т.ч. 500 видів риб). Однак по масі ЖР на одиницю поверхні і по біологічній продуктивності Чорне море перевершує Середземне. Основні систематичні групи *фітопланктону* – діатомові, дінофітові, кокколітофоріди, зелені, еугленові, синьо-зелені; всього 745 видів одноклітинних водоростей. До складу *зоопланктону* входить багато різних видів: від одноклітинних найпростіших до ікри і личинок риб. Широку популярність отримали ночесвітки і гребневики-плевробрахії. *Фітобентос* представлений 304 видами донних водоростей, пристосованих в основному до глибин 5010 м (цистозіра, філофора, тостера і ін.), а також дрібними одноклітинними водоростями (400 видів). *Бактерії* планктону і бентосу вельми різноманітні. Глибше 200 м (в сірководневій зоні) наявні тільки анаеробні сульфатредуючі бактерії, а в кисневій зоні – аеробні бактерії, чисельність яких велика (до значна 75 млн. в 1 мл води в нейстоні). Організми зообентосу зустрічаються на березі (мармуровий краб), біля кромки моря (молюски) і на глибинах (мідії). Мідія харчується дрібним планктоном і завислими органічними частками, які збирає, проціджуючи за добу до 200 м<sup>3</sup> морської води. До *зообентосу* відносяться морські жолуді (балянуси), актинії, устриці, морські таргани, краби, молюск рапана, мії і т.д., які разом з *фітобентосом* утворюють угруповання донних організмів. *Нейстон* населяє самий верхній шар води товщиною до 5 см (личинки черв'яків, молюсків, креветок, крабів; ікра, мальки риб і т.д.). Як відмічає Ю.П. Зайцев, більшість мешканців хоча б короткий період входять до складу нейстону. Основну частину *нектону* складають риби; нараховується біля 200 видів іхтіофауни (в т.ч. 186 морських видів): понтичні релікти (тюлька, осетрові, оселедцеві, багато які види бичків); новоевксинські релікти, холодноводні (акула-катран, кілька, мерланка, чорноморський лосось); середземноморські вселенці, солелюбиві і теплолюбіві (хамса, ставрида, сарган, султанка, лобан, скумбрія, пеламіда і ін.); екзотичні види – гамбузія (переселена в 20-і роки з Італії), сонячна риба (доставлена з Америки акваріумістами), піленгас (завезена з опріснених вод Японського моря). *Рептилії* представлені водними вужами, які мешкають у річкових дельтах, лиманах і прибережних водах моря. Із *ссавців* в Чорному морі мешкають 3 види дельфінів (афаліна, білобочка, азовка або морська свиня) і тюлень-чернець.

Екологічна обстановка в ПЗЧМ стала помітно гіршати в 60-70 роках ХХ сторіччя. До основних джерел і видів антропогенного впливу на ЕС Чорного моря відносяться [34]: 1) *ріки* (скорочення прісноводного стоку, внесення в море різних ЗР); 2) *сільське господарство* (внесення в море добрив, пестицидів, часток ґрунту); 3) *промисловість* (внесення в море важких металів, детергентів, НП); 4) *населені пункти* (внесення в море неочищених або недостатньо очищених стоків, патогенних мікроорганізмів, детергентів, НП); 5) *атмосферне випадання* (внесення в море фосфатів, нітратів, ртуті, свинцю, пилу); 6) *судноплавство* (внесення в море НП, екзотів, шумове забруднення морського середовища і т.д.); 7) *порти* (забруднення акваторій, поглиблення дна, прокладка судноплавних каналів, дампінг, перетворення природи лиманів); 8) *рибний промисел* (перелов біологічних ресурсів, пошкодження і руйнування донних угруповань на шельфі); 9) *видобуток мінеральних ресурсів* (пошкодження і руйнування донних угруповань на шельфі); 10) *захист берегів* (зміна умов мешкання крайових угруповань моря, створення застійних зон, збільшення забрудненості вод і донного відкладення); 11) *рекреація і туризм* (мікробне забруднення моря, засмічення прибережної відходами, які довго не руйнуються, некерований видобуток «дарів моря»).

Багато які ЗР (органічні і мінеральні сполуки, НП, радіонукліди і т.д.) надходять в Чорне море разом із стоком рік. Разом з річковим стоком надходять неочищені або недостатньо очищені промислові, сільськогосподарські і комунально-побутові стоки. Із судноплавством пов'язане фізичне, хімічне (НП і інші ЗР) і біологічне (мікроорганізми, екзоти) забруднення. Шумове забруднення в «біологічних коридорах» (Босфорській і Керченській протоках, через які проходять відповідно 40 і 10 тисяч суден на рік) створює перешкоди для міграції риб і інших морських тварин. Днопоглиблювальні роботи і демпінг ґрунтів порушує умови мешкання бентосних форм. Перепромисел морських організмів підриває запаси промислових видів і тих гідробіонтів, які з ними пов'язані в угрупованнях. Донні риболовецькі трали переорюють донні відкладення, змулюють осідання, приводять до замулення піски, мідійні і устричні банки та біоценози заростей. Пошуки, розвідка і видобуток вуглеводнів і інших мінеральних ресурсів на шельфі приводять до погіршення якості морського середовища і донного відкладення. Берегозахисні споруди порушують умови мешкання крайових угруповань, які відіграють важливу роль в природному відтворенні багатьох донних і пелагічних видів. Крім того, вони сприяють утворенню застійних зон з підвищеною бактерійною забрудненістю, тобто знижують рекреаційну значущість прибережних ділянок. Масова рекреація, безконтрольний вилов морських організмів також негативно впливають на екологічну обстановку на прибережній



території. Особливо небезпечним наслідком масової рекреації є мікробне і вірусне забруднення прибережних вод.

Антропогенна евтрофікація ПЗЧМ почалася у зв'язку зі збільшенням вмісту фосфатів і нітратів у річковому стоці в 1970-х роках. Якщо в 1950-х роках вміст фосфатів становив 10,5 мг/л, нітратів 22,5 мг/л, то в 1976-1980 рр. відповідно 197,9 і 188,8 мг/л, що було наслідком “зеленої революції”. Це привело до бурхливого розвитку фітопланктону, кількість якого збільшилася від 670 мг/м<sup>3</sup> в 1950-і роки до 30000 мг/м<sup>3</sup> в 1980-і роки. Велика кількість фітопланктону сприятливо вплинула на розвиток біомаси фітоїдного зоопланктону (ночесвітка, медуза аурелія і т.д.). Наприклад, біомаса ночесвітки зросла в десятки разів, а медузи від 0,67 т в 1950-х роках до 222 млн. т в 1981-1982 рр. Крім того, знизилася прозорість води, що утруднило процеси фотосинтезу і привело до загибелі водоростей на глибинах 20-60 м; з цієї ж причини площа філофорного поля з 11 тис. км<sup>2</sup> і біомаси з 10 млн. т в 1950-х роках скоротилися до 0,5 тис. км<sup>2</sup> по площі і 0,2 млн. т по біомасі в 1980-х роках, що привело до деградації “фауни філофори”. Через евтрофікацію в 1970-1980-х рр. зникла світлолюбна цистозіра на глибинах 15-20 м і пов'язані з нею гідробіонти. Велика кількість відмерлого фітопланктону обумовила збільшення концентрації органічної речовини в донному відкладенні від 2-3 г/м<sup>2</sup> за добу на глибині 10 м в 1950-х роках до 150 г/м<sup>2</sup> за добу у 1980-і роки. Значна витрата кисню, необхідного для розкладання мертвого планктону, була причиною *гіпоксії* і навіть *аноксії* (повна відсутність кисню) і заморів риби і інших донних тварин; в 1973-1990 рр. втрати в межах ПЗЧМ становили 60 млн. т (в т.ч. 5 млн. т риби). Антропогенна евтрофікація була причиною загибелі мідій і інших фільтраторів, що привело до збільшення ступеня забрудненості морських вод (1 м<sup>2</sup> площі, заселеної мідіями, фільтрує за добу 15-20 м<sup>3</sup> морських вод). Загалом, ситуація в 90-і роки дещо поліпшилася, а замори стали спостерігатися рідше і на менших площах.

Мікробне забруднення також є наслідком антропогенного впливу на морський басейн. Якщо в 1950-х роках на 1 мл морських вод припадало 10-200 кліток (кл.) кишкової палички (ешеріхії), в 1960-х роках до 90 тис. кл./л, то в 1980-х роках до 140-620 тис. кл./л (екстремально високі значення на пляжі Аркадія – до 2,4 млн. кл./л). Таке збільшення ешеріхії пов'язане із забрудненням прибережної зони моря каналізаційними стоками. Крім ешеріхії, поблизу випуску комунально-побутових стоків і дренажних вод на пляжах відмічалася поява і інших патогенних мікроорганізмів (сальмонела, шігела, холерний вібріон, яйця глиста і т.д.).

У Чорне море з водами рік і атмосферними опадами щорічно надходить біля 80 т ртуті, 4500 т свинцю, 12000 т цинку, які можуть вступати в трофічні ланцюги. Негативний вплив чинять пестициди; у 70-х роках на глибині 25 м напроти одеського пляжу «Аркадія» затонуло судно «Моздок» з вантажем ДДТ на борту (істотного забруднення вод ДДТ,

донного відкладення і гідробіонтів не сталося, оскільки ДДТ був в герметичній тарі, і вдалося вантаж підняти і доставити на берег). В Чорне море щорічно надходять до 50 тис. т СПАР, які при концентраціях, вищих за 0,1 мг/л, від тих, що відмічаються в прибережній зоні, токсичні для морських організмів. Це є однією причин зникнення в 1970-1980 роках цистозіри.

У Чорне море надходить біля 111 тис. т нафти і НП щороку. Великих аварій танкерів у відкритих водах моря не спостерігалось, але розливи 40-50 тонн відмічалися в ПЗЧМ. Ікринки, личинки можуть загинути навіть при концентрації НП біля 1 мг/л. Є дані про те, що гідробіонти, існуючі в умовах хронічного нафтового забруднення, пристосовуються до нього. Деякі з них (одноклітинні водорості, гриби, ракоподібні, молюски) можуть зростати на плямах мазуту; нафторуйнівні бактерії харчуються НП.

До потенційних забруднювачів Чорного моря можуть бути віднесені хімічні заводи, електрохімічні і металургійні підприємства, цементні заводи, нафтові і інші термінали.

Тривалий час в морській воді зберігаються синтетичні матеріали (капроновий канат зберігається 100-200 років, пластикова пляшка – до 500 років). Пластикові відходи спричиняють шкоду морським організмам, птахам і естетичному вигляду морського побережжя.

Чорне море стало приймачем для *екзотів*, які попали внаслідок випадкової або навмисної інтродукції. Вони успішно пристосувалися, зайняли екологічні ніші інших організмів і стали причиною еколого-економічних проблем. Прикладом є поява в 1940-1950 рр. молюска рапана родом з Японського моря, що поїдає устриць, мідій і інших молюсків. У ПЗЧМ рапана не отримала масового розмноження. Разом з баластними водами з опріснених вод Північної Атлантики в 1980-і роки попав медузо-подібний гребневик мнеміопсіс (до 10-11 см в довжину), відомий як хижак, що поїдає зоопланктон - кормову базу риб. Наприкінці 1980-х років відмічалось різке зниження зоопланктону і іхтіопланктону, різке падіння уловів хамси. У 1994-1996 рр. чисельність мнеміопсісу стала меншати, що привело до збільшення чисельності кормового зоопланктону, однак проблема мнеміопсісу не втратила гостроти.

Регулювання видобутку біоресурсів в Чорному морі є однією найважливіших умов забезпечення стійкого промислу і збереження біологічної різноманітності в межах всієї ЕС.

Наскільки згубно позначаються антропогенні навантаження на екологічний стан морського середовища можна бачити на прикладі о. Зміїний, який значною мірою не зазнає таких навантажень і характеризується унікальною біологічною різноманітністю [34].

Чорне море визнане як найбільш забруднене в світі. Дана ситуація повинна послужити прикладом для майбутніх поколінь, людського розуміння щодо необхідності порятунку і захисту спільних міжнародних

ресурсів. Як відмічає Ю.П. Зайцев [34], стійкий розвиток морської ЕС потребує безперервної міжнародної співпраці на основі Стратегічного Плану Дій по відновленню і охороні Чорного моря, прийнятого в 1996 р. шістьма причорноморськими країнами.

### 9.5 Оцінка екологічного стану водних об'єктів

Загальне забруднення характеризується зміною фізичних властивостей водних об'єктів, хімічного складу води и гідробіонтів. Усі процеси, як фізичні й хімічні, так і мікробіологічні й біологічні, у водних об'єктах тісно пов'язані між собою. Це дає змогу характеризувати ступінь забруднення водойми на основі екологічного взаємозв'язку організмів з навколишнім середовищем - за сапробністю водойми, тобто комплексом фізіологічних властивостей даного організму і його здатністю розвиватися залежно від вмісту органічних речовин і ступеня забруднення.

На показниках хімічного складу ґрунтується оцінка *індексу забруднення вод (ІЗВ)*. Розрахунок *ІЗВ* для поверхневих вод виконується лише за певної кількості інгредієнтів (за результатами аналізів по кожному з показників вираховується середнє арифметичне значення; кількість аналізів для визначення середнього повинна бути не менше чотирьох):

$$ІЗВ = \sum (C/ГДК) / n, \quad (9.12)$$

де *ГДК* – гранично-допустима концентрація хімічного компонента;  
*C* – фактична концентрація хімічного компонента;  
*n* – кількість інгредієнтів.

Причому для поверхневих вод кількість показників, які беруться для розрахунку *ІЗВ*, повинна бути не менше шести, але обов'язково включати розчинений  $O_2$  та БСК<sub>5</sub>. Для морських вод кількість показників має бути не меншою від чотирьох і обов'язково включати розчинений  $O_2$ . Критерії оцінки якості вод за *ІЗВ* (без урахування водності) наведені у табл. 9.1.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв є складовою частиною нормативної бази для комплексної характеристики стану НПС України (стосовно гідросфери). Екологічна оцінка якості вод – віднесення вод до певного класу і категорії згідно з екологічною класифікацією на підставі аналізу значень показників (критеріїв) її складу і властивостей з послідовним їх обчисленням та інтегруванням. Екологічна класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв України побудована за екосистемним принципом. Вона включає три групи спеціалізованих класифікацій, а саме: 1) за критеріями сольового складу; 2) за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями (сапробність – рівень вмісту у воді органічних речовин, що

Критерії оцінки якості вод за ІЗВ (без урахування водності) [30]

Клас якості води	Текстовий опис	Величина ІЗВ
<i>Для поверхневих вод суші</i>		
I	Дуже чиста	$\leq 0,3$
II	Чиста	$> 0,3-1$
III	Помірно забруднена	$> 1 - 2,5$
IV	Забруднена	$> 2,5 - 4$
V	Брудна	$> 4 - 6$
VI	Дуже брудна	$> 6 - 10$
VII	Надзвичайно брудна	$> 10$
<i>Для морських вод</i>		
I	Дуже чиста	0,25
II	Чиста	$> 0,25 - 0,75$
III	Помірно забруднена	$> 0,75 - 1,25$
IV	Забруднена	$> 1,25 - 1,75$
V	Брудна	$> 1,75 - 3$
VI	Дуже брудна	$> 3 - 5$
VII	Надзвичайно брудна	$> 5$

розкладаються; вона може визначатися за характеристиками видового складу і чисельності гідробіонтів-індикаторів; *трофність* – ступінь біологічної продуктивності водних екосистем, який визначається вмістом у воді фосфору, азоту і інших біогенів та комплексом гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних і інших факторів); 3) за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної і радіаційної дії, а також за рівнем токсичності. Назви надані класам і категоріям якості вод за ступенем їх чистоти (забрудненості): I – дуже чисті, II - чисті, III – забруднені, IV – брудні, V – дуже брудні [35].

### 9.6 Негативні наслідки забруднення природних вод та їх охорона від забруднення

Сукупність усіх процесів, спрямованих на відновлення початкового хімічного складу води відповідно до існування раніше рівноваги, називається самоочищенням водного об'єкта. Однак, здатність водних об'єктів до самоочищення при значному надходженні забруднюючих речовин, особливо антропогенного походження, знижується.

Стічні води значно збагачені біогенними елементами, які сприяють евтрофуванню водойм. *Евтрофування (евтрофікація)* – підвищення біологічної продуктивності водних об'єктів, в першу чергу водойм, в

результаті накопичення у воді біогенів (N, P, C) під дією природних чи антропогенних факторів. Внаслідок посиленого розвитку у водному об'єкті рослин і мікроорганізмів, а потім їх відмирання, погіршуються органолептичні та фізико-хімічні властивості води (зменшується її прозорість, вода набуває зеленого чи жовто-бурого кольору, з'являються неприємний смак і запах, підвищується значення рН, спостерігається дефіцит кисню, виникають заморні явища і т.д.).

Теплове забруднення впливає на гідробіоти; риби задихаються і гинуть, тому що потреба їх у кисні зростає, а розчинність кисню зменшується. Кількість кисню знижується іще й тому, що при тепловому забрудненні відбувається бурхливий розвиток водоростей, вода «зацвітає» з подальшим гниттям відмираючої рослинної маси, тобто відбуваються процеси евтрофікації водних об'єктів. Теплове забруднення істотно підвищує токсичність багатьох хімічних забруднювачів, зокрема важких металів. Навіть під час нормальної роботи ядерних реакторів в охолоджуючі поверхневі води можуть потрапити нейтрони, під дією яких молекули води і домішки (продукти корозії) стають радіоактивними. Окрім того, захисні цирконієві оболонки тепловідільних елементів можуть мати мікрошпаринки, крізь які у водне середовище можуть надійти продукти ядерних реакцій ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  мають великий період піврозпаду). У водних об'єктах радіоактивні речовини зазнають фізико-хімічних перетворень (адсорбція на завислих частинках, осадження, перенесення течіями, поглинання живими організмами, накопичення у їх тканинах). У живих тканинах нагромаджуються перш за все радіоактивна ртуть, фосфор, кадмій; у ґрунтах - ванадій, цезій, ніобій, цинк; у воді залишаються сірка, хром, йод.

Плівки НП на водній поверхні перешкоджають газообміну, призводять до гіпоксії. У водоплавних птахів при контакті з нафтою відбувається склеювання оперення; птахи втрачають здатність триматися на воді і гинуть від переохолодження. Розчинні у воді окислені компоненти нафти можуть мати токсичну дію. Леткі компоненти випаровуються з водної поверхні, а ті, що залишилися, зазнають мікробіологічного розпаду. Згустки важких нафтових компонентів згодом опускаються на дно і забруднюють відкладення. На відміну від забруднень НП забруднення фенолами відбувається в менших розмірах. Феноли використовуються для дезинфекції, виготовлення клеїв і фенолформальдегідних пластмас; вони входять до складу вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання, утворюються при згорянні і коксуванні вугілля тощо. Прості феноли в аеробних умовах під дією мікроорганізмів розпадаються майже повністю за 7 днів. У анаеробних умовах розпад йде повільніше. Європейські ГДК ЗР в питній воді прийняті на рівні 0,5 мкг/л. До числа продуктів, розпад яких йде насилу і триває більше 2 днів, відносяться хлоровані вуглеводні (ПХБ, хлорорганічні пестициди і інш.),

які можуть надходити як з антропогенних джерел, так і утворитися у воді, коли хлорована вода реагує з продуктами розпаду гумусу (при цьому утвориться трихлорметан). Хлоровані вуглеводні є вельми токсичними і значною мірою здатні до біологічного накопичення.

СПАР або детергенти, використовуються як миючі засоби, які знижують поверхнєве натягнення води. Їх використання призводить до утворення великої кількості піни у водних об'єктах, а їх токсичність призводить до масової загибелі риби. Незначна концентрація СПАР (0,05-0,1 мг/л) в річковій воді достатня, щоб активізувати токсичні речовини в донних відкладеннях і в ґрунтових водах. Для зниження негативного впливу СПАР, необхідне використання таких, які під впливом біохімічних процесів розпадалися б швидко і повністю.

З проблемою недостатнього розпаду відходів доводиться стикатися у разі використання речовин не тільки органічного, але і неорганічного походження. Насамперед це відноситься до забруднення вод хлоридами, мінеральними добривами, сполуками важких металів і кислотами. Підвищені концентрації хлоридів у водах роблять їх непридатними для питних і іригаційних цілей. Іони  $K^+$  і  $Ca^{2+}$  практично нешкідливі, а іони  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^-$  сприяють заростанню водоймищ рослинністю.

До числа найважливіших факторів, що призводять до забруднення вод, відносяться важкі метали, які попадають у воду в зв'язку з діяльністю цілого ряду галузей промисловості і з побутових відходів [24]. Сполуки важких металів, що попали у воду, порівняно швидко розповсюджуються по великому об'єму. Частково вони випадають в осад у вигляді карбонатів, сульфатів або сульфідів, частково адсорбуються на відкладеннях. Внаслідок хімічних реакцій важкі метали розчиняються у воді або в ліпідах, проникаючи потім в організм і включаючись в цикл живлення. Екологічне значення важких металів можна продемонструвати на прикладі ртуті - першого металу, для якого було виявлено біоконцентрування. Так, в 1956 р. серед мешканців Мінамату (о.Кюсю, Японія) спалахнула епідемія невідомої хвороби з повним розладом центральної нервової системи (погіршення зору і слуху, порушення мови, втрата розуму, невпевнені рухи і т.д.). *Хвороба Мінамату* охопила декілька сотень чоловік, у 43 випадках відзначено летальний кінець. Як з'ясувалось, причиною таких серйозних негативних впливів стали скиди солей ртуті у морську воду, які використовувалися при виробництві ацетальдегіду хімічним підприємством на березі бухти. Солі ртуті самі по собі досить токсичні, а під дією специфічних мікроорганізмів в бухті перетворювались на виключно отруйну метилртуть, яка акумулювалась у тканинах молюсків і риби (основному продукті харчування місцевих мешканців) в концентраціях, в 500 разів більш високих, ніж у воді.

Шкідливі домішки можуть накопичуватись у тканинах найдрібніших планктонних організмів, а потім по трофічному ланцюгу в молюсках,

губках, які у процесі дихання й живлення фільтрують велику кількість води; далі по трофічному ланцюгу вони концентруються в тканинах риб (перевищення концентрації в порівнянні із водою в 100-1000 разів).

ЗР, які створюють головну загрозу для морського середовища мешкання, є стічні води, хімічні речовини, продукти відстою, сміття та пластмаси, метали, радіоактивні відходи й нафта. Деякі з цих матеріалів отруйні, вони повільно розкладаються у морському середовищі і накопичуються у живих істотах.

Щоб перетворити стічні води на більш або менш придатні для використання, їх піддають багаторазовому розводженню. Але при цьому чисті природні води (у тому числі прісні питні) стають забрудненими. Для розбавлення всіх стоків, які скидалися у річки на території колишнього СРСР, треба було б 4,5 тис. км<sup>3</sup> води (майже увесь річний стік - 4,7 км<sup>3</sup>), тобто майже не залишилося б чистих поверхневих вод. Розводження стічних вод не виключає шкідливого впливу домішок, що містяться в водах, хай навіть і у надто малих концентраціях.

Розводження промислових стоків і, тим більш, розчинів добрив та пестицидів з територій агроєкосистем відбувається часто у самих водних об'єктах. Якщо водоймище непроточне або слабопроточне, то скид в нього органічних речовин і мінеральних добрив веде до надлишку живильних речовин - евтрофікації й заростання (наприклад, Дністровський, Хаджибейський і інші лимани Одеського регіону). Спочатку накопичуються живильні речовини й бурхливо розростаються водорості (в основному, синьо-зелені). Після їх відмирання біомаса опускається на дно, де відбувається її мінералізація із споживанням великої кількості O<sub>2</sub>, тобто в умовах, непридатних для життєдіяльності більшості гідробіонтів; при вичерпанні O<sub>2</sub> починається безкисневе бродіння з виділенням CH<sub>4</sub> і H<sub>2</sub>S. Це спричиняє отруєння усієї водойми та загибель більшості гідробіонтів (крім анаеробних мікроорганізмів). Така незavidна доля загрожує не лише водним об'єктам суші, але й Азовському, Чорному та Каспійському морям.

Шкода водним об'єктам, особливо річкам, наноситься не лише збільшенням об'єму ЗР, які скидаються, але й зменшенням їх спроможності до самоочищення. Наприклад, Волга в наш час являє собою скоріше каскад водосховищ, ніж ріку. У результаті прискорюється процес забруднення, гинуть гідробіонти, порушується звична міграція риб, затоплюються пасовища та орні землі і т.д. Аналогічна картина характерна і для Дніпра. Якщо взяти до уваги, що ГЕС на цих і інших ріках відіграє незначну роль в енергетичному балансі (в Україні виробляють лише 4% електроенергії), то навряд чи можна говорити про компенсації екологічних і економічних втрат від цих гідротехнічних споруд.

Антропогенний вплив на водні ресурси не обмежується забрудненням водних об'єктів. Людська діяльність впливає на водний

баланс прямим вилученням води, зміною гідрографічної мережі, впливом на ландшафти водозбірних басейнів і т.д.

Якщо промислові стоки можуть бути зменшені за рахунок впровадження оборотного водопостачання, зміни технології виробництва і т.д., то для комунально-побутових - в перспективі слід чекати збільшення їх об'єму, обумовленого зростанням чисельності населення, збільшенням водопостачання, покращанням санітарно-гігієнічних умов життя. Це призведе до забруднення природних вод, особливо до біологічного забруднення.

За запасами водних ресурсів у розрахунку на одиницю площі або на одного жителя Україна займає одне із останніх місць серед країн Європи. Водомісткість валового національного продукту у кілька разів перевищує аналогічні показники у інших державах. В ріки, водоймища, озера та ставки скидають стоки близько 2800 об'єктів, з них без очистки або з очисткою, яка не відповідає санітарно-гігієнічним вимогам, більше ніж 40%.

Кращий варіант підтримки води в чистому стані полягає в запобіганні їх подальшому забрудненню через скидання неочищених або недостатньо очищених стоків.

У самих загальних рисах очистка стічних вод здійснюється за двоступеневою схемою: механічна, біологічна очистка, а потім доочистка або глибока, яка полягає у [20]: 1) *попередній відчистці* (видаляється сміття і пісок механічним способом); 2) *первинній очистці* (видаляються тонкодисперсні частки у відстійниках); 3) *вторинній або біологічній очистці* (беруть участь природні редуценти і детритофаги, які утворюють піраміду біомаси: органічні колоїди - гриби і бактерії - простіші - черв'яки і коловратки); 4) *доочистці* (шляхом дистиляції або фільтрації обходиться дорого, тому, наприклад, фосфати видаляють шляхом додавання  $\text{CaCO}_3$ ); 5) *дезинфекції* (знищуються патогенні мікроорганізми). Такі схеми досить дорогі, але дають можливість здійснення оздоровчих заходів.

На станціях біологічної очистки (СБО) механічна очистка здійснюється на решітці, пісковловлювачах і первинних відстійниках. Якщо треба, то нафтопродукти і масла відділяють в спеціальних вловлювачах. Інтенсифікація процесів механічної очистки здійснюється із застосуванням преаерації, тонкошарового відстоювання, а також фізико-хімічних методів. Необхідний ступінь вилучення завислих часток – до  $150 \text{ мг/дм}^3$ . Біохімічна очистка стічних вод здійснюється на біологічних фільтрах або аераційних спорудах з активним мулом (мікроорганізмами, простішими, грибами, водоростями). На біологічних фільтрах органічні ЗР вилучаються біоценозом, прикріпленим до завантаження біофільтра, а надлишкові мікроорганізми – біологічна плівка - вилучаються у вторинних відстійниках. При обробці великої кількості стічних вод застосовують різні конструкції аеротенків. Крізь воду пропускають повітря, сама вода



перемішується з біологічно активним мулом, багатим мікроорганізмами з метою досягнення біологічного розкладання органічних речовин. Після аеротенків суміш стічних вод з активним мулом надходить у вторинні відстійники. Основну частину мулу, що осів у відстійниках, направляють в аеротенки – зворотний активний мул, а інша частина – надлишковий мул - надходить на обробку. В результаті повної біохімічної очистки стічні води мають концентрацію завислих домішок 15-20 мг/дм<sup>3</sup> і БСК<sub>5</sub> – 15-20 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Очищені міські стічні води можуть бути використані на підприємствах, а також в сільському господарстві для зрошення. До 50% органічних речовин каналізаційних стоків входять в мул-сирець, що осідає у відстійниках. У присутності повітря він зазнає компостування, а без доступу повітря використовується для отримання біогазу. Мул можна використати для підвищення якості ґрунту (якщо він не містить важких металів і діоксинів) або для отримання біогазу (СН<sub>4</sub> близько 60-70%) в анаеробних умовах. Після біологічного очищення вода нарівні із залишками органічних речовин містить нітрат і фосфати (що утворюються при розпаді органічних сполук), які провокують процеси евтрофікації, тому для позбавлення від них застосовуються спеціальні методи очищення. Для усунення будь-яких патогенних для людини мікроорганізмів як очищені стічні, так і питні води (що не відповідають вимогам санітарно-гігієнічної якості) піддають хлоруванню, озонуванню, УФ-опроміненню або комплексному впливу [24].

Перед скидом очищених стічних вод у водний об'єкт їх знезаражують хлором або озоном. Застосування газоподібного хлору дешевше, але він небезпечний для людей при транспортуванні і токсичний, а для риб навіть в невеликих концентраціях. Частина хлору мимоволі вступає в реакцію з органічними сполуками і утворюються токсичні хлоровані вуглеводні. Озон також згубний для патогенів; розпадаючись, О<sub>3</sub> утворює О<sub>2</sub>, що поліпшує якість води. Однак озон не тільки токсичний, але і вибухонебезпечний і його треба готувати там, де він застосовується, що вимагає значних капіталовкладень і енерговитрат. Але при вдосконаленні технологій озонування його вартість буде не вищою, ніж при хлоруванні. Для знищення патогенів на воду впливають також УФ-променями. Пропонується після хлорування на воду впливати SO<sub>2</sub> (можна з викидів), який реагуючи з Cl<sub>2</sub>, утворить неактивні нешкідливі сполуки.

Промислові стічні води за складом ЗР умовно можна поділити на 2 великі групи: 1) стічні води із забрудненнями, які в основній масі складаються з мінеральних сполучень; 2) стічні води, забруднені сполуками органічного походження. В залежності від того, до якої групи відноситься основна маса ЗР в стічних водах, вибирається метод очищення води [36]. Основними методами обробки промислових стічних вод є: усереднення концентрації, механічні методи (затримання нерозчинних великих часток на ситах, ґратах, фільтрах, відстоювання); фізико-хімічні

методи (кристалізація, випарювання, евапорація, екстракція, іонний обмін, сорбція, аерація); хімічні методи (нейтралізація, коагуляція) та біологічні методи [30].

Внаслідок виключно високої значущості води як одного з основних елементів БС, її вирішальної ролі для біоценозів і впливу на здоров'я людини, охороні, контролю й управлінню якістю природних (особливо прісних) вод надається особливе значення. Охорона природних вод полягає в їх раціональному використанні, збереженні продуктивності водних екосистем, запобіганні забрудненню у відповідності з «Основами водного законодавства».

Основні засоби щодо захисту природних вод від забруднення можна звести до таких: нормування якості води, тобто розробка критеріїв їх придатності для різних видів водокористування; скорочення об'ємів скидів забруднень у водні об'єкти шляхом удосконалення технологічних процесів та покращення методів очистки стічних вод; вивчення й обчислення процесів самоочищення стічних вод під час їх випуску у водні об'єкти.

## **10 АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ТА ЙОГО НЕГАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ**

### **10.1 Загальні відомості про літобіосферу та ґрунти**

*Літобіосфера* - частина БС, яка займає верхні шари земної кори (до 2-3 км, за деякими даними до 6-8,5 км) з живими організмами і шарами біогенних осадових порід. Проміжне положення між приземним шаром атмосфери (аеробіосферою), фітобіосферою та літобіосферою займає *педосфера* - ґрунтовий шар Землі. Педосфера відіграє роль глобального фіксатора та акумулятора сонячної енергії, яка в процесі фотосинтезу накопичується продуцентами.

*Ґрунти* - узагальнене найменування будь-якої гірської породи (осадової, магматичної, метаморфічної), яка залягає переважно в межах зони вивітрювання земної кори і що розглядається з інженерно-геологічної (будівельної) точки зору при загальному підході до особливостей земної поверхні (твердий, пухкий, мерзлий і т.д.), або при формі ведення сільського господарства (відкритий, закритий) і власне ґрунтів.

В сільськогосподарському виробництві використовується поняття «ґрунт» що відноситься до самих поверхневих родючих шарів біолітосфери. Головною відмінною рисою ґрунтів від гірських порід, що складають основну частину літобіосфери є специфічна властивість – родючість. *Ґрунт родючий* (далі ґрунт) - особливе органо-мінеральне природноісторичне утворення, яке виникло внаслідок впливу живих організмів на мінеральний субстрат і розкладу мертвих організмів, впливу природних вод і атмосферного повітря на поверхневі горизонти гірських порід у різних умовах клімату і рельєфу в гравітаційному полі Землі [5]. Згідно з образним висловом В.І. Вернадського, ґрунти є основою організації БС. Географи називають ґрунт «дзеркалом», «фокусом» ландшафту. Усі компоненти БС стикаються з ґрунтом, з'єднуються з ним і формують складну полігенну, біокосну систему, яка є основою життя земних рослин і тварин. Товщина родючого ґрунту - до 2-3 м. Завдяки вибірній поглинаючій здатності, ґрунти накопичують у собі запаси живильних елементів, яких може вистачити, навіть без новонадходження на 200-1000 років життя рослин, що є гарантією їх існування у відповідних ландшафтах навіть під час кліматичних аномалій та катаклізмів.

Сутність ґрунтоутворення полягає у поглинанні живими організмами мінеральних елементів із ОПС і виділення ними у процесі життя різноманітних органічних та мінеральних компонентів, які впливають на це середовище і змінюють його. У цьому процесі беруть участь і впливають на нього усі елементи фізико-географічного середовища, включаючи і господарську діяльність людини. Ґрунтоутворюючий процес органічно пов'язаний з процесами фотосинтезу.

Внаслідок фотосинтезу в ґрунт вноситься органічна речовина, а атмосфера поповнюється киснем, звідти він надходить у ґрунт (зону аерації) в газоподібному і водорозчинному стані. В результаті ґрунтоутворення до атмосфери повертається  $CO_2$ , необхідний для продовження процесів фотосинтезу й життя на Землі. В еволюції ґрунтів відзначається декілька стадій. Молоді ґрунти є результатом поступового вивітрювання материнської (ґрунопідстилюючої) породи. Процес еволюції ґрунтів закінчується при досягненні рівноваги ґрунту з рослинністю і кліматом, яке може порушуватися під впливом природних і антропогенних факторів. Так, у тропічних зонах вируб лісу часто призводить до мінералізації ґрунтів і утворення латеритного панцира. У районах з помірним кліматом ґрунти змінюються рідко, тому що гумус руйнується повільніше. Слід зазначити, що на відміну від гірських порід, для ґрунтів характерна наявність гумусу - органічних речовин, що утворюються внаслідок розкладу рослинних і тваринних залишків і продуктів життєдіяльності організмів. Гумус здатний поглинати різні живильні елементи, тобто контролює родючість ґрунтів.

Багато організмів мешкають у ґрунті і сприяють зміненню його фізико-хімічних характеристик: бактерії - 1000-7000, мікрогриби - 100-1000, водорості - 10-300, найпростіші - 5-10, членистоногі - 1000, дощові черв'яки - 350-1000 кг/га [19]. Завдяки сукупній дії ґрунтових організмів, хімічним та біохімічним реакціям, рослини мають можливість житися мінеральними і органічними речовинами. Окрім органічних сполук *C* та *N*, ґрунти повинні давати рослинам достатню кількість *P*, *S*, *K*, *Ca*, *Mg* і навіть *Na*, а також отримувати у невеликій кількості необхідні для життєдіяльності *B*, *Zn*, *Co*, *Mn* та ін. Кожний із цих елементів необхідний не лише у мінімальній кількості, але й обов'язковий за умови збереження рівноваги: від великої кількості декількох живильних речовин буде замало користі, якщо будь-яка живильна речовина відсутня або її недостатньо. Це було зазначено у 1840 р. Лібіхом і зараз називається *законом мінімуму*. Окрім того, надлишок живильних речовин може бути шкідливим. Наприклад, хлористий натрій необхідний рослинам у незначній кількості, однак надлишок його у ґрунті спричиняє зникнення багатьох видів рослин, за винятком солестійких. Це покладено в основу *закону толерантності*. Обидва закони слушні лише у першому наближенні, тому що багато рослин здатні адаптуватися до відсутності або нестачі живильної речовини, замінюючи її близькою за своїми властивостями.

Таким чином, ґрунти разом із організмами утворюють складні екосистеми, які виконують в біосфері найважливіші функції: безперервне протікання процесів біогенного накопичення, трансформації і перерозподілу сонячної енергії, яка надходить на земну поверхню; підтримку планетарного круговороту біогенних елементів. Ці функції здійснюються системою «організми – ґрунт» шляхом створення рослинно-

органічної речовини, яка використовується численними кільцями мікрофагів, ґрунтових безхребетних і мікробів. Природа у процесі еволюції виробила самовідновлювальний механізм ґрунтоутворення й здатність оптимального пристосування до всіляких несприятливих умов. Однак, техногенне навантаження зростає до розмірів, які перевищують поріг сталості ЕС, у тому числі ґрунтів. Зниклий ґрунт поновити у первісному вигляді практично неможливо. Для формування ґрунтового шару потужністю у 20-30 см необхідно від 2 до 8 тис. років.

## 10.2 Основні причини деградації ґрунтів

Постійне зниження площі і об'єму педосфери відбувається під впливом природних і антропогенних факторів. До перших відносяться: природна ерозія; природні шкідники, хвороби і бур'яни; зростання народонаселення. Основними антропогенними факторами забруднення і вилучення землі є: технічне перетворення (підземне будівництво, видобуток корисних копалин); штучна ерозія (осування боліт, оголення землі та ін.); хибне господарювання (порушення гідрологічного режиму, неефективне сільськогосподарське виробництво, випалювання рослинності, винищування лісів); забруднення (теплоенергетичне, транспортне, сільськогосподарське, комунально-побутове, промислове); відвід під будівництво (гідротехнічне, транспортне, промислове, житлове). Якщо під впливом природних факторів не порушується рівновага й хід звичних геологічних процесів, то під впливом антропогенних факторів відбуваються негативні процеси, які призводять до деградації та виснаження ґрунтів, виключення їх з сільськогосподарського користування.

Інтенсивне сільськогосподарське використання земель часто приводить до негативних наслідків: дегуміфікації, фізичної деградації, переущільненню, розвитку водної та вітрової ерозії, забрудненню ґрунтів токсичними речовинами і т.д. Це приводить до поступового зниження родючості та втрати земель. Пوراховано, що за 10 тис. років сільськогосподарської діяльності втрачено 2 млрд. га (0,2 млн. га за рік), за останні 300 років – 700 млн. га (2,3 млн. га за рік), а за останні 50 років втрачено 300 млн. га (6 млн. га за рік), тобто втрати земель постійно зростають.

Найбільшу шкоду литобіосфері й педосфері наносить водна (площинна, лінійна) і вітрова ерозія. Ерозія - руйнування гірських порід, ґрунтів або будь-яких інших поверхонь з порушенням їх цілісності і зміною їх фізико-хімічних властивостей, які звично супроводжуються переносом частинок з одного місця на інше. Причинами ерозії у природі є: вітер (вітрова ерозія або *дефляція*), різкі коливання температури повітря й поверхонь об'єктів, вода (водна ерозія), яка переміщується; водорозчинні

кислоти, хімічне і фізичне забруднення середовища, вплив біологічних агентів (витоптування, біохімічний вплив і т.д.). У США ерозії зазнають 44% орних земель, в Сальвадорі - 77%, Непалу - 38%.

Близько 15% поверхні суші деградовано під впливом антропогенної діяльності (55,7% порушень викликано водною ерозією, 28% - вітровою ерозією, 12,1% - хімічним впливом, 4,2% - фізичним впливом). Насамперед відбувається забруднення ґрунту як найбільш доступного елемента верхньої частини земної кори. Цей процес виключно небезпечний, оскільки орні землі складають близько 10% території суші, а пасовища і сінокоси - 20%. Так, за порівняно короткий період з 1950 по 1977 рік площа орної землі на душу населення в колишньому СРСР скоротилася з 1,06 до 0,87 га, незважаючи на освоєння нових земель.

При загальній площі України 60,4 млн. га на ріллю припадає 34,2 млн. га (54,96%), луки - 6,17 млн. га (10,2%). Україна відноситься до країн із високим рівнем освоєння і антропогенної трансформованості земельних ресурсів. У окремих степових і лісостепових районах розорані землі складають 80-90%, що є небажаним в економічному і екологічному плані, оскільки різко зменшується загальний природний потенціал території (для порівняння: Франція і Туреччина, які мають приблизно таку ж чисельність населення, характеризуються набагато меншими площами розораних земель - відповідно 17 і 19 млн. га). Через водну ерозію втрачається значна кількість ґрунту. Так, за 1966-1991 рр. (25 років) вміст гумусу поменшав з 3,5 до 3,2% [14].

*Хімічне забруднення ґрунтів* відбувається в основному через викиди підприємств промисловості, енергетики та автотранспорту, а також хімізацію сільського господарства. Воно зберігається упродовж тривалого часу, тому що здатність ґрунтів до самоочищення невелика або її може не бути зовсім (це залежить, головним чином, від ступеня динамічності вод зон аерації й насичення). Найбільш згубний вплив справляють кислотні дощі, які руйнують структуру ґрунтів, нищать мікроорганізми і привносять у ґрунти токсичні речовини. Значну шкоду ґрунтам наносить забруднення важкими металами, найбільш небезпечними із яких є *Hg*, *Pb*, *Cd*, *Ni*, *Cu*, *Zn*. Виробнича діяльність людини призводить до забруднення важкими металами і іншими токсичними речовинами майже до утворення антропогенних геохімічних аномалій навколо промислових центрів і вздовж автомагістралей. Внаслідок роботи металургійних підприємств на поверхню ґрунтів щорічно викидається не менше ніж 150 тис. т *Cu*, 122 тис. т *Zn*, 90 тис. т *Pb*, 12 тис. т *Ni*, 1500 т *Mo*, 800 т *Co* і 31 т *Hg*. Свинець надходить також разом із викидами автотранспорту (поблизу автотрас на відстані до 200 м вміст *Pb* в 25-30 разів вищий, ніж у звичайних районах), а ртуть - з отрутохімікатами. Суперфосфатні заводи забруднюють ґрунти недогарковим пилом, який містить *Fe*, *Cu*, *As*, *Pb*, *F*. Внаслідок спалювання каустобіолітів на земну поверхню щорічно надходить 1600 т.

*Hg*, 3600 т. *Pb*, 2100 т. *Cu*, 7000 т. *Zn*, 3700 *Ni*, а з вихлопними газами - 260 тис. т *Pb*. Деякі промислові підприємства перекачують до хвостосховищ, шламових ставів та накопичувачів різноманітні солі кольорових і важких металів, ціаніди, сполуки миш'яку, ароматичні вуглеводні. Кожний м<sup>2</sup> ґрунтів щорічно поглинає із атмосфери 6 кг шкідливих речовин, що призводить до концентрування цих компонентів у ґрунтах, зміни фізико-хімічних властивостей останніх.

У розвинених країнах відбувається зростання сільськогосподарської продукції на 50-60%, пов'язане із застосуванням мінеральних добрив, що дозволяє задовольнити потреби рослин у основних елементах споживання, а також значно підвищити урожайність сільськогосподарських культур. Разом із урожаєм вилучаються біогенні елементи (*N*, *P*, *K*, меншою мірою *S*, *Ca*, *Mg* та ін.). Отже, виникає необхідність внесення в ґрунт сполучень цих елементів у кількості, еквівалентній вилученій з урожаєм. Частіше за все вносять: нітрат амонію, нітрат кальцію, сульфат амонію та сечовину; фосфор вносять у вигляді суперфосфатів; кислі ґрунти нейтралізують вапняком та гіпсом. Оскільки мінеральні добрива застосовують у неочищеному вигляді, то разом з ними у ґрунти потрапляють метали й металоїди, малорухливі в цьому середовищі (мобільність збільшується у ряді: *Hg*, *Pb* > *As*, *Cd* > *Zn*). Вони накопичуються у поверхневих горизонтах, де зосереджена коренева система рослин. За допомогою кореневої системи рослини витягують із ґрунту мінеральні солі, необхідні для побудови цитоплазми (при наявності сонячної енергії і води), і тим самим транспортують частину елементів. Необхідно знати, яка кількість біогенних елементів дістається із ґрунту, щоб повернути йому ідентичну кількість з добривами. Лише такий підхід забезпечує постійність виробничої спроможності ґрунту. Якщо у лісах під час падолісту повертається в ґрунт більша частина вилучених живильних речовин (*Ca*, *K*, *P*, *N*), то деякі польові рослини (злакові, картопля і ін.) за певний період часу витягують із ґрунту більше біогенних елементів, ніж повертають у ґрунти (в кг/га). Бобові культури (конюшина, люцерна і ін.) є виключенням, тому що їх корені мають бульбочки (симбіотичні бактерії), які дозволяють фіксувати азот у ґрунті; у цьому випадку вилучається лише кальцій (якщо закопати люцерну, то у ґрунті накопичиться достатня кількість кальцію). Використовуючи біологічну культивуацію, у ґрунт повертають елементи в органічній формі, вилучені урожаєм, а, отже, відпадає необхідність внесення мінеральних добрив і знижується можливість забруднення ґрунтів.

Забруднення ґрунтів відбувається і внаслідок застосування пестицидів. *Пестициди* (від лат. *pestis* - зараза, *caedo* - вбиваю) - загальна назва хімічних речовин, що застосовуються для боротьби з небажаними видами рослин, тварин (комах) та мікроорганізмів. Згідно з офіційним документом (Пестициди. Терміни та визначення. ДСТУ 3180-95.

Держстандарт України, Київ, 1996) до пестицидів відносяться речовини (суміш речовин) хімічного або біологічного походження, що використовуються для боротьби з організмами, які завдають шкоди сільськогосподарським культурам або запасам сільськогосподарських продуктів, для знищення небажаної рослинності, збудників хвороб і переносників хвороб тварин і рослин, а також для регулювання розвитку організмів.

Пестициди за дією на шкідників поділяються на такі групи: *гербіциди* - засоби знищення бур'янів, *інсектициди* - засоби для боротьби зі шкідливими комахами, *нематоциди* - засоби для знищення черв'яків, *фунгіциди* - засоби для боротьби з грибними і вірусними захворюваннями, *бактерициди* - засоби для винищення збудників хвороб та ін. Отруйні та відстрашувальні препарати, що застосовуються задля обкурювання сільгоспугідь, тваринних дворів і побутових споруд, називають *фумігантами*, а речовини, які відстрашують тварин - *репелентами*. Окрім того, застосовуються *дефоліанти* - засоби для видалення листя (наприклад, бавовнику під час механічного збору).

Норма використання пестицидів на 1 га в середньому в світі 0,3 кг (в Росії, США і країнах Західної Європи 2-3 кг/га). Якщо світове виробництво прийняти за 100%, то на частку гербіцидів припадає 40%, інсектицидів - 35, фунгіцидів - 15, інших пестицидів - 10%.

За хімічним складом розрізняють пестициди хлорорганічні (ХОП), фосфорорганічні (ФОП), що містять *Hg*, *As*, *Pb* та інші токсичні сполуки. До числа найбільш широко використовуваних відносяться ФОП, серед яких є високоактивні препарати різного призначення.

При характеристиці пестицидів особливо часто використовується як токсикологічний показник  $LD_{50}$  - *доза середня летальна ефективна*, яка спричиняє загибель у 50% стандартної групи тварин при певному терміні такого спостереження; при введенні токсикантів в шлунок до 50 мг/кг - сильнодіючі речовини, 50-200 - високотоксичні, 200-1000 - помірнотоксичні, більше за 1000 мг/кг - малотоксичні.

Пестициди є типовими екотоксикантами. У цей час в світі зареєстровано більше ніж 1500 пестицидів, але для живих організмів особливу небезпеку представляють ХОП (ДДТ і його метаболіти, метафос, ГХЦГ, трефлан та інш.) і ФОП.

Для пестицидів характерні такі особливості: 1) у більшості випадків вони мають широкий спектр токсичного впливу як на види рослин, так і види тварин; 2) пестициди завжди токсичні для теплокровних хребетних; 3) пестициди завжди застосовують проти популяцій; 4) як правило, для «надійності» використовують значно більше пестицидів, ніж необхідно для знищення шкідників; 5) площі застосування пестицидів значні; 6) багато пестицидів зберігаються у землі роками (*період піврозпаду*, тобто час, необхідний для того, щоб препарат втратив не менше ніж 95% активності



за нормальних умов, складає для сполук *Pb*, *As*, *Cu*, *Hg* - 10-30 років, для ДДТ - 2-4 роки, для гербіцидів типу 2,4-D і 2,4-T - 0,1-0,4 роки, для фосфорорганічних інсектицидів 0,02-0,2 року і т.д.). Пестициди погано мігрують у водних розчинах через погану розчинність. Одним із основних фізичних факторів, які визначають поведінку пестицидів у ґрунті, є сорбція їх ґрунтовими частинками. Сорбувальні властивості ґрунту залежать від його складу, вологості та температури. З підвищенням температури відбувається десорбція пестицидів.

Для розуміння екологічної небезпеки, пов'язаної з використанням пестицидів, необхідно мати на увазі процеси міграції їх в НПС. Пестициди зазвичай попадають в ґрунти при їх плановому внесенні із застосуванням тих або інших технічних засобів, при використанні посадочного матеріалу, заздалегідь обробленого пестицидами, або внаслідок аварій при їх транспортуванні чи зберіганні. Надалі пестициди попадають в поверхневі водотоки і донні відкладення, де вони акумулюються. При переміщенні по трофічному ланцюгу концентрації їх в процесі біоаккумуляції зростають.

Використання пестицидів регламентується законодавством в усіх країнах. ГДК деяких хімічних речовин у ґрунтах України (за станом на 1.01.1991 р.) у мг/кг ґрунту з урахуванням фону (кларкових значень) такі: *Cu* – 3, *Ni* – 4, *Zn* < 3, *Co* – 5, *F* – 2, *Br* – 6 (рухомі форми); *F* - 10 (водорозчинна форма); *Sb* – 4,5, *Mn* - 1500, *V* - 150, *Pb* - 30, *As* -2, *Hg* – 2,1, нітрати - 130, бенза(а)пірен – 0,02, бензол – 0,3, толуол – 0,03, комплексні гранульовані добрива -120, рідкі комплексні добрива - 80 (валовий вміст) і т.д. ГДК деяких пестицидів: ДДТ і його метаболіти – 0,1, карбофос - 2, хлорофос – 0,5 мг/кг ґрунту.

Крім характеристики забруднення ґрунтів в одиницях ГДК, оцінка ступеня їх забрудненості проводиться за ГОСТ 17.4.3.06-86, згідно з яким ґрунти класифікуються як: сильно забруднені, в яких вміст ЗР у декілька разів перевищує ГДК; середньо забруднені, в яких вміст ЗР перевищує ГДК, але без явних змін властивостей ґрунту; слабо забруднені, в яких вміст ЗР не перевищує ГДК.

### **10.3 Наслідки забруднення ґрунтів та їх охорона**

У наземних трофічних ланцюгах, які сприяють до надходженню токсичних хімічних речовин в організм людини (атмосфера - ґрунт - рослина - людина; атмосфера - ґрунт - рослина - тварина - людина), ґрунт є найбільш ємною і інерційною ланкою, внаслідок чого від нього багато в чому залежить швидкість розповсюдження ЗР по усьому ланцюгу. До того ж ґрунт є посередником між атмосферою і гідросферою для усієї кількості ЗР, які викидаються людиною у атмосферу; дуже часто ЗР до атмосфери надходять із літобіосфери.

На ділянках інтенсивного впливу промислових підприємств спостерігається пригнічення рослинності аж до її повного знищення і різке зростання процесів ерозії ґрунтів. Порушується структура ґрунту, зменшується пористість, водопроникність, що різко погіршує водно-повітряний режим. У місцях сильного забруднення верхній шар ґрунту може складатися із пилових частинок аерозолів, золи, шлаку і т.д. Одними із найнебезпечніших токсичних речовин є *Hg*, *Pb* (верхній гумусовий шар), які добре адсорбуються ґрунтами і погано вимиваються із них; *As* і *Cd* адсорбуються гірше, більш мобільний *Zn*, особливо в еродованих ґрунтах.

Пошук максимальної продуктивності при індустріальній експлуатації земель призводить до перенасичення ґрунтів мінеральними добривами. При цьому часто забувається, що підвищення урожайності має тенденцію до уповільнення, в міру як росте кількість добрив, що вносяться. Лише 50% добрив, які вносяться у агроєкосистеми США, засвоюються рослинами. Зловживання мінеральними добривами погіршує якість продуктів. Наприклад, шпинат має природну властивість накопичувати нітрати, а його споживання призводить до метагемоглобінемії (метагемоглобелін крові не здатний утримувати кисень із повітря). Під час взаємодії з бактерійною флорою кишечника нітрати перетворюються на дуже токсичні нітрити, а останні в іще більш токсичні нітрозаміни ( $NO_3 \rightleftharpoons NO_2 \rightleftharpoons \text{нітрозаміни}$ ). При використанні добрив порушується круговорот азоту (надлишок нітратів щорічно сягає 9 млн. т), фосфору (накопичення в ґрунтах, у хімічних сполуках з *Ca*, *Al* та *Fe*, далі в водоймищах, викликаючи їх евтрофікацію). Систематично в агроєкосистемах руйнується і виключається з них гумус. Не повертається у землю гній, а після аміачного бродіння він забруднює водоносні шари. У містах велика кількість здатних до бродіння органічних речовин, що містяться у харчових відходах, накопичуються на звалищах.

Оскільки ґрунт багаторазово піддається впливу пестицидів, то створюються сприятливі умови для їх міграції у суміжні середовища (рослини, повітря, воду). Це створює небезпеку для природних ЕС, а, отже, і для середовища проживання людини. Залишки пестицидів виявлені у рослинній і тваринній їжі, в підземних водах, відкритих водоймищах, тканинах птахів і риб, в органах і тканинах людини. За даними американських учених кожного тижня до організму людини надходить близько 1 мг пестицидів. Якщо шляхи зараження харчових продуктів - поглинання і накопичення пестицидів рослинами - не викликає сумнівів, то про шляхи проникнення пестицидів в рослини немає одностайної думки. Інтенсивність поглинання залежить від сорбційної активності ґрунтів, типу культури, складу й властивості пестицидів. Близько 20% пестицидів виноситься з ланів рослинами, що призводить до міграції й накопичення пестицидів в трофічних ланцюгах, в біологічних об'єктах і утримання їх з рослинними залишками у ґрунті. Пестициди призводять до

різних екологічних порушень. Вони спричиняють негативні наслідки для окремих видів і біоценозів у цілому. Знижується біологічний потенціал, порушується рівновага, і як це не парадоксально, іноді збільшується чисельність тієї популяції, яку намагались знешкодити. Окрім того, застосування пестицидів призводить до таких біоценотичних наслідків: зменшується рослинна і тваринна біомаса агроecosystem, відбувається збіднення вод зоопланктоном, зникають конкуруючі види і т.д. Є приклади тимчасового успішного застосування пестицидів. Так, у 1944 р. завдяки ДДТ було зупинено епідемію тифу у Неаполі. У середині століття для знешкодження мурашок використовувалися солі миш'яку, а у США ці солі використовувалися задля знешкодження колорадського жука, однак екологічні наслідки використання пестицидів, як правило, негативні через їх токсичність, а, часом, і стійкість. Застосування американськими військовими у В'єтнамі таких гербіцидів як 2,4-D та 2,4-T з метою знищення листя, мало катастрофічні наслідки не лише для флори, але для фауни і населення.

При підвищенні кількості легкорозчинних солей ґрунти стають засоленими, в результаті пригнічуються і гинуть культурні рослини. Засоленість проявляється не лише при підвищеній солоності ґрунтів, але й при безсистемному поливі погано дренажованих масивів, при використанні для зрошення мінералізованих вод, при підвищенні рівня ґрунтових вод.

У складі природних ресурсів особливо важливе місце займають земельні ресурси. Однак, агро меліоративний стан земель на значних площах України та інших колишніх республік СРСР залишається надто незадовільним і продовжує погіршуватись. Так, на території Росії більше як 25% сільськогосподарських угідь страждають від водної та вітрової ерозії, близько 33% нив мають підвищену кислотність ґрунтів, 10% засолено і має солонцеві комплекси, майже 5% перезволожено й заболочено. Внаслідок гідротехнічного будівництва за останні 30 років затоплено й підтоплено 3,3 млн. га угідь. Посилились процеси опустелювання земель. У ряді регіонів спостерігається перенасичення ґрунтів мінеральними добривами і отрутохімікатами. У ході різного роду будівельних робіт та розробок родовищ корисних копалин значна частина відчужених земель втрачає своє народногосподарське значення й служить джерелом забруднення інших біосферних середовищ.

Із забрудненням ґрунтів необхідно боротися шляхом виключення надходження цих забруднень, створення безвідходних і маловідходних технологій, утилізації відходів, конструювання виробництв із замкненим циклом, проведенням раціонального комплексу меліоративних робіт. З ерозією ґрунтів необхідно боротися шляхом використання організаційно-господарських (безпечно в ерозійному відношенні використання земель, використання ланів сівозмін та захисних насаджень і т.д.), агротехнічних (оранка поперек схилу і ін.), лісомеліоративних (створення захисних,

водорегулюючих і інших лісових смуг та масивів) і гідротехнічних заходів (створення водозатримуючих валків, протисельових дамб, водоймищ та ін.).

Причинами втрати ґрунтів є: неправильна оранка, надмірна експлуатація пасовищ (без урахування місткості середовища), знищення рослинного покриву (передусім лісів), зрошування, засолення тощо. Для запобігання ерозії пропонуються комплексні засоби, серед яких можна відмітити: контурну оранку, вузькополосний посів, створення лісозахисних смуг і терас, безорне землеробство, мульчування (залишками трави, листям і ін.). Для забезпечення тривалого збереження родючості ґрунтів в агроекосистемах можна використовувати тільки п'ять способів: чергування сільськогосподарських культур на полі – сівозміна; відведення ріллі під переліг; введення чистих парів; травосіяння; органічні та мінеральні добрива [18].

Головними компонентами *інтенсифікації сільськогосподарського виробництва* є: використання добрив; широке застосування пестицидів; зрошення; перехід на інтенсивні сорти та породи, чутливі до поліпшення умов вирощування; індустриальні технології в рослинництві та тваринництві. В інтенсивному сільському господарстві було два піки: 1) «зелена революція» – впровадження інтенсивних високопродуктивних сортів, що вимагають високого агрофону, тобто значної кількості добрив та пестицидів; 2) *індустріалізація*, яка полягала в широкій заміні ручної праці машинною при орієнтації на добрива та пестициди. Негативні наслідки антропогенного впливу на ґрунти особливо помітно позначилися внаслідок «зеленої революції», тобто значного зростання в 70-х роках ХХ століття виробництва зернових культур на базі успіхів селекції, збільшення витрачання енергії, прогресивних форм агротехніки, широкого використання мінеральних добрив. Тимчасові позитивні результати не зняли проблеми продовольства загалом, але інтенсифікували процеси деградації ґрунтів. Інтенсифікація виконала замовлення суспільства на продукти харчування та спромоглася підняти їх виробництво до високих темпів росту чисельності населення планети. Але в той же час, технічні рішення, що лягли в основу інтенсифікації, виявилися антиекологічними і посилили прояв екологічної кризи в агросфері. ”Виорювання” на ріллі, перевипаси на пасовищах, ущільнення ґрунту та інші негативні наслідки охопили всю агросферу планети. Інтенсифікація різко збільшила відходність (залишкова кількість добрив, залишкова кількість пестицидів, гній та рідкі стоки тваринництва). Екологічна ущебність призвела до необхідності розвитку альтернативного рослинництва і тваринництва, які керуються екологічним імперативом та містять два компоненти: найбільш доцільні способи використання ресурсів; відтворення ресурсів та їх охорона від виснаження. В альтернативному землеробстві склалося декілька основних напрямків: біологічне, органічне, орґано-біологічне,

біодинамічне та екологічне землеробство [18].

При сільськогосподарському виробництві відбувається забруднення ґрунтів мінеральними добривами, пестицидами, мікробами і т.п. Внаслідок інтенсифікації врожайність сільськогосподарських культур зростає приблизно в 2-2,5 рази (наприклад, в 1910-1914 рр. середня урожайність зернових в Росії становила 7,2 ц/га, а в наш час - 18 ц/га). Однак, в ході інтенсифікації при незмінній площі ріллі збільшується площа деградованих земель.

Нераціональне застосування пестицидів в сільському господарстві призводить до акумуляції їх в ґрунтах, сільськогосподарській продукції і водах. Так, в доповіді вчених Національної Академії США, опублікованій у 1988 р., в майбутні 70 років більше ніж 1 млн. американців можуть захворіти раком через наявність 28 канцерогенних пестицидів в їжі. Надходження пестицидів разом з повітрям, їжею і питною водою здатні спровокувати бурхливий розвиток онкологічних захворювань і мутацій в багатьох країнах, що розвиваються. Стійкі пестициди негативно впливають на нервову і серцево-судинну системи. Особливо чутливі до пестицидного забруднення навколишнього середовища діти. Так, в Російській Федерації в районах інтенсивного використання пестицидів загальна захворюваність дітей до 6 років в 4,6 рази вища, ніж в районах з найменшим використанням пестицидів. Пестицидне забруднення (нарівні з іншими чинниками) сприяло тому, що за 25 років в 300 разів збільшилися випадки алергічних захворювань. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ) щорічно отруюються пестицидами 500 тисяч чоловік, більше 5 тисяч - з летальними наслідками.

На початку хімізація сільського господарства привела до великих успіхів. Однак, у 70-х рр., незважаючи на зростання виробництва пестицидів (2 млрд т/рік), загальні втрати урожаїв від шкідників досягли 50%, а також знизилася якість продукції.

Збільшення урожаю від застосування хімічних заходів захисту рослин складає 20-60% при витратах, які дорівнюють лише 1-5% загальних витрат виробництва. За даними продовольчої і сільськогосподарської комісії ООН, шкідливі комахи знищують 20% урожаїв світового виробництва. Щорічні світові втрати урожаю від хвороб, шкідників і бур'янів складають: зернових - 510, цукрового буряку - 569, картоплі - 129, винограду - 26, овочів - 78 та бавовни - 5 млн. т. Ось чому хімічний метод захисту рослин і отримав такий широкий розвиток у всьому світі. Так, в США в 1955 р. застосовувалось 15-18 сполук як пестициди, у наш час використовується вже більше як 500 на половині орних земель. Середня витрата пестицидів в США - 1,8, в Японії - 11,4, ФРН - 12, в колишньому СРСР - 2 кг/га. Близько 1500 хімічних речовин мають пестицидну активність, із них 550 застосовуються як пестициди, а модифікацій нараховується більш 10 тис. препаратів.

У 1980 р. світове виробництво пестицидів складало більше 2 т на рік. На відміну від інших ЗР пестициди навмисно розсіюються у біосферних середовищах.

Пестициди не мають вибіркової дії тільки на організми, проти яких вони застосовуються, а впливають на все живе, тому називаються *біоцидами*. Спочатку застосовували пестициди першого покоління (As, Hg тощо), потім стали створювати і впроваджувати пестициди другого покоління - синтетичні пестициди. Так, в 1939 р. П. Мюллер показав ефективність використання ДДТ. Прибутки від продажу пестицидів в 1970 р. в США були \$ 2,7 млрд., а в 1990 р. вже \$ 18 млрд. Однак виникли проблеми, пов'язані з використанням пестицидів: 1) розвиток стійкості шкідників (якщо для збереження 1 т кукурудзи в США в 1945 р. було потрібно 0,5 кг пестицидів, то в 1971 р. - 70 кг, оскільки стійкість популяції зросла у багато разів, іноді в 25 тисяч разів); 2) відродження шкідників і вторинні спалахи чисельності (після хімічного придушення шкідники не тільки з'являються знову, але і створюють велику чисельність через знищення їх природних видів-антагоністів); 3) зростання витрат (економічна ефективність знижується: для боротьби з відродженням і повторними спалахами чисельності шкідників потрібні все дорожчі пестициди, у все більших кількостях); 4) небажаний вплив на навколишнє природне середовище і здоров'я людини (менше 1% пестицидів попадає в організм шкідника, а при розпиленні з повітря в культурні рослини попадає біля 0,1%). Задля усунення забруднення ґрунтів від пестицидів, необхідно використовувати біологічні засоби захисту, застосовувати природні нетоксичні пестициди (діатоміти та ін.), які підвищують стійкість рослин проти захворювань і шкідників, перейти від монокультур до полікультур, тобто впроваджувати методи екологізації агроєкосистем [37].

До початку XXI сторіччя прогнозується застосування добрив дозою 300 кг/га, що приведе до надлишку  $NO_3^-$ , який не сорбується ґрунтами і забруднює води. Відходи тваринництва приводять до забруднення аміаком. При зрошуванні стічними водами відмічаються аномально високі концентрації  $NO_3^-$  (до 400 мг/кг ґрунту) і  $NH_4^+$  (до 2200 мг/кг ґрунту). Застосування низькорозчинних сполук фосфору призводить до накопичення його в ґрунтах. Застосування калійних добрив (KCl) призводить до накопичення в ґрунтах іонів хлору. Внаслідок неповного згорання органічного палива утворюється канцерогенний бенз(а)пірен, який нагромаджується в ґрунтах і переміщується по трофічних ланцюгах. Велику небезпеку представляє забруднення ґрунтів важкими металами. Джерелом забруднення ґрунтів служать звалища промислових і побутових відходів. Забруднюють ґрунти довгоживучі техногенні радіонукліди ( $^{129}I$ ,  $^{226}Ra$ ,  $^{137}Cs$ ,  $^{239}Pu$  та інш).

Щорічно у ґрунтах знижується вміст гумусу (1,5-1,8 т/га в рік), що

призводить до ущільнення і знижує їх водомісткість в 15-20 разів. Дегуміфікація пов'язана із зменшенням кількості і погіршенням якості органіки, що надходить в ґрунт; для запобігання цьому процесу необхідно внесення гною в кількості 8-12 т/га в рік, заорювання пожнивних залишків в ґрунт, застосування мульчування поверхні соломною і інш., використання мінеральних добрив тощо. Оптимальним вважається вміст гумусу у верхніх горизонтах чорноземів 5-7%.

Ущільнення ґрунту і погіршення його фізичних властивостей відбувається через навантаження сільськогосподарської техніки. Так, трактори здатні ущільняти чорноземи до  $1,5 \text{ г/см}^3$  в шарі 0-20 см і сприяти ущільненню до глибини 60-70 см.

Захист ґрунтів від водної і вітрової ерозії, як правило, включає цілий комплекс організаційних, агротехнічних, лісомеліоративних та гідротехнічних заходів. Максимальний ефект досягається у випадку захисту всієї вододільної площі і застосування комплексу мір.

Порушеними вважаються ґрунти, що втратили свою родючість і цінність в зв'язку з антропогенною діяльністю. Відпрацьованими називають порушені землі, потреба в яких у підприємств відпала в зв'язку із завершенням розробки родовищ корисних копалин, будівельних і інших робіт, пов'язаних з порушенням ґрунтів. Штучне відновлення ґрунтів після їх порушення називається *рекультивацією*. *Технічна рекультивація* - це планування, формування укосів, пересування і трансплантація родючих ґрунтів на площу, яка рекультивується, будівництво меліоративних споруд і доріг. *Біологічна рекультивація* - комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів, направлених на поновлення середовища мешкання тварин і рослин і відновлення господарської продуктивності земель (наприклад, шляхом залісення або сільськогосподарського освоєння земель). Рекультивація земель дозволяє повернути їх до сільськогосподарського обороту, особливо після розробки родовищ корисних копалин у місцях складування вироблених порід, золівдвалів, шлакових насипів, кар'єрів і т.д. На першому (гірничотехнічному) етапі рекультивації вирівнюють насипи при їх невеликій висоті, засипають виїмки з ущільненням, на значних насипах утворюють тераси для насадження рослин, будують котловани у місцях майбутніх водоймищ. На другому (біологічному) етапі покривають породи і відходи шаром ґрунту (наприклад, знятого раніше для відкритої розробки родовища), з подальшим висадженням деревних порід і сільськогосподарських культур (багаторічних бобових трав, потім - пшениці, ячменю).

Ситуація, яка склалася в Україні в сфері використання, утилізації, знешкодження і поховання пестицидів, досягла критичного рівня і потребує негайного вирішення. Кількість непридатних для використання пестицидів складає більше за 22 тис. тонн; кількість непридатних для використання пестицидів в кожній області коливається від 130 до 2500

тонн, а в окремих місцях зберігання - від 0,1 до 500 тонн. Наприклад, в Одеській області нагромадилося більше як 700 тонн пестицидів, заборонених до використання і непридатних за фізико-хімічними властивостями. Для зниження міри негативного впливу непридатних до використання пестицидів пропонуються різні методи знешкодження (хіміко-біологічний, термічний, контейнеризація з подальшим похованням і ін.).

Загалом землекористування не можна вважати раціональним, бо землі, віддані промисловим, транспортним і іншим підприємствам, не використовуються по-господарському і поступово деградують. Для раціонального землекористування необхідно: стимулювати багатокладність; скоротити його масштаби; обґрунтувати оптимальний розмір господарств і ферм для різних ґрунтово-кліматичних зон; розширити масштаби ландшафтного землеробства; застосовувати легку і сільськогосподарську техніку; скоротити перевезення продуктів харчування тощо.



# 11 РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ БІОСФЕРНИХ СЕРЕДОВИЩ

## 11.1 Деякі загальні відомості

Однією із найактуальніших проблем сучасної екології є вплив радіації на людину і оточуюче її середовище.

Радіоактивність разом із іонізуючим випроміненням існувала на Землі задовго до зародження БС. Іонізуюче випромінення супроводжувало Великий вибух, з якого почалось існування нашого Всесвіту близько 20 млрд. років тому назад. Радіоактивні елементи ввійшли до складу геосфер. Навіть людина злегка радіоактивна, через те, що в її тканинах позначаються сліди радіоактивних елементів.

Як відомо, число протонів у ядрі атома одного елемента завжди однакове, а число нейтронів може відрізнятись, тобто існують ізотопні різновиди елементів (наприклад,  $^1H$ ,  $^2H$ ,  $^3H$ ). Із ядра  $^{238}U$ , що складається із 92 протонів і 146 нейтронів, час від часу виривається 2 протони і 2 нейтрони; при цьому  $^{238}U$  перетворюється на  $^{234}Th$  (90 протонів і 144 нейтрони), який також нестабільний і перетворюється на  $^{234}Pa$  і т.д. до появи стабільного ( $^{238}U - ^{234}Th - ^{234}Pa - ^{207}Pb$ ). *Нукліди* - атоми, які відрізняються складом ядра (або з різним числом нуклонів - протонів та нейтронів, або при однаковому числі нуклонів з різним співвідношенням між числом протонів та нейтронів). Увесь процес довільного розпаду нестабільного нукліду називається радіоактивним розпадом, а сам нуклід - *радіонуклідом*. Усі радіонукліди нестабільні у різному ступені:  $^{234}Pa$  розпадається майже моментально,  $^{238}U$  - 4,5 млрд. років,  $^{214}Po$  - 0,000164 сек і т.д. (за час, який дорівнює періоду піврозпаду із 100 атомів залишається 50). Число розпадів за секунду у радіоактивному зразку називається його активністю. Одиниця вимірювання активності (СІ) - беккерель (Бк) дорівнює 1 розпаду на секунду. У колишньому СРСР використовувалась несистемна одиниця активності - кюрі (Ки);  $1 \text{ Бк} = 27 \cdot 10^{-12} \text{ Ки}$ .

Різні види випромінювань супроводяться вивільненням різної кількості енергії і мають різну проникну здатність, тому вони справляють неоднаковий вплив на тканини живих організмів: 1)  *$\alpha$ -випромінювання* являє собою потік ядер атомів гелію - їх проникна здатність в повітрі 7-10 см, у воді - 20-60 см, в біологічній тканині - 0,03-0,04 мм (тому зовнішнє опромінення людини  *$\alpha$ -частками* менш небезпечно; небезпека виникає при їх проникненні всередину організму при диханні або з їжею); 2)  *$\beta$ -випромінювання* являє собою потік електронів, які мають таку проникну здатність - в повітрі 8-14 м, в алюмінії і пластмасі 5-7 мм, в біологічних тканинах 2,5 см; 3)  *$\gamma$ -випромінювання* являє собою потік

квантів, тобто це електромагнітне випромінювання з дуже короткою довжиною хвилі ( $\gamma$ -промені глибоко проникають в організм людини і представляють велику радіаційну небезпеку).

Ушкоджень, які викликані у живому організмі випромінюваннями, буде тим більше, чим більше енергії вони передають тканинам. Кількість такої переданої організму енергії називається дозою. Кількість енергії випромінювання, яка поглинається одиницею маси опроміненого тіла (тканинами організму), називається *поглиненою дозою*. Одиниця вимірювання у СІ - *1 грей (Гр)*;  $1 \text{ Гр} = 10^3 \text{ мГр} = 10^6 \text{ мкГр}$ . Якщо взяти до уваги, що за однакової поглиненої дози  $\alpha$ -випромінення у 20 разів безпечніше за  $\beta$ - або  $\gamma$ -випромінення, то дозу треба помножити на коефіцієнт, який віддзеркалює здатність даного виду випромінення ушкоджувати тканини організму; обчислену дозу називають *еквівалентною дозою*, яка вимірюється у СІ в *зівертах (Зв)*;  $1 \text{ Зв} = 10^3 \text{ мЗв} = 10^6 \text{ мкЗв}$ . Але при однаковій еквівалентній дозі випромінення виникнення раку легенів більш імовірно, ніж раку щитовидної залози, тому дози опромінення органів і тканин слід враховувати з різними коефіцієнтами. Помноживши еквівалентні дози на відповідні коефіцієнти та просумувавши по усіх органах і тканинах, можна отримати ефективну еквівалентну дозу, яка відображує сумарний ефект випромінювання для організму в зівертах. Це були індивідуально одержані дози. Підсумовуванням ефективних еквівалентних доз, які одержує група людей, визначається *колективна ефективна еквівалентна доза у людино-зівертах (люд-Зв)*; якщо ця доза одержується багатьма поколіннями від будь-якого радіоактивного випромінення за весь час його дії, то це буде очікувана (*повна*) *колективна еквівалентна доза*.

## 11.2 Природні та антропогенні джерела радіації

Основну частину радіації населення нашої планети отримує від природних джерел. Зовнішнього опромінювання (із космосу, із земної кори) людина не в змозі запобігти, але коли радіонукліди проникають в організм з повітрям, водою та їжею, то вони перетворюються на внутрішнє опромінення.

Трохи менше половини опромінення, яке отримує населення від зовнішніх природних джерел, припадає на космічні промені, які або досягають поверхні землі, або взаємодіють з атмосферою, породжуючи повторне випромінювання і приводячи до утворення різних радіонуклідів. Ступінь їх впливу збільшується на полюсах і з висотою (при підйомі з 4 до 12 км рівень опромінення за рахунок космічних променів зростає у 25 разів).

У гірських породах зустрічаються здебільшого  $^{40}\text{K}$  і  $^{87}\text{Rb}$ , тобто радіоактивні елементи, що походять від  $^{238}\text{U}$  і  $^{232}\text{Th}$  (ровесників Землі).

Основне населення планети проживає у містах, де за рік доза опромінення складає 0,3-0,6 мЗв. Але у деяких районах відзначаються аномалії: Бразилія, на північ від Сан-Паулу - 250 мЗв/рік; південний схід Індії - у 50 разів вище за середнє; Іран (м. Рамсер) - 400 мЗв/рік і т.д. Райони розвитку гранитоїдів на Кавказі мають більш високий радіаційний фон. Приблизно 2/3 ефективної дози опромінення, яку людина одержує від природної радіації, надходить від радіоактивних речовин з повітрям, водою та їжею. Із них більша частина космічного, менша - земного походження. Найбільша частина серед внутрішніх джерел опромінення припадає на ряд  $^{238}\text{U}$  і  $^{232}\text{Th}$ . Нукліди  $^{210}\text{Pb}$  і  $^{210}\text{Po}$  надходять з їжею; вони концентруються у рибах, молюсках. Мешканці Далекої Півночі, які харчуються м'ясом оленів (а ті мхами, лишайниками збагачені  $^{210}\text{Po}$ ), отримують у 35 разів більше середнього рівня радіоактивності.

Разом із повітрям, що вдихається, особливо у не провітрюваних помешканнях, попадає радон - важкий газ, який у 7,5 разів важкіший за повітря.  $^{222}\text{Rn}$  є дочірнім продуктом радіоактивного розпаду  $^{238}\text{U}$ , а  $^{220}\text{Rn}$  - продуктом розпаду  $^{232}\text{Th}$ . Радон вивільняється із земної кори повсюдно і найбільш високі концентрації його відзначені у зонах розломів, що тяжіють до осередків розвитку радіоактивних руд. Підвищена радіоактивність характерна і для деяких термомінеральних (радонових) вод, у той час як в інших природних водах концентрації радону дуже низькі. При кип'ятінні радон звільнюється, тому надходить до організму лише з сирію водою і швидко виводиться із організму. Джерелом радону в помешканнях є будівельні матеріали, особливо з підвищеними концентраціями радіонуклідів.

Людиною створено декілька сотень штучних радіонуклідів, вона навчилася використовувати енергію атома у медицині, для виробництва енергії, ядерної зброї, пошуків корисних копалин і т.д., що привело до збільшення дози опромінення як окремих людей, так населення в цілому.

Основний внесок в дозу, яку отримує людина від техногенних джерел радіації, припадає на медичні процедури і методи лікування, пов'язані із застосуванням радіоактивності (променева терапія і т.д.). Опромінення з використанням рентгенівських променів може бути невиправдано високим. У наш час частота таких досліджень у багатьох країнах істотно поменшала. Здійснюється перехід на метод комп'ютерної томографії, тобто з меншою дозою опромінення. Середня ефективна доза, яку одержують від усіх видів джерел в медицині, у промислово розвинених країнах становить приблизно 1 мЗв на кожного мешканця, тобто половину середньої дози від природних джерел.

За останні 40 років жителі нашої планети підпадали під опромінення радіоактивними опадами, пов'язаними з випробуванням ядерної зброї в атмосфері (максимум припадає на 1954-1958 і 1961-1962 рр.). Після підписання в 1963 р. Договору про обмеження випробувань ядерної зброї в

атмосфері, під водою і в космосі, лише Китай та Франція провели ряд ядерних вибухів на земній поверхні (останній в 1980 р.). Частина радіоактивних речовин випадає недалеко від місця вибуху, частина потрапляє до тропосфери й переміщується з вітром звично по тій же широті, а основна частина надходить до стратосфери і протягом багатьох місяців повільно опускається та розсіюється по усій поверхні Землі. Дози від різних радіонуклідів різні, тому що вони мають різні періоди піврозпаду. Більшість радіонуклідів розпадається швидко. Сумарна очікувана колективна ефективна еквівалентна доза від всіх ядерних випробувань, проведених у атмосфері, складає 30 млн. людино-зівертів. До 1980 р. людство одержало лише 12 % від цієї дози, а решту воно буде одержувати іще млн. років.

За нормальної роботи АЕС викиди радіоактивних речовин у довкілля незначні. До кінця 1984 р. у 25 країнах працювало 345 ядерних реакторів (США-85, Франція-41, СРСР-56, Великобританія-37, ФРН-19, Японія-31), які виробляли 220 гігават (ГВт;  $1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$ ) електроенергії (13% потужності), а в 1991 р. вже діяло 530 АЕС, які виробляли 21% енергії. На всіх етапах ядерного паливного циклу (видобуток і збагачення уранової руди - ядерне паливо - АЕС - повторна обробка задля вилучення урану та плутонію - поховання радіоактивних відходів) відбувається надходження радіоактивних речовин у довкілля. Приблизно половина всієї уранової руди добувається відкритим способом, а інша - шахтним. Збагачувальні фабрики створюють величезну кількість відходів («хвостів»). Так, в Північній Америці до кінця ХХ сторіччя буде накопичено до 500 млн. т відходів з довгоживучими радіонуклідами. При отриманні ядерного палива із концентратів на спеціальних заводах також утворюються газоподібні і рідкі відходи, але дози опромінювання від них не значні. У атомних реакторах різних типів отримують плутоній. Існують заводи, які займаються переробкою використаного ядерного палива для отримання урану та плутонію. Відходи заховують у ізольованих геологічних середовищах на суші (під землею), на дні океану (дампінг) і під морським дном; через сотні тис. років помітна кількість цих радіоактивних речовин досягає БС.

До 2000 р. річна колективна ефективна доза сягне до 200 тис. людино-зівертів (в 1980 р. вона склала 500 люд.-Зв.), але і це складає лише 1% від природного фону.

За даними експертів ООН середні річні еквівалентні дози опромінення від природних і техногенних джерел такі: природні - 2 мЗв; джерела, що використовуються в медицині - 0,4 мЗв, радіоактивні опади - 0,02 мЗв, атомна енергетика - 0,001 мЗв.

### 11.3 Вплив радіації на біосистеми і екосистеми

Вже перші дослідження радіоактивних елементів (в 1896 р. Бекерель, в 1898 р. Марія та П'єр Кюрі) показали їх згубну дію на організм людини (Бекерель отримав радіоактивний опік шкіри від пробірки з радієм; М.Кюрі померла від раку крові, а 336 її колег померли внаслідок опромінення).

Вплив радіоактивних випромінювань на живі тканини організму залежить від проникаючої і іонізуючої їх здатності. Організм людини пристосований до певних доз іонізуючого випромінювання, оскільки протягом життя зазнає опромінення космічними і радіоактивними. Але ці дози обмежені і відхилення променями від них небезпечні для життя живого організму. Опромінення призводить до руйнування кісткової тканини, зниження кількості білих кров'яних тілець, погіршення зору, викликає шкірні захворювання, безплідність, канцерогенні захворювання, змінює спадковість.

Радіоактивне випромінювання проникає крізь живі тканини без помітних слідів і руйнує молекули в складі кліток. Але у великих дозах радіація завдає шкоду кліткам і вони перестають ділитися. Тому радіовипромінювання використовується при руйнуванні ракових пухлин (променева терапія). Але значне опромінення порушує клітинний розподіл у всіх тканинах, тобто не відбувається нормального оновлення крові, шкіри і т.д. і через декілька днів променева хвороба призводить до летального наслідку. У низьких дозах радіація впливає на ДНК як канцерогенний і мутагенний фактор. Відносно слабких доз радіації немає єдиної точки зору. Малі дози отрут корисні - суть *гормезису*, атомна радіація в малих дозах теж корисна - суть *«радіаційного гормезису»*. Більш того, вона необхідна в малих дозах. Нижча межа шкоди - природний радіаційний фон - постійний потік радіації, в якій існує все живе; починаючи від вірусів і кінчаючи людиною [38].

Дія радіації на людину може привести до раку та генетичних ушкоджень. Великі дози руйнують клітини й призводять до швидкої смерті. Виявити наслідки малих доз важко, але вони відбиваються на потомстві. Летальні дози такі: 100 Гр (смерть через декілька годин або днів); 50-10 Гр (один - два тижні); 5-3 Гр (50% опромінених вмирають через 1-2 місяці). Червоний кістковий мозок і інші елементи кровотвірної системи найбільш вразливі і перестають нормально функціонувати вже при дозах 0,5 - 1 Гр. У дітей сповільнюється ріст кісток, відзначаються аномалії скелета, втрата пам'яті і т.д. Вразливі легені, нирки. Ризик тим більший, чим вище радіація. Вважається, що опромінення прискорює процес старіння і скорочує тривалість життя. Внутрішнє опромінення людей більш небезпечно, оскільки протягом року приблизно 19% припадає

на зовнішнє опромінення, 76% - на їжу, 1% на повітря, що вдихається, і 4% на питну воду.

Екологічні наслідки радіоактивного забруднення можна розглянути на прикладі Чорнобильської катастрофи [39]. Вони відбиваються на населенні і екосистемах Республіки Білорусь (70% від сумарного викиду радіонуклідів осіло на території Гомельської і Могильовської областей), України, Росії та суміжних європейських держав. Внаслідок вибуху 4-го реактора ЧАЕС з 26 квітня по 5 травня 1986 р. в довкілля було викинуто 3-4% його загальної радіоактивності. Радіоактивні ізотопи й газова суміш досягли верхніх шарів атмосфери і розсіялись між 30 і 50° пн.ш., а далі осаджувались на земну поверхню, що привело до підвищення природного радіоактивного фону у країнах Європи. Наприклад, в Фінляндії були відзначені рівні радіації до 5 мкЗв/ч (при природному фоні 0,1-0,2 мкЗв/ч). Сумарна вага радіоактивних речовин, викинутих у атмосферу, складає 77 кг; більша частина їх випала в радіусі 300-400 км від ЧАЕС. Представлені вони були приблизно 30 радіонуклідами з періодом піврозпаду від 11 годин ( $^{85}\text{Kr}$ ) до 24065 років ( $^{239}\text{Pu}$ ). У атмосферу було викинуто увесь радіоактивний тритій ( $^3\text{H}$ ) та 25%  $^{14}\text{C}$ . Підвищення радіаційного фону у більшості європейських країн обумовлене розповсюдженням легких ізотопів ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  та ін.). Важкі ізотопи плутонію та стронцію були присутні в атмосфері протягом місяця на відстані 30-40 км від реактора.

Інтенсивність впливу радіації на структуру і функціонування природних екосистем залежить від їх складу, рівня радіоактивного забруднення, «асортименту» радіоактивних речовин і періоду піврозпаду кожного із них, їх здатності проникати у живі організми; зміни характеру землекористування та інших видів людської діяльності. Основна особливість радіоактивних слідів Чорнобильської катастрофи – високий ступінь нерівномірності розсіяння радіоактивних речовин і осадження їх із пилом і опадами. Найбільший вплив зазнали лісові екосистеми. В процесі фотосинтезу виникала сорбція  $^{14}\text{C}$  і  $^3\text{H}$  плюс іще радіонукліди з опадами, а після листопаду радіонукліди перемістилися у верхній шар ґрунту, тому для дезактивації територій уживають суцільні вирубки лісів (хвойні дерева було вирубано й спалено з метою запобігання забруднення прилеглих територій). Неможливо, як раніше, експлуатувати водні екосистеми. Вони дуже забруднені радіоактивними речовинами, що зосереджені у донних відкладеннях, але зберігають свою рухливість (обмеження рибної ловлі, водокористування і т.д.). У агроекосистемах внаслідок вибуху радіонукліди проникли на глибину 20-40 см і родючі ґрунти можуть затримувати їх упродовж тривалого часу. У водних розчинах найкраще розчиняється  $^{90}\text{Sr}$ , тому він миттєво поглинається рослинами; здатні мігрувати й накопичуватись  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Cs}$ . Деякі рослини (лишайники, мхи, гриби, зернові та ін., а із городніх трав - шпинат,

фенхель, кріп, петрушка) активно поглинають радіонукліди і акумулюють їх на тривалий строк. Внаслідок катастрофи різко скоротилося землекористування. Щоб пом'якшити наслідки радіоактивного забруднення агроєкосистем, необхідна перебудова системи землекористування: відмова від глибокої оранки, зміна набору сільськогосподарських культур на користь зернових, а не коренеплодів, вживання «чистих» кормів перед забоєм тварин і т.д.

З 1986 р. малі дози опромінення дістають близько 4 млн. чоловік. У перші тижні після катастрофи основну загрозу викликали  $\gamma$ -випромінення та наявність у повітрі і в молоці  $^{131}\text{J}$  (доля цього короткоживучого ізотопу складала 30% від суми радіоактивних речовин; він впливає на щитовидну залозу і превентивною мірою проти нього є прийняття великих доз стабільного ізотопу йоду). Надалі головними джерелами опромінення людей були:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  та ін. Протягом 1986-1990 рр. у зоні впливу Чорнобильської катастрофи число захворювань щитовидної залози, поява злоякісних пухлин збільшилося в 1,5 рази, лейкемії на 50%. Особливо сильний вплив на біосистеми відмічався в радіусі 30 км від реактора, де повністю припинена людська діяльність.

Наслідками Чорнобильської катастрофи є: довгострокове вилучення із господарського обігу 144 тис. га сільгоспугідь і 492 тис. га лісів; обмеження на цілий ряд видів господарської діяльності; витрати на відселення 116 тис. чоловік в 1986 р. і близько 800 тис. чоловік в 1990-1995 рр.; витрати на моніторинг, дезактивацію, забезпечення «чистими» продуктами харчування і т.д. у забруднених районах; витрати на медичне обслуговування близько 4 млн. чоловік; скорочення приросту валового національного продукту внаслідок негативних соціально-демографічних тенденцій. Наслідки Чорнобильської катастрофи знайшли відбиток у короткострокових і довгострокових ефектах на рівні індивідуумів, популяцій, ЕС і БС в цілому [39]. До цього необхідно додати і моральні втрати населення, розвиток радіофобії і т.д.

Внаслідок Чорнобильської катастрофи перед суспільством постала надзвичайно велика кількість еколого-соціально-економічних проблем. Аварія викликала забруднення значної частини території України, на якій розташовано 2294 населених пункти і мешкало понад 2,6 млн. чоловік. Після аварії було евакуйовано понад 90 тис. осіб; 12 тис. продовжували мешкати у зоні обов'язкового відселення; 700 тис. – у зоні добровільного відселення; понад 1 тис. осіб нелегально проживали у зоні відчуження. Закриття ЧАЕС (15 грудня 2000 р.) створило нові еколого-соціально-економічні проблеми.

## 12 ПРИРОДНІ РЕСУРСИ ТА ПРОБЛЕМИ ІХ ВИКОРИСТАННЯ

При розгляді проблем природокористування (ПК) мимоволі доводиться протиставляти економічні спрямування людей і цілі охорони природи. Якщо кожний вид входить в певну ЕС або їх сукупність, «вписаний» в них, еволюціонує разом з ними і обмежений місткістю середовища саме цих утворень, а також внутрішніми для виду факторами, що залежать від густини його населення, то людство глобально вписане в ЕС суші і використовує водні ресурси. Завдяки розумній діяльності людство являє собою необмежено зростаючу систему, яка згідно до другого початку термодинаміки може розвиватися за рахунок деструкції НПС. Чим інтенсивніше і швидше споживання непоновлювальних ресурсів і більше частка вилучення поновлювальних ресурсів, тим значніше порушення НПС. Екологічно люди виступають в ролі безрозсудних паразитів, які руйнують середовища життя; кожна окрема людина прагне зберегти середовище мешкання, а разом вони діють винищувально і руйнівні [9].

При оптимізації ПК правильніше говорити не про використання природних ресурсів (ПР), а про використання їх певної частини, тобто про *природно-ресурсний потенціал* (ПРП). Під цим терміном розуміється одне з таких понять [5]: 1) здатність природних систем без шкоди для себе (а, отже, і для людей) віддавати необхідну для людства продукцію або виконувати корисну роботу в рамках господарства даного історичного типу; в більш вузькому економічному розумінні - доступна при даних технологіях і соціально-економічних відносинах сукупність природних ресурсів; 2) система природних ресурсів, умов, явищ і процесів, яка, з одного боку, є територіальною і ресурсною базою життєдіяльності суспільства, а з іншого - протистоїть йому як об'єкт антропогенного впливу; 3) теоретично гранична кількість природних ресурсів, яка може бути використана людством в умовах кінцевого цілого планети і її найближчого оточення.

З відмічених вище визначень ПРП з позицій оптимізації природокористування найбільш об'єктивним представляється перше, яке відображає частину природних ресурсів Землі і найближчого космосу, яка може бути реально залучена до господарської діяльності при даних технічних і соціально-економічних можливостях суспільства за умови збереження середовища життя людства. Це визначення ПРП є синонімом екологічного потенціалу. Економічно оцінений ПРП входить до складу національного багатства тієї або іншої країни.

Близьким за значенням є *еколого-економічний потенціал* (ЕЕП) - теоретично доступні для використання ресурси і властивості природних



систем всієї планети і її регіонів. При цьому акцент наголошується на їх функціонуванні і збереженні. Під *глобальним ЕЕП* розуміється максимально допустиме антропогенне навантаження на всю самоорганізовану сукупність природних систем, що не призводить до безповоротного руйнування структури цієї сукупності, до значних збоїв у вияві системних законів (правил, принципів) і різкого погіршення динамічних якостей систем. Індикатором різкого переходу за межі експлуатаційних можливостей природних систем служать різні форми їх деградації (наприклад, спустошування). Під *регіональним ЕЕП* розуміється антропогенне навантаження на територію, яке ще не веде до збільшення негативного зворотного впливу природних систем, що порушуються, на господарський розвиток [5].

У ПК основним об'єктом досліджень є природна система, яка часто розглядається як синонім термінів «екосистема», «геосистема», «ландшафт» і т.п. За визначенням М.Ф. Реймерса [9], ЕС - просторова обмежена взаємодія живих організмів і навколишнього середовища. Обмеження можуть бути фізико-хімічними (межа краплі води, ставка, озера, острова, біосфери загалом) або пов'язаними з кругообігом речовин, інтенсивність якого всередині ЕС вища, ніж між нею і зовнішнім світом. У останньому випадку межі ЕС розмиті, є більш або менш широка перехідна смуга (екотон). *Природна система* (ПС) - система, що складається із природних структур і утворень (підсистем), що групуються в функціональні компоненти на вищих рівнях ієрархічної організації (біогеоценоз, біом, біосфера тощо). Володіючи великою кількістю схожих елементів і зв'язків, ЕС і ПС розрізняються спрямованістю внутрішньосистемних зв'язків. Для моделі ЕС характерна спрямованість зв'язків з боку факторів «середовища» (об'єкт), насамперед на головний об'єкт - «господаря» (суб'єкт), а для моделі ПС типово визнання рівності всіх зв'язків [40]. З позицій ПК інтерес можуть представляти як біотичні, так і абіотичні компоненти ПС, але оптимізація ПК передбачає збереження сприятливих умов для існування і розвитку живих організмів і, передусім, людської популяції.

Системна сукупність всіх конкретних ПР як факторів життя суспільства в поєднанні з матеріальними і трудовими ресурсами називається *інтегральним ресурсом*. Розподіл ПР за ознакою використання вельми умовний, оскільки один і той же ресурс може використовуватися в різних цілях або мати велику естетичну цінність (наприклад, вода). При цьому часто діє правило інтегрального ресурсу, згідно з яким використання його в одних цілях утруднює або виключає використання в інших (якщо у водний об'єкт скидаються стічні води), - утруднює використання його з метою рибництва і рекреації. Якісні або кількісні зміни одного з складових інтегрального ресурсу неминуче ведуть до більш або менш помітних змін в кількості або якості інших ресурсів; зниження

водності змінює гідроенергетичні та інші показники території, умови створення і збереження матеріальних ресурсів і відтворювання трудових ресурсів. Однак ці проблеми розглядаються в рамках ресурсознавства. Основна увага в ПК приділяється природним ресурсам і умовам.

До 1980-х років традиційним підходом до класифікації природних факторів був їх розподіл на природні ресурси і природні умови.

*Природний фактор*(ПФ) – будь-який предмет чи явище, що діє поза участю людини (неантропогенний) чи пов'язаний з його біологічною сутністю, тобто безпосередній вплив природного середовища, в певних межах він може змінюватися але цілком не знімається дією соціальних факторів, включаючи техногенний вплив [5]. Природна середовище в сукупності зі соціальним середовищем складає навколишнє середовище людини [41].

*Природні ресурси* (ПР) - природні об'єкти і явища, що використовуються в теперішньому часі, минулому і майбутньому для прямого або посереднього споживання, сприяють створенню матеріальних багатств, відтворюванню трудових ресурсів, підтримці умов існування людства і підвищенню якості життя [5]. Під ПР традиційно розуміють тіла і сили природи, що на даному рівні розвитку продуктивних сил можуть бути використані в соціально-економічній діяльності людей. Поняття «природні ресурси» охоплює досить широке коло об'єктів. У більшості випадків у якості ПР розглядають природні тіла, які можуть бути використані для задоволення потреб людей [41].

*Природні умови* (ПУ) - сукупність живих організмів, тіл і явищ природи, існуючих поза діяльністю людей (хоча в ряді випадків і перетворених ними), які впливають на інші живі організми, тіла і явища, що розглядаються як центральні в системі існуючих виучуваних відносин. З економічних позицій ПУ - тіла і сили природи, необхідні для отримання кінцевого продукту прямого або посереднього споживання, але які безпосередньо не входять до його складу. Якщо же виходити з того, що початкові блага завжди обмежені за об'ємом і служать основою суспільного виробництва, яке робить зусилля для їх освоєння, кордон між ПР і ПУ стирається, а «антиресурси», що утруднюють господарювання, також виявляються серед ПР, але зі знаком мінус [5]. Під ПУ розуміють тіла і сили природи, які мають істотне значення для життя і діяльності людського суспільства, однак безпосередньо або побічно не залучені до сфери виробничої чи невиробничої діяльності людей [41].

К.Г. Гофман (1977) основним критерієм віднесення ПФ до ПР вважав змінюваність після використання у продуктивній діяльності людини; відповідно, з кола ПР виключалися такі природні блага, як сонячна радіація, енергія вітру, морських течій тощо. Фактор «змінюваності» можна вважати дуже важливим моментом у формуванні економічного інструменту ПК. Основна особливість розвитку

продуктивних сил на сучасному етапі – поступове стирання межі між ПР и ПУ. По-перше, зростають масштаби традиційного використання ПФ як ресурсів, у результаті чого фактор, який раніше відносився до ПУ, перетворюється в ПР. По-друге, значно зростає кількість функцій, які може виконувати той самий ПФ як ПР [41].

М.Ф. Реймерс [9] виходить з концепції «інтегрального ресурсу», що розглядається як системне утворення, яке експлуатується різними господарськими галузями і підтримує життя на Землі. Групи ресурсів (енергетичні, газово-атмосферні, водні, ґрунтово-геологічні, біологічні, кліматичні, рекреаційні, антропо-екологічні, інформаційні, простору і часу) і види ресурсів (більше 76 компонентів), утворюють інтегральні і комплексні сукупності.

Оскільки практично всі елементи природи так чи інакше використовуються чи можуть бути використані людиною (потенційні ПР), Л.Г. Мельник [41] вважає, що більш вірним розглядати ПФ за їх відношенням до виконуваних функцій: якщо ПФ розглядаються при їх використанні у суспільному виробництві, доцільно застосовувати термін *природні ресурси*; якщо ПФ виконують екологічні, фізіологічні і соціальні функції – термін *природні умови*.

Крім національних ПР, які повністю знаходяться під суверенітетом тієї або іншої країни, існують багатонаціональні ПР, тобто ресурси прикордонних рік, мігруючих тварин і птахів, внутрішніх морів і озер, на берегах яких проживають народи різних країн. Існують і міжнародні ПР, що є загальним надбанням (ресурси Світового океану за межами територіальних вод, атмосферного повітря, Антарктиди і Космосу); тобто природоохоронні проблеми не знають національних кордонів.

Нова система владно-господарських відносин в сфері ПК повинна передбачити поєднання форм власності на об'єкти ПРП: 1) загальнонародної – на стратегічні природні об'єкти національного значення; 2) державної – на об'єкти ПР, що мають державне значення і масове поширення на всій території України; 3) колективної (в т.ч. регіональної, територіальної і комунальної) на природні об'єкти і ресурси, що передаються у власність колективам для організації їх використання, відтворення і охорони у відносно обмежених масштабах за законами ринкових відносин; 4) індивідуальної (в т.ч. приватної) – на окремі природні об'єкти місцевого значення. Б.В. Буркинський і ін. (1999) виділяють такі природні об'єкти: водні об'єкти; об'єкти корисних мінерально-сировинних копалин; об'єкти геологічного середовища; об'єкти земельних ресурсів; об'єкти лісових ресурсів; об'єкти біологічних ресурсів. Крім того, виділяються основні структурні складові і елементи природних об'єктів.

Єдиної класифікації ПР немає. Зазвичай ПР поділяються на невичерпні (сонячна енергія, вітер, вода, приплив) і вичерпні; останні в

свою чергу поділяються на поновлювані (чисте повітря, прісна вода, родючий ґрунт, рослини і тварини) і непоновлювані (викопне паливо, металева і неметалева сировина) ресурси [11]. Найбільш повною представляється класифікація М.Ф. Реймерса [5,9]. Згідно з цією класифікацією ПР диференціюються за такими ознаками: 1) *за джерелом і місцеположенням*; 2) *за швидкістю вичерпання*: швидко вичерпні і повільно вичерпні; 3) *за можливістю самопоновлювання і культивування*: поновлювані і непоновлювані, тобто здатні або нездатні до самопоновлювання за строки, порівняні з термінами їх споживання (рослинність, вода в річці, ґрунтові води - поновлювані ПР, а мінерали, гірські породи, горючі корисні викопні - непоновлювані); 4) *за темпами економічного заповнення* - за рахунок пошуку нових джерел або нових технологій, тобто які можуть або не можуть бути відшкодовані для економічних потреб: поправні або відшкодовані і непоправні або невідшкодовані (дефіцит вуглеводневої сировини, заліза і марганцю на суші можна компенсувати освоєнням залізисто-марганцевих конкрецій на дні океанів); 5) *за можливістю заміни одних ресурсів іншими*: замінні (метали - керамікою, пластмасою) і незамінні (оптимальний для дихання склад атмосферного повітря).

За джерелом і місцеположенням виділяється наступний ряд ПР [9]: 1) енергетичні ресурси, 2) газово-атмосферні ресурси, 3) водні ресурси, 4) ґрунтово-геологічні ресурси, 5) ресурси продуцентів, 6) ресурси консументів, 7) ресурси редуцентів, 8) кліматичні ресурси, 9) рекреаційні ресурси, 10) антропоєкологічні ресурси, 11) пізнавально-інформаційні ресурси, 12) ресурси простору і часу. Нижче наводиться коротка характеристика їх стану, запасів, ступеня і перспектив використання з деякими змінами і доповненнями.

## 12.1 Енергетичні ресурси

Серед різних факторів, обмежуючих розвиток індустріалізованого суспільства, на першому місці стоять ресурси і запаси енергії. Розпізнають практично невичерпні в масштабі планети і вичерпні джерела енергії. До перших належать сонячна енергія, вітрова енергія, припливно-відпливна, хвильова, геотермальна, використання яких у значних масштабах поки що складне. До інших належать ресурси «одного урожаю»: різні види каустобіолітів і мінеральних неорганічних утворень (за типом уранових руд), які формуються в надрах мільйони років.

Споживання енергії в світі іде згідно з експонентним законом. Якщо світове споживання енергії за часів Римської імперії прийняти рівним 1, то на початок ХІХ сторіччя цей індекс дорівнював 3, а в наш час - 500. З 1850 р. по 1950 р. споживання енергії збільшувалось на 2,5% щороку, а з 1970 р. - на 9% і більше. Кількість використовуваної енергії зростає за

рахунок вуглеводневої сировини; на долю нафти припадає 45%, а на долю природного газу - 21% світового споживання (за даними на 1980 р.). Промисловий видобуток нафти почався в 1857 р. (Румунія) - 1860 рр. (Росія, Кубань) і зростає щорічно на 8,5%, що відповідало періоду подвоєння видобутку - 8 років. Недовгий спад в видобутку та споживанні нафти виник слідом за «нафтовою кризою» 1973 р., однак, вже в 1975 р. зростання поновилося і триває до цього дня. Природно, виникає питання про достатність запасів нафти та інших видів вуглеводневої сировини.

*Сонячна радіація.* Практично невичерпні енергоресурси (в 13 тис. раз більше сучасного рівня використання енергії людством), слабо використовуються. Вельми перспективна як енергетичний ресурс в рамках природного надходження, але мало концентрована. Використовується обмежено природним стоком енергії з біосфери. За прямим використанням геліоенергетики на душу населення перше місце займає Кіпр, де 90% котеджів і велике число готелів і будинків мають сонячні водонагрівачі. У Ізраїлі 65%, а в США тільки 0,5% гарячого водопостачання за рахунок геліоенергетики. За допомогою фотоелектричних перетворювачів сонячне випромінювання перетворюється на електричний струм. За вартістю електрична енергія, що виробляється таким чином, дешевша за енергію АЕС і може конкурувати з ТЕС. У Каліфорнії вже побудована сонячна електростанція, що забезпечує електроенергією близько 2,5 тис. жителів будинків (дзеркала на площі декілька га фокусують сонячне світло на котлі, який знаходиться на вершині вежі; висока температура перетворює воду на пару, що приводить в рух турбогенератор). Перспективні сонячні ставки, тобто штучні водоймища, що заливаються розсолон, понад яким знаходиться прісна вода. Сонячні промені проходять крізь прісну воду і поглинаються більш густим розсолон, перетворюючись при цьому на тепло, а гарячий розсіл використовується для обігрівання приміщень [20]. Існують і інші засоби використання сонячної енергії. У Криму (поблизу Керчі) діє експериментальна геліоелектростанція; вода нагрівається і перетворюється на пару з температурою до 300°C, обертаючи турбіну з генератором. Потужність станції 1200 кВт, але вважається, що на її принципі можна створити станцію потужністю 100 тис. кВт, яка займе набагато більшу площу земель. У Японії в 1998 р. встановлено майже 7 тис. дахових (“roof-top”) сонячних систем; у кінці 1998 р. німецький уряд оголосив мету – 100 тис. дахів у країні, а Італія – 10 тис. дахів.

*Вітроенергетика.* Причина вітру - нерівномірне нагрівання атмосфери сонячними променями. При досить високій швидкості і стійкому режимі вітрів вважається перспективне використання вітроустановок. Чим більша лопаті, тим більший потужність вітроустановки, але тим більше ризик поломки (розмах лопатей може сягати більше за 100 м), тому більш ефективним є використання невеликих за розмірами вітроустановок з розмахом лопатей до 17 м і потужністю 100

кВт. Від 50 до декількох тисяч таких установок утворюють вітростанцію (наприклад, на сході від Сан-Франциско). При цьому вартість 1 вата складає близько 1 долара. Найбільш поширені (декілька сот тисяч) вітроустановки потужністю до 15 кВт, хоч є розробки установок до 3-4 тисяч кВт. В Астрахані випускали вітроустановки «Циклон-6» потужністю 2 і 4 кВт. Вітроустановки працюють в цей час більш як в 100 країнах світу. В Україні перспективи вітроенергетики пов'язуються з південними регіонами і з північною частиною Криму. Є перспективи для використання їх в регіонах з постійними вітрами (Канада, Данія, Нідерланди і т.д.). Екологічна шкода від них мізерна. Перехід до сонячно-вітрової енергетики вже розпочався, як видно із тенденцій світового енергокористування з 1990 до 1998 рік (річний приріст вітрової енергії – 22%, сонячної – 16%). Данія вже одержує 8% своєї електроенергії від вітру, окремі регіони Німеччини – 11%, Іспанії – 20%. Серед країн, що розвиваються, передує Індія з її 900 Мвт потужності. Китай у 1998 р. запустив першу вітроелектростанцію потужністю 24 Мвт у Внутрішній Монголії. Зважаючи, що вартість виробництва електроенергії вітровими електростанціями падала з 1980 р до 1998 р., вітрова енергетика скоро стане важливішим джерелом енергозабезпечення.

*Космічні промені.* Всі види космічних випромінювань практично невичерпні, але дуже слабо використовуються. Вельми перспективні як енергетичний ресурс в рамках природного надходження, але мало концентровані. Використовуються обмежено природним стоком енергії з біосфери.

*Енергія морських припливів і відпливів, океанічних течій.* Це енергія, яка виникає під дією сили тяжіння Місяця на океанічну поверхню. Значна, слабо використовується, перспективна, але з обмеженнями (перехід в теплову енергію додає тепло в тропосферу, а тому і в біосферу). Припливи і відпливи, які змінюють один одного двічі на день, створюють енергію, яка використовується поки що на двох припливно-відпливних електростанціях (Росія, Франція). При припливі вода приводить в рух лопаті турбіни, а при відпливі нахил лопатей міняється на протилежний і генератори продовжують працювати. Вироблення електроенергії рентабельне при амплітуді коливань рівня води не менше за 6 м, а таких місць на Землі близько 15 [20]. При спорудженні таких електростанцій порушується естетична цінність ландшафту, вони затримують намули, порушують природну циркуляцію і перемішування морських і прісних вод, перешкоджають міграції деяких гідробіонтів і т.д. Потенціал їх незначний. Хвилі породжуються вітром. Вихід енергії у існуючих хвильових генераторів (з урахуванням витрат на будівництво і експлуатацію) дорівнює нулю або взагалі негативний. Можливості цього джерела незначні навіть на ділянках сталого хвилювання, наприклад, в прибережних частинах Англії, Ірландії і т.д. Малопотужні

експериментальні установки діють в різних країнах. Передбачається використання енергії океанічних течій. Так, наприклад, виноситься проект створення і встановлення турбіни за течією Гольфстріму на глибинах 30-130 м, де швидкість течії становить 3,2 км/годину. За рахунок різниці температур верхніх і нижніх шарів морської води також утворюється енергія. Перспективи використання її пов'язуються з тропічними і субтропічними районами, де значні глибини океану спостерігаються поблизу берегів, а температура води знижується від 30°C на поверхні до 8-10°C на глибині 400-500 м. Сприятливі умови для створення таких станцій існують біля південно-західного побережжя Сахаліну, Кримського півострова, на Кавказькому побережжі Чорного моря, на Каспійському морі (Апшерон).

*Геотермальна енергія.* Енергія глибин Землі. Можуть бути використані природні виходи геотермальних вод, свердловини для отримання таких вод, а також енергія нагрівання газів і рідин, що закачуються у глибини. Поки що слабо використовується. В Росії існує тільки Паужетська гідротермальна електростанція на Камчатці; більшою мірою термальні води використовуються в Ісландії, Японії, Новій Зеландії. Є перспективна для використання, але з обмеженнями (перехід в теплову енергію додає тепло в тропосферу, а тому і в біосферу). Крім того, використання призводить до хімічного забруднення навколишнього середовища, оскільки термальні води часто містять агресивні і токсичні компоненти. Особливий практичний інтерес представляють зони аномально високих температур в надрах, куди можна закачати воду, а потім використати в теплоенергетичних цілях.

*Потенційна і кінетична енергія повітря, води (льоду) і гірських порід (в тому числі енергія тиску і різниці тиску, сейсмічна енергія і т.п.).* Значна, слабо використовується, перспективна, але з обмеженнями. Так, гідроенергетика небезпечна через порушення екологічного балансу водоймищ і системи «океан - води суші». У 1989 р. на ГЕС світу отримано 6% всієї енергії. Наприклад, в США близько 300 ГЕС дають 13,5% електроенергії. Екологічно доцільне спорудження не великих і гігантських ГЕС, що порушують рівновагу річкових екосистем, а дрібних ГЕС.

*Атмосферна електрика.* Ресурси відносно обмежені. Не використовується.

*Земний магнетизм.* Має велике значення. По гіпотетичним уявленням поступово ослаблюється. Вірогідна необхідність відновлення або регуляції.

*Енергія природного атомного розпаду і спонтанних хімічних реакцій.* Інтенсивно використовується уран. Перспективи використання проблематичні через неліквідність радіоактивних відходів і небезпеку концентрації діючого начала.

*Біоенергія.* Ресурси значні, переексплуатовуються в одних місцях і видах (ліс) і недовикористовуються в інших (органічні відходи). За рахунок спалення біомаси в 1989 р. в світі виходило 11% виробленої енергії. Поки що здійснюється в основному пряме спалення. Близько мільярда бідняків в країнах третього світу використовують дрова як єдине джерело енергії. Вирубка кущово-деревного покривала є причиною ерозії і деградації ґрунтів. Для збереження лісових екосистем необхідне використання дров і відходів деревопереробки не більше 5% в енергетичному балансі. Навіть в США більше як 5 млн. будинків опалюються повністю, а 20 млн. будинків – частково, дровами, що призводить до деградації лісів і забруднення атмосферного повітря. Перспективне використання біомаси для отримання біогазу (метану). Гній зброджують в анаеробних ферментах, отриманий біогаз використовують на видобуття електроенергії, а збагачений біогенами (або після зброджування) гній використовується як органічне добриво. 1 ват такої енергії обходиться приблизно у 80 центів, а на ТЕС і АЕС відповідно у 3 і 5 доларів. Якби всі молочні ферми США отримували таким шляхом екологічно нешкідливу енергію, то вони виробляли б електроенергії більше ніж на АЕС. Досвід отримання паливного спирту з цукрової тростини, з кукурудзяної рослинності мають Бразилія, США та інші країни. Спирт використовується як пальне автомобілів або змішується для цих цілей з бензином (бензоспирт). Частка такого палива поки що складає близько 0,5% від традиційного вуглеводневого палива. При виробництві спирту використовуються рослини, що представляють продуктивний інтерес. Так, в Бразилії, кращі землі стали займати під цукрову тростину, в той час як площі посівів інших продовольчих культур скоротилися на 10-15%, що ускладнило розв'язання продовольчої проблеми в країні із зростанням народонаселення. Виробництво спеціальних сільськогосподарських культур для отримання паливного спирту здатне викликати збільшення деградації ґрунтів. Крім того, виробництво паливного спирту є «брудним» (утворюється багато кіптяви і т.д.), хоч згоряння спирту - відносно «чистий» процес [20].

*Термально-енергетичні, радіаційні і електромагнітні забруднення.* Значні, слабо використовуються, але можуть бути утилізовані (наприклад, тепло, що відходить, горючі тверді відходи та інші.).

*Нафта.* Одні автори [42] вважають, що до 2015 р. запаси нафти вичерпаються, інші [9] вважають нафту перспективним енергоносієм приблизно на 30 років. Потрібно назвати також природні продукти перетворення нафти в різних фізико-хімічних умовах (бітуми) в геологічному минулому і рідкі вуглеводні, що знаходяться в гірських породах в дисперсному стані, запаси яких перевищують запаси нафти. В залежності від методичного підходу, пов'язаного з політикою цін, з відмінністю політичних і економічних інтересів виробників і споживачів, з



кон'юнктурними міркуваннями і рядом інших факторів, світові потенційні ресурси нафти і газу оцінюються по-різному, іноді розрізняючись у 3-4 рази. Наприклад, за даними Французького інституту нафти, світові потенційні запаси нафти (без країн колишньої РЕВ) оцінюються у 146-435 млрд. т, а природного газу - 170-440 трлн. м<sup>3</sup>. Цікаво відзначити, що найбільш низькі оцінки ресурсів вуглеводневої сировини наводяться експертами найбільших нафтових монополій («Мобіл», «Шелл», «Брітіш Петролеум» і ін.), які зацікавлені в підвищенні цін на нафту і газ. Такий розкид значень не дає достатньо об'єктивного уявлення про те, скільки вуглеводневої сировини залишилося в надрах планети. Критичний огляд цих даних дозволив відомому фахівцю у цій області М.С. Модельовському оцінити запаси нафти, яка видобувається за допомогою існуючих технічних засобів, у 320 млрд. т, а природного газу - у 400-500 трлн. м<sup>3</sup> (з урахуванням країн колишнього РЕВ запаси нафти можуть складати приблизно 500 млрд. т, а газу - 800 трлн. м<sup>3</sup>). Беручи до уваги зростаючі потреби людства у вуглеводневій сировині, запасів нафти вистачить приблизно на 130 років, а газу на 200 років. Мабуть, це один із самих оптимістичних варіантів прогнозу. Хоча деякі дослідники [42] вважають, що за існуючої швидкості зростання споживання нафти і газу їх запаси будуть вичерпані вже до 2015 року, тобто може статися що історія нафти буде не багато більша за 150 років. Щорічно в країнах світу видобувається 3,5 млрд. т нафти. Ясно, що в доступному для огляду майбутньому навряд чи істотно зміниться частка вуглеводневої сировини в світовому енергетичному балансі. Розвідані запаси нафти в Україні складають близько 250 млн. т, а потреби 50-55 млн. т/рік. За даними НАНУ забезпеченість України нафтою становить 8 % [43].

*Природний газ.* Перспективний на 30-50 років [9], але оскільки світові ресурси оцінюються в 500 трлн. м<sup>3</sup> (по М.С. Модельовському без країн колишньої РЕВ, а з урахуванням їх - до 800 трлн. м<sup>3</sup>), то можливість використання природних газів можна розглядати як далеку перспективу. Крім того, необхідно мати на увазі не тільки вільні, але й розчинені форми природних газів, значні скупчення газогідратів і т.д. Власні запаси природного газу в Україні складають близько 1 трлн. м<sup>3</sup> (для порівняння в Росії 53 трлн. м<sup>3</sup>, на Близькому Сході 33 трлн. м<sup>3</sup>, в Ірані 13 трлн. м<sup>3</sup>), а річне споживання складає 120 млрд. м<sup>3</sup> при власному видобуванні 24 млрд. м<sup>3</sup> (20% потреби). За рахунок шахтного метану можна отримати в найближчі роки 3 млрд. м<sup>3</sup>. У екологічному відношенні природний газ є більш ефективним енергоносієм. За даними НАН України забезпеченість України природним газом становить 22 % [43].

Виходячи з оцінки потенційних ресурсів (біля 6,4 млрд. тонн умовного палива – ТУП) в Україні розвідано менше 40% запасів викопних вуглеводнів. Наявні резерви вуглеводневої сировини (біля 300 родовищ, експлуатується близько 200 нафтових, газових і газоконденсатних

родовищ) складають 230 млн. т нафти і 1165 млрд. м<sup>3</sup> газу і згідно з розрахунками забезпечили б можливість видобутку нафти на рівні 7-8 млн. т і газу – 30-35 млрд. м<sup>3</sup> на рік (державна програма «Нафта і газ України до 2010 року») [44]. Характерним прикладом негативного впливу на екологічну ситуацію є викиди нафти, газу і пластової води, забруднення прісних поверхневих вод і ПВ, загазованість атмосфери і ґрунтів та інше.

Слід зазначити, що в світовому енергетичному балансі в 1989 р. на частку викопного органічного палива припадало 78%, причому основна частина паливно-енергетичних потреб задовольнялася за рахунок вуглеводневої сировини (ВВС). У зв'язку із виснаженням запасів ВВС потрібно здійснювати енергозбереження, підвищувати ефективність теплоізоляції, впроваджувати когенерування (розміщення електрогенератора разом з джерелом енергії всередині будівлі, коли економиться 30% палива) та інші засоби. Економія і раціональне використання ВВС дозволить пом'якшити парниковий ефект, скоротити масштаби кислотних опадів, знизити приземний рівень озону і т. д.

*Вугілля.* Світові запаси бурого і кам'яного вугілля, антрацитів значні, тому вони вважаються перспективними для використання на 100-300 років. Щорічно в країнах світу видобувається 44,5 млрд. т вугілля. Загальні запаси вугілля в Україні оцінюються в 43,3 млрд. т, що при існуючому рівні видобутку буде достатньо на 70-100 років. Економічна ефективність використання вугілля як енергоносія звичайно низька, а екологічні наслідки вельми негативні. За даними НАНУ забезпеченість України вугіллям становить 95%. Потрібно зазначити, що донецьке вугілля на 40% представлене коксами, а на 10% антрацитами, тому використання їх як паливо є нераціональне [43].

*Горючий сланець.* Запаси горючих сланців значні, але використовуються незначно. Мало перспективні через значні відходи і викиди, що важко усуваються. В Україні можуть використовуватися горючі сланці Болтіського родовища і менілітові сланці Карпат [43].

*Торф.* Запаси торфу значні: 150 млрд. т (по вуглецю), з щорічним накопиченням 210 млн. т (по вуглеводу). Використання торфу мало перспективне через високу зольність і комплекс екологічних порушень.

*Енергія штучного атомного розпаду і ядерного синтезу.* Серед традиційних джерел енергії особливе місце посідає атомна енергетика. Після Чорнобильської катастрофи і аварій на інших АЕС відношення до розвитку атомної енергетики стало неоднозначним. Так, у Швеції парламент постановив до 2010 р. демонтувати усі АЕС. Франція не буде більш розвивати атомну енергетику, а інші розвинені країни переглядають своє відношення до атомної енергетики. Навіть якщо виходити з того, що імовірність аварії на АЕС надзвичайно мала, то це не виключає проблеми забруднення біосферних середовищ при видобутку уранової руди, при отриманні радіоактивної сировини, похованні радіоактивних відходів

тощо. Наприклад, на березі р. Колумбія (США) розташована АЕС; радіоактивність води незначна, а концентрація радіонуклідів у рибах та птахів у десятки тис. разів більша ніж у воді. Радіоактивні компоненти накопичуються в біосферних середовищах і можуть обернутися загибеллю для людської популяції. Один американський учений-атомник так образно охарактеризував атомну енергетику: «Дракон мертвий, тільки він про це не знає». Запаси атомної енергії фізично невичерпні, але екологічно вона надто небезпечна доти, поки не буде знайдений спосіб дезактивації радіоактивних відходів. На частку АЕС в 1989 р. припадало 5% від загальної кількості виробленої енергії. Вироблення електроенергії на АЕС України (75239 млн. кВт/годин) становить понад 43% від загального обсягу виробництва електроенергії. Що ж до термоядерної енергії, яка отримується в ході злиття (синтезу) більш легких ядер в більш важкі, то використання її поки вельми проблематичне. Термоядерні реакції некеровані і поки немає розробок, що дозволяють управляти ними. Крім того, немає речовин, здатних витримати температури  $3 \cdot 10^9$  °С. Необхідно зазначити, що на всіх етапах *ядерного паливного циклу* (видобування - збагачення уранової руди - ядерне паливо - АЕС - повторна обробка по витяганню урану, плутонію - поховання радіоактивних відходів) відбувається надходження радіоактивних речовин в довкілля і існує різна міра екологічного ризику. Існують не лише екологічні, але й економічні обмеження розвитку ядерної енергетики. Так, в США в 2000 р. планувалося ввести в дію 1000 атомних реакторів, але починаючи з 1975 р. замовлення на будівництво АЕС скоротилися. Причиною цьому були соціально-економічні і екологічні причини. Зокрема, при будівництві АЕС виникають такі проблеми: 1) нові стандарти по безпеці АЕС збільшують їх вартість у 5 разів; 2) протест громадськості («радіофобія») призводить до затримки пуску АЕС, тому витрати зростають і це лягає на плечі споживачів енергії; 3) робота АЕС пов'язана з ризиком за лічені хвилини великі прибутки перетворити в колосальні збитки; 4) термін служби АЕС складає не більше 30 років через «крихкість» металевих конструкцій і т.д., що також підвищує вартість електроенергії (витрати на будівництво повинні окупатися швидко); 5) енергія, що виробляється на АЕС, не використовується транспортом, як ВВС, оскільки поки що мало електромобілів [20]. У нерозсудливому прагненні до широкого розвитку АЕС в 60-70 рр. проблеми ліквідації ядерних реакторів ігнорувалися, хоча в цій серйозній проблемі існують як екологічні, так і економічні аспекти. Для демонтажу близько 350 атомних реакторів (включаючи створення об'єктів зберігання) буде потрібно 63 - 270 млрд. доларів. У разі демонтажу діючої АЕС треба буде знешкодити 150 млн. куб. футів низько активних відходів, тобто в 70 разів більше ніж утвориться щорічно на АЕС всього світу, а також забезпечити поховання більше ніж 100 тис. тонн високоактивних відходів, їх ізоляцію від людей на 10 тис. років. Витрати

на демонтаж АЕС, що закривається, зростають в середньому на 15 % щороку, подвоюються кожні 5 років. Посилювання нормативних актів збільшує вартість видалення радіоактивних відходів.

Основною причиною забруднення НПС є отримання енергії за рахунок горючих копалин. Якщо у 1900 р. 90% енергетичних потреб людства забезпечувалося вугіллям і 4% - нафтою, то у наступний час картина істотно змінилася на користь вуглеводневої сировини. За даними Б. Скінера [42] на частку нафти припадає 45%, а природного газу 21% (у США відповідно - 32% і 37%; тому там широко розвинена мережа газопроводів). Ці дані наведено за станом на 1980 р., але і в наш час картина навряд чи істотно змінилася і близько 70% енергії продовжують отримувати за рахунок вуглеводневої сировини. Альтернативні, екологічно більш чисті джерела енергії (сонячна, вітрова, припливна, геотермальна і ін.) поки що використовуються недостатньо і навряд чи відтіснять на другий план у найближчий час вуглеводневу сировину. Й хоча використання вуглеводневої сировини і інших горючих корисних копалин нерозумно як у екологічному, так і в економічному плані, їх продовжують спалювати для задоволення все зростаючих енергетичних потреб індустріалізованого суспільства. Іще Д.І. Менделєєв зазначав, що використання нафти для отримання енергії подібно до того, щоб піч розпалювати асигнаціями. Навіть у розвинених країнах лише незначна частина нафти використовується як цінна хімічна сировина (наприклад, у Франції лише 7% імпортованої нафти), а решта спалюється для одержання енергії. Певно, що коли людство дійсно вступить в ноосферу, то усвідомить свою глибоку помилку, але запаси горючих корисних копалин, особливо нафт та природних газів, до того часу можуть виявитись вичерпаними. Про колосальні розміри споживання викопного органічного палива можна судити за такими даними: загальна маса палива, спаленого у 1959 р. еквівалентна 5% загальної кількості сонячної енергії, яка поглинається щороку усіма автотрофами (продуцентами) БС і потім перетворюється на органічні сполучення [2]. У наш час ця величина може бути збільшена приблизно удвічі. При пошуках, розвідці, розробці, транспортуванні, переробці і практичному використанні горючих корисних копалин відбувається забруднення усіх біосферних середовищ.

Гідроенергетика і атомна енергетика також призводять до негативних екологічних наслідків. Однак, відмова від зазначених джерел енергії для більшості країн означала б енергетичну кризу. Багато атомних реакторів несуть потенційну небезпеку й потребують реконструкції, проте частка атомної енергетики продовжує зростати.

Підсумовуючи відомості про енергетичні ресурси, необхідно зазначити, що існують різні оцінки енергетичного потенціалу Землі. За даними [45] при перерахунку в ТУП наша планета має потенціал: біомаси – 5,6, гідроенергетики – 2,8, геотермальної енергії - 2.8, енергії припливів і

відпливів – 0,04, сонячної енергії (сонячні елементи, колектори та інші.) – 6,3 ТУП. У сумі цей потенціал більш ніж в 2 рази перевищує витрати енергії, яка в цей час витрачається в світі.

Таким чином, великі надії можна покладати на такі пальні корисні копалини, як торф, бурі і кам'яні вуглі, горючі сланці, бітумінозні породи, газогідрати, але їх використання у широких масштабах призведе до ще більшої деградації БС через забруднення природних середовищ (за виключенням газогідратів, практичне використання яких ще вельми проблематичне). Слід зазначити, що запаси вуглів на порядок вищі в порівнянні із запасами нафти, яка видобувається, (1 барель або 136,4 кг нафти еквівалентний 0,22 т вугілля і дозволяє одержати при спалюванні  $6 \cdot 10^9$  Дж). Одержання ВВС із вуглів і інших твердих каустобіолітів у значних масштабах може призвести до негативних екологічних наслідків. За даними Французької комісії з атомної енергії з 1850 р. по 1970 р. сума споживання енергоресурсів людством склала 350 млрд. т вугільного еквіваленту (на їх думку, вугілля вистачить іще на 300 років, а нафти і газу на 50 років). Пам'ятаючи про те, що запаси основних традиційних джерел енергії не безмежні, уже застосовуються засоби до їх більш раціонального використання, впроваджуються нові малоенергоємні технології. Проводяться роботи по впровадженню альтернативних джерел енергії: 1) *геліоенергетика* (геліоконденсатори, сонячні батареї); 2) *біоенергетика* (виробництво біомаси, біосинтез водню, рідке біопаливо - етанол, рослинна олія і ін., сміттєспалюючі установки, «деревні таблетки» - паливо із деревних відходів); 3) *вітроенергетика*; 4) *альтернативна гідроенергетика* («малі» ГЕС, припливні і хвильові електростанції; станції, які використовують енергію морських течій); 5) *енергетика, що використовує різницю температур* (високоградієнтні установки геотермальної енергії «мокрого» і «сухого» типу, низькотемпературна енергетика, що використовує різницю температур глибин і поверхні моря, теплові насоси і т.д.); 6) *вторинна енергетика* (яка використовує скидне тепло); 7) *космічна енергетика* (отримання енергії на спеціальних штучних супутниках Землі з вузькоспрямованою її передачею на наземні приймачі). Ведуться також роботи по використанню відновлюваних джерел енергії [46] та змішаних джерел енергії (атомно-водневі, сонячно-водневі і ін.).

## 12.2 Газово-атмосферні ресурси

*Ресурси окремих газів атмосфери.* Особливе значення мають ресурси  $O_2$  і  $CO_2$ ; співвідношення між ними за багато млн. років існування БС відповідає осцилюючому стаціонарному. Глобально за 100 років концентрація  $O_2$  знизилася з 20,948 до 20,946 % (за іншим даними до

20,5-20,8%). Баланс приходу і витрати  $O_2$  негативний. У містах концентрація  $O_2$  нижча за 20%. Потрібно приділяти пильну увагу зміні концентрації  $O_2$ . Глобально за 100 років концентрація  $CO_2$  зросла на 14-16% і за існуючих темпів і масштабів надходження можливе збільшення концентрації  $CO_2$  за 20 років на 50%. Концентрація  $CO_2$  зростає на 0,3% наступні на рік, але нерівномірно. Вживаються засоби щодо скорочення викидів  $CO_2$ . Не менш важливі ресурси озону в межах озонового шару стратосфери. Потенційно втрачено близько 10% озонового шару. Застосовуються регулюючі засоби (зниження і припинення викидів ХФВ та інші.). Ресурси  $CH_4$  і інших малих газових домішок в атмосфері різко збільшуються через зростаючу техногенну емісію.

*Газові складові гідросфери.* У багатьох континентальних водоймищах знижена концентрація  $O_2$ . У Світовому океані розчинність  $CO_2$  може знизитися приблизно з 40% до 20% від викидів в атмосферу, що приведе до негативних екологічних наслідків.

*Озоновий екран.* Проблему деградації озоносфери розглянуто вище.

*Фітонциди та інші біогенні летючі речовини.* В урбанізованих районах їх концентрації значно нижчі від біологічних норм, а місцями в зв'язку з дезадаптацією людини перетворюються на алергени. Потрібна регуляція.

*Газові домішки мінерального неатмосферного походження (природні). Важкі і легкі іони.* Спостерігається зниження кількості легких іонів і загальної іонізації повітря із збільшенням його антропогенного забруднення, особливо в урбанізованих районах. Потрібна регуляція. Іонізація - перетворення атомів і молекул в позитивно і негативно заряджені іони. Міра іонізації визначається відношенням числа іонів до числа нейтральних часток. Іонізація відбувається під впливом різних фізичних полів, рослинності і т.д. Підвищені концентрації легких іонів корисні для організму людини. У лісовому повітрі міра іонізації кисню в 2-3 рази вища, ніж над морем, в 5-10 раз вища, ніж над лугом, і в 150 раз вища, ніж у повітрі житлових приміщень. Одні рослини (акація біла, дуб, ялина, сосна, ялівець та інші) володіють високою негативно іонізуючою здатністю, а інші (черемха, тютюн, евкаліпт, мімоза та інші), навпаки, знижують кількість легких іонів.

*Газові забруднення (антропогенні).* У багатьох районах, особливо в промислово-міських, вміст газових забруднень вище прийнятних норм (ГДК), потрібне регулювання. М.Ф. Реймерс [5] відносить їх до «антиресурсів», тобто до агентів, знецінюючих інші ресурси. У той же час багато які газові викиди можуть бути залучені до процесу виробництва (наприклад, отримання повторного гіпсу при пропущенні діоксиду сірки крізь вапняковий розчин).

### 12.3 Водні ресурси

*Атмосферна волога.* Спостерігається тенденція до нерівномірності балансів. Регіонально сильно підкислена (кислотні опади) - рН доходять до 2,3-1,5% при нормі 5,6. Необхідна регуляція.

*Океанічні і морські води.* Кількість істотно не змінилася. Сталося деяке регіональне підкислення вод мілководь (наприклад, Азовське море), змінилася солоність, глобально зріс вміст важких металів (свинцю - до 3 разів і т.д.). Спостерігається дисбаланс між стоком з материків і перенесенням на них вод, що випаровуються з поверхні Світового океану. Негативний баланс оцінюється в розмірі 47-630 км<sup>3</sup>. Рівень Світового океану зростає приблизно на 1-1,6 мм за рік.

*Озера, водосховища і ставки.* Водосховища зосередили близько 5000 км<sup>3</sup> вод. Озера змінюють рівень під антропогенним впливом: підйом дамбами і спуск вод (Байкал), забору вод на зрошення (Арал) і т.д. Місцями спостерігається підкислення внаслідок випадання кислих (кислотних) опадів. Потрібна увага і в ряді місць регуляція.

*Води рік, струмків, поверхневого і глибинного стоку.* У ряді випадків глибоко антропогенно трансформовані і безповоротно використовуються (глобально приблизно на 5-9%, місцями до 100%), сильно забруднені. Водний стік порушений. Потрібна пильна увага і регуляція.

*Тимчасові малі замкнені водоймища (калюжі, мілководні озера і т.п.).* Сильно забруднені, нерідко підкислені.

*Грунтова волога (вільна і пов'язана).* Місцями знижується. Потрібна увага, бо від оптимальної кількості ґрунтової вологи багато в чому залежить родючість землі.

*Волога, пов'язана з живою речовиною.* Загальна кількість вологи в біомасі (як і сама біомаса) знизилася. Потрібна увага.

*Рідкі поверхневі забруднення.* У тому числі штучно принесена вода в екосистемах, забруднення води в звичайному значенні слова «Анти-ресурси», як і газові забруднення. Місцями значні, перевищують здатність водоймищ до самоочищення. Передбачається забруднення океану вище допустимих норм. Потрібна регуляція.

*Гідрогеологічні ресурси (ресурси ПВ).* Ресурси ПВ значні, вони інтенсивно використовуються, місцями виснажені, що веде до кризових і катастрофічних змін інженерно-геологічних умов. Місцями ПВ недопустимо забруднені. Спостерігається підтоплення в деяких населених пунктах. Потрібна регуляція.

*Глибинні забруднення первинного і повторного антропогенного походження.* Як природно просочуються, як закачані і виникли внаслідок ланцюгових хімічних реакцій. Місцями дуже істотні, особливо в регіонах масового застосування мінеральних добрив, закачки токсичних відходів,

великих звалищ. Можуть бути використані як ресурси і небажані як «антиресурси». Потрібна пильна увага.

У наш час основними водними ресурсами, доступними для експлуатації, є прісні поверхневі і підземні води, які використовуються або можуть бути використані людством. На прісну воду припадає лише 3% від загального об'єму води на Землі, але із цієї кількості лише близько 20% доступно для практичного застосування. Загальний об'єм вод суші складає 900000 км<sup>3</sup>, але об'єм води, доступної для використання, без остраху за негативні наслідки, складає усього 25000 км<sup>3</sup>. При оцінці водних ресурсів розрізняють звично два поняття: 1) *статичні* (вікові, постійні) запаси, тобто такі, що одноразово знаходяться у водних об'єктах суші і вимірюються в об'ємних величинах (м<sup>3</sup>, км<sup>3</sup>); 2) *поновлювані ресурси* (динамічні запаси), тобто такі, які поновлюються щорічно в процесі круговороту води і вимірюються в м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/рік і т.д. (наприклад, статичні запаси озера Байкал дорівнюють 23000 км<sup>3</sup>, а ресурси, що поновлюються у вигляді стоку р. Ангари - 60 км<sup>3</sup>, тобто 0,26%, у той час як решта 96,74% є постійним об'ємом в озері і складає 82% статичних запасів усіх прісноводних озер колишнього СРСР). Незважаючи на гаданий достаток, чиста прісна вода при усе зростаючому темпі її споживання стає рідкістю в біосфері. У найближчі 15-20 років проблема прісної питної води стане однією з найгостріших екологічних, економічних і політичних проблем, які виникли перед людством. Конфлікти через землі та нафту видадуться малозначними порівняно з боротьбою за воду. Наприклад, на води Нілу, стік якого внаслідок посух за останні 10 років скоротився, окрім Єгипту претендує ряд інших країн; Туреччина і Ірак сперечаються за право на воду Євфрату, Мексика і США - р. Колорадо. Щодня від пов'язаних із водою хвороб гине приблизно 40 тис. дітей (майже 15 млн. на рік). Ще 10 років тому 3/4 городян країн, що розвиваються, не були повністю забезпечені чистою питною водою. Щоб нормально функціонувати, людському організму на день необхідно в середньому 1,4 літри. Ґрунтам вода необхідна задля підтримки свого природного стану і живлення кореневої системи рослин. Сутність водної проблеми у багатьох країнах світу полягає не в нестачі водних ресурсів, а у їх нерівномірнім розподіленні щодо використання у господарській діяльності. Часто води замало там, де вона особливо необхідна для розвитку сільського господарства і промисловості. Навіть у вологих тропіках недостатньо води, щоб запобігти ерозії ґрунтів через те, що їх втрати перевищують 100 т/га, хоча швидкість ґрунтоутворення 1 т/га на рік. Усілякі проєкти, пов'язані із перекиданням вод, неминуче пов'язані із порушенням ЕС.



## 12.4 Ґрунтово-геологічні ресурси

*Ґрунти і підґрунтя.* Глобально сильно порушені. Еродовані до вибуття з сільськогосподарського обороту більше за половину земель. Особливо небезпечне зникнення дрібнозема. Необхідна рекультивация земель.

Проблема забезпеченості населення Землі необхідними продуктами харчування є однією з самих серйозних проблем сучасності. За оцінками експертів ООН в 1971 р. більш як 1 млрд. мешканців планети не мало достатньої кількості продуктів харчування. У зв'язку із зростанням населення Землі і деградацією ґрунтів спостерігається зменшення сільгоспугідь, які обробляються, на душу населення. Так, у 1975 р. в світі на 100 чоловік припадало 35 га оброблених земель, в 1985 р. - 31 га, в 1991 р. - 27 га. У США відповідно 65, 64, 63 га, а у колишньому СРСР - 89, 82, 79 га. Незважаючи на це, світове споживання кілокалорій на душу населення постійно зростає (за оцінками 1991 р. в світі - 2620 ккал, в розвинених країнах - 3330 ккал, в країнах, що розвиваються, - 2200 ккал, в Південній і Південно-Східній Азії - 2100 ккал і т.д. (Н. Хубулава, 1993). Всі родючі землі вже розорані (близько 3,2 млрд. га, з яких обробляється 1,3 млрд. га). У деяких районах Південної Азії, Далекого Сходу, Середнього Сходу, Північної Африки, Південної Америки, тропічної Африки і в інших регіонах немає можливості збільшити орні землі. Але невміле використання орних земель, нераціональні меліоративні роботи, безжалісна експлуатація пасовищ справляли і справляють негативний вплив на родючість земель. Клин орних земель скорочується через будівництво промислових і цивільних об'єктів, ГЕС, водосховищ, розробки родовищ корисних копалин і т.д. Щорічно із сільськогосподарського обігу виключається 5-7 млн. га угідь внаслідок водної і вітрової ерозії ґрунтів, опустелювання, забруднення токсичними речовинами, відчуження земель під різні види будівництва. Це створює труднощі у виробництві продуктів харчування. Тут необхідно зазначити і соціально-економічні фактори у виробництві продуктів харчування, які гостро стали і перед країнами колишнього СРСР.

За класифікацією ФАО існують такі типи і види землекористування: землеробське, пасовищне, змішане, землі не придатні в сільському господарстві.

На початок 1999 р. Земельний фонд України становив 60,4 млн. га (сільськогосподарські угіддя – 63,9%, лісові та інші насадження - 17,2%, водоймища – 4%, заболочені землі – 1,6%, інші землі – 7,9% [29].

*Виходи материнських гірських порід.* Збільшилися по площі в зв'язку з водною ерозією верхніх горизонтів, змивом і дефляцією ґрунтів.

*Кріогенний субстрат (льодовики та інше).* Місцями спостерігається деяке зменшення потужності гірських льодовиків (Памір, Тянь-Шань,

Кавказ тощо). Потенційні ресурси великі. Існує теоретична загроза танення материкових льодів і деградації вічної мерзлоти в зв'язку з вірогідним потепленням клімату.

*Грунтові забруднення, в тому числі засолення.* Швидко збільшуються. Засолено близько 20% всіх зрошуваних земель. Потрібна увага і регуляція.

*Ерозія ґрунтів (всіх видів).* Глобальне антропогенне опустелювання (зниження або руйнування біологічного потенціалу землі, яке може привести до умов пустелі) оцінюється в розмірі 6,7% всієї суші. Причиною розвитку процесів опустелювання може бути перевантаженість пасовищ (Африка, Калмикія), розробка родовищ газу (Астрахань), вторинне засолення зрошуваних земель (Середня Азія, Калмикія). Опустелювання є однією з найбільш небезпечних глобальних екологічних проблем тому потрібна негайна регуляція.

*Геоморфологічні структури* (гори, рівнини і т.д.). Практично не змінені, хоча локально такі зміни сталися: денудація гір в ході видобутку корисних копалин і т.д.

*Поверхневі геоморфологічні* (за положенням в просторі, наприклад, ізоляція горами та інші). Практично не змінені.

*Геоморфологічні глибинні* (зумовлені властивостями порід, сейсмічною активністю і т.д.). Змінені локально, наприклад, внаслідок заповнення водосховищ (викликані, «наведені» землетруси до 6 балів по 12-ти бальній шкалі), відкачки ПВ, усихання великих водоймищ (Арал) і інших причин. Потрібна увага.

*Металеві і неметалеві руди, нерудні копалини.* Поступово виснажуються, але ресурси значні, крім ряду металів (міді, свинцю, срібла, золота тощо), запаси яких перспективні на 15-20 років. Накопичення на поверхні землі важких металів, що добуваються з надр, має кризовий характер, загрозливий геохімічними і екологічними катастрофами. Потрібна негайна регуляція і пильна увага. Сучасне індустріальне суспільство потребує металевих і неметалевих корисних копалин, які утворюються виключно повільно, тому використовуються одноразово. Це найважливіші ресурси у житті людського суспільства, про що свідчать найменування періодів розвитку людства: кам'яний, бронзовий і залізний віки. Запаси різних металів в літосфері обмежені. Співвідношення запасів і потреби в них для деяких видів мінеральної сировини виглядають таким чином: *Au, Cd* -1,1; *S* - 1,0; *Ba*, асбест, гіпс - 0,8; *Br, Ge* - 0,7; *Zn* - 0,6; графіт - 0,5; *Bi, Ag, F* - 0,3; слюда - 0,1. За прогнозами експертів США скрута з кольоровими металами (*Cu, Pb, Zn, Sn, Al*) виникне іще до кінця ХХ сторіччя. При існуючому видобуванні золота (приблизно 940 тонн у 1975 р.) розвіданих запасів золота вистачить на 50-60 років. Однак слід враховувати, що удосконалювання технологій дозволить розробляти родовища з дуже низьким вмістом корисних компонентів, що у наш час чи

то неприступно, чи то економічно недоцільно. Проводяться роботи по використанню вторинних ресурсів, впровадженню маловідходних технологій, комплексному використанню мінеральної сировини (деметалізація нафт і природних вод, витягання побіжних компонентів і т.д.), що дозволяє економити мінеральну сировину. Відкриті не відомі раніше залізо-марганцеві конкреції на дні океанів (їх запаси становлять 1,5 трлн. т, у той час як на суші світові запаси заліза дорівнюють 141000 млн. т, а марганцю 450 млн. т), нові типи родовищ рудних корисних копалин (наприклад, стратиформні). Розробляються технології більш повного видобування широкого спектра корисних компонентів, що дозволяє доволі оптимістично оцінювати потенційні ресурси багатьох видів мінеральної сировини (заліза, марганцю, алюмінію, кобальту і ін.).

## 12.5 Біологічні ресурси

*Ресурси продуцентів:* генетико-видовий склад рослинності і хемопродуцентів (під загрозою зникнення до 10% видів рослин, потрібна їх охорона); рослинна біомаса, в тому числі лісові ресурси (в статистиці біомаса продуцентів глобально знизилася приблизно на 7%, за іншими даними на 20% і більше; господарська продуктивність рослинного покриву (не відповідає сучасним потребам господарювання, може бути підвищена лише в обмежених масштабах, необхідний перехід на агрометоди виробництва і економне використання, доцільний інтенсивний пошук заміників); системно-динамічні якості фітоценозів як функціональної частини ЕС (спостережуване спрощення до монокультур потенційно небезпечне, потрібна регуляція і пильна увага). Властивості в природних системах, включаючи виробництво вільного кисню - нижче природних норм і потреб людства, місцями потрібне відновлення); ботанічні «забруднення» (можуть бути зумовлені випадковою інтродукцією, локально приносять збиток - амброзія і інше, потрібна увага).

*Ресурси консументів:* генетико-видовий склад тваринного світу (під загрозою зникнення близько 1000 видів великих і невідоме число дрібних тварин, потрібне збереження реальних і потенційних ресурсів); біомаса консументів (загалом стабільна, але нерідко по-господарському небажані форми змінюють корисні, великих тварин замінюють дрібні, потрібна регуляція і увага); повторна біологічна продуктивність (загалом нижча за бажаний для людей рівень, може бути підвищена, особливо локально); господарська продуктивність консументів (загалом нижча за бажаний для людей рівень, може бути підвищена, має перспективи аква- і марикультури); системні динамічні якості консументної ланки екосистем як керуючої підсистеми в системах біосфери, недостатньо враховуються і використовуються, штучно придушуються шляхом боротьби з «шкідниками» пестицидами); роль тварин як санітарів, поглиначів

хімічних речовин, запилювачів і т.д. (місцями пригнічена, що призводить до економічних збитків - зниження врожайності і т.п.); консументні забруднювачі (можуть бути зумовлені випадковою інтродукцією, регіонально дуже небажані, потрібна пильна увага).

*Ресурси редуцентів:* генетико-видовий склад редуцентів (генетичні ресурси мікроорганізмів, видимо, майже не змінені, але питання вивчене слабо, можливе виникнення нових форм, в тому числі небажаних і навіть небезпечних - нових захворювань, руйнівників матеріалів і т.п., потрібна увага); біомаса редуцентів (немає оцінок біомаси редуцентів); хіміко-фізична активність редуцентів з її господарською оцінкою (нижча бажаного рівня - не відбувається самоочищення середовища життя, потрібна пильна увага); системно-динамічні якості підсистеми редуцентів в екосистемах (певно незмінні); мікробіологічні забруднення, в тому числі вірусні (посилюються, створюють пандемії, але в процесі боротьби з ними придушуються, потрібний повсякденний контроль і напружена боротьба, особливо за допомогою ослаблення культур, перетворення "в друзів" без звільнення екологічних ніш).

Цінність природної біоти в наступному: 1) основа для сільського і лісового господарств; 2) ресурси для медицини; 3) пряма користь (попередження ерозії, запилення, деревина і т.п.); 4) можливість для відпочинку, задоволення естетичних і наукових потреб; 5) комерційні можливості. Зниження цінності біологічних ресурсів відбувається через: руйнування місця мешкання і внаслідок відчуження земель, забруднення, надмірної експлуатації, інтродукції нових видів, поєднання негативних факторів деградації середовища.

## **12.6 Комплексна ресурсна група**

*Кліматичні ресурси:* природні кліматичні ресурси (існує загроза різкої зміни, необхідна регуляція); видозмінені кліматичні ресурси (видозміни місцевого клімату мають як позитивні (зони агролісомеліорації), так і негативні (міста) сторони, необхідна увага).

*Рекреаційні ресурси:* ресурси природного середовища - оптимуму повсякденних умов для життя людей (загалом благополучні, крім окремих місць, особливо в урбанізованих регіонах, потрібна регуляція); ресурси відпочинку (відбувається швидке вичерпання ресурсів відпочинку, потрібна увага); лікувальні ресурси (відбувається швидке вичерпання лікувальних ресурсів, потрібна увага і їх охорона).

Кліматичні умови України дозволяють організувати масовий літній відпочинок протягом 140-145 днів у північно-західних регіонах, 180-190 днів – у степовій зоні морського узбережжя, 220 днів – у південній частині Криму. Карпатський регіон сприятливий для зимових видів відпочинку протягом 90-120 днів. Площа рівнинних рекреаційних ландшафтів

становить 7 млн. га, а передгірних і гірських – понад 2 млн. га. У структурі природно-ресурсного потенціалу України значне місце займають рекреаційні ресурси (табл.12.1).

Таблиця 12.1

Рекреаційні ресурси України

Природні регіони	Площа ландшафтних рекреаційних ресурсів (тис. га)		
	загальна	рівнинних	Гірських / крутогірських
Карпати	2640	649	1809 / 902
Крим	472	11	432 / 126
Причорномор'я	226	226	-
Приазов'я	165	165	-

*Антропоєкологічні ресурси:* Природно-осередкові епідемії і трансмісивні захворювання (ведеться успішна боротьба, можливе виникнення осередків нових типів, потрібна пильна увага); соціально-антропоєкологічні ресурси (соціальне середовище ускладнюється, зростають стреси, потрібна особлива увага); генетичні ресурси людства (напружені, місцями близькі до вичерпання і спостерігається генетичне виродження - руйнування генофонду).

*Пізнавально-інформаційні ресурси:* природно-еталонні ресурси (поступово зникають, потрібна увага, по можливості необхідне відновлення); природно-історичні інформаційні ресурси (деградують, необхідне збереження і підтримка, при можливості відновлення).

Всі території і об'єкти *природно-заповідного фонду* (ПЗФ) України поділяються за категоріями (природні заповідники, пам'ятники природи та ін.), типами (ботанічний, зоологічний, лісовий, гідрологічний і інш.) і значенням (загальнодержавне і місцеве). *Заповідник* - територія (акваторія), що особливо охороняється, повністю або навіки виключена з будь-якої господарської діяльності, включаючи відвідування людьми; дозволено тільки наукову, охоронну і контрольну діяльність. *Заказник* - природний комплекс, призначений для збереження одних видів ПР при обмеженому використанні інших; заборонені постійно (або тимчасово) окремі види господарської діяльності. *Національний парк* - територія, що включає як повністю заповідні зони, так і зони, призначені для відпочинку, оздоровлення, екологічного туризму тощо.

*Пам'ятники культури* - окремі природні об'єкти, що мають наукове, естетичне, культурне або виховне значення. Велику небезпеку представляє господарське освоєння раніше заповідних територій. Зменшення території в порівнянні з оптимальними розмірами призводить до зменшення кількості видів і розмірів окремих особнів, а в кінцевому результаті - до повної деградації заповідних ПС.

У США площа територій, що охороняються, складає більше за 7% території, в Росії - близько 3%. У 1993 р. ПЗФ становив 1412,8 тис. га, що складало 2,34%. Станом на 1.01.1999 р. ПЗФ України має в своїм складі 6728 територій та об'єктів загальною площею 2354,2 тис. га, що складає 3,9% території держави. До складу ПЗФ України входять 4 біосферних і 15 природних заповідників, 8 національних природних парків, 288 заказників, 132 пам'ятки природи, 17 ботанічних садів, 7 зоологічних парків, 19 дендрологічних парків, 88 парків-пам'яток садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення та об'єкти місцевого значення [29].

*Ресурси простору і часу:* ресурси простору (територіального, водного і повітряного, включаючи найближчий космос; спостерігається перезгущення населення, засмічення навіть найближчого космічного простору, потрібна увага); ресурси часу (один з самих дефіцитних ресурсів, людство не встигає реагувати на зміни середовища, що створюються ним же, виникає загроза глобального дисхроноза історичного розвитку); ресурси загального екологічного балансу (ресурси близькі до вичерпання, необхідна особлива увага).

Як справедливо відмічає М.Ф. Реймерс [9], в цілому спостерігається ресурсна напруженість і необхідно формування системного ресурсного мислення. У цих умовах особливо важливу роль має оптимізація методів використання ПР.

### **13 ОСНОВНІ ЗАКОНИ, ПРАВИЛА І ПРИНЦИПИ ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

Екологія і природокористування, як і інші науки, базується діалектичних, загальнонаукових, кібернетичних, біологічних, геологічних, географічних та фізико-хімічних законах.

У попередніх розділах вже частково розглядалися деякі гіпотези, закони, правила і принципи, які є теоретичною основою сучасної екології і ПК. Наприклад, суть *гіпотези Геї* зводиться до біологічної регуляції геохімічного середовища. *Закон біогенної міграції атомів* - жива речовина бере пряму або непряму участь в геохімічних процесах в межах БС (без осмислення цього закону важко було б дослідити біогеохімічні кругообіги); *закон генетичної різноманітності* - все живе генетично різноманітно і має стійку тенденцію до збільшення біологічної різноманітності; *закон константності Вернадського* - кількість живої речовини за певний геологічний час існування БС є величина постійна; *закон піраміди енергії (або правило 10%)* - з одного трофічного рівня екологічної піраміди переходить на інші рівні не більше 10% енергії (цей закон дає змогу обчислювати необхідні земельні площі для забезпечення населення продуктами харчування); *закон мінімуму* - стійкість організму визначається найбільш слабкою ланкою в ланцюгу його екологічних потреб; *закон толерантності* - лімітуючим фактором функціонування організму може бути як мінімум, так і максимум екологічного впливу, діапазон між якими визначають міра толерантності до даного фактора; *закон спільної дії природних факторів* - об'єм урожаю залежить не від одного, нехай навіть лімітуючого чинника, а від всієї сукупності екологічних факторів одночасно. *Правило 1%* - зміна енергетики природних систем в межах 1% виводить їх із сталого стану. *Принцип Реді* - живе походить тільки від живого; *принцип сукцесійного заміщення* – біотичні співтовариства формують закономірний ряд екосистем, який веде до найбільш стійкої в даних умовах ПС.

Незважаючи на велику різноманітність екологічних факторів, характеру їх впливу на організмі і у відповідних реакціях живих істот можна виявити ряд загальних закономірностей: закон оптимуму; неоднозначність дії фактора на різні функції організму чи угруповання; мінливість, варіабельність і різноманітність відповідних реакцій на дію фактора середовища в окремих особин виду; пристосування видів до кожного з факторів середовища відбувається відносно незалежним шляхом; несумісність екологічних спектрів окремих видів; взаємодія факторів, правило лімітуючих факторів [10].

Основні закони природокористування навряд чи можна розглядати у відриві від численних екологічних принципів і концепцій. У роботі Ю.Одума [9] їх нараховується 66, в словнику Т.І. Дедю [47] 58 законів, 40

правил і 36 принципів, в словнику-довіднику М.Ф. Реймерса [5] 70 законів, 28 правил і 27 принципів. Загальне число різних законів, правил, принципів, аксіом складає близько 250 [9]. Як вважають Бровдій і О.О. Гаца (2001), всі екологічні закони необхідно класифікувати за функціональними ознаками, а саме, виділити серед них енергетичні, системні (системоутворюючі), біофізіологічні, геобіохімічні, геофізичні і соціально-економічні.

Нижче дається стисла характеристика лише деяких законів (правил), які показують важливість екологічного обґрунтування оптимального використання природних ресурсів і умов.

*Закони Б. Коммонера:* 1) все пов'язане зі всім; 2) все повинне кудись подітися; 3) природа знає краще; 4) ніщо не дається задарма або за все доводиться платити. До коммонеровських законів екології звично додають ще одне положення про необхідність об'єктивної і правдивої інформації про екологічну ситуацію у різних регіонах («правда очищує»). Екологічна інформованість громадян та залучення їх до процесу прийняття владних рішень сприяє формуванню та розвитку громадянського суспільства в країні. З цих причин важливим кроком українського суспільства до демократії є ратифікація міжнародної Конвенції «Про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень і доступ до правосуддя з питань, що стосуються навколишнього середовища». Вона підписана Україною у 1998 р. в Оргусі (Данія) серед інших 26 країн Європи.

*Закон внутрішньої динамічної рівноваги.* Відноситься в рівній мірі як до екосистемних законів, так і до законів ПК, оскільки з цього закону витікають важливі для практики слідства, тобто він є вузловим положенням в ПК. Суть закону зводиться до наступного: речовина, енергія, інформація і динамічні якості окремих ПС (в тому числі і екосистем) і їх ієрархії взаємопов'язані настільки, що будь-які зміни одного з цих показників викликають супутні функціонально-структурні кількісні і якісні зміни, які зберігають загальну суму речовинно-енергетичних, інформаційних і динамічних якостей систем, де ці зміни відбуваються, або в їх ієрархії. Цей закон є одним з дороговказних в управлінні ПК. Дія його доводиться практикою нераціонального ПК і характером екологічних катастроф (Приаралля, Азовське море, Кара-Богаз-Гол та інші). Із цього закону випливає декілька наслідків [5].

1. Будь-яка зміна середовища (речовини, енергії, інформації, динамічних якостей ЕС) неминуче призводить до розвитку природних ланцюгових реакцій, що йдуть у бік нейтралізації зробленої зміни або формування нових ПС, утворення яких при значних змінах середовища може прийняти безповоротний характер. Під ланцюговою реакцією в природі розуміється ланцюг природних явищ, кожне з яких спричиняє за собою зміну інших, пов'язаних з ним явищ. Наприклад, вирубаня лісу в



басейні ріки, яка впадає в озеро, призводить до усихання малих річок, зниження рівня ґрунтових вод, зменшення вологості ґрунту, зниження рівня води в річці і озері, а це разом з іншими факторами веде до нестачі води в місті, загибелі риби, розвитку синьо-зелених водоростей і інших гідробіонтів, до евтрофікації водних об'єктів тощо. Будівництво дамби з метою накопичення води в річці і іригаційній мережі для нормального зволоження ґрунтів не вирішує проблеми підтримки рівня ґрунтових вод; навпаки, витрата води на випаровування в зрошувальних системах і з поверхні водосховища посилює нестачу річкового стоку в озеро, затримує твердий стік, спричиняє заболочування місцевості, а іригація - додаткове засолення ґрунтів і подальші негативні впливи іригаційних вод на водні об'єкти. У відповідності з принципами Ле Шательє - Брауна речовинно-енергетичні, інформаційні і динамічні зміни відбуваються в напрямі, що забезпечує збереження загальної їх суми, тобто її стійкість. Якщо антропогенне навантаження перевищить здатності ЕС до саморегуляції і принцип Ле Шательє - Брауна перестане діяти, то це може привести до загибелі всієї ЕС (наприклад, вважається, що для підриву стійкості БС досить втратити 20-30% видів). При зовнішньому впливі, що виводить систему з стану стійкої рівноваги, ця рівновага зміщується в тому напрямі, при якому ефект зовнішнього впливу ослаблюється. Дія принципу Ле Шательє-Брауна в наші дні глибоко порушена. Якщо наприкінці ХІХ століття ще відбувалося збільшення біологічної продуктивності у відповідь на зростання концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері, то з початку ХХ сторіччя це не відбувається. Навпаки, біота викидає  $\text{CO}_2$ , а її біомаса автоматично знижується. У цих умовах відновлення принципу можливе лише за рахунок скорочення антропогенно змінених площ.

2. Взаємодія речовинно-енергетичних екологічних компонентів (енергія, гази, рідини, субстрат, організми), інформації і динамічних якостей ПС кількісно нелінійна, тобто слабкий вплив або зміна одного з показників може викликати сильні відхилення в інших (і у всієї ПС загалом). Наприклад, незначні відхилення в складі газів атмосфери, її забруднення  $\text{SO}_2$  і  $\text{NO}_x$  приводять до утворення кислотних опадів, а останні - до змін в екосистемах суші і водного середовища. Незначне збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  веде до парникового ефекту.

3. Зміни в великих ПС відносно безповоротні. Проходячи по їх ієрархії знизу вгору, від місця появи до БС загалом, вони міняють глобальні процеси і тим самим переводять їх на новий еволюційний рівень (згідно із законом безповоротності еволюції Л. Долло).

4. Будь-яке місцеве перетворення природи викликає в БС і її найбільших підрозділах реакції, що приводять до відносної незмінності еколого-економічного потенціалу (правило «тришкіна кафтана»), збільшення якого можливе лише шляхом значного зростання енергетичних внесків (згідно із законом зниження енергетичної ефективності ПК).

Штучне зростання еколого-економічного потенціалу обмежене термодинамічною (тепловою) стійкістю ПС (згідно з правилом одного процента). Як образно відмічає М.Ф. Реймерс [5], «чим більше пустель ми перетворимо на квітучі сади, тим більше квітучих садів ми перетворимо на пустелю».

*Закон обмеженості природних ресурсів.* Ті ресурси, які здаються невичерпними (наприклад, потік сонячної енергії) в порівнянні з енергоспоживанням людства, виявляються різко обмеженими через ліміти вимог. Енергетику тропосфери, як сказано вище, не можна збурювати більш ніж на тисячні частки енергопотону поглинання атмосферою і земною поверхнею. Згідно із законом обмеженості (вичерпності) природних ресурсів, всі ПР кінцеві. Оскільки Земля представляє собою природно обмежене ціле, то на ній не можуть існувати нескінченні частини. Обмеженість ПР виникає або внаслідок прямої вичерпності, або внаслідок збурення середовища мешкання, яке стає непридатним для господарювання і життя людини. Обмеженість ПР, включаючи в це поняття і природні умови розвитку людства в історичному процесі, не може не впливати на продуктивні сили суспільства, а через них і на соціальні відносини.

*Закон відповідності між розвитком продуктивних сил і природно-ресурсним потенціалом суспільного прогресу.* Кризові ситуації виникають не тільки при дисбалансі продуктивних сил і виробничих відносин, але і при дисбалансі продуктивних сил і ПРП. Це в результаті служить зовнішньою причиною суспільного розвитку, який неодноразово зазнає екологічних випробувань. Як відмічає М.Ф. Реймерс [9], перша антропогенна екологічна криза була кризою перепромисла великих тваринних, друга - перепромисел рослинного матеріалу, а сучасна екологічна криза - кризою редуцентів (на рівні з рисами всіх попередніх криз). Редуценти не спроможні розкласти весь спектр забруднювачів, що виробляються людством, особливо тих, що не мають природних аналогів, а тому не мають і мікроорганізмів для їх утилізації і перетворення в початкові хімічні елементи.

*Правило інтегрального ресурсу.* Конкуруючі в сфері використання конкретних ПС галузі господарства неминуче завдають збитку один одному і тим сильніше, чим значніше вони змінюють екологічний компонент, що спільно експлуатується, або всю ЕС загалом (пряме слідство закону внутрішньої динамічної рівноваги). У рамках розподілу ресурсів на природні, трудові і матеріальні, правило інтегрального ресурсу охоплює всі згадані групи. При цьому трудові ресурси виявляються залученими до інтеграції як біологічно (людина - одна з консументів), так і соціально-економічно - через ресурси підтримки екологічної рівноваги і рекреаційні ресурси, а також блок матеріальних ресурсів. В свою чергу матеріальні ресурси тісно пов'язані з природними і трудовими ресурсами,

оскільки все, що отримується людством у вигляді матеріальних цінностей, в кінцевому результаті витягнуте з природи шляхом докладання праці. У той же час природа служить джерелом інформації, яка нерідко втрачається при нераціональному ПК.

*Закон падіння природно-ресурсного потенціалу.* В межах однієї суспільно-економічної формації чи способу виробництва й одного типу технологій ПР стають все менш доступними і вимагають витрат праці і енергії на їх витягання, транспортування, а також відтворювання. Відповідно до закону падіння ПРП повинен сформуватися світовий ринок ПР, або «екологічний» ринок, що в умовах глобальності впливів людства на природу не можна вважати нормальним. Існує конкурентне використання ресурсів, що торкається як всіх боків ПС, так і їх окремих компонентів; при цьому конкуренція носить переважно локально-економічний і натуральний характер. У момент наближення ПРП до суспільно неприйняттого рівня зміниться технологія і зміниться суспільна реакція, тобто сформується нова соціально-економічна формація.

*Закон розвитку природної системи за рахунок навколишнього середовища* – будь-яка ПС може розвиватися лише за умови використання матеріально-енергетичних та інформаційних можливостей НПС; абсолютно ізольований саморозвиток неможливий. Із цього закону випливає декілька наслідків: 1) абсолютно безвідходне виробництво неможливе; 2) будь-яка біотична система, використовуючи та видозмінюючи своє життєве середовище, є потенційною загрозою для більш високоорганізованих систем (завдяки цьому в БС неможливе нове зародження життя – воно буде знищене організмами більш високоорганізованими, ніж первісні форми живого); 3) БС як система розвивається не тільки за рахунок ресурсів планети, але й опосередковано, за рахунок і під впливом розвитку космічних систем.

*Закон зниження ефективності природокористування.* Діє він в рамках закону падіння ПРП. У процесі еволюції людства при отриманні з ПС корисної продукції на її одиницю затрачується все більше енергії, а енергетичні витрати на життя однієї людини весь час зростають. Витрата енергії (в тис. ккал за добу) в кам'яному віці була порядку 4, в аграрному суспільстві - 12, в індустріальну епоху - 70, в сучасних розвинених країнах - 23-250, тобто приблизно в 60 разів більша ніж у наших далеких предків. З початку ХХ сторіччя кількість енергії, що затрачується на одиницю сільськогосподарської продукції в розвинених країнах світу, зросла в 8-10 разів, а на одиницю промислової продукції в 10-12 разів. Загальна енергетична ефективність сільськогосподарського виробництва в промислово розвинених країнах приблизно в 30 разів нижча, ніж при примітивному землеробстві. Наприклад, у США 1 склянку молока отримують за рахунок витрати 0,5 склянки дизельного палива (вкладають 10 ккал, а отримують 1 ккал корисної продукції). Практичний висновок із

закону, що розглядається: зростання енергетичних витрат не може продовжуватися нескінченно. Щоб запобігти можливій термодинамічній кризі, необхідні нові технології і оптимальні методи ПК.

*Закон оптимальності і правило міри перетворення природних систем.* Згідно із законом оптимальності, з найбільшою ефективністю будь-яка система функціонує в деяких характерних для неї просторово-часових межах, тобто ніяка система не може звужуватись або розширяться до нескінченності. Розмір системи повинен відповідати функціям, що виконуються нею («характерний» розмір системи). Наприклад, щоб літати, птах не може бути дуже великим; щоб народжувати живих дитинчат і годувати їх молоком, самиця ссавця не може бути ні мікроскопічною, ні гігантською; імперії, страждаючі «синдромом динозавра», приречені на розпад. Екологічна криза посилюється за рахунок спроб докорінних перетворень ПС за допомогою технічних пристроїв. При цьому не дотримується закон оптимальності і правило міри перетворення ПС, яке витікає з нього, а також і обмежень, що диктуються окремими закономірностями і властивостями природних утворень. При цьому провокуються неминучі ланцюгові реакції технічного управління природними процесами.

*Принцип природності.* Крім природних ланцюгових реакцій «жорстке» техногенне управління викликає до життя дію принципу природності або правила «старого автомобіля»: згодом еколого-соціально-економічна ефективність технічного пристрою, що забезпечує «жорстке» управління ПС і процесами, знижується, а економічні витрати на його підтримку зростають. Застарілий технічний пристрій робиться непотрібним і, хоча минулі економічні витрати амортизовані фізично і морально, нефункціональний об'єкт «повисає» на суспільстві. Наприклад, старі іригаційні системи вимагають реконструкції, і чим вони ширші, тим значніші кошти необхідні для цього; знищення або реконструкція зброї вимагає іноді більше коштів, ніж її первинне виробництво.

*Правило «м'якого» управління природою.* Суть правила «м'якого» управління природними процесами - системне спрямування їх в необхідне русло з урахуванням законів природи, що набагато ефективніше грубих техногенних втручань. Таке управління побудоване на ініціації корисних природних ланцюгових реакцій, в тому числі процесів відновлення, поновлення ресурсів (наприклад, біологізовані методи сільського господарювання, вибіркова вирубка лісу, культивування полезахисних лісових смуг та інші).

*Закон спільної дії природних чинників.* Згідно з цим законом величина урожаю залежить не від окремого, навіть нехай лімітуючого фактора, а від всієї сукупності екологічних факторів одночасно. Коефіцієнт дії («вага») кожного окремого фактора (сонячна радіація, температура ґрунту, атмосферні опади, біогенні елементи) в їх сукупному

впливі розрізнений і може бути підрахований при багатофакторному аналізі. При стабільності значень всіх інших впливів, вплив одного фактора після досягнення піка ефективності неминуче падає.

*Закон максимальної урожайності.* При найсприятливішому поєднанні обставин на даному сільськогосподарському полі розглядуваний закон буде складений правилами територіальної і компонентної екологічної рівноваги та законом оптимальності. Вище за рівень, що диктується цими закономірностями, урожай отримати неможливо при будь-якому хитруванні, якщо не перейти від відкритих систем господарювання до закритих типів.

*Закон максимуму.* Суть закону максимуму зводиться до наступного: в даному географічному місці за існуючих природних (а частіше за природно-антропогенних) умов, ЕС може утворити біомасу і мати біологічну продуктивність не вищу за властиву - найпродуктивнішим її елементам в їх ідеальному поєднанні. Подальше стимулювання веде лише до руйнування її структур. Перенапруження будь-якої ЕС в кінцевому підсумку веде до її саморуйнування. Проводячи аналогію з посудиною, потрібно зазначити, що не можна її наповнити вище максимального об'єму.

*Правило територіальної екологічної рівноваги.* Тільки природні ПС забезпечують стабільність, стійкість і надійність біосфери і її складових. У роботах Ю. Одума, Г. Одума (1972) показано, що максимальний урожай (а ширше, еколого-соціально-економічний ефект), може бути отриманий при певному поєднанні площ, перетворених людиною, і природними ЕС. Доцільна екологічна рівновага (100% цінностей, що отримуються) виникає при співвідношенні 40% площ перетворених і 60% площ природних ЕС. Видимо, як мінімум, співвідношення перетворених і практично незмінених площ повинне бути 1:1. Правило територіальної екологічної рівноваги складає єдиний логічний блок із законом оптимальної компонентної доповненості (максимум біопродуктивності і урожаю лімітований оптимальним поєднанням екологічних компонентів). Будь-який допінговий вплив ефективний доти, поки є доповнюючі його сприятливі екологічні чинники. Поза цією взаємодією подальше вкладання енергії, мінеральних добрив і т.д. руйнують ЕС і не дають позитивних результатів.

*Закон граничної урожайності* (К. Пратт, 1965). Згідно з цим законом зайве внесення добрив веде не до збільшення, а до зниження урожайності (підтвердження закону убуваючої віддачі А. Тюрго - Т. Мальтуса).

*Закон убуваючої (природної) родючості.* Одне з трактувань закону убуваючої родючості: в зв'язку з постійними добуваннями урожаю, а тому органіки і хімічних елементів (біогенів) з ґрунту, порушенням природних процесів ґрунтоутворення, а також при тривалій монокультурі, внаслідок

накопичення токсичних речовин, які виділяються рослинами (самоотруювання ґрунту), на землях, що культивуються, відбувається зниження природної родючості ґрунтів. До такого ж результату веде нераціональна агротехніка, що викликає ерозію ґрунтів, вимивання з них колоїдів і дрібнозема. Хоч деякі культури (кукурудза та інші) не виділяють токсичні для себе речовини, вони погано оберігають ґрунт від ерозії. В наш час близько 50% орних земель світу втратило родючість, а з інтенсивного сільськогосподарського обороту вибуло стільки ж земель, скільки зараз обробляється (в 80-і роки втрачалось 7 млн. га на рік).

*Закон зниження природоємності готової продукції.* Збільшення наукоємності і енергоємності суспільного виробництва приводить в дію два позитивних процеси, що формулюються в вигляді розглядуваного закону: питомий вміст природної речовини в усередненій одиниці суспільного продукту історично неухильно знижується. Діє в землеробстві, оскільки відбувається заміна природної родючості штучною, а відкритого ґрунту закритим; площа полів зменшується, а урожай збільшується. Зростає мініатюризація виробів (ПЕОМ та інших), відбувається заміна ресурсоємних технологій ресурсозберігаючими.

*Закон збільшення темпів обороту природних ресурсів, що залучаються.* Суть закону: в історичному процесі розвитку світового господарства швидкість оборотності залучених ПР (вторинних, третинних і так далі) безперервно зростає на фоні відносного зменшення об'ємів їх використання і залучення до суспільного виробництва (відносно зростання темпів самого виробництва). Наприклад, місцями навіть питна вода вже не має природного походження, а є продуктом реутилізації. Збільшення замкненості природних циклів, яке мало місце в процесі еволюції БС, охоплює і антропогенну складову. Але вигреш в природній речовині гаситься програшем в енергії згідно із законом зниження енергетичної ефективності ПК. Зниження питомого споживання речовини відбувається в тих областях, де різко збільшується наукоємність.

## 14 ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРИРОДНИМИ СИСТЕМАМИ

М.Ф. Реймерс, М.П. Федоренко, М.Я. Лемешев і інші прихильники комплексного вивчення і управління ПК вважають, що управління природокористуванням, охорони природи – найбільш творче з усіх мистецтв. Це мистецтво мистецтв, бо це мистецтво збереження життя, всебічного розвитку людей, творення людського щастя.

*Управління* - елемент, функція організованих систем різної природи (біологічних, соціальних, технічних), що забезпечує збереження їх певної структури, підтримку режиму діяльності, реалізацію програми, мети діяльності. За визначенням М.Ф. Реймерса [5] управління - це організація (або самоорганізація) зв'язків між якимисьь складовими, що призводить до намічених результатів (або саморегуляції). Засновується на необхідній інформації і направлене на підтримку або поліпшення функціонування керованої сукупності. Проводиться на базі природно виробленої або штучно створеної програми (послідовності дій для розв'язання задачі або послідовності подій, що приводить до певного результату).

У ПС існує *самоврядування* - природна самоорганізація взаємозв'язків всередині ПС, яка веде до її гомеостазу (стану внутрішньої динамічної рівноваги). Здатністю до самоврядування володіють всі ПС, але здійснюється воно в різних формах (консорціонна, організменна, популяційна) і згідно з об'єктивними законами, правилами і принципами [9]. Особливістю *консорціонної* форми самоврядування (самоорганізації) є наявність центрального об'єкта, що постійно змінюється, і який знаходиться в прямих або непрямих зв'язках з периферійними об'єктами (наприклад, зростаюче дерево, а потім загибле і гниюче дерево і пов'язане з ним тваринне, рослинне та мікробне населення). При *організменній* формі саморегуляція повністю або частково відбувається за командами з керуючого центру (наприклад, мозок у вищих тварин) або багатьох центрів-організаторів (організми керуються крім мозку залозами внутрішньої секреції і секреторними виділеннями багатьох інших органів і тканин). *Популяційна* форма самоорганізації заснована на різній якості складаючих її підсистем, що відбираються внаслідок зовнішніх впливів середовища і внутрішніх впливів в самій системі (наприклад, природний відбір).

Самоврядування в ході ПК складно взаємодіє з *штучним управлінням* ПС, тому результуючий процес може різко відрізнитися від наміченого (від програми). Частіше за все виникають протиріччя в зв'язку з різною «стратегією» природи і людини. Природні процеси спрямовані на досягнення вищої біомаси (вираженої в одиницях маси або енергії) при оптимумі різноманітності і мінімумі біологічної продуктивності (біомасі, що виробляється біоценозом за одиницю часу на одиницю площі). Людина

прагне до максимальної корисної продукції (наприклад, до урожаю) при мінімумі різноманітності (монокультурі) і загальної біомаси. Вона прагне до отримання максимуму біомаси в корисних частинах рослин і тварин або до переважання повторної біомаси (домашніх тварин). Для ПС сорт культурних рослин або порода домашніх тварин представляють сукупність аномальних, генетично дуже однорідних і біологічно погано пристосованих утворень, що підлягають знищенню в ході самоврядування ПС. При оптимізації ПК необхідно враховувати цю обставину. Суперечність між «інтересами» ПС і людини знімаються агротехнічними і іншими методами, доглядом за окультуреними ЕС і екологічною оптимізацією території, що зберігає завдяки цьому природно-антропогенну рівновагу певного рівня. Екологічно доцільна рівновага - це природно-антропогенна рівновага, яка підтримується на рівні, що дає максимальний еколого-соціально-економічний ефект протягом умовно нескінченного часу. Як правило, його індикатором служить здатність ЕС в ході sukcesії досягати вузлових співтовариств.

Штучне управління ПК повинно базуватися на наступних принципах [5]: 1) управління повинно бути направлене на досягнення певної мети (цільова функція); 2) необхідно знати позитивні і негативні реакції керованої сукупності на вже проведені акції управління (урахування поточних реакцій); 3) важливе урахування об'єктивних обмежень ПРП і ЕЕП (урахування обмежень); 4) доцільно направляти всі процеси на виникнення бажаних матеріально-енергетичних зворотних зв'язків з посиленням досягнутого позитивного ефекту (наприклад, якщо число жертв-риб росте, то чисельність хижаків збільшується - позитивний зворотний зв'язок, але хижаки-риби, харчуючись рибами-жертвами, знижують їх чисельність - негативний зворотний зв'язок; при зростанні числа хижаків меншає число жертв, і хижаки, відчуваючи дефіцит їжі, також зменшують чисельність своєї популяції); 5) управління повинно бути ієрархічно організоване, що в свою чергу вимагає, щоб: а) дії нижнього рівня гармонійно комплектували вищестоящі по просторово-часовій ієрархії, б) вищі рівні ієрархії (по значущості в просторово-часовій розмірності) не перешкоджали функціонуванню нижніх, в) число рівнів управління зводилося до мінімуму; 7) управління повинне бути оптимальним (згідно із законом оптимальності і іншими закономірностями); 8) управління доцільно організовувати на базі адекватної (цілком відповідної) управлінської форми; 9) ефективність управління вимагає відповідності цілям, як даного заходу, так і всіх інших суспільно необхідних дій з підсумовуванням позитивних результатів в бажаних розмірах; 10) управлінські рішення повинні бути своєчасними, без фізично і морально застарілих дій; 11) управління завжди прогнозовано, враховує еколого-соціально-економічні наслідки на велику глибину у часі і засноване на багатоваріантному аналізі можливих



ситуацій; 12) система управління повинна бути адаптивною, тобто змінювати свою структуру і способи функціонування відповідно до набутого досвіду роботи, змінних зовнішніх умов і цілей управління.

Особливо необхідно зупинитися на принципі адекватності. Розрізняють «м'яку» і «жорстку» форми управління. «М'яке» управління - в основному опосередкований, непрямий вплив на ПК, як правило, за допомогою природних механізмів самоврядування (саморегуляції), хоча, часом, шляхом технічного конструювання цих механізмів. Воно направлене на відновлення колишньої природної продуктивності ЕС або підвищення її шляхом цілеспрямованої і заснованої на використанні об'єктивних законів ПК серії заходів, що дозволяє направляти природні ланцюгові реакції в «м'яку» сприятливу для економіки і життя людей сторону. Прикладами заходів «м'якого» впливу на ПС є агролісомеліорація або вибіркоче вирубання лісу. Так, при вибіркових рубках лісу зберігається лісова ЕС, а початкові витрати згодом поступово окупаються шляхом запобігання збитків. «Жорстке» управління - безпосереднє, командне управління ПС, як правило, технічний і техногенний вплив втручання в природні процеси, їх «виправлення» шляхом корінного перетворення самих механізмів і систем природи. Прикладів «жорсткого» впливу на ПС більш ніж досить (суцільне вирубання лісу, освоєння цілинних земель, будівництво дамб на ріках, перекидання вод із одного річкового басейну в інший, іригаційні системи та інше). «Жорстке» управління базується на штучному перенапруженні і граничному омолодженні ПС. У зв'язку з цим воно вимагає заходів для підтримки екологічної рівноваги, здійснюваних головним чином шляхом «м'якого» управління. Більш низькі початкові витрати «жорсткого» впливу на ПС породжують ланцюг збитків, які потребують потім великих витрат на їх ліквідацію (рис.14.1).

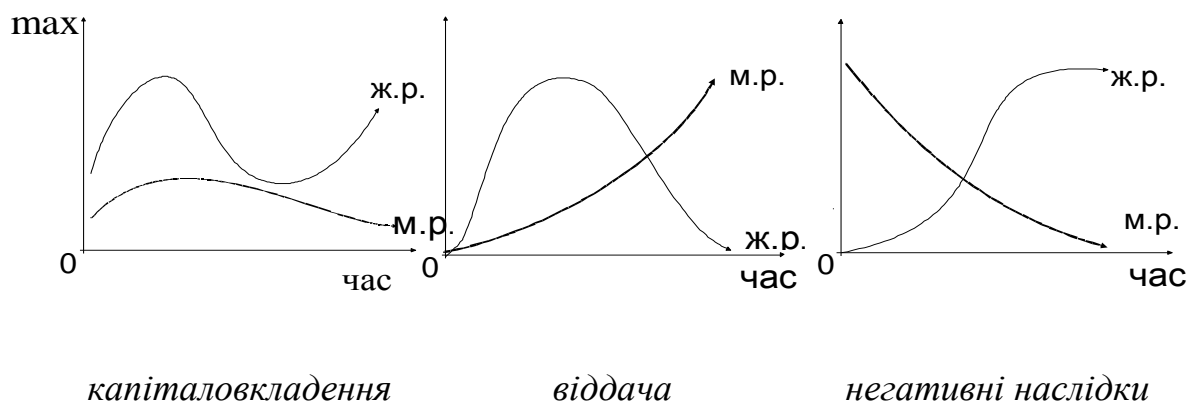


Рис.14.1. Схема витрат, ефективність і зміна негативних наслідків з часом при «м'якому» (м.р.) і «жорсткому» (ж.р.) управлінні

Наприклад, економічно більш рентабельним вважається суцільне вирубаня лісу, при якому забирається вся деревина, але при цьому втрачається саме лісове середовище, падає рівень рік, відбувається заболочування і т.д. Відновлення лісової ЕС (якщо це можливо) потребує величезних витрат. Аналогічний приклад можна навести із створенням і підтримкою іригаційної мережі на цілих землях. Перехід від «м'яких» до «жорстких» форм впливу доцільний лише при одночасній заміні екстенсивних форм господарювання гранично інтенсивними і, як правило, в межах відносно коротких інтервалів часу. У довгостроковій перспективі ефективно лише «м'яке» управління природними процесами.

Прикладом управління ПС може бути вибір оптимального варіанта меліорації земель. *Меліорація* (від лат. melio - поліпшувати) - система заходів для поліпшення ґрунтів з метою створення сприятливих умов для сільськогосподарського, лісогосподарського і інших виробництв з урахуванням вимог екологічного (раціонального) ПК. Розрізняють такі основні види меліорації: 1) *гідротехнічна* (регулювання водного режиму ґрунтів і захист їх від руйнування шляхом зрошування, осушення, регулювання водного режиму тощо); 2) *агролісомеліорація* (поліпшення сільськогосподарських угідь шляхом насадження захисних лісових смуг); 3) *хімічна* (поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунтів і порід шляхом внесення меліорантів (гіпсу, вапна, хлористого калію тощо) та інш.

Екологічне обґрунтування видів меліорацій і їх ефективність - найважливіший напрям агроекології [48]. Внаслідок екологічного принципу невизначеності, труднощі прогнозу можливих змін ЕС, будь-яке техногенне втручання в ПС повинно порівнюватися з віковим досвідом господарської діяльності людини, зокрема вираженим законами Б. Коммонера.

Обґрунтуванням меліорацій зазвичай служить *закон зростаючої родючості* (урожайності), за яким прогресивні прийоми сільського господарства приводять до збільшення урожайності полів. При цьому меншою мірою враховується правило інтегрального ресурсу (зрошування наносить збиток іншим галузям господарства, що експлуатують водні ресурси) і зовсім не беруть до уваги закон зниження енергетичної ефективності ПК (з плином часу при отриманні від агроecosистеми корисної продукції на її одиницю в середньому витрачається все більше енергії), а також принцип помилкового благополуччя (перші успіхи в ПК тимчасові).

Високий економічний ефект від зрошуваних або осушених земель в початковий період експлуатації меліоративних систем дає «жорстке» управління (за допомогою технічних засобів) меліоративними агроecosистемами. Однак, відповідно до екологічного правила неминучих природних ланцюгових реакцій (першого висновку закону внутрішньої

динамічної рівноваги) внаслідок «жорсткого» управління неминуче виникає необхідність компенсаційних витрат (витрати на рекультивацію зрошуваних земель, боротьба з ерозією ґрунтів, рекультивація малих річок тощо), які перевищують первинний ефект меліорацій [49].

«М'яке» управління забезпечується методами екологічної інженерії за допомогою інженерно-біологічних систем. При цьому ланцюгові природні реакції направляють на підвищення стійкості агроєкосистем, розумну рекреацію і інш. Різноманітність видів меліорації дозволяють підібрати меліоративну систему з «м'яким» управлінням (біологічне землеробство на ландшафтній основі, системи лісових насаджень, фітоформи рослинності і т.п.) для конкретної агроєкосистеми. «М'яке» управління забезпечує стійкість і продуктивність агроєкосистеми так, що вилучення поновлювальних ПР буде не більшим за те, що агроєкосистеми можуть зробити, а відходи виробництва і споживання не перевищують можливості агроєкосистеми повертати їх в біологічний кругообіг природи.

Міру «жорсткості» управління можна знизити при реконструкціях існуючих зрошувальних систем (будівництво колекторно-дренажної мережі, облицювання каналів, впровадження водозберіжних способів поливу і інш.). Наприклад, у степовій зоні найбільш перспективним напрямом екологічної інженерії є протиерозійні меліорації, основною теоретичною концепцією яких служить протиерозійна інженерно-біологічна система водозбору. Основними елементами протиерозійної інженерно-біологічної системи є захисні лісові насадження, протиерозійні гідротехнічні споруди, форми трав'янистої рослинності і ресурсозберіжні технології оброблення сільськогосподарських культур, а, при необхідності - тимчасова зрошувальна система. У степовій зоні протиерозійна інженерно-біологічна система - необхідність вибіркового зрошування з мінімальними нормами поливу - може виникнути лише в посушливі роки (1-2 рази на 10 років) додатково до атмосферного зволоження з ресурсів місцевого стоку і ґрунтової вологи.

Таким чином, можливості меліорацій ПС повинні порівнюватися з законами, правилами і принципами екології та природокористування. Об'єкти меліорації повинні перетворюватися методами екологічної інженерії через довершену меліоративну систему з «м'яким» управлінням і обмеженим втручанням в природні процеси. Для забезпечення саморегуляції меліоративних агроєкосистем необхідно не переривати їх ієрархічних зв'язків з природними надсистемами.

## **15 ПРИНЦИПИ ОЦІНКИ РИЗИКУ ТА ВИТРАТНО – ПРИБУТКОВОГО АНАЛІЗУ В ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ**

Критеріями *еколого-економічної безпеки* можна назвати вимоги перебування значень індикаторів безпеки у визначених межах, перехід за які буде означити зниження рівня економічної безпеки для відповідного об'єкту або процесу до неприпустимого рівня. В процесі формування еколого-економічної безпеки важливе значення має поняття *ризик*. Ризик господарювання може призвести не лише до втрати очікуваного прибутку, але й до певних надзвичайних ситуацій пов'язаних із значними економічними збитками, втратою здоров'я і навіть життя. *Збиток* – це втрата або небажана зміна якостей предмета безпеки, зниження його цінності для суб'єкта. Основні види ризику такі: 1) *добровільний ризик* – на який наражаються люди, що виконують певні службові або родинні обов'язки (персонал потенційно небезпечних підприємств і т.д.); 2) *примусовий ризик* - на який наражаються люди, що вимушено потрапили до зони впливу тих або інших негативних факторів (мешканці жител, розташованих поблизу потенційно небезпечних об'єктів і т.д.; 3) *ризик віддалених наслідків* – добровільний або примусовий ризик, пов'язаний з накопиченням в НПС або організму людини шкідливих речовин, дія яких проявляється значно пізніше, ніж момент безпосереднього впливу негативного чинника; 4) *виправданий ризик* - добровільний ризик під час попередження подій, небезпека наслідків яких значно перевищує небезпеку, пов'язану з виконанням обов'язків щодо попередження цих подій. Основним показником ризику є імовірність його прояву. За рекомендаціями ВОЗ, процес аналізу ризику щодо життя й здоров'я людини має 4 стадії: ідентифікація небезпеки; оцінка залежності «доза – ефект»; оцінка доз впливу; характеристика ризику [44].

Згідно ДСТУ 2156-93 *екологічний ризик* – це імовірність негативних наслідків від сукупності шкідливих впливів на НПС, які спричиняють незворотну деградацію ЕС. При цьому слід зазначити, що тут йдеться мова як про природні, так і про техногенно-природні фактори ризику. *Природно-техногенний ризик (P)* – це імовірність несприятливих для населення наслідків будь-яких антропогенних або техногенних змін природних об'єктів і факторів. Його складовими можуть бути техногенне навантаження (*T*) і стійкість (*C*) природи (ПС) до нього:

$$P = T / C \quad (15.1)$$

До *техногенного навантаження* на НПС включаємо економічну освоєність території і сумарне забруднення НПС. *Економічна освоєність*

*території* – це використання території для господарських цілей, будівництва доріг, населених пунктів тощо. *Сумарне забруднення території* – забруднення НПС (атмосферного повітря, природних вод, ґрунтів) проявляється через надмірну концентрацію тих чи інших ЗР вище фонових чи допустимих норм внаслідок введення в обіг речовин, які в природних ЕС не виробляються. *Стійкість НПС до техногенного навантаження* – здатність ПС (ЕС) під дією зовнішніх факторів зберігати набуту ними структуру і характер функціонування. Складовими стійкості НПС є: метеорологічний потенціал атмосфери, стійкість водних об'єктів, стійкість ґрунтів і біотичний потенціал. *Несприятливі природно-антропогенні процеси* – такі явища, які заважають виробничій діяльності людини, а іноді представляють небезпеку безпосередньо для населення (карст, зсуви, селеві потоки, ерозія ґрунтів, виникнення ярів, підтоплення тощо) [44].

Оцінка впливу господарської діяльності на стан довкілля, визначення витрат і прибутків має велике значення. Спеціальна процедура визначення збитків, завданих внаслідок забруднення довкілля, існує у багатьох країнах. Той, хто забруднює, несе відповідальність за шкоду, заподіяну ПР. При цьому владі сплачуються суми, витрачені на ліквідацію аварії. У розвинутих країнах збитки від забруднення НПС становлять 3-5% вартості національного продукту. Існують також непрямі витрати і збитки, наприклад, масштабне знищення тропічних лісів, засолення ґрунтів, застосування помилкової технології обробки земель, опустелювання тощо. Більшість із цих збитків через недостатню вивченість не піддаються економічним прорахункам. Передусім це стосується необоротної зміни ландшафтів або пам'яток природи, які залишаються безцінним надбанням людства [14].

На прикладі повітряного басейну можна розглянути основні форми і види збитків, що утворилися внаслідок змін в природному середовищі під впливом антропогенної діяльності [50]:

1. Такі, що піддаються кількісній оцінці (вартісні або натуральні). Серед них можна виділити економічні (витрати внаслідок недоотримання промислової або сільськогосподарської продукції; витрати через зниження продуктивності біоценозів; витрати внаслідок скорочення терміну служби будівель і споруд; втрати сировини, палива і матеріалів у зв'язку із викидами; витрати на ліквідацію наслідків забруднення в промисловості, транспорті тощо, витрати на відновлення або підтримку рівноваги в екосистемах; втрати внаслідок зниження продуктивності праці, викликаного зростанням захворюваності) і екологічні (витрати в області охорони здоров'я і соціального забезпечення в зв'язку із зростанням захворюваності; витрати на збереження рекреаційних ресурсів; втрати внаслідок міграції, викликані погіршенням якості середовища, додаткові витрати на відпочинок) збитки.

2. Такі, що практично не піддаються кількісній оцінці (або піддаються кількісній оцінці умовно). Серед них можна виділити соціальні (естетичний збиток від деградації ландшафту; зростання смертності, патологічних змін в організмі людей; психологічна шкода внаслідок незадоволення населення якістю середовища) і екологічні (безповоротне руйнування унікальних екосистем, зникнення видів, генетичні втрати) збитки.

Незважаючи на те, що існує досить велика кількість наукових розробок і технологій, що дозволяють вирішувати проблеми забруднення НПС, вони поки не знаходять належного використання в основному через причини економічного плану.

Витратно-прибутковий аналіз дозволяє вирішувати доцільність будь-якого проекту, в тому числі в області ПК. Передбачувані витрати порівнюють звичайно з очікуваним прибутком ( $ОП$ ), тобто відношенням прибутку ( $П$ ) до витрат ( $В$ ):

$$ОП = П / В \quad (15.2)$$

Якщо прибуток перевершує витрати ( $П > В$ ), то величина ОП позитивна і проект природоохоронних дій економічно ефективний, рентабельний. Якщо ж, навпаки, витрати перевищують прибуток ( $В > П$ ), то логічно шукати інше природоохоронне рішення.

У разі боротьби із забрудненням витрати ( $В$ ) включають в себе витрати на придбання, установку, експлуатацію і ремонт очисних споруд і/або на впровадження методів контролю за мірою забруднення природного середовища. Навіть заборона небезпечної і шкідливої продукції вимагає фінансових витрат, оскільки люди втрачають роботу, потрібні нові технології, заміна фізично і морально застарілого обладнання, виплата грошової допомоги та інше. Іноді боротьба із забрудненням приводить до відкриття більш дешевого замітника, але це буває рідко. Боротьба із забрудненням вимагає додаткових витрат, які зростають експонентне із збільшенням ступеня забруднення.

Отже, незначного скорочення рівня забруднення можна досягнути за допомогою відносно недорогих заходів. Подальше скорочення міри забрудненості природного середовища вимагає все більш дорогих заходів, а повністю скорочення забруднення, мабуть, недосяжне при будь-яких матеріальних витратах.

З іншого боку, прибуток ( $П$ ), який може бути отриманий завдяки скороченню і припиненню забруднення, означає: 1) поліпшення здоров'я людей; 2) поліпшення сільськогосподарської і лісової продукції; 3) активізація промислового і любительського рибальства; 4) збільшення рекреаційних можливостей території; 5) екологічність (чистоту) матеріалів і подовження терміну їх експлуатації;

б) підвищення цінності земельних ділянок і водних об'єктів. Значний прибуток часто досягається при помірному очищенні, але при наближенні міри очищення до 100%, додаткового прибутку може не бути. Це пов'язано з тим, що живі організми здатні винести певний рівень забруднення без шкоди для себе. Тільки, коли вміст ЗР починає перевершувати ГДК, вони завдають шкоди, яка згодом може швидко зростати. І навпаки, зниження концентрацій ЗР нижче за ГДК звичайно не приносить помітного поліпшення стану НПС. Якщо відношення між прибутком і витратами зобразити графічно (рис. 15.1), то очевидно, що прибуток перевершує витрати при помірному очищенні від ЗР. При наближенні міри очищення до 100%, лінії перетинаються і витрати перевершують прибуток. При прагненні до повного очищення від ЗР необхідно пам'ятати, що видалення більше як 90% ЗР може спричинити величезні витрати без додаткових вигод. З цієї точки зору розумніше витратити фінансові кошти і докласти зусиль на створення інших проєктів, що дозволить діставати великі прибутки при тих же витратах. Оптимальна економічна ефективність досягається тоді, коли крива прибутку проходить вище над кривою витрат.

Вищенаведені дані відображають лише загальну концепцію витратно-прибуткового аналізу при розв'язанні природоохоронних задач. При цьому необхідно зазначити, що при витратно-прибутковому аналізі виникає необхідність розв'язання таких питань, як оцінка витрат і прибутку, їх порівняння.

*Оцінка витрат.* У більшості випадків технології і/або стратегії боротьби із забрудненням відомі і здійсненні. Звичайно витрати на обладнання і його експлуатацію можна оцінити досить об'єктивно. Засоби боротьби із забрудненням спочатку потребують більше витрат, але згодом вони стають все меншими і меншими (рис. 15.2).

*Оцінка прибутку, аналіз існуючого ризику.* Об'єм передбачуваного прибутку також можна оцінити досить об'єктивно. Наприклад, добре відомо, що при підвищеній мірі забруднення збільшується кількість людей, які звертаються зі скаргами на різні види нездужання до лікаря. Оскільки медичні послуги, що надаються, мають певну грошову вартість, зниження атмосферного забруднення скорочує витрати на охорону здоров'я на адекватну суму. Таким чином, відома також швидкість корозії і старіння матеріалів.

Боротьба із різними екоотоксикантами (важкі метали, озон, отрутохімікати та інше), з викидами парникових газів (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та інші), з кислотними опадами і т.д. не передбачає негайного прибутку. Основна мета боротьби із забруднювачами НПС - запобігання можливому ризику. Якщо природоохоронні заходи не будуть прийняті, то розмір шкоди НПС буде значний. У разі вживання таких заходів розмір шкоди може бути зведений до мінімуму.

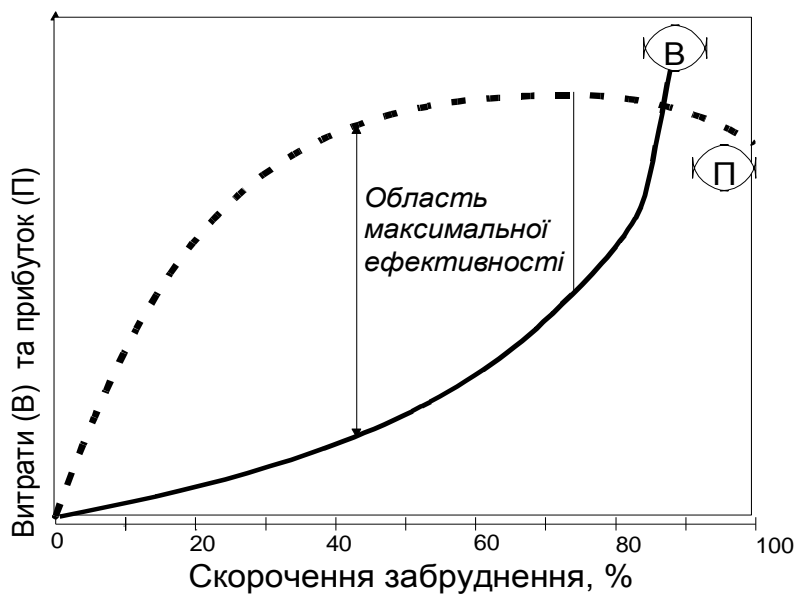


Рис. 15.1. Відношення між прибутком і витратами при проведенні заходів щодо скорочення забруднення (П- прибуток, В – витрати)

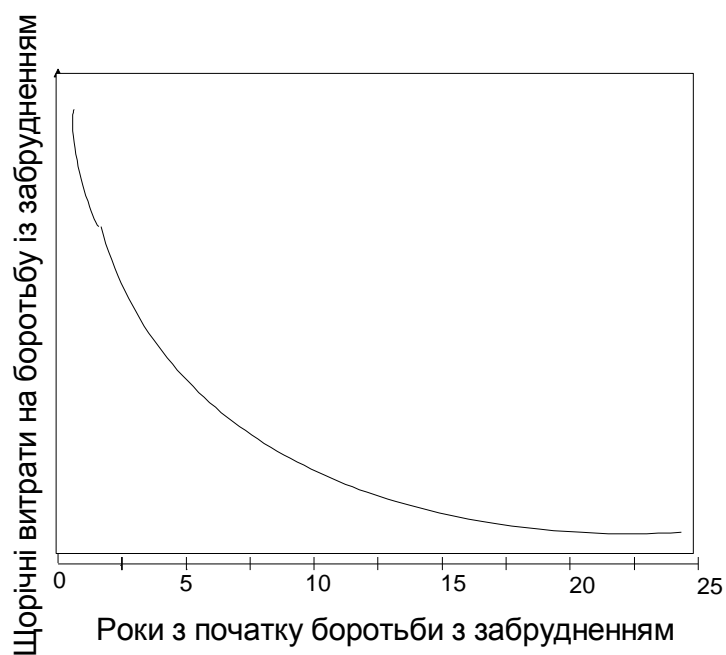


Рис. 15.2. Схема зниження витрат з часом

Вигоди від зниження ризику почнуть проявлятися лише через певний час після початку боротьби із забрудненням. Згодом вони збільшуються із зростаючою швидкістю (рис. 15.3).



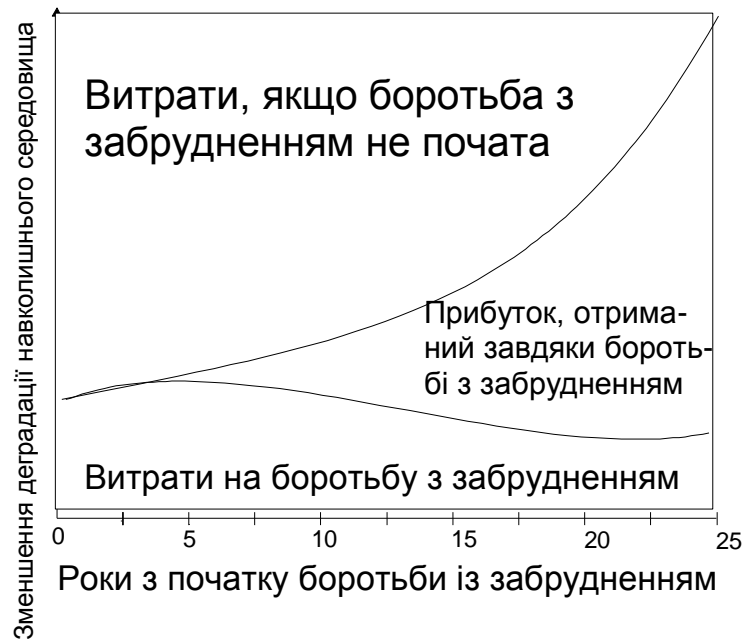


Рис.15.3. Схема ефективності витрат на боротьбу із забрудненням

Економічна оцінка ПР - це грошовий еквівалент їх народногосподарської цінності. У основі витратної концепції оцінки ПР лежать кошти на їх освоєння, а якість природних благ виступає лише як додатковий фактор міри цінності. Рентна концепція базується на обчисленні диференційованої ренти, тобто різної величини прибутку, що отримується при експлуатації ПР різної якості і місцеположення. Ефективність природоохоронних заходів така:

$$E_{nz} = \Sigma \Delta V / B_{nv}, \quad (15.3)$$

де  $\Sigma \Delta V$  - сума зменшень витрат внаслідок зниження забруднень. Наприклад, до введення в дію газоочистки на заводі кольорової металургії сусіднє аграрне господарство недотримувало 300 тис. грн/рік, а після введення, що привело до значного зниження викиду пилу, - на 100 тис. грн. Таким чином, економічний збиток поменшав на 200 млн. грн.

$B_{nv}$  - приведені річні витрати на здійснення природоохоронних заходів. Приведені витрати складаються з поточних витрат на утримання природоохоронного обладнання (оплату електроенергії для газоочистки, заробітну плату обслуговуючих її робітників тощо) і капітальних вкладень на будівництво споруд і придбання природоохоронного обладнання. Однак, оскільки обладнання і споруди функціонують не один рік, то і загальну величину капітальних витрат перш ніж підсумовувати її з поточними витратами за рік, приводять до річної розмірності за

допомогою нормативного коефіцієнта ефективності. Формула приведених витрат виглядає таким чином:

$$B_{ne} = C + K \cdot E_n, \quad (15.4)$$

де  $C$  – поточні витрати,  $K$  – капітальні витрати,  $E_n$  – нормативний коефіцієнт, який в більшості галузей дорівнює 1,2.

Підприємства тільки тоді охоче займуться природоохоронною діяльністю, коли буде розроблений і повсюдно впроваджений такий механізм стимулювання, при якому буде дотримуватися наступна нерівність:

$$B_{ne} < (P_{ym} + H_l + K_l + Ц_n), \quad (15.5)$$

$$B_{ne} < (П_{nn} + П_{nz} + П_{cp} + Ш + H_{ood}), \quad (15.6)$$

де  $B_{ne}$  - витрати підприємства на природоохоронну діяльність;  $P_{ym}$  - прибуток від утилізації промислових відходів;  $H_l$  - пільги по оподаткуванню;  $K_l$  - кредитні пільги;  $Ц_n$  - надбавка ціни;  $П_{nn}$  - плата за наднормативне використання ПР;  $П_{nz}$  - плата за наднормативне забруднення навколишнього середовища;  $П_{cp}$  - плата за розміщення відходів в навколишньому середовищі (складування уловлених природоохоронними апаратами шкідливих речовин);  $Ш$  - штрафи;  $H_{ood}$  - додаткове оподаткування.

Основними компонентами платного ПК в Україні є: ліцензії на використання ресурсів; нормативи використання ресурсів; порядок збору платежів; ставки платежів; система розподілення зібраних платежів. В Україні встановлені збори за такі види ПР: земельні, мінеральні, водні, лісові, тваринні, рослинні. В Україні діє система зборів за такі види впливу на довкілля: забруднення атмосфери (стаціонарними та пересувними джерелами); забруднення води; розміщення твердих відходів; шкода рослинам і тваринам; шкода ПЗФ; аварійне забруднення довкілля. Система екологічних платежів створює фінансову основу природоохоронної діяльності [41].

Таким чином, при обґрунтуванні раціонального використання природних ресурсів і умов в межах окремих ПС або їх комплексів, представляється доцільним використання принципів витратно-прибуткового аналізу та економічну оцінку ПР.

## **16 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ І ГЛОБАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

*Екологічна політика* - система заходів, направлена на забезпечення якості навколишнього середовища, відтворення природних ресурсів і створення належних екологічних умов для життя населення - може здійснюватися в глобальних, державних і локальних масштабах за допомогою адміністративних і економічних (ринкових) методів регулювання. *Глобальна екополітика* - здійснення комплексу заходів для поліпшення якості середовища, що мають планетарний характер, а *державна екополітика* - забезпечення якості середовища шляхом законодавчих актів, методів адміністративного втручання і економічних механізмів в межах певної держави чи її частин. Оскільки буферна місткість ЕС (здатність протистояти певному впливу забруднень без помітних негативних наслідків) обмежена, то існують різного роду екологічні обмеження. Такими обмеженнями можуть бути нормативні акти розвитку і розміщення продуктивних сил, в рамках яких може здійснюватися їх функціонування по територіях і ЕС тієї або іншої країни. Екологічними обмеженнями можуть бути: ліміти допустимих викидів ЗР в довкілля підприємствами і загалом по господарському комплексу території; ліміти допустимого використання (вилучення) ПР по природних об'єктах, ЕС і територіях. Ці ліміти ступінчасті, оскільки вони підлягають посилюванню протягом певного часу і доводяться, зрештою, до нормативного рівня. За порушення екологічних обмежень передбачаються різні види відповідальності. Така система екологічних обмежень сприяє перебудові виробництва і переорієнтації всієї економіки на безвідходну і маловідходну технологію і ресурсозберігання, тобто оптимізації ПК. Економіку НПС можна розглядати як «економіку ресурсів», тобто необхідно знайти своєрідний оптимум між «потребами» і «ресурсами» [13].

Наприкінці 60-х років був створений «Римський клуб» і його представники підготували роботи: Д. Медуоз «Межі зростання»; М. Месарович і М.Е. Пестель «Людство на роздоріжжі»; Я. Тинберген «Перегляд міжнародного порядку». У роботах переважали алармістські (тривожні) настрої (аж до екологічного песимізму), що твердили про неминучість екологічної катастрофи в найближчому майбутньому внаслідок повного виснаження ПР і надмірного забруднення НПС через швидке зростання населення і науково-технічний прогрес. Відповідно висувалися концепції «нульового зростання», «глобальної рівноваги», «доіндустріального суспільства», що закликали до насильного обмеження зростання потреб їх заморожування потреб і заборону економічного зростання в світі або в окремих країнах, до насильної деурбанізації, повернення до доіндустріального типу цивілізації.

Термін «sustainable development» - *сталий розвиток* (СР), був запропонований в 1987 р. Міжнародною комісією ООН з навколишнього середовища і розвитку. Програма сталого розвитку була підтримана багатьма вченими, а також використана в Декларації конференції по навколишньому середовищу і розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992). Наприкінці 80-х років в науковій літературі значно поширився цей термін (СР). Зараз є більше за 60 визначень сталого розвитку, серед яких найбільш поширене визначення, дане в доповіді «Наше майбутнє» комісії ООН: «Сталий розвиток - це такий розвиток, за якого задоволення потреби теперішніх поколінь не має ставити під загрозу можливості майбутніх поколінь задовольняти свої потреби». СР - це процес гармонізації продуктивних сил, забезпечення задоволення необхідних потреб усіх членів суспільства за умови збереження й поетапного відтворення цілісності НПС, створення можливостей для рівноваги між його потенціалом і потребами людей усіх поколінь. Основою СР є паритетність відносин у тріаді людина - господарство - природа, що забезпечує перехід до такого способу взаємодії природи і суспільства, який характеризується як епоха ноосфери.

Поняття СР розглядається в політико-правовому, економічному, екологічному, соціальному, міжнародному і інформативному аспектах. Екологічний аспект припускає: забезпечення коеволюції суспільства і природи, людини і біосфери; збереження реальних можливостей не тільки для нинішнього, але і для майбутніх поколінь, задоволення своїх основних життєвих потреб; теоретичну розробку і практичну реалізацію методів ефективного використання природних ресурсів; забезпечення екологічної безпеки ноосферного розвитку; розгортання маловідходного, а потім і безвідходного виробництва по замкненому циклу, продуманий розвиток біотехнології; поступовий перехід від енергетики, заснованої на спаленні органічного палива, до альтернативної енергетики, що використовує поновлювані джерела енергії; вдосконалення адміністративних, економічних і правових методів захисту природи; постійну турботу про збереження видової різноманітності БС; систематичну еколого-виховну роботу серед населення, особливо серед молоді, яка повинна привести до формування дбайливого відношення громадян до природи, як до власного будинку; розробку і неухильне дотримання вимог еколого-етичного кодексу [17].

Суть СР може бути представлена двома ключовими моментами: 1) принципом справедливості для майбутніх поколінь; 2) комплексним прийняттям рішень. Перший момент акцентує увагу на дотриманні принципу справедливості відносно використання ПР майбутніми поколіннями. При цьому під СР розуміється такий розвиток, який задовольняє потреби сучасного покоління без ризику для майбутніх поколінь. Ідея СР націлена на затвердження стандартів рівня життя в НПС

без зниження його ресурсів. Другий ключовий момент акцентує увагу на необхідності урахування екологічних обмежень при прийнятті економічних рішень.

Найважливішими критеріями СР пропонують використати два показники: 1) фізичне виживання (не просто залишитися в живих); 2) стабільні умови життєзабезпечення (рівні права на цілісний стан біосфери і її ПР як поколінь нинішніх, так і майбутніх).

У інтерпретації концепції СР сформувалося декілька концептуальних напрямів:

1. *Технократичний напрям.* Техніка створює проблеми, але вона ж їх і вирішує. Проголошується автотрофність розвитку. Наприклад, робиться висновок про можливу стійкість глобальної ЕС (біосфери).

2. *Ресурсно-технократичний напрям.* Основний постулат: стійке майбутнє є проблемою управління. Природа підвладна цілям людства. Так, згідно з концепцією «кордонів зростання» (Д. Медоуз і інші, 1972), щоб досягнути «глобальної рівноваги» необхідно: стабілізувати чисельність населення на рівні 1975 р.; продовжити збільшення капіталу до 1990 р. з подальшою його стабілізацією; скоротити використання ресурсів на душу населення до 1/8 рівня 1970 р.; зменшити інтенсивність забруднення навколишнього середовища в 4 рази в порівнянні з 1970 р. Зараз в рамках цієї концепції і усього ресурсно-технологічного напрямку загалом розширюють використання і удосконалення енергетичного аналізу. Це пов'язує СР з фізичними обмеженнями на розширення виробництва енергії або на продуктивність земель.

3. *Природоохоронний напрям.* Основною метою СР є охорона і збереження природи. Індикаторами стійкості виступають якість повітря і води, продуктивність ґрунту, видова різноманітність і т.д. Через захоплення антропоцентризмом Ю. Одум назвав цей напрям «дрібною» екологією.

4. *Екологічний напрям.* У основу покладено розуміння партнерства у взаємодії людини і природи. Кінцевою метою удосконалення ПК є взаємодія з природою на рівні індивіда. Напрямок обстоює «глибинну» екологію з акцентом на єдність всього існуючого, релігійних і традиційних цінностей. Як відмічає Р. Перельот, «екоцентрична» орієнтація не є пов'язаною з якими-небудь науковими дисциплінами, а являє собою суб'єктивні знання або філософію.

5. *Культурологічний напрям.* Цей напрям не отримав значного поширення і орієнтується на аналіз соціальних і психологічних кордонів зростання.

Концепції СР поки не запропонували шляхів ліквідації екологічної кризи. Визначення «Сталий розвиток - це такий розвиток, за якого задоволення потреби теперішніх поколінь не має ставити під загрозу можливості майбутніх поколінь задовольняти свої потреби» запозичене з

ресурсної концепції. Згідно з біосферною концепцією «сталий розвиток є поліпшенням життя людей в умовах стійкої БС». Якби людство повернулося у бік меж господарської місткості БС, екологічні проблеми зникли б автоматично, припинилися б антропогенні зміни НПС.

Звертаючись до концепції СР в загальноприйнятому тлумаченні, потрібно зазначити, що, незважаючи на підтримку багатьма провідними екологами (М.Ф. Реймерс, Н.Н. Моїсєєв, А. Гор та ін.), шанси на її реалізацію вважаються незначними. Так, проблему депопуляції Л. Браун, М.Ф. Реймерс, А. Гор та інші вчені пов'язують з підвищенням добробуту і обізнаності населення Землі. При цьому забувається, що 2/3 (якщо не 3/4) населення світу стрімко збіднюється; приріст зерна в 1984 р. став більш низьким, ніж приріст населення, а з 1989 р. - і вилов риби. Тому успіх сценарію СР оцінюється не більше за 20 %.

Економічний розвиток визначається трьома факторами економічного зростання: трудовими ресурсами, штучно створеними засобами виробництва (фізичним капіталом), ПР. Сучасний тип еколого-економічного розвитку визначається як техногенний, що базується на використанні штучних засобів виробництв, створених без урахування екологічних обмежень. Характерними рисами такого типу розвитку є швидке і виснажуюче використання непоновлюваних видів ПР (передусім корисних копалин) і понадексплуатація поновлювальних ПР (ґрунтів, лісів, вод і др.) з швидкістю, що перевищує їх відтворення і відновлення. При цьому завдається економічний збиток, що є вартісною оцінкою деградації ПР і забруднення навколишнього середовища під впливом антропогенних факторів. До 70-х років ХХ сторіччя не вивчалися зворотні зв'язки між екологічною деградацією і економічним розвитком, станом трудових ресурсів, якістю життя населення, бо ПР вважалися невичерпними, тобто існувала позиція фронтальної («ковбойської») економіки, цільова функція якої визначається словами «Не можна чекати милостей від природи, взяти їх у неї - наша задача». Однак, наростання екологічної напруженості (економічний розвиток) стало розглядатися з урахуванням екологічних обмежень і стало складатися уявлення про сумарний соціально-економіко-екологічний збиток при нераціональному використанні ПР. Велике значення для екологізації світової свідомості мали близько 20 доповідей Римського клубу щодо сповільнення зростання і стабілізації чисельності населення планети і, зокрема, доповідь Д. Медоуза «Межі зростання» (1972 р.). Як відзначав Д. Медоуз, експонентне зростання продуктивних сил стає малоімовірною перспективою далі 2010 р. навіть при розумних заходах по плануванню народжуваності, тому пропонувалося стабілізувати чисельність населення на рівні, який забезпечить середній прибуток на душу населення в 3 рази вище, ніж в 1970 р. Неможливість радикальної зміни у відносинах між економікою і НПС привела до концепції *екотонії* («зеленого

екстремізму»), тобто до теорії всілякого обмеження економічного зростання (не нульового, а від'ємного зростання).

Часто інституціональний фактор не розглядається, однак культурні традиції, релігійні особливості, інститути власності і т.д. є важливими складовими для СР (наприклад, в деяких східних країнах вода вважається даром Бога і тому не можна встановлювати ціну і плату за її використання).

Важливим поняттям в економіці ПК є *екстерналії* - зовнішні ефекти або наслідки економічної діяльності, які позитивно або частіше негативно впливають на суб'єкти цієї діяльності. Розрізняють декілька типів екстерналій [17]. *Тимчасові (між поколіннями) екстерналії*; породжуючи екологічні проблеми, людство створює величезні екологічні, економічні і соціальні проблеми подальшим поколінням. *Глобальні екстерналії*; трансграничні перенесення ЗР вже породили ряд серйозних проблем (так, забруднення атмосфери в Великобританії призводить до появи «мертвих» озер в Швеції, Чорнобильська катастрофа негативно позначилася на ситуації в суміжних країнах тощо). *Міжсекторні екстерналії*; розвиток одних секторів економіки завдає шкоди іншим секторам (наприклад, створення ГЕС на великих ріках наносить шкоду аграрному сектору). *Міжрегіональні екстерналії*; є копією глобальних екстерналій (так, забруднюючи Дністер у «верхніх» регіонах, створюють додаткові витрати на очищення в «нижніх» регіонах). *Локальні екстерналії*; звичайно на обмеженій території розглядається підприємство-забруднювач і аналізуються витрати, викликані його діяльністю, екстернальні у реципієнтів (інших підприємств, населення, природних об'єктів тощо). Один з основних принципів економіки ПК: «забруднювач платить». Виходячи з цього, на забруднювача накладається податок, рівний за величиною екстернальним витратам (податок Пігу, названий на ім'я англійського економіста А. Пігу, який першим досліджував проблему витрат і, зокрема витрат, пов'язаних з екстерналіями).

На соціальному самміті (березень 1995 р., Копенгаген) було висунуто концепція *екологічно сталого розвитку* (ЕСР). Ключовими принципами екологічно сталого розвитку є: 1) принцип обмеженості (збереження сучасного стану НПС як перешкоди безповоротним і небезпечним змінам); 2) принцип «передбачити і уникнути» (менш ризикований, що дозволяє уникнути ліквідації втрат навколишнього середовища); 3) принцип збереження природного багатства на сучасному рівні (недопущення втрат або зменшення ПРП або і екологічної різноманітності); 4) принцип консервативного землекористування (уникати, наскільки можна, переходу від мало інтенсивного землекористування до більш інтенсивного); 5) принцип балансу між ресурсом і забруднювачем (використання ресурсів в масштабах регенеративної здатності ЕС); 6) принцип «платить той, хто забруднює»

(повна вартість екологічних збитків повинна бути компенсована користувачем, промисловістю або споживачем). І. Серагельдін, А. Стир та інші дослідники виділяють екологічні, економічні і соціальні цілі ЕСР, які можуть бути досягнуті при оптимальному використанні всіх складових інтегрального ресурсу.

Деякі громадські організації типу «Друзі Землі» в Нідерландах пропонують справедливий розподіл ПР між всіма країнами світу. Вони запропонували концепцію «енвайронментального простору» (ЕП), розуміючи під цим терміном граничні норми глобального забруднення, витрачання світових запасів ПР, що не відновлюються, площ сільськогосподарських земель і лісів. При дотриманні цих вимог не буде нанесений збиток подальшим поколінням (вони отримують доступ до тих же об'ємів ПР, якими користуємося ми). Неважко помітити, що визначення ЕП адекватне одному з концептуальних визначень СР. При визначенні ЕП виходять з того, що: 1) не можна споживати відновлюваних сировинних матеріалів (сільськогосподарські культури, ліс, риба), більше, чим їх можна отримати, не наносячи серйозної шкоди НПС; 2) відновлювані сировинні матеріали можна використовувати тільки в замкнених циклах; 3) об'єм забруднення від антропогенної активності не повинен перевищувати величину, з якою може справитися навколишнє середовище (це стосується і емісії CO<sub>2</sub>); 4) потрібно утримуватись від невиправданих ризиків (принцип обережності); 5) екологічні проблеми потрібно вирішувати як можна ближче до джерела їх виникнення (принцип наближеності). Пропонується план дій по використанню енергії, прісної води, мінеральних, сільськогосподарських і лісових ресурсів.

Для скорочення витрат викопних ПР: відмовитися від випуску товарів шкідливих і не необхідних (полівінілхлориду, електросушарок для нігтьового лаку, одноразових склянок та інші); використати замкнені технологічні цикли для заміни первинних сировинних матеріалів вторинними; замінювати продукти з викопної сировини натуральними (заміна синтетичних товарів натуральними - задача складна). Для збереження запасів вуглеводневої сировини на тривалий час необхідно: заборонити виробництво шкідливих і зайвих товарів; збільшити терміни експлуатації предметів домашнього побуту і інших товарів; повторно використовувати матеріали; замінювати викопні (не відновлювані) ресурси на такі, що відновлюються.

Прісна вода необхідна для промислового, аграрного і комунально-побутового секторів економіки. Потреби в прісній воді задовольняються за рахунок поверхневих і підземних джерел. Споживання прісної води за останні 20 років зросло на 50 %. Проблема дефіциту прісної води вимагає вживання кардинальних заходів по розширенню спектра її джерел (дощова вода), економії, більш раціональному використанню традиційних джерел прісної води (ріки, озера, ґрунтові води).



Площа оброблюваних земель складає близько 1500 млн. га, тобто приблизно 0,28 га на одного жителя планети. Щорічно через процеси деградації земель (техногенний і антропогенний тиск на ґрунти) з сільськогосподарського обороту виходить 16 млн. га. У зв'язку з цим, при визначенні тенденцій глобального використання земельних ресурсів необхідно виходити з наступного: пріоритет продовольчого забезпечення; стійкість урожаїв; максимально можливе забезпечення потреб в продовольстві великих регіонів і континентів. Для СР сільського господарства необхідно ширше вводити сівозміни, ефективніше використовувати відходи виробництва і споживання (компост, фекальні добрива), звести до мінімуму застосування мінеральних добрив і пестицидів, використовувати природні засоби боротьби з ерозією і шкідниками. Екологізація сільського господарства повинна проводитись за умови виключення розширення площі сільськогосподарських земель.

Близько 3600 млн. га, тобто 25 % земної поверхні покрито лісами; з них на частку тропічних лісів припадає більше половини. Кожний рік тропічні ліси скорочуються на 17 - 20 млн. га. Враховуючи екологічну значущість лісових ЕС, необхідно припинити безрозсудне винищування лісів, забезпечити умови їх нормального функціонування, збереження видової різноманітності і т. д. Розглядаючи лісові ресурси як об'єкт ПК, необхідно: зменшити кількість відходів при вирубці, вивозі і обробці; зменшити кількість відходів при використанні лісоматеріалів; інтенсивніше повторно використовувати папір (утилізувати макулатуру).

У світлі концепції СР в сфері виробництва необхідно радикально переглянути підходи і дії в таких напрямках: 1) впровадження замкнених технологічних циклів; 2) скорочення об'ємів викопних енергетичних ресурсів; 3) підвищення якості продукції; 4) більш раціональне використання транспорту.

Ґрунтуючись на основних ідеях і принципах, які декларовані на конференції ООН з питань НПС і розвитку (Ріо-де-Жанейро, і 992), Україна вважає доцільним перехід до СР, при якому забезпечується збалансоване вирішення соціально-економічних завдань, проблем збереження сприятливого стану НПС і ПРП з метою задоволення життєвих потреб нинішнього і майбутніх поколінь. Нижче наводиться витяг з проекту Концепції СР України [51].

Основне завдання СР України полягає у забезпеченні динамічного соціально-економічного зростання, збереженні НПС і раціональному використанні ПРП з метою задоволення потреб нинішнього і майбутніх поколінь через побудову високоефективної економічної системи, яка стимулює продуктивну працю, науково-технічний прогрес, має соціальну спрямованість [51].

СР повинен реалізовуватись у рамках ефективного функціонування ринкової системи та державного регулювання економіки, координації дій у

всіх сферах життя суспільства. Це пов'язано з активною структурною перебудовою в сфері матеріального виробництва, основою якої є: побудова соціально орієнтованої ринкової економіки, яка дасть змогу забезпечити належний рівень життя населення; екологізація виробництва, зменшення техногенного навантаження на довкілля і матеріаломісткості, перехід на нові методи антропогенної діяльності, в основу яких покладено екологічно безпечні технології; підвищення рівня збалансованості економіки за рахунок переорієнтації виробництва засобів виробництва на задоволення потреб населення; проведення екологічної експертизи та оцінки впливу на НПС всіх проектів господарської діяльності.

З метою забезпечення СР України охорона довкілля та раціональне використання ПР повинні розглядатися не як самоціль, а як невід'ємна частина процесу розвитку. Основні напрями еколого-економічної політики держави такі:

*1. Прийняття превентивних заходів*, складовими яких є: структурна перебудова економіки та врахування вимог екологічної безпеки; послідовна екологізація всіх ланок суспільного виробництва, орієнтація на якісні соціально-технологічні перетворення сучасного суспільства; формування збалансованої ефективної структури споживання в основу якої покладено принципи раціональності й безвідходності; встановлення обмежувальних цін на енергоносії, перехід до загальної обов'язкової системи платного ПК: включення екологічного імперативу в структурно-інвестиційну політику, перехід до екологічно чистого виробництва; інституційні перетворення з метою формування нового правового й економічного механізму взаємодії органів державної влади і органів місцевого самоврядування та природокористувачів; вдосконалення законодавства в сфері охорони, використання і відтворення ПР та забезпечення екологічної безпеки у зв'язку із зміною умов життєдіяльності населення і структури виробництв; забезпечення умов для формування ринку екотехнологій та екопослуг; створення надійних систем моніторингу НПС; реалізація економічних програм державного значення, комплексу першочергових заходів щодо реабілітації радіаційне забруднених територій; розвиток економічних методів регулювання ПК і вирішення природоохоронних проблем за рахунок суб'єктів господарювання: стимулювання інвентаризації джерел забруднення, сприяння підвищенню культури виробництва і зміцненню технологічної дисципліни;

*2. Вжиття заходів до прямої дії*: забезпечення реалізації політики, формування нормативно-правової бази в сфері збереження і відтворення ПР; модернізація основних джерел викидів ШР в атмосферу, підвищення рівня їх екологічної безпеки і зниження забруднення атмосфери; зменшення ресурсомісткості виробництва; перехід на наукоємні, інформаційні та біотехнологічні типи виробництва; забезпечення економії первинних ресурсів і вирішення проблем утилізації відходів виробництва

через вдосконалення структури розміщення виробництва, формування виробничих комплексів замкненого циклу; припинення деградації ґрунтів; збереження водних ресурсів та унікальних складових НПС; пріоритетне водозабезпечення соціальної сфери, права людини на якісну питну воду та сприятливе водне середовище; вжиття заходів щодо оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води; забезпечення належної охорони та забезпечення лісових ресурсів і ЕС, посилення природоохоронних функцій лісів, здійснення комплексу лісогосподарських заходів щодо зниження радіоактивного забруднення лісового фонду; проведення заходів безпеки довкілля під час добування корисних копалин; гарантування паритетності використання ресурсів для нинішнього і майбутніх поколінь; сприяння відновленню ЕС і біологічних видів, що перебувають на межі зникнення, розроблення Національної програми збереження біологічного різноманіття; забезпечення заходів безпеки щодо використання токсичних хімічних речовин, включаючи заборону на виробництво, імпорт і використання особливо небезпечних їх видів; підвищення ефективності державного контролю за дотриманням регламентів ПК та охорони довкілля шляхом застосування екологічних і адміністративних санкцій; підвищення ефективності ролі моніторингу НПС.

*Основні напрями еколого-економічної політики держави реалізуються через запровадження нового економічного механізму охорони і раціонального використання ПР, який включає: облік і соціально-економічну оцінку ПРП та екологічного стану територій; ефективний фінансово-кредитний механізм ПК; планування охорони НПС і раціонального використання ПР; екологічне страхування та формування цільових екологічних фондів: екологічне стимулювання природоохоронної діяльності; створення екологічних банків; формування ринку екологічних робіт і послуг; платність ПК; вдосконалення організаційно-економічних методів ПК; врахування екологічних вимог під час приватизації.*

## **17 ФАКТОРИ ДЕГРАДАЦІЇ ДОВКІЛЛЯ ТА ШЛЯХИ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

### **17.1 Антропогенна навантаження – основний фактор деградації довкілля**

З появою Homo Sapiens (декілька сотень тис. років тому) виник перший вид живих істот, який зміг взяти верх у конкурентній боротьбі з іншими ссавцями і справив руйнівну дію на біоценози. Виникла потенційна загроза рівновазі в БС. Постійний технічний прогрес, а також швидке зростання чисельності населення сприяють нечуваній руйнівній дії на НПС. Людина - єдина істота, відповідальна за деградацію БС - процес, який іще не досяг свого апогею. Зростаюче населення світу й виробництво, що поширюється, у поєднанні зі структурами споживання, які не забезпечують стійкості - ведуть до зростання навантаження на повітря, воду та інші необхідні ПР. Серед численних аспектів деградації БС, породжених антропогенними впливами, проблема обмеженості ПР викликає найбільшу заклопотаність і найбільші дискусії. У межах цієї проблеми обговорюються такі актуальні питання як: зростання чисельності населення Землі, необхідність його стабілізації, рівень економічного розвитку людства.

Першим технічним завоюванням людини став вогонь. До цього вплив наших далеких предків на природні ЕС був обмеженим, бо люди були їх частиною, одним з елементів біоценозів, які беруть участь в кругообігу речовин і розподілі енергії, подібно до усіх інших гетеротрофів. Так, у Західній Європі рослинний покрив було загублено катастрофічними пожежами іще у палеоліті (близько 1 млн. років тому). Величезні лісові масиви були знищені в тропічних і помірних широтах, де вогонь використовувався для ловлі і загання дичини і т.д. Трохи пізніше дикорослий рослинний покрив у різних районах Африки, Азії і Америки було згублено людиною свідомо задля утворення ланів злакових і інших сільськогосподарських культур; так були створені савани Західної Африки й Південно-Східної Азії, прерії Північної Америки. Мисливці пізнього палеоліту (приблизно 25 тис. років тому) не лише видозмінювали і руйнували рослинний покрив на значних площах, а й збіднювали видовий склад великих хребетних (мамонти, бізони).

З початку неоліту лісові біоми стали замінюватися пасовищами, потім ланами сільськогосподарських культур. Прискорила модифікація зооценозів, що супроводжувалось вимиранням великих репрезентантів фауни. Розвиток сільського господарства супроводжувався повним викорінюванням первинного рослинного покриву; заміщення початкових біомів культурними рослинами справило катастрофічний вплив на велику кількість наземних ЕС. Наприклад, у Китаї на початку неоліту ліси

займали 90% території, а зараз - лише 5%. Крім створення агроєкосистем з обмеженою кількістю рослинних видів, приручалось і обмежене число тварин. У результаті відбувалося значне збільшення маси їжі, яка вироблялась на одиниці поверхні, і збільшення кількості енергії, що надходила у розпорядження людини. Розвиток сільського господарства дозволив вести осілий спосіб життя, сприяв демографічному зростанню і утворенню перших населених пунктів. Одночасно зростало антропогенне навантаження на природні ЕС; необоротні негативні зміни відбулися в багатьох районах Землі вже на початку нашої ери (наприклад, опустелювання Південної Палестини, Північної Сирії, Іраку і Східного Ірану, де іще 8000 років назад процвітала цивілізація). Але в кінцевому рахунку стародавні агроєкосистеми мали високий рівень гомеостазу (володіли високою здатністю до саморегуляції під час змінення умов середовища), тобто діяльність людини вписувалася в біогеохімічні цикли і не змінювала потоку енергії у БС.

На початку XVIII століття відбулися наукові відкриття, які дозволили зробити стрибок у розвитку промисловості. Почали впроваджуватись і нові рослинні культури, що підвищувало ефективність землеробства і тваринництва. У другій половині XIX сторіччя разом із розвитком індустрії зросла частка енергії, яку отримували за рахунок викопного органічного палива. Стали утворюватись відходи, що біологічно не руйнуються, які, перемішуючись з токсичними залишками, стали порушувати життєдіяльність деструкторів. Ці процеси прогресують з кожним роком і для сучасного суспільства характерні такі особливості: 1) різноманітність біоценозів у середовищах, що експлуатуються людиною, усе більш скорочується; 2) порушується кругообіг речовин, оскільки відходи життєдіяльності людини більш не мінералізуються деструкторами або майже не мінералізуються; 3) людина запозичає із земної кори різні метали, мінерали і гірські породи, які потім в значних кількостях розсіюються в природних середовищах завдяки процесам механічної, фізико-хімічної, біогенної і техногенної міграції. З екологічних позицій подібні накопичення різних залишків в перспективі можуть мати найзгубніші наслідки, тобто стати причиною катастрофічної деградації БС. Максимальна експансія і розвиток промисловості піднесені до догми - безглуздість і абсурд з точки зору екології [2]. Ніякий живий організм не може експлуатувати довкілля, нехтуючи законами біогеохімічного кругообігу речовин у такій мірі, яка несумісна з постійністю біоценозів; будь-яка істота, яка намагається споживати більш того, що виробляє ЕС, частиною якої вона є, приречена на загибель. Тому можливість необмеженого зростання споживання людством, чисельність якого постійно зростає, це міф технократів, зовсім не знайомих з біологією і не бажаючих розуміти, що людина - сама частина БС.

Одним із найважливіших факторів деградації БС є збільшення чисельності населення. Різке демографічне зростання - характерна риса ХХ сторіччя, названого епохою *демографічного вибуху*.

Демографічні показники, які визначають зростання людської популяції, поділяють на два протилежних: *показник народжуваності (b)* і *показник смертності (m)*. Якщо знехтувати міграцією людей, то природний приріст населення буде характеризувати показник:  $r = b - m$ . У районах демографічного вибуху на долю осіб молодше 20-літнього віку припадає 40% усього населення, а в Європі - усього 25%. Для того, щоб вижити, вкрай необхідно хоча б додержування умови:  $m = b$ .

Якщо на початку ХХ століття чисельність населення Землі складала 1,5 млрд. чоловік, то в 1950 р. – 2,5 млрд. чоловік, в 1992 р. - 5,4 млрд. чоловік, а потім щорічно кількість населення зростала на 70-100 млн. чоловік і наприкінці 1999 р. перевищила 6,0 млрд. чоловік [52]. Між 1950 і 2000 роками населення світу збільшилося від 2,5 млрд. до 6,1 млрд. Останні прогнози показують, що населення має зрости до 2050 р. на 2,8 млрд. і складає 8,9 млрд. чоловік. Основні причини демографічного зростання - це систематичне скорочення смертності і зростання тривалості життя за рахунок покращення умов життя, медичної допомоги і т.д. Швидке зростання чисельності населення Землі, а в деяких регіонах й перенаселення, призводить до збільшення антропогенних навантажень на ЕС, зокрема на агроєкосистеми.

При відповідній технології і господарюванні Земля може забезпечити мінімальний раціон 30 млрд. чоловік і навіть більше, але людина не може обмежуватися тільки задоволенням потреб в їжі, тому для забезпечення фізичних і духовних потреб людини населення планети не повинно перевищувати 2 млрд. Людству слід зуміти і встигти перебудувати всю систему взаємовідносин так, щоб подальший розвиток йшов в напрямі коеволюції суспільства і природи (*коеволюція* - спільна, взаємопов'язана еволюція).

Єдине, що ми знаємо напевне, це те, що у ХХІ сторіччі чисельність населення Землі буде зростати. Згідно з теорією демографічного переходу, зростання населення сповільнюється, коли люди стають заможнішими і менш залежать від дитячої праці, однак це досить суперечливо (можна порівняти США і Індію). Більшість футурологів вважають, що ми повинні зменшити сучасні жахливі кількості відходів і стати більш економними і бережливими, тобто перейти до раціонального природокористування. Інші вважають, що треба прийняти «стратегію коралового рифу», щоб досягнути успіху в умовах обмежених ПР. Необхідно мати на увазі, що людина є гетеротрофним природним утворенням і, якщо природа його створила, то вона зробить усе можливе, щоб його прохарчувати. Але це можливо за умови, що людина сама не буде їй в цьому заважати.

Як зазначалось на Міжнародних конференціях в Ріо-де-Жанейро (червень 1992 р.) і Каїрі (вересень 1994 р.), в стратегії розвитку людства необхідно передбачити розв'язання комплексу проблем зростання населення, здоров'я ЕС, технології і доступу до ПР. Демографічні програми повинні бути частиною більш широкої політики. Країни повинні мати уявлення про свої національні можливості життєзабезпечення населення. Демографічні програми потребують підтримки політиків, корінного населення, релігійних і традиційних установ, наукових кіл, належного фінансування, включаючи допомогу країнам, що розвиваються.

Демографічна ситуація в Україні, що зазнала в останні роки гострої демографічної кризи, ускладнюється. Свідченням цього було зменшення кількості населення з 50,5 млн. чол. на початку 1988 р. до 49,3 млн. чоловік у 2000 р., а також посилення депопуляції. Щорічне зменшення населення за рахунок перевищення кількості померлих над кількістю народжених, яке в 1991 р. становило 39 тис. чол., у 1995 р. – 299,7 тис. чол., у 1998 р. – 394,2 тис. чоловік. В останні п'ять років показник скорочення населення – майже 400 тисяч чоловік – тримається приблизно на одному рівні. Однією із причин перевищення показника смертності над показником народжуваності є різке погіршення екологічної обстановки в Україні: забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунтів і продуктів споживання, наслідки Чорнобильської катастрофи.

Проблема обмеженості ресурсів БС нерозривно пов'язана із проблемами демографічного росту, раціонального використання ПР та їх охорони. Рівень споживання енергії, мінеральної сировини, води та продуктів харчування з кожним роком зростає, тому прогнози відносно достатності їх у майбутньому варіюють від надто песимістичних до доволі оптимістичних, які часто використовуються усякого роду політиками задля досягнення своєї мети.

Виробництво продуктів харчування в цілому в світі збільшується, але зростає повільніше за населення Землі, тобто не відповідає вимогам демографічного зростання. Якщо казати про всю продуктивність землі, то у наш час удається «зняти» з агроєкосистем не більше 60-70% їх потенційних можливостей (урожайність в США - 73-78%, в Австрії - 68-73%, в Швеції - 70-75%, в Польщі - 69-74%, в Росії - 40-60%), тобто в умовах підвищення родючості ґрунтів за рахунок її кращого використання вони здатні утримувати 10 і більше мільярдів чоловік. Для того, щоб прогодувати населення планети, яке в 1999 р. перевищило 6-ти мільярдний рубіж, необхідно на існуючих площах агроєкосистем подвоїти виробництво продуктів харчування. Теоретично по співвідношенню між рекордними і середніми урожаєми ряду основних сільськогосподарських культур можна припускати, що виробництво їх може бути збільшено в 3-4 рази: кукурудза - 3,9, пшениця – 7,0, соя - 3,9, картопля - 3,5, рис - 5,8, цукровий буряк - 2,4. Природно, що такий приріст можливий за умови

врожайних сортів рослинних культур, вмілої обробки ґрунтів, правильного використання добрив та пестицидів і т.д. З цього можна зробити оптимістичний прогноз щодо можливого збільшення чисельності населення Землі на основі інтенсивного землеробства й тваринництва.

Слід зазначити, що значне зростання у третій чверті ХХ сторіччя світового виробництва зернових культур (в останні роки в Індії і Китаї) базувалось на значній витраті енергії, селекції, прогресивних формах агротехніки, широкому застосуванні мінеральних добрив, тому так звана «зелена революція» не дала істотних результатів у багатьох країнах, що розвиваються, і не мають таких можливостей. «Зелена революція» призвела лише до тимчасових позитивних результатів, не знявши проблеми продовольства у світі. Екстенсивний шлях за рахунок розширення площ земель, які культивуються, припускає лише подвоєння населення земної кулі і може призвести до небажаних екологічних наслідків. Так, намір розширити сільськогосподарські угіддя за рахунок розчищення тропічних лісів р. Амазонки може призвести до лиха глобальних масштабів, оскільки будуть уражені «легені планети», у той час як ґрунти цих районів малородючі і їх постійна культивування неможлива. Розширення орних земель за рахунок опанування пустельних та напівпустельних територій економічно ж недоцільно.

Неважко зазначити, що проблема виробництва продуктів харчування найтіснішим чином пов'язана з проблемою отримання енергоносіїв, мінеральної сировини, води і з проблемою народонаселення. Слід погодитись з Ф. Рамадом [2], який зазначає: «Питання, скільки людей в змозі прогодувати Земля, в дійсності поставлене невірно. Перш за все треба було спитати, до яких наслідків для БС приведе інтенсифікація світового виробництва продуктів харчування. Відповідь на це питання не викликає оптимізму». Із цього витікає, що уже до кінця ХХ століття необхідно шукати шляхи стабілізації чисельності населення. Як вважає Ф. Рамад, сучасні агроєкосистеми не спроможні витримати навантаження 6,7 млрд. чоловік (як зазначалось раніше, існують і більш оптимістичні прогнози, хоча деякі дослідники вважають, що агроєкосистеми розраховані на навантаження лише 1,5 млрд. чоловік), тобто існує проблема визначення оптимуму. Незалежно від шляхів розвитку агроєкосистем та вирішення продовольчої проблеми, виходячи з інтересів збереження здоров'я людства і підтримання життєзабезпечуючих систем БС, єдиною правильною стратегією є поступове впровадження екологічно обґрунтованих форм розвитку сільського господарства.

Розширення і посилення антропогенного і техногенного тиску на ресурсно-екологічну систему Землі руйнує економічну основу СР, наносить величезну соціальну шкоду. Запобігання ресурсно-екологічній кризи і збереження довкілля перетворюються на головну мету: виживання людства. Розв'язання ресурсно-екологічної кризи ускладняться «ефектом



екологічного і економічного бумеранга», суть якого полягає в тому, що безмежна економіка руйнує природу, а руйнування природи підриває економіку [53]. Інтегральним показником ресурсно-екологічної кризи слід вважати зміну генетичного фонду БС. За даними Міжнародної спілки охорони природи (ІСОП) з 1600 р. зникло біля 40 видів ссавців, а більше ніж 120 знаходиться на межі зникнення; зникло 100 видів птахів і 190 їх можуть зникнути; під загрозою зникнення знаходяться 20-25 тис. видів вищих рослин. За даними Н. Майерс (Myers, 1980) в середині 1970-х років на Землі зникав щодня один вид, а в 1990-і роки щезнення одного виду обчислюється однією годиною. Вже на початку ХХІ століття може зникнути близько 1 млн. видів від сучасної кількості.

Для аналізу впливу людини на довкілля можна виділити три взаємопов'язаних показники: 1) показник демографічного впливу, тобто впливу власне людини, який чисельно дорівнює відношенню місцевої густоти населення (в даній області або регіоні) до фонові густоті (для країни у цілому); 2) показник фізико-механічного впливу, який відбиває зростання впливу машин і механізмів; 3) показник технологічного впливу, тобто відношення місцевої інтегральної характеристики забруднення до нормативної. Потрібно зазначити, що сама густина населення (або показник демографічного впливу) без урахування рівня розвитку цивілізації не є об'єктивним показником екологічного навантаження.

*Антропогенним впливом на природу* варто вважати будь-які процеси зміни природи, обумовлені діяльністю людини. Існують як суб'єктивні, так і об'єктивні критерії антропогенного впливу. *Суб'єктивні критерії* характеристики процесів зміни природи визначаються індивідуальними оцінками конкретної людини як особи: нейтральні, негативні і позитивні. *Об'єктивні передумови* антропогенного впливу на довкілля базуються на існуванні науково обґрунтованих кількісних оцінках критеріїв оцінки характеру процесів, що відбуваються. З *фізико-біологічної* точки зору позитивними змінами в ЕС можна вважати такі, які сприяють збільшенню в них вільної енергії. З *економічної* точки зору позитивні зміни – це процеси, які збільшують інтегральну економічну оцінку компонентів даної ЕС. З *фізіологічної* точки зору до негативних змін природи можна віднести будь-які процеси, що відхиляють параметри середовища від «леза бритви», тобто від оптимальних для існування організму людини значень (непродумане «поліпшення» цих значень може погіршити фізіологічні функції довкілля). З *соціологічної* точки зору до позитивних змін природи слід віднести процеси, що збільшують інформаційну цінність ландшафтів. Будь-які процеси впливу на природу мають економічний характер. Вони або змінюють її економічну цінність, або пов'язані з економічними витратами [41].

Здійснюючи класифікацію процесів порушення природного середовища, звичайно використовують два основні підходи. Згідно з

компонентному принципу [5], процеси розглядаються стосовно порушених природних компонентів (атмосфери, гідросфери, літосфери, біоти тощо). Однак даний підхід комбінується з функціональним, де екодеструктивні процеси групуються за однорідністю змісту заподіяних змін [41]:

I- Використання природних ресурсів (*1 - вилучення природних ресурсів; 2-виснаження природних ресурсів*);

II. Порушення якості компонентів природного середовища (*3 - забруднення; 4 - Порушення ландшафтів*);

III. Вплив на людину і біоту (*5 вплив на біоту; 6 - процеси впливу на організм людини; 7- зниження інформаційної цінності природних систем психологічний вплив на особистість людини*);

IV. Вплив на глобальну екосистему Землі (*8 - зміна енергетичної системи Землі; 9 - зміна буферних захисних систем Землі*).

Слід відзначати своєрідну *триєдність людини*: 1) як біологічна істота - частина природного середовища, фізіологічний організм; 2) як суспільна сутність – особистість – є частиною суспільства, елементом соціальної природи; 3) як компонент економічної системи є робочою силою, трудовим ресурсом.

Природні фактори стосовно людини виконують функції, які умовно можуть бути поєднані в чотири основні групи [41]: *фізіологічні функції* підтримують життя людини як біологічного організму («біо-людина»); *соціальні функції* забезпечують формування людини як особисті («соціо-людина»); *економічні функції* визначають діяльність економічної системи, в т.ч. відтворення людини як трудового ресурсу («трудо-людина»); *екологічні функції* формують, регулюють і підтримують стан ЕС, в якій живе людина. Хоча «біо-людина», «соціо-людина», «трудо-людина» існують в одному тілі, вони значною мірою відрізняються за своїми життєвими потребами, функціями і мотивами життєдіяльності. Безумовно, це дуже спрощена схема, адже тріада – це не просто сума складових, але надзвичайно складна система.

Екологічні функції є основою трьох інших. Будь яка ЕС є системою життєзабезпечення людини, суспільства й економіки. Як і організм людини, людське суспільство і його виробничі системи пристосовані до дужу вузького інтервалу властивостей ЕС. Будь-яка їх зміна, ініціатором чого в більшості випадків є сама людина, веде до значних негативних соціально-економічних наслідків. Це диктує певні умови функціонування економічної системи: 1) діяльність людини на повинні переходити порогів самовідновлення природних ЕС; 2) у випадках перевищення природних можливостей самовідновлення виробництво повинне нести витрати на відтворення порушених властивостей; 3) у тому випадку, коли територіальна система чи економічний суб'єкт використовує екологічний потенціал сусідньої території чи суміжного суб'єкта і випадку зацікавленості в його збереженні, система чи суб'єкт повинні

відшкодувати витрати на підтримання ЕС, включаючи втрачену вигоду від стримування економічного зростання; 4) у випадку необхідності кардинальної зміни ЕС суспільство має виділяти кошти на збереження природних еталонів (об'єктів ПЗФ) заради збереження можливості в разі необхідності повернути втрачені властивості [41].

В економічному плані фізіологічні, соціальні та екологічні функції безцінні. Вартість оцінку можуть отримати тільки економічні функції природи. Природні фактори можуть виконувати функції капіталу, бо вони здані приносити дохід тим, хто їх використовує. Природні блага мають властивості товару, бо можуть продаватися (прямо або опосередковано через інші предмети і послуги). Ціна природних благ визначається тією сумою коштів, за яку продавець згодний їх продати, а покупець готовий купити. Мінімальний рівень ціни продавця визначається витратами відтворення природних благ. Максимальний рівень ціни покупця обумовлений вигодою їх використання [41].

## **17.2 Основні шляхи екологізації природокористування**

Техногенний вплив на території України в 6-7 разів перевищує рівень європейських країн, тоді як ресурсоемність продукції перевищує в 2-3 рази, а енергоємність в 6-7 разів. Тому дуже важливе значення має проведення ефективної екологічної політики - заяви організації про свої наміри і принципи відносно її загальних екологічних характеристик, яка забезпечує основу діяльності і встановлення її екологічних цілей та завдань.

*Екологізація* – це зменшення інтегрального екодеструктивного впливу процесів виробництва та споживання одиниці продукції. *Екодеструктивні процеси* – процеси впливу на людину і природу, що призводять до соціальних, економічних або екологічних наслідків (забруднення, порушення ландшафтів, прямий вплив на організм людини, вплив на особистість людини, вплив на біологічні об'єкти). Під *інтегральним екодеструктивним впливом* розуміють зведені до єдиної критеріальної бази результати негативних наслідків впливу людини і ПС (ЕС) процесів виробництва та споживання предметів і послуг [41].

Традиційними «атрибутами» екологізації суспільного виробництва прийнято вважати очисні споруди, маловідходні технології, пристрої з переробки відходів і т.д., найбільш справедливим принципом формування еколого-економічних стимулів - принцип «забруднювач сплачує», а ефективною формою його реалізації – платежі за забруднення НПС та використання ПР і т.д.

Ресурсозберігання найбільш відповідає раціональному (оптимальному) природному процесу, бо нормально функціонують ті ПС, які найбільш ефективно використовують енергію, поспішають утворити

ресурси і видаляють відходи. Досягнення 100%-ї безвідходності нереальне, оскільки суперечить другому початку термодинаміки. У тому випадку, коли в ланцюгу технологічних процесів, де відходи одного виробництва стають сировиною для іншого виробництва, технологія називається реутилізованою. Така технологія може наблизити людство до теоретичного мінімуму глобальних антропогенних процесів, рівного відходам в біосферних циклах (біогенні вапняки, каустобіоліти). Стратегічно важливо прагнути як до мінімуму відходів, так і до реутилізаційних циклів. «Менше сировини, більше розуму» - девіз італійської школи менеджменту.

Ресурсозберігання є однією з основних умов оптимізації ПК. Під ресурсозберіганням розуміється виробництво і реалізація кінцевих продуктів з мінімальною витратою речовини і енергії на всіх етапах виробничого циклу і з найменшим впливом на природні ЕС і людину [11]. Це, передусім, енергетична ефективність - співвідношення між енергією, що затрачується (або що є), і кінцевим продуктом. Перетворення високоякісної енергії, що добувається з ядерного палива, в теплову енергію в декілька тисяч градусів Цельсія і далі у високоякісну електроенергію для підтримки температури на рівні 20°C є надзвичайно марнотратним процесом. Як відзначає Т. Міллер [55], використовувати високоякісну енергію для виробництва низькоякісного тепла «це все одно, що різати масло циркулярною пилкою або бити мух ковальським молотом». Тому основним принципом використання енергії повинна бути відповідність якості енергії поставленим задачам. Наприклад, раціонально для обігріву будівель використовувати сонячну енергію, гідрогеотермальну енергію, енергію вітру та інші, а в районах з холодним кліматом найкращий спосіб опалювання - створення будівель, максимально ізольованих від зовнішнього середовища.

По Т. Міллеру [54] виділяються дві принципово різних моделі суспільства: *суспільство одноразового споживання, що створює відходи (тип А)*, і *природозберігаюче суспільство (тип Б)*. Суспільство *типу А* характерно для найбільш промислових країн, які використовують як можна більше енергії і речовини і з великою швидкістю перетворюють високоякісну енергію в низькоякісну, речовини і відходи, що забруднюють довкілля. Основою суспільства *типу Б* є розумне (оптимальне) використання енергії і рециркуляція речовини, повторне використання невідновлюваних ресурсів, скорочення споживання і втрат енергії і ресурсів. При цьому особливо важливо ефективно використовувати енергію, не застосовуючи без особливої необхідності її високоякісні види. У суспільстві *типу Б*, до якого необхідно прагнути, не повинен бути перевищений поріг екологічної стійкості природних систем і їх сукупності. При цьому для обмеження втрат ПР і запобігання забрудненню необхідно враховувати інформацію про вплив на НПС при «вході» в неї (рис. 17.1).

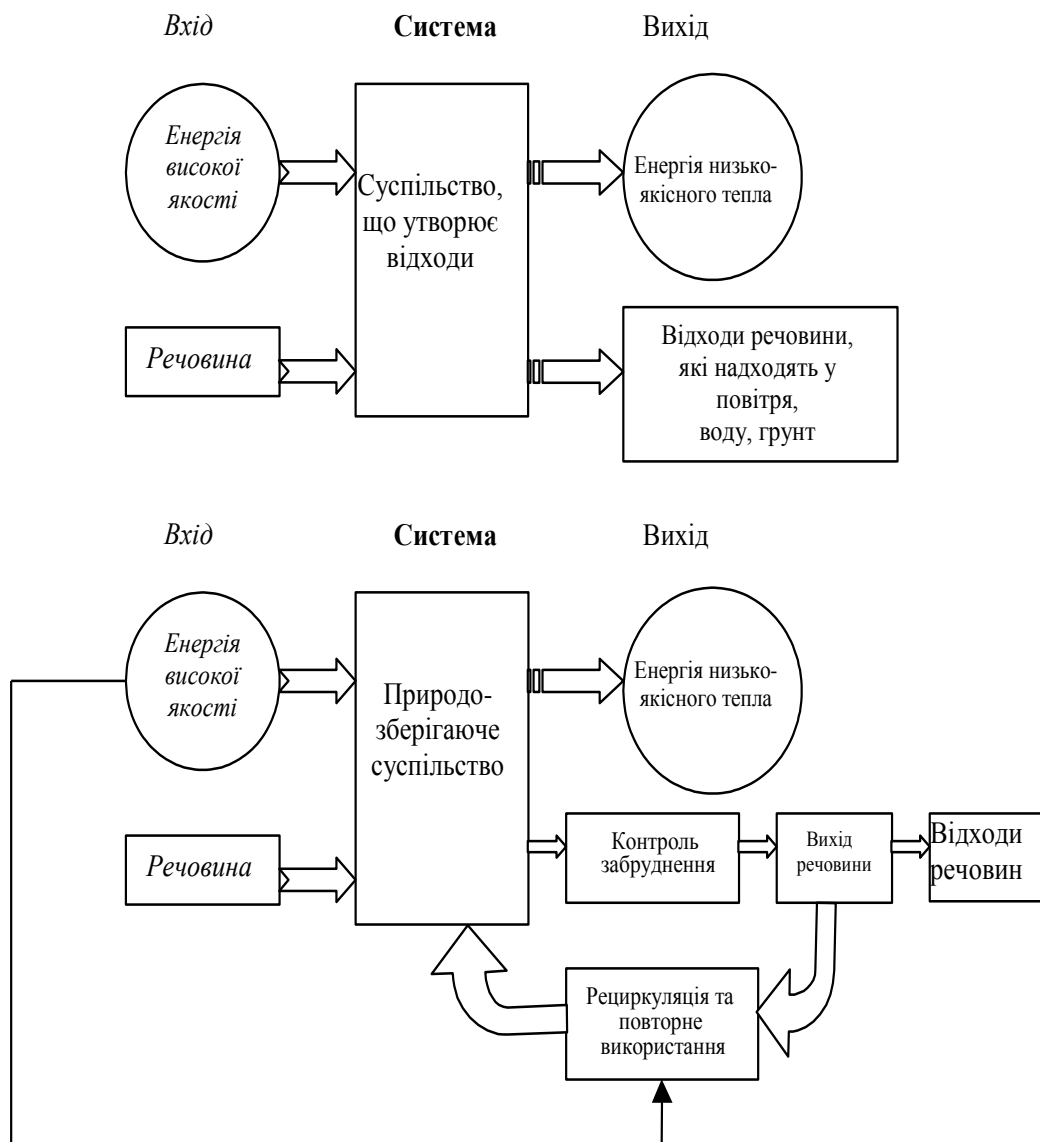


Рис. 17.1. Моделі суспільства одноразового споживання, яке створює відходи, і пристосованого суспільства [54]

Наприклад, значно простіше і дешевше запобігти попаданню токсикантів в підземний водозбір господарсько-питного водопостачання за намагання очистити вже забруднену підземну воду (в деяких випадках, вигідніше вести роботи по спорудженню нового водозбору, ніж по його відновленню).

Традиційне еколого-економічне мислення описується моделлю «чорного ящика», що являє собою народне господарство. На вхід «чорного ящика» подаються ПР, а як вихід беруться кінцева продукція і різного роду забруднення, відходи тощо. При виробленні продукції подається більше ПР, але сам «чорний ящик» - економіка - залишається поза рамками розгляду. При екологізації необхідно орієнтуватися на кінцеві результати і зрозуміти причину «ненажерливості» економіки. Треба оцінювати ПР і

продукцію, що виробляється на їх основі, як цілісну природно-продуктову систему, важливим показником якої є природоємність. На макрорівні (рівні всієї економіки) показник природоємності валового внутрішнього продукту (*ВВП*) можна визначити як витрати ПР (*N*), що використовуються, на одиницю *ВВП*:

$$e = N/ВВП \quad (17.1)$$

За тимчасовий показник можна брати рік або більш тривалі періоди часу (наприклад, 5 років в аграрному секторі). Ніде в світі немає адекватної

вартісної оцінки ПР; можна оцінювати вартість використаних за рік ПР на основі ринкових цін, що зазвичай, призводить до заниження показника природоємності. Як часткові показники природоємності на макрорівні для *ВВП*, національний прибуток і інш. можна розглядати також показники енергоємності, металоємності, матеріалоємності і т.д.

Продуктовий або галузевий рівень природоємності визначається витратами ПР з розрахунку на одиницю кінцевої продукції (*V*), виробленої на основі цього ресурсу (наприклад, кількості землі, необхідної для отримання 1 т зерна; кількості лісу, необхідної для виробництва 1 т паперу та ін.):

$$e = N/V \quad (17.2)$$

Чим нижчий показник природоємності, тим ефективніший процес перетворення ПР у продукцію, менше відходів і забруднення НПС.

Одним із довговічних забруднювачів НПС є пластмаси, які розкладаються в природних умовах більше за 100 років. Оскільки в світі виробляється пластмас біля 100 млн. тонн на рік, то виникає проблема масштабного забруднення ними довкілля. Для інтенсифікації розкладання пакетів з поліетилену і пластмас в них додають окислювачі, каталізатори і кукурудзяний крохмаль (від 6 до 50 %), що сприяє їх біодеградації при похованні у землі. Цей приклад є одним із шляхів аналізу речовин на «вході» в систему.

Інтенсивний шлях розвитку економіки немислимий без різкого підвищення ефективності використання ПР. Наприклад, в колишньому СРСР на одиницю кінцевого продукту затратувалося більше ПР, ніж в розвинених західних країнах. Так, в порівнянні з США, витрачалося: сталі в 1,75 рази більше, цементу в 2,3 рази, мінеральних добрив в 1,6 рази. Світова економіка розвивається за рахунок розширення видобутку корисних копалин і інших природних ресурсів. Якщо у всьому світі видобуток корисних копалин подвоювався кожні 15 років, то в колишньому Радянському Союзі - кожні 10 років. При цьому в готову

продукцію переходило 5 - 10 % сировини, а інші 90 - 95 % переходили у відходи, що звичайно не вписуються в біогеохімічні цикли. Суми збитків від нераціонального ПК в країнах колишнього СРСР становлять 8-9%, а витрати на охорону природи значно менше 1%. У зв'язку з цим необхідно зазначити, що ресурсозберігання повинно бути одним з основних джерел задоволення потреб сучасного суспільства. А як шлях оптимізації є створення безвідходних і маловідходних технологій, що дозволяє не тільки запобігати або скорочувати появу відходів, але і найефективнішим чином використовувати джерела сировини і енергії. Замість природних джерел сировини все ширше впроваджуються штучні матеріали, застосовуються мало вологоємкі, мало енергоємні, мало матеріалоемні технології, що дозволяє меншою мірою використовувати ПРП і наносити меншу екологічну шкоду НПС. Прикладом відмови від високо витратної технології є волоконно-оптичний кабель; всього 28 кг такого кабелю можуть передати такий обсяг інформації, як 1 тонна мідного кабелю. При цьому на виробництво кабелю із скловолокна витрачається лише 5 % енергії, необхідної для виробництва 1 тонни мідного кабелю.

Довкілля виконує 3 функції: 1) забезпечення ПР; 2) асиміляція відходів і забруднень; 3) забезпечення людей природними послугами (рекреація, естетичне задоволення тощо). Урахування ціни ПР дозволить більш обґрунтовано визначити економічну ефективність альтернатив розвитку. Так, думка про «дешевизну» енергії, тієї, що виробляється на ГЕС, в порівнянні з ТЕС і АЕС, не враховує ціну тисяч гектарів земель (наприклад, в Росії затопляється близько 5-6 млн. га). Сумарна оцінка прямих втрат нафти при різних видах аварій в Росії складає більше ніж 2 млрд. доларів, однак екологічний збиток більш значний. Як цінність твору мистецтва не визначається його розмірами, так і цінність природного середовища не визначається тільки економічними параметрами. У цей час ООН і розвинені країни роблять спробу «зеленого» вимірювання (green accounting) економічних витрат з урахуванням екологічного фактора.

Оптимізація ПК орієнтує економічну діяльність на ресурсозберігання і безвідходні або маловідходні технології. Одним з показників науково-технічного рівня виробництва є відходи, які представляють собою результат незавершеного технологічного циклу, для якого ще не знайдено область оптимального використання. Прикладів накопичення величезної кількості відходів виробництва і споживання більш ніж досить. Наприклад, в районі Курської магнітної аномалії до туронських відкладень приурочені могутні (декілька десятків метрів) відклади писальної крейди - сировини для виробництва цементу, шиферу, вапна, зубної пасти. Вони видобуваються при розкритті залізняку і йдуть у відвали, утворюючи техногенні форми ландшафту. Не знаходять практичного використання чи інші відкришні породи, які могли б

заснавати деметалізації, використовуватися як наповнювачі бетону (піщані породи), як природні мінеральні утворення, збагачені калієм (глауконіти).

У гірничодобувній промисловості залишається актуальною проблема комплексного освоєння мінеральної сировини, видобування з неї не тільки основних, але і корисних попутних компонентів, які залишаються у відвалах, концентруються в хвостосховищах збагачувальних фабрик. При видобутку вуглеводневої сировини також гостро стоїть питання комплексного використання попутних компонентів. Комплексне використання як «основних», так і «другорядних» компонентів може значною мірою підвищити еколого-економічну ефективність гірничодобувних і нафтогазодобувних підприємств, які через нераціональне використання мінеральної і паливно-енергетичної сировини завдають шкоди НПС.

Екологізація хімічної і нафтохімічної промисловості можлива шляхом впровадження мембранної, сорбційної, екстракційної і інших технологій, розробки методів отримання чистих добрив і засобів підвищення урожайності, замінників хімічних речовин, що справляють ксенобіотичний вплив, а також речовин, що зазнають швидкої біодеградації і добре вписуються в природні біогеохімічні цикли.

У целюлозно-паперовій промисловості є актуальною проблема розробки комплексної переробки деревини, сухих методів отримання паперу і картону, переходу на замкнені водооборотні цикли.

У енергетиці економія викопного органічного палива на 35 - 40% може бути досягнута шляхом переведення електростанцій на режим теплоелектроцентралей, а також шляхом збільшення одиничної потужності енергоблоків. Крім того, паливо може бути зекономлене за рахунок підвищення ККД генераторів до 60% (замість 40%). Результатом такого ресурсозберігання може бути зменшення забруднення атмосфери газодимовими викидами, пилом, радіонуклідами, а земної поверхні - твердими частками техногенного походження.

Як відомо, ГЕС більш економічні в порівнянні з ТЕС, але на рівнинних ріках (Дніпро, Волга і інші) вони приводять до затоплення величезних площ родючих земель, заливних лугов, населених пунктів, тому їх ефективніше будувати на гірських ріках, особливо об'єкти «малої» гідроенергетики.

Оскільки близько 13 % електроенергії, що виробляється, витрачається на освітлення, то певне значення має перехід на прогресивні джерела освітлення (люмінесцентні і натрієві лампи), що дозволить зекономити 20-70 % електроенергії. Іншою формою енергозбереження є створення малоенергоємних технологій в промисловості, в сільському господарстві, на транспорті і т. д. Наприклад, якщо середня витрата палива в автомобілях радянського виробництва близько 12 л/100 км, то в деяких



автомобілях західного і японського виробництва не перевищує 4 - 5 л / 100 км.

Оптимізація ПК передбачає не тільки комплексне використання природної сировини, впровадження маловідходних технологій, але й ефективне використання відходів. Так, відходи збагачення мінеральної сировини в Україні використовуються лише на 16,5 %, металеві шлаки на 43,6 %, золашлаки на 13,5 %. Всього в Україні щорічно утилізують 30 % промислових відходів, але існує проблема переробки і поховання токсичних промислових відходів. Не вирішена проблема деметалізації відходів. Актуальною постає проблема використання органічних відходів тваринництва. Не вирішені питання знешкодження і використання шахтних вод і попутних вод нафтогазових родовищ, які забруднюють поверхневі води. Вельми серйозні проблеми пов'язані з похованням радіоактивних відходів АЕС і підприємств. Не вирішені питання знешкодження і поховання пестицидів, заборонених до використання.

Щодо екологізації аграрного сектора економіки. Сукупність природної ( $P_n$ ) і штучної ( $P_i$ ) родючості складають економічну родючість ( $P_e$ ), яка відображає можливості землі утворювати біомасу:

$$P_e = P_n + P_i \quad (17.3)$$

Кількісно  $P_e$  виражається у виробництві сільськогосподарської продукції на одиницю площі. Оскільки у більшості країн падає природна родючість ґрунтів, то  $P_n$  визначає еколого-економічний тип відтворювання: 1) неповне, звужене відтворювання  $P_n$  або природоємний тип ведення сільськогосподарського виробництва, при якому спостерігається його зменшення; 2) просте відтворювання  $P_n$  або природоохоронний тип сільськогосподарського виробництва; 3) розширене відтворювання  $P_n$  або тип сільськогосподарського виробництва, який покращує природу. Значення простого і розширеного відтворювань  $P_n$  в динаміці для максимізації виробництва сільгосппродукції виражається моделлю:

$$\max P_e(K, t), \quad (17.4)$$

$$P_e(k, t) = P_n(K, t) + P_i(K, t), \quad (17.5)$$

$$P_e(K, t) \leq P_n(K, t + 1), \quad (17.6)$$

де  $K$  - інвестиції,  $t$  - час ( $t = 1, \dots, n$ ).

Співвідношення (17.5) є найважливішою (але не достатньою) умовою стійкого розвитку сільського господарства. Комплексна програма екологізації агропромислового комплексу включає в себе: 1) *екологізацію сільськогосподарського виробництва* (боротьба з ерозією ґрунтів, застосування органічних добрив, агролісомеліорація, культурно-технічна меліорація, вапнування кислих ґрунтів, мінімізація техногенного впливу на

грунти, ґрунтозахисні технології, біологічні методи захисту рослин та інші «м'які» методи поліпшення якості ґрунтів); 2) *прискорення розвитку промислово-побутової сфери АПК* (інфраструктура і переробні галузі промисловості).

Широко застосовується *біологічний захист* - розведення і випуск в агроєкосистеми сонечка, жужелиці, трихограми, мурашок і інших комах-хижаків і паразитів. При генетичному методі захисту в природні популяції впроваджують види або особини, які не здатні давати потомства. Перспективне застосування фітофагів проти бур'янів. Початі роботи по використанню пестицидних препаратів на основі природних інгредієнтів. Так, з колорадським жуком борються обприскуванням рослин настоєм зеленого перцю чіллі, що змішується з часником і тютюном; проти тлі, сарани, гусениць метеликів застосовують пудру піретрум (ромашки). Інсектицидні властивості мають препарати з цибулі, часнику, софори, хрину, гірчиці, петрушки, блекоти, дурману і інш. У деяких регіонах світу (США) застосовують діатомову землю - подрібнені скелети мікроскопічних водоростей діатомей (додання 0,5-3 кг порошку на 1 т зерна захищає від уражень комахами). Важливим напрямом захисту рослин є інтегрований метод захисту, коли різними способами збільшують природну смертність шкідників (зміна термінів посіву і характеру розміщення рослин, розмірів полів, введення сталих проти шкідників порід і сортів тощо); пестициди при цьому використовуються у кількості, яка б не порушувати систему біологічного контролю за шкідниками. *Біологічний контроль* - це регуляція чисельності популяцій їх природними ворогами: хижаками, паразитами і патогенними мікроорганізмами.

*Рівень екологізації* може бути визначений за такими показниками: економічні, енергетичні, земельні, порівняння, наявність чи відсутність екологічно «гарячих» місць. Нижче дана стисла характеристика основних показників оцінки рівня екологізації, які базуються повністю базуються на даних Л.Г. Мельника [41].

*Економічні показники.* Підхід базується на оцінці рівня екологічності продукції за розміром екологічних витрат (економічного збитку або витрат на його запобігання), обумовлених різними процесами впливу на довкілля.

У загальному вигляді формула реалізації даного підходу для оцінки екологічного рівня виробництва (споживання) продукції для окремо взятої сфери господарства може бути виражена таким чином:

$$y_e = \sum_{i=1}^n D_{zi} \cdot y_{zi} + \sum_{j=1}^m D_{lj} \cdot y_{lj} + \sum_{z=1}^k D_{oz} \cdot y_{oz} + \sum_{q=1}^l D_{nq} \cdot y_{nq} + \sum_{d=1}^p D_{\bar{od}} + y_{\bar{od}} \quad (17.7)$$

Q

де  $y_e$  – показник оцінки екологічного через вартісні оцінки;

$D_{zi}$  – кількісний показник  $i$ -го виду забруднення компонентів природного середовища, яким супроводжується даний вид економічного процесу виробництва-споживання продукції (наприклад: валовий за вагою показник викиду шкідливих речовин в компоненти середовища, концентрація цих речовин, інтенсивність шуму чи інших видів фізичного впливу);

$y_{zi}$  – питомий показник економічних витрат, обумовлених одиницею  $i$ -го виду забруднення;

$D_{lj}$  – кількісний показник  $j$ -го виду екодеструктивного впливу на ландшафти (наприклад: площа зруйнованих або затоплених земель, довжина штучних дамб, транспортних магістралей);

$y_{lj}$  – питомий показник економічних витрат, обумовлених одиницею  $j$ -го виду екодеструктивного впливу на ландшафти;

$D_{oz}$  – кількісний показник  $z$ -го виду екодеструктивного впливу безпосередньо на організм людини (наприклад, кількість людей, що працюють протягом року під впливом шкідливих факторів – температур, вологості, підвищеного ризику);

$y_{oz}$  – питомий показник економічних витрат, обумовлених одиничним показником  $z$ -го екодеструктивного впливу на організм людини;

$D_{nq}$  – кількісний показник  $q$ -го виду екодеструктивного впливу психологічного дискомфорту, пов'язаного з процесами виробництва або споживання продукції (наприклад, кількість психічних порушень або встановлених випадків незадоволеності різними факторами);

$y_{nq}$  – питомий показник можливих економічних витрат працюючих, обумовлених одиничним показником  $q$ -м видом психологічного дискомфорту;

$D_{\delta d}$  – кількісний показник  $d$ -го виду екологічного впливу на біологічні об'єкти (наприклад, знищення певних рослинних культур чи тварин);

$y_{\delta d}$  – питомий показник економічних витрат, обумовлених даним видом екодеструкції;

$Q$  – вартісний вираз товарів і послуг (виконаної роботи), виробництва чи споживання яких обумовило коло процесів екодеструкції.

*Енергетичні показники.* Підхід передбачає оцінку рівня екологічності на основі інтегральних показників енергоємності продукції. Концептуально підхід може бути переданий формулою:

$$y_e = \sum K_{ei} \cdot \gamma_i / Q \quad (17.8)$$

де  $y_e$  – показник оцінки екологічного рівня через оцінки енергоємності;

$K_{ei}$  – обсяг  $i$ -го компонента (сировини, комплектуючих, послуг, робіт – у кількісних одиницях), використаного для виробництва (споживання) даного продукту;

$\gamma_i$  - енергоємність  $i$ -го компоненту в енергетичних одиницях на кількісну одиницю даного компонента;

$Q$  – показник, аналогічний однойменному показнику формули (17.7).

*Показники екологічного навантаження (земельні показники).* Можна говорити про один універсальний показник – кількість площі землі, необхідної для забезпечення життя і діяльності однієї людини. Чим вища ефективність (з урахуванням економічних і екологічних факторів) рівня виробництва і споживання продукції, тим нижчий питомий земельний показник при порівнюваному обсязі споживаний (табл. 17.1).

Таблиця 17.1

Показники екологічного навантаження на землю («екологічного відбитка» - footprint) [Ecotaxation, 1997; 41]

Питомі показники екологічного навантаження споживання на одну людину	Канада	США	Індія	В середньому по світу
Емісія CO <sub>2</sub> , тон за рік	15,2	19,5	0,81	4,2
Споживча спроможність, тис. \$ на людину в рік	19,3	22,1	1,0	3,8
Кількість автомобілів на сто жителів	46,0	57,0	0,2	10,0
Споживання паперу (кг за рік)	247,0	317,0	2,0	44,0
Кількість енергії, що отримується з корисних копалин, ГДж/рік	250,0	287,0	5,0	86,0
Кількість прісної води, що вилучається, м <sup>3</sup> /рік	1688,0	1868,0	612,0	644,0
Екологічна навантаження на землю, га на людину (кількість землі, необхідної для отримання ПР, виробництва продукції, поховання відходів)	4,3	5,1	0,4	1,8

В окремих випадках використовують показник *умовної щільності населення* – кількість людей у розрахунку на пересічений 1 км<sup>2</sup>, які можуть прогодуватися винятково своєю працею на даній землі.

*Показники порівняння.* Даній підхід може бути реалізований на основі як кількісних, так і якісних оцінок.

Кількісні показники доцільно використовувати там, де можна говорити про характерний превалюючий показник екодеструктивної діяльності (наприклад, викиди в металургійному виробництві або кількість пестицидів, що використовуються в сільськогосподарському виробництві). У цьому випадку оцінка рівня екологічності може бути виражена формулою:

$$y_a = D_{ci} / D_{ai} \quad (17.9)$$

де  $y_a$  - показник оцінки екологічного рівня через порівняння кількісних показників, що існують у даній економічній сфері виробництва і/чи споживання  $i$ -виду продукції (виду діяльності, послуг);

$D_{ci}$  – кількісний питомий показник екодеструктивної діяльності (наприклад: викид шкідливих речовин на одиницю  $i$ -го виду продукції, кількість відходів на одного жителя, або питомі екологічні показники, що характеризують збиток від відповідних деструктивних дій) у розглянутій сфері;

$D_{ai}$  - аналогічний показник для  $i$ -виду продукції (виду діяльності, послуг) у кращих вітчизняних і/чи зарубіжних зразках.

Оцінку зазначеного показника в якісному вигляді доцільно застосувати в тому випадку, якщо, важко в кількісному вигляді визначити оцінку кожного з деструктивних факторів або не вирішене завдання їх порівняння. Залежно від конкретних умов розглянутих видів деструктивної діяльності і господарських завдань, в яких застосовується даний показник, може бути запропонований досить широкий спектр конкретних прийомів оцінки, що зводяться до таких напрямків: 1) двох або багатопозиційна фіксація стану (наприклад: «поступається – не поступається» (аналогам), «поступається – не поступається - перевищує», «поступається – незначно поступається – не поступається» і т.д.; 2) експертна оцінка відхилення (наприклад, у відсотках) відповідного показника від рівня аналога; 3) бальна оцінка рівня відповідного показника (за будь-якою шкалою балів).

Може бути також запропонований відповідний інструментарій до комплексної оцінки різних факторів:

$$y_a = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot B_{ci} / \sum_{i=1}^n \alpha_i B_{ai} \quad (17.10)$$

де  $y_a$  - комплексний якісний показник оцінки екологічного рівня за методом порівняння з аналогом;

$B_{ci}$  - показник якісної оцінки  $i$ -виду екодеструктивного впливу екологічного рівня за методом порівняння з аналогом (виду, послуг);

$B_{ai}$  - те саме для аналогу;

$\alpha_i$  – ступінь значимості  $i$ -го виду впливу стосовно інших видів екодеструкції; оцінюється експертним шляхом і може набувати будь-яких значень від «нуля» і вище (0,5; 1; 1,5; 2; 3; 10 і т.д.).

*Порівняння з попереднім зразком.* Даний підхід аналогічний попередньому з тією тільки різницею, що як аналог виступає зразок, який замінюється оцінюваним виробом. Таким чином, той виріб, який його заміняє, має виступати в ролі оцінюваного. Такі оцінки можуть бути зроблені також відповідно до різних видів діяльності або послуг у сферах господарства (на підприємстві, в галузі, у сфері споживання). У цьому випадку той самий методичний інструментарій, що й у попередньому підході. Зокрема, вихідна формула має вигляд:

$$y_{\bar{o}} = B_{ci} / B_{\bar{o}i} \quad (17.11)$$

де  $y_{\bar{o}}$  – показник оцінки екологічного рівня за методом порівняння з попереднім (базовим) зразком;

$B_{ci}$  - показник, аналогічний формулі (17.10);

$B_{\bar{o}i}$  - те саме для попереднього зразка.

*За наявністю чи відсутністю вузлів екологічної деструкції у виробничному циклі виробництво-споживання виробів.* При цьому випадку можуть бути використані два принципові методичні підходи; 1) прямого обліку тих чи інших видів екодеструктивної діяльності (наприклад, наявність або відсутність викидів шкідливих речовин у компоненти природного середовища, наявність або відсутність процесів зі шкідливим впливом); 2) непрямого обліку екодеструктивних факторів, зокрема за найбільш характерними «носіями» екодеструктивної діяльності (наприклад: наявність тих чи інших цехів чи виробництв – гальванічних, термічних і т.д.; використання тих чи інших матеріалів – токсичних, горючих, вибухонебезпечних і т.д.). У цьому випадку оцінка рівня екологічності може бути виражена формулою:

$$Y_{n(e)} = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot K_j / Q \quad (17.12)$$

де  $Y_{n(e)}$  - показник оцінки екологічного рівня за наявністю (відсутності) факторів екодеструктивного впливу в умовних одиницях екодеструктивної діяльності на одиницю вартісної оцінки обсягу продукції, виробництва і споживання якої пов'язане з даною деструктивною діяльністю;

$K_j$  - кількість вузлів  $j$ -го виду екодеструктивної діяльності;

$\alpha_j$  - ступінь значимості  $j$ -го виду екодеструктивної діяльності, визначається з формулою (17.10);

$Q$  – вартісна оцінка продукції, з якою пов'язані дані види екодеструктивної діяльності.

Як вважає Л.Г. Мельник [41], традиційні «атрибути» екологізації (очисні споруди, маловідходні технології, пристрої з переробки відходів і т.д.), є дуже важливими складовими механізми екологізації, однак не вичерпують його і навіть не є в ньому вирішальними ланками. На його думку, до основних компонентів механізми екологізації економіки можуть бути віднесені:

1. *Екологізація попиту* - це постійно відтворювані процеси формування потреб в екологічних товарах, а також створення фінансових можливостей реалізації цих потреб. Екологічні товари – це вироби та послуги, що знижують інтегральний екологічний вплив у розрахунку на одиницю сукупного суспільного продукту. Потреби в «чистому середовищі» перетворюються в інтереси, тільки будучи усвідомлені людьми. Інтерес перетворюється в попит тільки за умови підкріплення його фінансовими можливостями.

2. *Екологізація виробництва* передбачає постійне відтворення наукових ідей, інформаційних матеріалів, технічних засобів та технологічних рішень, що сприяють розвитку екологічно обумовлених виробничих систем. Існують соціальні, економічні і технологічні передумови екологізації виробничих факторів. Розвиток екологічно обумовленої виробничої основи прямо пов'язано з розвитком екологічного попиту. Стадії екологізації виробництва можуть бути символічно названі етапами: (1) очисних споруд; (2) маловідходних технологій; (3) тотальної ефективності; (4) екологізації стилю життя. Екологізація не тільки природоохоронний захід, але й вигідний напрям отримання доходу.

3. *Екологізація людей і відтворення мотивів екологізації.* Екологізація людей – це постійне відтворення екологічно орієнтованих знань, навичок і переконань. Відтворення мотивів екологізації – це постійний процес створення організаційних, соціальних та економічних умов, які формують прагнення людей ставити і досягати цілі екологізації.

У 1995 р. вийшла нова доповідь Римському клубу «Фактор чотири. Витрат - удвічі менше, віддача - подвійна. Нова доповідь Римському клубу» [55]. Його автори Е. Вайцзеккер, Е. Ловінс, Л. Ловінс пропонують нові рішення екологічних проблем шляхом революційного підвищення системи життєзабезпечення людського суспільства. За часів промислової революції прогрес характеризувався збільшенням продуктивності праці. «Фактор чотири» пропонує новий підхід до прогресу, нову філософію мислення, висуваючи на перший план дій збільшення продуктивності ресурсів. Як стверджують автори, ми можемо жити вдвічі краще, водночас витрачаючи вдвічі менше ресурсів; що необхідно для СР людства у майбутньому. Рішення полягає у тому, щоб використовувати

електроенергію, воду, паливо, матеріали, родючі землі тощо продуктивніше за мінімальних додаткових витрат і навіть з вигодою. Як переконливо доводять автори «Фактора чотири», більшість технічних рішень наших проблем уже є і треба негайно їх використати. Авторам вдалося зібрати 50 переконливих прикладів збільшення продуктивності ресурсів і тим самим довести широкі можливості ідеї всесвітньої переорієнтації людства на продуктивність ресурсів [51,55].

*Отримувати більше з меншими витратами.* Вражаючі перспективи прогресу «Фактор чотири» свідчить, що продуктивність ресурсів може і має бути збільшена вчетверо. Ми можемо жити вдвічі краще і водночас витратити вдвічі менше. Це новий напрям науково-технічного прогресу (спрямування зусиль на ефективне використання накопиченого науково-технічного потенціалу). Він відповідає критеріям СР. Країни, які здійснюють революцію в ефективності, виграють у міжнародній конкуренції.

*Моральні і матеріальні фактори.* Фактори для зміни напрямку науково-технічного прогресу мають як моральний, так і матеріальний характер: збереження фізичних систем життєзабезпечення є одним з найвищих пріоритетів для людства,

*Лікування хвороби марнотратства ефективністю.* Людство надмірно споживає такі ресурси як енергія, сировина, вода повітря, ґрунти, Воно знищує живі ЄС витрачаючи в десятки разів більше ресурсів, ніж їх споживає. Дослідження, що проводилося за завданням Національної Інженерної академії США, показало, що близько 93% матеріалів, які ми купуємо і витрачаємо, взагалі ніколи не перетворюються на продукцію, яка відповідає вимогам ринку. Більше того, 80% товарів викидається за непотрібністю після одноразового використання. 99% вихідних матеріалів, що використовуються у виробництві в США або такі, що містяться в цих товарах, перетворюються на відходи через шість тижнів після продажу. Зцілення від марнотратства приходить від розвиненої науки, здорової економіки і здорового глузду, воно приходить з лабораторій, автоматизованих робочих місць і поточкових ліній, створених кваліфікованими вченими і технологами, внаслідок вмілого проектування міст, винахідливості та завзятості інженерів, хіміків і фермерів та завдяки інтелекту кожної людини. Інтелектуальний потенціал людства вилікує марнотратство Підприємництво має бути освіченим. Ефективне використання ресурсів забезпечують більший комфорт у поліпшених будівлях при менших витратах енергії і грошей.

***Сім аргументів на користь ефективного використання ресурсів [55]:***



1. *Жити краще.* Ефективне використання ресурсів поліпшує «якість» життя. Ми можемо комфортніше жити завдяки ефективним системам опалення, ефективним конструкціям будівлі, систем освітлення тощо.

2. *Менше забруднювати і виснажувати.* Ефективність бореться з відходами і тим самим зменшує забруднення, які, власне, є спрямуванням ресурсів не за призначенням, 90 % нинішніх екологічних проблем можна розв'язати завдяки ефективному використанню енергії, продуктивному, сталому сільському господарству і використанню лісів. Причому не за рахунок витрат, а з можливим отриманням прибутку.

3. *Отримувати прибуток.* Ефективне використання ресурсів як правило дає прибуток: треба платити за більшу кількість ресурсів, а оскільки вони не перетворюються на ЗР, то нема потреби платити за їх очищення, санкції. «Все, що екологічне - економічне».

4. *Виходити на ринки залучати підприємці.* Ринкові механізми можуть підвищити ефективність використання ресурсів.

5. *Примножувати ефективно використання дефіцитного капіталу.* Гроші, що вивільнюються завдяки запобіганню екологічним витратам, можна використати для інших цілей. Вкладаючи гроші у енергоефективні лампи або вікна, можна заощадити 10% коштів, потрібним для будівництва великої кількості електростанцій. Такі інвестиції скуповуються щонайменше втричі швидше, і завдяки повторному інвестуванню капіталу в інші галузі обсяг послуг, що 30 разів. Для багатьох країн, що розвиваються, це єдиний реальний шлях порівняно швидкого досягнення розквіту (в тому числі й України).

6. *Підвищувати безпеку.* Енергозбереження зменшує навантаження на атомні та інші електростанції, можна збільшити витрати на ремонтні роботи, модернізацію енергетичних технологій,

7. *Бути справедливими і мати більше робочих місць.* Даремна трата ресурсів - це зворотний бік деформованої економіки, що розділяє суспільство на тих, у кого є робота, і тих, у кого її немає. Основний фактор марнотратства людських ресурсів - помилковий і марнотратний курс НТП. Підприємства мають позбутися непродуктивних кіловат-годин, тонн і літрів, а не своїх працівників.

Потрібно стимулювати збереження ресурсів, а не їх витрату. Впроваджувати процедури вибору найкращого продукту, перш ніж купити його. Потрібна конкуренція у збереженні ресурсів, а не їх марнотратстві.

***Двадцять прикладів революційних перетворень у використанні енергії [55]:***

1. *Гіперавтомобілі; по США на одному паливному баку.* З 1973 по 1986 р. середній новий легковий автомобіль у США став удвічі економічним (з 17,8 до 8,7 л бензину на 100 км). Близько 4% економії було досягнуто завдяки зменшенню розміру салону, 96% - завдяки полегшенню і поліпшенню конструкцій (простим зменшенням маси було

збережено 36%). З тих пір паливна економічність підвищувалася лише на 10%. У середині 1991 р. виробники автомобілів пообіцяли без надмірних витрат або погіршення технічних характеристик збільшити її ще на 5-10 %. В Європі у середині 80-х років виробники автомобілів створили десяток нових моделей з витратами 1,7-3,5 л бензину на 100 км, з поліпшеними параметрами безпеки, викидів і ходових якостей («Вольво», «Пежо» та ін).

2. *Нетрадиційні системи опалення: штаб квартира Інституту Рокі Маунтин (США) у холодному кліматі.* Система супервікон, що забезпечує теплоізоляцію, яка рівноцінна 12 шарам скла. Прозорі безбарвні вікна пропускають три чверті сонячного світла і половину всієї сонячної енергії, перешкоджають виходу тепла. Навіть у похмурі дні сонячне тепло уловлюється крізь супервікна. Ізоляція з пінопласту кам'яних стін (40 см), даху вдвічі зменшує теплові втрати. Повітря свіже (воно попередньо підігрівається теплообмінником, який повертає три чверті тепла, яке зазвичай виноситься повітрям, що виходить з будинку). Додаткові витрати на увесь комплекс теплоізоляції були меншими завдяки економії під час будівництва, яка пов'язана з відсутністю печі і повітропроводу. Освітлення денним світлом; надекономічні електролампи зберігають 3/4 енергії.

3. *«Пасивний будинок» у Дармштадті (Німеччина).* Повна відсутність активного обігріву - тільки «пасивний» - сонячною енергією за рахунок високоефективної ізоляції стін і вікон. Цей будинок споживає тільки 10% звичайної кількості енергії на опалення житлової площі і 25% звичайної кількості електроенергії.

4. *Будинки для жаркого клімату у Каліфорнії (США).* Оптимальні планувальні рішення і розрахунки для визначення максимальної кількості енергії, яку можна зберегти з вигодою для підприємств, власників, клієнтів; три чверті енергії, що споживається, здебільшого можна заощадити без додаткових витрат; проектування, орієнтоване на збереження енергії і комфорт; поліпшення планування дає 17% економії енергії (зменшення площі підлоги, розміщення вікон, удосконалення віконних рам, конструктивні матеріали); за рахунок ще дрібніших новацій у конструкції, освітленні, побутових приладах, системі гарячого водопостачання і вікон загальне енергозбереження досягло 60%; незвичайний захід - використання відпрацьованого тепла холодильника для підігрівання води (кращі умови роботи холодильника та економія енергії в системі гарячого водопостачання); вибір кондиціонера на основі комплексного плану щодо запобігання охолодженню (входили усі енергозберігаючі заходи, які раніше не вважалися за такі, оскільки кожен зокрема не давав самокупної економії енергії, тобто сумарна економія виявилася більшою, ніж окремо - інтегральний ефект). Коли в проект додали 7 таких удосконалень на суму \$ 2600, відпала потреба у

кондиціонері вартістю \$ 1500 і системі вентиляційних трубопроводів (\$ 800 експлуатаційних витрат).

5. *Супервікна та їх модифікації для великих приміщень.* У супервікнах застосовують невидимі прозорі високотехнологічні плівки, які відокремлюють видиме випромінювання від інфрачервоного (теплого). Проектувальники комбінують вікна будівлі з максимальним проходженням світла і тепла з південної сторони і мінімізують втрати тепла з північної. Комбінуючи потоки вхідного і вихідного тепла і світла, проектувальники досягають зменшення потреби а опалювальному й охолоджувальному обладнанні та енергії, скорочуючи тим самим будівельні та експлуатаційні витрати. Супервікно зберігає тепло у 3 рази краще, пропускає денного світла у шість разів більше. Кондиціонування можна зменшити з 750 до 200. Потреба в енергії у часи пік може скоротитися на 76%, річна потреба в електроенергії на 72%, експлуатаційні витрати за рік у 10-20 разів порівняно з орендною платою.

6. *Новий інженерний корпус Університету Де Монфора (Британський учбовий заклад).* Еколого-архітектурний паритет при проектуванні; тепло забезпечується переважно пасивним сонячним обігрівом, внутрішнім накопиченням тепла від роботи значної кількості приладів і присутності тисячі співробітників і студентів, природні вентиляція та освітлення. Капітальні витрати склали 24% (традиційні 34-40%). Використовується тільки 25-30% тепла порівняно з аналогом,

7. *Ефект ремонту комплексу цегляних будинків, розмішених у ряд.* У підвалі як самовирівнювальний фундамент застосовують «плаваючу бетонну підлогу»; обкладають стіни збірними вискоефективними панелями; двері, вікна прорізають; два вікна з подвійною підвіскою, кожне вікно складається з верхньої і нижньої частин з напрямними - відчиненням і зачиненням частин вікон можна обігрівати, охолоджувати, провітрювати; над ізоляцією вдвічі скорочено витрати на кожен будинок за термін його служби. Потребу в теплі знижено на 90% (за відсутності опалення в саму люту зиму температура в приміщенні не падала нижче +12°C),

8. *Економічний офіс банку ІНГ (Голландія) з високим енергетичним ефектом (комп'ютери обігрівають приміщення).* Ефективні конструктивні рішення + природне освітлення + відсутність кондиціонування; вода нагрівається конструкцією тепловипромінювачів і регенерацією тепла від двигунів ліфтів і комп'ютерних залів; система обігріву «повітря – повітрям» (вихідне відпрацьоване повітря обігріває вхідне). Споживання енергії на квадратний метр на 92% менше аналога. Додаткові витрати на енергетичні системи склали \$ 700 тис. Різне енергозбереження — \$ 2,6 млн.

9. *Скорочення споживання електроенергії датськими електроприладами на 74%.* Приблизно 30 - 50% електроенергії у більшості промислових країн (в Данії - 45%) витрачається на живлення

електроприладів та устаткування (побутове освітлення, подача гарячої води і вентиляція в житлових будинках й у сфері послуг). Аналіз і розрахунки довели, що за основними видами побутового обладнання можна підтримувати сучасний рівень охолодження, очищення і прибирання, приготування їжі, забезпечення чистим повітрям на рівні 26% споживання електроенергії в разі застосування ефективної енергозберігаючої технології: краща ізоляція, компресори, охолодники, теплообмінники і регулятори холодильного устаткування (з 350 до 90 кВт•год, удосконалення схеми мотор - компресор або безоплатного охолодження за рахунок зовнішнього повітря - до 50 кВт).

*10. Суперхолодильники.* Найслабкіше місце - ізоляція. У 80-х роках американські холодильники і холодильники-морозильники витрачали одну шосту всієї електроенергії у житлових будинках (еквівалентно виробництву енергії 30 Чорнобильських АЕС). За рахунок ефективної ізоляції (наприклад, два тонкі листи сталі з повітряним прошарком у кілька мм, високим вакуумом між ними (компактний вакуум) і покриттям внутрішнього боку спеціальною плівкою для захисту від теплового (інфрачервоного) випромінювання. компресори з регульованою швидкістю, тобто регульованим охолодженням, збільшені розміри змійовиків та ін. Енергоефективність збільшиться порівняно з досягнутою на 86 - 90 %.

*11. Ефективне освітлення.* Одна п'ята всієї електроенергії у США витрачається на освітлення, а якщо врахувати й енергію, що використовується для відведення тепла від ламп, то фактично одна четверть. Приблизно стільки само електроенергії можуть виробляти 120 величезних електростанцій (у Росії або Китаї приблизно 15 електростанцій потужністю в одну тисячу мегават працюють на забезпечення неефективного освітлення). Всі лампи розжарювання, які по суті є електронагрівниками (10% на освітлення) можна замінити на мініатюрні люмінесцентні лампи, НПС. Одна 18-ватна компактна люмінесцентна лампа, замінюючи 75-ватну лампу розжарювання здатна упродовж свого строку служби зекономити. 1 тону CO<sub>2</sub>, 4 кг SO<sub>x</sub>, інші викиди станцій, що працюють на вугіллі; 200 літрів нафти для електростанцій (достатньо для проїзду 1600 км на автомобілі). Половина енергії США, що йде на освітлення, споживається трубчастими люмінесцентними лампами і баластовими опорами; 80-90 % енергії - це марнотратство, а якість освітлення дуже незадовільна.

*12. Ефективне управління енергозабезпеченням оргтехніки.* Розвиток комерційного і підприємницького секторів потребує значної витрати електроенергії на офісне обладнання, а взагалі бурхливий розвиток інформаційної економіки - це значні потреби в енергії. Насамперед це комп'ютерне обладнання, яке здебільшого неефективне (витрачає 150 Вт), ККД - 50-60 %. Можна досягти 95%. Портативні комп'ютери, ноутбуки.

Принтери, факси та інші «відображувальні» апарати споживають більше енергії, ніж комп'ютери. Найбільший споживач - фотокопіювальні машини. Шляхи економії: вибір більш досконалої конструкції (дає одну третину економії); управління потужністю. Впровадження управління енергією і відпрацювання у людей звички вимикати все, чим вони деякий час не будуть користуватися, можуть заощадити мінімум дві третини енергії; придбання найефективнішого нового обладнання - 80-90%, а прискіпливий вибір товару - майже 96%, якщо використовувати обладнання, яке працює так само чи краще, і коштує стільки само або менше. Тільки у США за найближчі декілька десятиліть такий підхід дасть змогу заощадити стільки енергії, скільки її виробляють десятки величезних електростанцій. Застосування дуже ефективного обладнання у типовій великій новій адміністративній будівлі скоротить загальні витрати на її будівництво приблизно на 6-8 %. Цього досить, щоб виправдати придбання нового офісного устаткування, навіть якщо старе могло б ще експлуатуватися кілька років.

*13. Фотоелектрика на 48 вольт постійного струму - назад до Едісона.* Змінний струм у багатьох випадках неекономічний через дві причини: внаслідок зміни напрямку намагнічування в електродвигунах приблизно 100-120 разів за секунду виділяється багато тепла у залізі; перетворення змінного струму на постійний - неекономічний процес. Працюючий на змінному струмі насос може бути замінений на 8-ватний на постійному струмі. При цьому споживання електроенергії зменшиться у 2,5 разів. Для комп'ютерів, відеомагнітофонів або вентиляторів використання постійного струму може бути в 6-10 разів ефективнішим, ніж змінного. Ідея фотоелектрики - це сонячні батареї + ефективні електроприлади на 48 вольт для генерації фотоелектрики.

*14. Ресурси, що відтворюються у холодному кліматі.* Якщо скандинавські країни скоротять викиди CO<sub>2</sub> на 95%, вони тим самим забезпечать вагомий внесок у стабілізацію клімату на Заході. На їх думку, сталий розвиток енергетики має виходити з чотирьох стратегій: поліпшення технологій (тобто революція в ефективності); екологічно чисті джерела енергії (тобто відтворювані ресурси); структурні зміни, особливо у транспортному секторі; зниження обсягу послуг енергетичних компаній. Відтворювані джерела енергії еквівалентні виграшу в ефективності. У разі використання критерію «вуглецевої ефективності» сценарій дає приблизно 30-кратне поліпшення.

*15. Яловичина, яку отримують з малими витратами енергії.* Стратегічною точкою відліку підвищення енергетичної ефективності слід обрати яловичину як продукт. Найпростіше рішення - зменшити субсидії і тим самим скоротити перевиробництво яловичини в Європі. Фермери повернулися до більш екологічних методів ведення господарства. Зменшення на 50 % кількості, але поліпшення якості.

16. Чи виправдане марнотратство дешевої енергії (Нідерланди)?  
Досягнення успіху на ринку тепличних томатів - вважають спеціалісти з НПС - низька ціна енергії (теплиці на місцевому природному газі). Вона дає змогу вирощувати томати за співвідношення витрат до виходу енергії, що дорівнює 100 і більше. 79% енергії іде на опалення теплиць, приблизно 18% - на переробку овочів. Це марнотратство, якому можна запобігти за рахунок кращої ізоляції теплиць.

17. *Вентилятори, насоси, двигуни, системи кондиціонування повітря (Сінгапур).* Найефективніші у світі системи розробляє китайський інженер Лі Енглок у Сінгапурі. Вони споживають лише 0,61 кВт/год, тобто на 65 -70 % менше. Вони коштують дешевше ще й тому, що кожна деталь потрібного розміру, не занадто велика. Елегантна ощадливість - девіз конструктора. Енергію використовують багаторазово, доки вона повністю не вичерпається. Наприклад, використання вхідного повітря для попереднього осушування відхідного повітря за допомогою простого пристрою без яких-небудь рухомих деталей. Успіх забезпечує “правило китайської кухні” - використовуй усе.

18. *Межі кондиціонування повітря.* У спекотний літній день на кондиціонування, що становить близько 43% пікового навантаження, працює 200 величезних електростанцій, кожна з яких обходиться у кілька мільярдів доларів. Перший крок - не допустити спеку в будівлю. Конструктивні рішення, денне освітлення знижують потребу охолодження майже у 10 разів. Другий крок - прості очевидні заходи щодо розширення комфорту дають 20-30%. У Канаді, в провінції Альберта у великих будівлях систему кондиціонування у другій половині дня не вмикали (на дискомфорт не скаржилися, а заощадили багато енергії). Далі - пасивне охолодження (нормальне функціонування будівлі без спеціального обладнання) та альтернативне охолодження або поєднання методів.

19. *Чотириразове збільшення енергетичної продуктивності п'ятьма малими кроками.* На прикладі електростанції: нове покоління електростанцій, де використовують газові турбіни з комбінованим циклом, може підвищити повний ККД для класичних теплових електростанцій до 50-55% (у перспективі 65%). Це означає, що для виробництва 1 кВт•год електроенергії на електростанції потрібно спалити палива на 28% менше; комбінуючи отримання тепла та електроенергії і застосовуючи оптимізовані газові котли, можна виграти ще 25%. Тоді залишається 75 % від попереднього споживання; використання некапіталомістких заходів щодо поліпшення ізоляції і підвищення ефективності електроприладів дає ще 33%. скорочуючи тим самим попереднє споживання зі 100 до 67%; у побутовому секторі (споживачі) можна зменшити витрати енергії на 7 % і заощадити ще 3% завдяки регулятивним заходам (перегрів та ін.), це заощадить ще 10%; 20% можуть дати відтворювані джерела, наприклад пасивний обігрів сонячною енергією, використання біомаси і біогазу,

невеликі гідроелектростанції, енергія вітру і сонця. Усі ці джерела разом можуть скоротити потребу в традиційному енергозабезпеченні на 20 %. У сукупності перелічені досить скромні зміни здатні зменшити потребу в енергії, що виробляється вугільними, атомними і великими гідроелектростанціями на:  $0,72 \cdot 0,75 \cdot 0,67 \cdot 0,90 \cdot 0,80 = 0,25$ , що становить чверть від 30 років.

20. *Вигідне енергозбереження і скорочення витрат на заводі у штаті Луїзіана.* Кен Нільсон - інженер-підприємець уже давно допомагає Луїзіанському відділенню хімічної компанії «Доу кемікел», що має 2400 робітників, заощаджувати енергію і скорочувати втрати. Упродовж 12 років Кен Нільсан щорічно проводив конкурс серед працівників, що обіймали посади не вище контролерів. За умовами конкурсу пропозиції у галузі енергозбереження мали скуповуватись упродовж одного року за початкових витрат не більше \$ 200 тис. Аналізи понад тисячі пропозицій пересічно дали економію, що дорівнювала з точністю до 1% сумі, яка прогнозувалася.

**Двадцять прикладів підвищення продуктивності використання матеріальних ресурсів [55]:**

Показник - ресурсні витрати на одиницю роботи (*MIPS - Material Inputs Per Service Unit*) дає змогу оцінити кількість, ресурсів, що їх слід перемістити для виконання будь-якої чітко визначеної роботи чи послуги. *Продуктивність використання ресурсів* - це ширше поняття, ніж міцність і довговічність: вона пов'язана з *життєвим циклом* продукту «від колиски до цвинтаря». Приклади *MIPS*:

1. *Довговічні офісні меблі* на основі взаємозаміни зношених деталей (відокремлення конструктивних елементів від художніх) у базових моделях. Скорочення *MIPS* при цьому від 5 до 20 %.

2. *Автомобілі (гіперавтомобілі) з низьким MIPS.* У США автомобільна промисловість та прямо і побічно пов'язані з нею галузі становлять одну десяту за кількістю зайнятого населення і за рівнем споживчих витрат та одну сьому ВВП. Вони споживають близько 70% свинцю, 60% гуми, килимового покриття і ковкого чавуну, 40% інструментів і платини, 34% заліза, близько 20% алюмінію, цинку, скла і напівпровідників, 14% сталі і 10% міді. З 1984 по 1994 р. споживання матеріалів змінилося дуже мало; середній американський автомобіль став на 1 % важчим і за «якісним складом» змінився тільки на 3% (сталь замінили на кольорові метали і полімери). З появою надлегких гібридних гіперавтомобілів перший експериментальний автомобіль матиме: двигун внутрішнього згоряння з водяним охолодженням потужністю 20 кВт, метал-гібридну буферну батарею на основі нікелю масою 50 кг; структура (ресурсно-матеріальна) різко зміниться, вони важитимуть втричі менше порівняно з нинішніми автомобілями завдяки використанню полімерних композиційних матеріалів; витрати пального зменшаться в 10 разів.

3. *Електронні довідники і каталоги.* Приклад: медичний довідник «Марк Маньюел» має 3 тис. сторінок. Альтернатива: довідник «Марк Маньюел» + «Настільний довідник лікаря» все на CD і розміром з долоню. З належним портативним комп'ютером з CD-ROM-м дисководом лікарі зможуть користуватися обома довідниками біля ліжка хворого.

4. *Сталь проти бетону* (на прикладі магістральних електроопір). На бетонні опори потрібно втричі більше матеріалу, енергії (відповідно 90 і 36 т для типової опори в Центральній Європі). Бетонна опора має масу близько 45 т, а сталеві – 6 т. Сталева опора експлуатується вдвічі довше, ніж бетонна (з профілактичним ремонтом через 10 - 20 років).

5. *Підґрунтове крапельне зрошування.* Скорочення споживання енергії для обробки ґрунту на 50%, прискорення сівозмін, скорочення споживання гербіцидів на 50 %, азотних добрив на 25-50%. Крім того, при зрошувальному землекористуванні менше води потрібно качати з глибинних свердловин. Урожайність підвищується на 15-50%. Витрати води скорочуються в 1,8-2,4 разів. Застосування підґрунтового крапельного зрошування у напівзасушливих районах може скоротити витрати води більш ніж у 15 разів.

6. *Ефективне використання води в промисловості (папір і картон).* У 1900 р. виробники паперу в Європі витрачали 1 т води на 1 кг продукції. До 1990 р. це співвідношення зменшилось більш ніж у 15 разів (64 кг води на 1 кг паперу і картону). З них 34 кг йшло на виробництво целюлози і 30 кг - на виготовлення паперу і картону. У Німеччині у зв'язку з ростом платежів за стічну воду і завдяки подальшому вдосконаленню технології витрати води скорочено до 20-30 кг, деякі виробники цілком виключили стічні води з виробництва пакувального паперу завдяки повторному її використанню. Витрати досягли 1,5 кг свіжої води на 1 кг пакувального паперу (свіжу воду додають в оборотні води).

7. *Ефективність побутового споживання води.* У США вважають, що витрати 303 л води на 1 людину в день це марнотратство. Дотримання вимог національних стандартів дає змогу зменшити її витрати на 35% завдяки заміні старого сантехнічного обладнання на нове. До кожного приладу треба підходити прискіпливо. Наприклад, душ, у якому витрати 2 л/хв (9,5 за стандартом), досягається за рахунок використання потоків теплового повітря. Ефективне водоспоживання можна поєднувати з альтернативним водозабезпеченням, наприклад, використання дощової води могло б скоротити потребу у комунальному водозабезпеченні на 90% при заощадженні мила. Ефективні іригаційні системи, збереження дереву і насадження невологолюбних дерев, можуть легко скоротити споживання води на 50% і більше. Експериментальні будинки із замкненим циклом життєзабезпечення: використовуються стічні води, енергія сонця і невеликих вітряків: сміття можна на 84-80% утилізувати шляхом компостування і переробки.



8. *Виробництво бавовни за зменшених витрат води.* На кожен кг бавовняних, паперових виробів зазвичай витрачається 5 т води. На фірмі «Брикхауз» у Варендорфі (Німеччина) у результаті вивчення руху матеріалів (екоаудит) скоротили витрати води на 80 % (зі 165 л на 1 кг проданої бавовняно-паперової продукції), стічної води на 92% і споживання енергії на 13%.

9. *Зменшення потоків матеріалів у промисловості.* Відходи - це свідчення неефективного керування, яке впливає на кінцевий результат. Перетворення небажаних, і навіть небезпечних побічних продуктів нині розглядають як вигідний шлях до збільшення прибутку. У 1992 р. в США на 75 окремих підприємствах у різних галузях промисловості досліджено заходи щодо запобігання забрудненню НПС (екологічний аудит). Виявилося, що середній період окупності капіталовкладень на скорочення відходів становить тільки 1,58 року: річний прибуток на інвестиції знаходиться на рівні 63%. Є й фантастичні результати. Корпорація «Ксерокс», наприклад, планувала у 1997 р. скорочення відходів на 90 %, а фірма AT&T вже скоротила токсичні викиди у повітря на 95% і викиди ХФВ на 98%.

10. *Холодильна камера «ФРІА»: комора і система підігрівання води.* Розташування цієї камери в будинку подібне до розташування комори або льоху. У таких країнах як Німеччина, в коморі три-п'ять місяців на рік така сама температура, як у звичайному холодильнику. «ФРІА» - це свого роду багатокамерний холодильник з конструктивними особливостями, які запозичені у коморі з використанням для охолодження товстішої та якіснішої ізоляції. Можна включати морозильні камери. Стандартна модель споживала не більш ніж 0,40 кВт енергії на добу порівняно з традиційними 0,85 кВт. Якщо інтегрувати в холодильник «ФРІА» систему підігрівання води «Цеоліт», то можна ще більше підвищити її ефективність.

11. *Послуги з прання білизни і вертикальний транспорту будівлях.* Для зниження витрат ресурсів багато пристроїв у будівлях можна оптимізувати. Застосувавши правильно систему стимулювання переходу від великої кількості виробів з нетривалим строком служби до невеликої кількості виробів довготривалого використання, можна значно знизити матеріальні потоки у наданні послуг. Автоматичні пральні замість пральних машин у багатоквартирних будинках. Ефективність використання матеріалів можна підвищити у 10 разів. Фірма-виробник ліфтів здає їх в оренду на контрактній основі з технічним обслуговуванням – 70 % доходів фірми - від таких послуг.

12. *Повторне використання матеріалів знесених будівель.* Реконструкція будівель забезпечує економію енергії і матеріалів учетверо. Спеціальний проект у Канаді: реконструкція знесених будівель без завдання шкоди навколишньому середовищу. Згідно з оцінками, після знесення будівлі із загальним обсягом матеріалів: 64% - дерево, 30% -

цемент, 2% - метал та 3% - покрівля у разі звичайного знесення 92% цих матеріалів було б відправлено на звалище; в експериментальному проекті - тільки 5%, решта 95% використано повторно або перероблено.

13. *Багаторічна полікультура проти просапного землеробства.* Просапне землеробство спричинює дуже велику екологічну шкоду. В Інституті землі в Салінасі (Канзас, США) досліджують різноманітні ЕС - сотні видів багаторічних рослин у неораних ґрунтах. Мета - виведення багаторічних зернових культур і заміна ними однорічних, які є основою просапного землеробства, тобто повернення до історичних витоків цивілізації, але на вищому рівні врожаю. «Фактор 10», а фактично 100 - на таку величину в кінцевому підсумку можлива економія ресурсів, води, енергії та агрохімікатів. На виведення багаторічних полікультур можливо знадобиться піввіку чи й більше. Однак наукові підвалини уже закладено. Їх треба реалізувати у практичні справи в кожній країні. Цей Інститут створює також енергетичне незалежне фермерське господарство з традиційною системою землеробства. Проект «Сонячна ферма» - така назва експерименту з низьким рівнем витрат, передовою практикою обробітку ґрунту, фотогальванічної техніки, повітряних турбін тощо, тобто комплекс уже існуючих на практиці нововведень. З часом ці два проекти («Сонячна ферма» і «Багаторічна полі культура») будуть об'єднані. Це друга *сільськогосподарська революція* - заміна сільського господарства, що споживає енергію і втрачає землю, на землеробство, що продукує енергію і відтворює землю. До складових сільськогосподарської революції доцільно, мабуть, віднести і генетичну модифікацію в розумному обсязі і спрямуванні та органічне землеробство (без хімії і генетичне модифікованих організмів). Органічне землеробство це компроміс. Нині в Америці паралельно з розвитком біотехнологій у сільському господарстві зростає сектор органічного землеробства (за рахунок невеликих фермерських господарств). У Європі - органічне. Данія підійде до такого самого показника у 2010 р. За деякими прогнозами через десять років до 30% сільськогосподарських угідь в Європі використовуватимуться під органічне виробництво продуктів харчування, В Україні 40% картоплі з'їдають колорадські жуки. Генетичне модифіковані організми можна використовувати для фарбування бавовни, льону.

14. *Біоінтенсивне міні землеробство.* Нині людство вступило в еру уповільнення темпів зростання врожайності і навіть зниження абсолютної врожайності (ерозія, зменшення родючості ґрунтів тощо). Один з виходів – «біоінтенсивні фермерські міні господарства». У Південній Кароліні (США) на ґрунтах, які більшість визнала б непридатними для ведення сільськогосподарських робіт. Дж. Дживонс та його колеги з «Екологічного дійства» розробляють систему високопродуктивного і сталого сільського господарства. Їх система спирається на 4 основні принципи: глибокий обробіток ґрунту з метою забезпечення оптимального зростання коренів;

виробництво компостних культур для одержання добрив; інтенсивне вирощування рослин широкими рядками (ланками) для створення сприятливого клімату; змішане висівання різних культур для заплутування шкідників. Біоінтенсивні технології можуть повністю забезпечити потреби вегетаріанця у висококалорійних продуктах харчування всього на 200-400 м<sup>2</sup> землі (2-4 сотки) замість 4 тис. м<sup>2</sup> з механізованими і трудомісткими методами ведення сільськогосподарських робіт. Порівняно з традиційними методами, біоінтенсивні технології здатні знизити споживання води на одиницю виробленої продукції приблизно на 88%, скоротити енергетичні витрати, що не пов'язані з роботою на фермі, на 99% і подвоїти чистий прибуток на одиницю площі ферми. За винятком землі і небагатьох ручних інструментів початковий капітал практично дорівнює нулю. жодних витрат на хімікати теж не потрібно. Багато методів біоінтенсивного, мініатюризованого сільськогосподарського виробництва відомі у Китаї та інших країнах світу (в Україні це дачні ділянки) протягом тисячоліть. Відомі системи, які розмішують штабелями: кролі над ставком де розводять рибу, ставок сполучається з рисовим полем і овочевими ділянками, відходами з яких харчуються кролі.

*15. Оренда хімікатів: стратегія підвищення ефективності ресурсів.* У 1992 р. в Європі було продано 600 тис. т хлорованих вуглеводневих розчинників (очисників). З них перероблено тільки 90 тис. т, тобто 15%. Приблизно 450 тис. т випарилося як ЗР повітря; 20 тис. т спалено у сміттєспалювальних печах, приблизно 40 тис. т «зникло баз адреси», найшвидше як ЗР підземних вод. Отже, хлоровані вуглеводневі розчинники - це екологічно небезпечні продукти, без яких людство поки то не може обійтися. Сприятливим виходом як для виробників, так і для природи є нова філософія збуту, що має назву «оренда хімічних продуктів». Суть ідеї полягає в тому, що виробник хімічної продукції здійснює контроль над небезпечними ЗР протягом усього їх життєвого циклу. Крім того, діє принцип солідарної відповідальності за якість продукції. Небезпечні розчинники зберігаються і транспортуються у спеціальних контейнерах; використовується герметична систему перекачування. Завдяки контролю за використанням і транспортуванням хімічних продуктів замовники повторно отримують деяку кількість розчинників для використання і переробки. Отже, хлоровані вуглеводневі розчинники можна регенерувати і повторно використовувати більш ніж сто разів.

*16. Зменшити використання бетону без втрати міцності і сталості конструкцій стін.* Для кожної будівельної технології бетонних робіт розраховують «екологічні кошики» стосовно усіх матеріалів, що задіяні у процесі (технологічне паливо, метал, цемент тощо). Основний екологічний внесок у «кошик» роблять вода і стиснене повітря.

*17. Матеріал «белланд»: переробка пакувальної пластмаси.* Відходи пластмаси чи не найбільша екологічна проблема. Насамперед сортування.

У Німеччині всі пакувальні матеріали (метал, пластмаса або картонно-пластмасова упаковка) мусять мати маркування «зеленою крапкою», що свідчить про попередню оплату за переробку; матеріали з «зеленою крапкою» збираються у жовті сміттєві контейнери; папір - у блакитні ; все інше - у чорні. Скло збирають у спеціальні місця приймання. Проблема «жовтого ящика» вирішена для полівінілхлоридної, поліетиленової та іншої пакувальної пластмаси. Це «белланд», який розчиняється у воді за водневого показника  $pH > 7$ . Він має усі типові якості пластмаси, що дає змогу використовувати його як для виробництва м'якої пакувальної фольги, так і різних міцних деталей. Там, де забезпечується роздільний збір побутового сміття, відходи «белланд» треба збирати у контейнер з папером. На першому ж етапі, коли він переробляється на паперову масу, «белланд» можна відокремити з мінімальними додатковими витратами. Найбільша вигода буде, коли з нього почнуть виготовляти посуд і столові набори для кафе типу «Бістро» і «Макдональдс». Зібраний брудний посуд легко переробляти і виготовляти новий, без органічних відходів. З урахуванням життєвого циклу, в разі переходу з пакувальної пластмаси на «белланд» легко досягти збільшення ефективності матеріалу в 4-10 разів.

*18. Повторне використання пляшок, склянок і великих посудин.* У Північній Європі для пляшок під мінеральну воду і пиво широко використовують систему «повернення грошей - вторинне використання». За статистикою, пляшку використовують близько 20 разів, іноді - 50 разів. Порівняно з одноразовими скляними пляшками, алюмінієвими банками чи з комбінованими пластмасовими місткостями система легко досягає «фактора 4» у підвищенні загальної ефективності ресурсів. Потрібно лише оптимально вирішити проблеми інтенсивного очищення використаної тари для повторного використання.

*19. Міцна дерев'яна конструкція.* Деревина - чудовий будівельний і оздоблювальний матеріал. На виробництво конструкцій з деревини йде менше однієї чверті («фактор 4») енергії. За певних умов (відбір, обробка і догляд) вони навіть надійніші за бетон. Якщо порівняти дерев'яні будівлі з цегляними з погляду витрат невідтворюваних мінеральних ресурсів, то аргументи «фактора 10». Все залежить від розумного збереження лісових масивів (санітарні рубання, насадження тощо) і від раціонального та ефективного використання матеріалів.

*20. Деревина у спорудженні будівель.* Замість м'якої деревини хвойних порід можна використати продукт з «технічної деревини» або «деревини з орієнтованими шарами» (пресування під високими температурою і тиском з дрібною м'якої деревини низького ґатунку, низької щільності (наприклад, осика чи тополя). На практиці це «синтетичне тверда деревина» з якої можна виготовити будь-які конструкції стін, стель з ефективною теплоізоляцією.

«Фактор чотири» - це потрібна ідея у потрібний час, яка має стати

символом прогресу. Збільшення вдвічі багатства при подвійному зменшенні споживання ПР - це шлях до екологічної рівноваги на Землі. Лише кілька прикладів з названої книги переконують у реальності пропонованого підходу. Як справедливо відмічають В.Я. Шевчук та ін. [51], Україні можна зібрати аналогічні зраз - створити умови для їх широкого розповсюдження

*Управління процесами екологізації* передбачає формування основних компонентів системи, якою управляють. Механізм реалізації завдань екологізації передбачає формування чотирьох взаємозалежних системних компонентів, які складають «квадрат екологізації»: 1) цілі і завдання екологізації; 2) об'єкти екологізації; 3) суб'єкти екологізації; 4) інструменти екологізації.

Найбільшого поширення в практиці ПК набули такі процедури екологічного управління: оцінка впливу на НС, екологічний аудит, екологічна оцінка життєвого циклу виробів, міжнародні стандарти екологічного менеджменту й аудиту, місцеві ініціативи із забезпечення сталого розвитку.

*Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС)* як стандартна процедура стала застосовуватися як екологічна ревізія (експертиза) великих господарських проектів. Звичайно ОВНС включає кілька стадій: виявлення необхідності і ступеня деталізації ОВНС; попередня оцінка впливу, визначення найбільш важливих типів для їх оцінки; дослідження впливу на НС; складання висновку про вплив на НС; рецензування фахівцями отриманих результатів, формування висновків про можливість реалізації чи нереалізації проекту, виявлення альтернатив розвитку (змін) проекту чи його повної заміни; моніторинг впливу і після проектний аналіз/аудит (ревізія післяпроектної діяльності).

*Екологічний аудит* визначає діагноз «екологічного здоров'я» підприємства, спроможність його «технологічного організму», виробничих систем само очищуватися і не забруднювати НС, виробляти екологічно чисту продукцію і бути привабливим для залучення інвестицій [56].

*Екологічний аналіз життєвого циклу продукції* – це аналітичний метод оцінки ефектів впливу на НС протягом усього часу існування даної продукції: з моменту її створення до знищення.

*Міжнародні стандарти екологічного менеджменту й аудиту* – це регламентовані міжнародною організацією із стандартизації (The International Organization for Standardization – ISO) порядок і зміст робіт і документів у сфері управління і аудиту. Система екологічних стандартів ISO 14000 орієнтована не на кількісні параметри (обсяг викидів, концентрації ШР і т.д.), не на технічні характеристики чи технологічні рішення, а на принцип постійного удосконалення. Стандарти ISO 14000 згруповані за трьома напрямками: регламентація загальних принципів; формування інструментарію; управління екологічною якістю продукції.

Офіційно стандарти ISO 14000 є добровільними; вони не підміняють законодавчих вимог. Виконання умов і вимог входження в європейську систему екологічного менеджменту та аудиту значно полегшуються, якщо організації починаю в цілому починають запроваджувати систему українських стандартів серії ДСТУ ISO 14000-97, які розроблено відповідно до міжнародних стандартів серії ISO 14000. Згідно з ISO 14001, *система екологічного управління (EMS)* – частина загальної системи управління, яка включає в себе організаційну структура, діяльність з плануванням, обов'язки та відповідальність, практику, процедури, процеси, ресурси для формування, впровадження, досягнення, аналізу та здійснення екологічної політики. Якщо раніше основними завданнями стандартів у ПК було вберегти систему від екологічно несприятливих змін, то сьогодні завдання принципово заміняються: вберегти зміні системи від несприятливих тенденції. Трансформація управлінських процедур ПК (від екологічної експертизи і екоаудиту до стандартів ISO 14000) переконує нас у цьому.

*Місцеві ініціативи щодо забезпечення сталого розвитку.* Суть таких починань – у реалізації рішень конференції в Ріо-де-Жанейро (1992 р) («думати глобально – діяти локально») – формуванні планів територіального розвитку. Найбільш важливою рисою місцевих процедур формування сталого розвитку територій є їхній динамізм.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды.- Л.: Гидрометеиздат,1991. - 424 с.
2. Рамад Ф. Основы прикладной экологии. Воздействие человека на биосферу. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 543 с.
3. Тетиор А.Н. Строительная экология.-К.: УМК ВО, 1991.- 276 с.
4. Одум Ю. Экология (в 2-х томах). - М.: Мир, 1986.
5. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. - М.: Мысль,1990. - 639 с.
6. Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології. - К.: Либідь, 1995. -368 с.
7. Топчиев А.Г. Геоэкология: географические основы природопользования. – Одесса: Астропринт,1996. – 392 с.
8. Некос В.Е. Основы общей экологии и неозологии. Часть 1 – 1999; Часть 2001. - Харьков: ХГУ.
9. Реймерс Н.Ф. Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы. - М.:Россия молодая, 1994. - 367 с.
10. Кучерявий В.П. Екологія. – Львів: Світ, 2000. – 500 с.
11. Вронский В.А. Прикладная экология. - Ростов на Дону: Изд-во «Феникс», 1996. - 512 с.
12. Куражковский Ю.Н. Очерки природопользования.- М.: Мысль, 1969.- 268 с.
13. Эндрэс А. Экономика окружающей среды. К.: Либідь, 1995. - 168 с.
14. Сахаєв В.Г., Шевчук В.Я. Економіка і організація охорони навколишнього середовища. - К.: Вища шк., 1995. - 272 с.
15. Чибилев А. А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. - 171 с.
16. Перельман А.И. Геохимия биосферы. - М.: Наука, 1973. - 168 с.
17. Гирусов Э.В., Бобылев С.Н., Новоселов А.Л. Чепурных Н.В. Экология и экономика природопользования/ Под ред. Э.В.Гирусова. – М.: Закон и право, ЮНИТИ, 1998. – 455 с.
18. Злобін Ю.А. Основи екології. К.: Лібра, 1998. - 248 с.
19. Агесс П. Ключи к экологии. - Л.: Гидрометеиздат,1982- 97 с.
20. Небел Б. Наука об окружающей среде /Пер. с англ. В 2-х томах. - М.: Мир,1993.
21. Кучерявий В.П. Урбоекологія. – Львів: Світ, 1999. – 320 с.
22. Орленок В.В. Вода в истории Земли и планет. - М.: Знание, 1990. - 48 с.
23. Шикломанов И.В. Мировые водные ресурсы. – Природа и ресурсы. – Т.1. - №1.- 1991. – С.81-91.
24. Фелленберг Г. Загрязнение окружающей среды. Введение в экологическую химию. – М.: Мир, 1997. – 232 с.
25. Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. – М.,1988.
26. Оценка и регулирование качества окружающей среды. Учебное пособие для инженера-эколога. Под ред. А.Ф.Порядина, А.Д.Хованского. – М.:НУМЦ Минприроды России, Изд-ий Дом «Прибой», 1996. – 350 с.

27. Данилов А.Д., Кароль И.Л. Атмосферный озон - сенсации и реальность. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 119 с.
28. Україна та глобальний парниковий ефект. Джерела і поглиначі парникових газів/Н.П.Іваненко, М.М.Калетник, М.А.Козелькевич та ін. – К.,1997.- 96 с.
29. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 1998-2000 рр.- К.,1999-2001.
30. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення. Гідроекологічні аспекти. – К.:ВЦ «Київський університет», 1999. –319 с.
31. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. - Л.: Гидрометеиздат,1987. - 248 с.
32. Магмедов В.Г. Проблема охраны подземных вод от загрязнения. - В кн.:Проблемы охраны вод: Тр. УкрНЦОВ. - Харьков,1993.- Вып.1,2.- С.41-48.
33. Рябчиков А.М., Саушкин Ю.Г. Современные проблемы исследования окружающей среды. – Вестн. МГУ. География. – 1973. – №3.
34. Зайцев Ю.П. Самое синее в мире/ Черноморская экологическая программа ГЭФ. – Издательство ООН. – Нью-Йорк, 1998. – 142 с.
35. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями/В.Д.Романенко, В.М.Жукинський, О.П.Оксіюк, А.В.Яцик та ін. – К.:СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с.
36. Сучасті технології очистки стічних вод/О.А.Василенко, В.О.Герновцев, Л.О.Василенко та ін. – К.: ДПМК Мінекобезпеки України, 1998. – 62 с.
37. Яблоков А.В. Сельское хозяйство без пестицидов. – В кн.: Экологическая альтернатива. – М.: Прогресс, 1990.- С. 49-52.
38. Кузин А.М. Природный радиационный фон – зло или благо? – Наука и человечество,1990 – М.: Знание, 1990. – С.157-165.
39. Савченко В.К. Чернобыльская катастрофа и биосфера. – Природа и ресурсы, 1991, т. 27, № 3-4. – С. 499-520.
40. Охрана ландшафтов:толковый словарь. – М.:Прогресс, 1982.- 271с.
41. Мельник Л.Г. Екологічна економіка: Підручник. - Суми, ВТД «Університетська книга», 2002. – 346 с.
- 42.Скиннер Б. Хватит ли человечеству ресурсов?-М.: Мир,1989.-264 с.
43. Люкшин В.С., Камзист Ж.С., Коваленко А.В. Рациональное природопользование: методические рекомендации, - К., 1995. – 397 с.
44. Данилишин Б.М., Дорогунцов С.І., Міщенко В.С., Я.В.Коваль, М.М.Паламарчук. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України. – К.: РАПС України, 1999. – 716 с.
45. Окружающая среда. – М.: Прогресс- Пангея, 1993, - 635 с.
46. Обухов Є.В. Використання відновлюваних джерел енергії. – Одеса: «ТЭС», 1999. – 254 с.
47. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: Гл. Ред. МСЭ, 1989, - 408 с.
48. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в СССР/Статистический сб. – М.,1989.
49. Ивонин В.М. Экологическое обоснование мелиораций на черноземах//Изв. СКНЦ ВШ. Естеств. науки. – 1991. – № 4.



50. Демина Т.А. Экология, природопользование, охрана окружающей среды. – М.: Аспект Пресс, 1998. – 143 с.
51. Екологічне підприємництво: Навчальний посібник/ Шевчук В.Я., Саталкін Ю.М., Навроцький В.М. та ін. – К.: Мета, 2001. – 197 с.
52. Яншин А.Д. Научные проблемы охраны природы и экологии. – Экология и жизнь. – 1999.- 3(11). – С. 6-9.
53. Буркинский Б.В., Степанов В.Н., Харичков С.К. Природопользование: основы экономико-экологической теории. – Одеса: ИПРЭЭИ НАН Украины, 1999. – 350 с.
54. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде/Пер. с англ. Т. 1. – М.: Прогресс-Пангея, 1993, - 256 с.
55. Вайцеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре. Затрат – половина, отдача – двойная. Новый доклад Римскому клубу. – М.: Academia, 2000. – 400 с.
56. Екологічний аудит: Підручник/ В.Я. Шевчук, Ю.М. Саталкін, В.М. Навроцький. – К.: Вища шк., 2000. – 344 с.

## **УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ**

**БС**- біосфера  
**НПС** - навколишнє природне середовище  
**ЕС**- екосистема  
**ПС** – природна система  
**ЖР** – жива речовина  
**ЗР**- забруднююча речовина  
**ШР** – шкідлива речовина  
**ХР** – хімічна речовина  
**ПК** – природокористування  
**БК** – біологічний кругообіг атомів  
**ПХБ** – поліхлорировані біфеніли  
**ПАВ** – поліциклічні ароматичні вуглеводні  
**ХОП** – хлорорганічні пестициди  
**ФОП** – фосфорорганічні пестициди  
**ГДК** - гранично допустима концентрація  
**ТУК** – тимчасово узгоджена концентрація  
**ТУП** – тонн умовного палива  
**ЛК** – летальна концентрація  
**ПК** – порогова концентрація  
**ОБРВ** - орієнтовно безпечний рівень впливу  
**ГДВ** – гранично допустимий викид  
**ХФВ** – хлорфторвуглеці  
**ДДТ** – діхлордіфенілтрихлоретан  
**ТХДД** – 2,2,7,8-тетрахлордібензодіоксин  
**ПАН** – пероксиацетилнітрат  
**ПХБ** – поліхлорбіфеніли  
**ГДС** – гранично допустимий скид  
**СБО** – станція біологічної очистки  
**БСК** – біохімічне споживання кисню  
**СПАР** – синтетичні поверхнево-активні речовини  
**ЛОШ** – лімітуюча ознака шкідливості  
**ІЗВ** – індекс забруднення вод  
**ПВ** – підземна вода  
**ГВ** – ґрунтова вода  
**ТПВ** – тверді побутові відходи  
**НРБ** – норми радіаційної безпеки  
**НП** – нафтопродукти  
**ПР** – природні ресурси  
**ПУ** – природні умови  
**ПРП** - природно-ресурсний потенціал  
**ЕЕП** – еколого-економічний потенціал  
**СР** – сталий розвиток  
**ЕСР** – екологічно сталий розвиток  
**ЕП** – енвайронментальний простір  
**ВВС** – вуглеводнева сировина  
**ПЗЧМ** - північно-західна частина Чорного моря  
**ПЗФ** – природно-заповідний фонд

**Навчальний посібник**

**Сафранов Тимур Абісалович**

**ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

Здано у виробництво

Підписано до друку

Формат Папір офсетний

Ум. Друк. Арк. 11,5. Тираж 150

Віддруковано у

Тел. :

---

Одеський державний екологічний університет

65016, Одеса-16, Львівська, 15