

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський державний екологічний університет

Т.А. Сафранов

ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ ТА НЕОЕКОЛОГІЯ

Конспект лекцій

Одеса – 2018

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	6
1 ЕКОЛОГІЯ В СИСТЕМІ ПРИРОДНИЧИХ, СОЦІАЛЬНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ НАУК	6
2 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОЕКОЛОГІЇ (КЛАСИЧНОЇ ЕКОЛОГІЇ)	18
2.1 Основні положення аутоекології (факторіальної екології)	18
2.1.1 Абіогенні (абіотичні) фактори	22
2.1.2 Біогенні (біотичні) фактори	24
2.1.3 Антропогенні фактори	26
2.2 Основні положення демаекології (популяційної екології)	27
2.2.1 Статичні параметри популяції	28
2.2.2 Чисельність та щільність організмів в популяціях	28
2.2.3 Динамічні параметри популяції	30
2.3 Основні положення синекології (екосистемології)	32
2.3.1 Особливості кругообігу речовин в екосистемах	35
2.3.2 Особливості трансформації енергії в екосистемах	37
2.3.3 Структура екосистем	41
2.3.4 Динаміка екосистем	43
2.3.5 Приклади екосистем і принципи їх класифікації	45
3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОСФЕРОЛОГІЇ (ГЛОБАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ)	48
3.1 Загальні уявлення про біосферу	48
3.2 Жива речовина і її роль в біосфері	53
3.3 Особливості глобальних біогеохімічних циклів	56
3.4 Суть глобального біологічного контролю	62
3.5 Схема еволюції біосфери	64
3.6 Основні причини порушення стійкості біосфери	68
4 АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ЙОГО НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ	75
4.1 Загальні уявлення про антропогенний вплив	75
4.1.1 Особливості фізичного забруднення довкілля	78
4.1.2 Особливості хімічного забруднення довкілля	83
4.1.3 Особливості біологічного забруднення довкілля	85
4.1.4 Особливості забруднення довкілля відходами	86
4.2 Антропогенний вплив на атмосферу та його негативні наслідки	90
4.2.1 Основні речовини, що забруднюють атмосферу, та їх трансформація	90
4.2.2 Основні джерела антропогенного забруднення атмосфери	94
4.2.3 Негативні наслідки забруднення атмосфери	96
4.2.4 Основні напрями охорони атмосфери	106
4.3 Антропогенний вплив на гідросферу та його негативні наслідки	108
4.3.3 Принципи оцінки якості поверхневих вод	109

<i>4.3.2 Екологічні проблеми поверхневих вод суші</i>	115
<i>4.3.3 Особливості забруднення морських вод</i>	117
<i>4.3.4 Особливості забруднення підземних вод</i>	119
<i>4.3.5 Негативні наслідки антропогенного забруднення природних вод та їх охорона</i>	122
4.4. Антропогенний вплив на педосферу та його негативні наслідки	127
<i>4.4.1 Загальні відомості про педосферу</i>	127
<i>4.4.2 Основні причини деградації ґрунтового покриву</i>	129
<i>4.4.3 Наслідки забруднення ґрунтового покриву та його охорона</i>	132
4.5 Антропогенний вплив на геологічне середовище та його негативні наслідки	138
<i>4.5.1 Загальні відомості про геологічне середовище</i>	138
<i>4.5.2 Основні екологічні функції геологічного середовища</i>	140

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕС – атомна електростанція
БГЦ – біогеоценоз
БКА – біологічний кругообіг атомів
БС- біосфера
БСК – біохімічне споживання кисню
ВВ - вуглеводні
ВМ – важкі метали
ГЕС – гідроелектростанція
ГВ – ґрунтова вода
ГДВ – гранично допустимий викид
ГДК - гранично допустима концентрація
ГДС - гранично допустимий скид
ГМО - генетично модифікований організм
ГПЗ – геопатогенна зона
ГМП - геомагнітне поле
ГС – геологічне середовище
ДДТ – діхлордіфенілтрихлоретан
ЕС- екосистема
ЕФ – екологічний фактор
ЖР – жива речовина
ЗПК – збалансоване природокористування
ЗР- забруднювальна речовина
ІЗВ – індекс забруднення вод
ІЧВ – інфрачервоне випромінювання
ККД - коефіцієнт корисної дії
ЛК – летальна концентрація
ЛОШ – лімітуюча ознака шкідливості
НРБ – норми радіаційної безпеки
НПС - навколишнє природне середовище
НП – нафтопродукти
НС - навколишнє середовище
ОБРВ - орієнтовно безпечний рівень впливу
ПАВ – поліциклічні ароматичні вуглеводні
ПАН – пероксиацетилнітрат
ПВ – підземна вода
ПГ – парникові гази
ПЗФ – природно-заповідний фонд
ПЗЧМ - північно-західна частина Чорного моря
ПК – природокористування
ПР – природні ресурси
ПРП – природно-ресурсний потенціал
ПУ – природні умови
ПХБ - поліхлоровані біфеніли
ПХДД - поліхлоровані дибензодіоксини
ПХДФ - поліхлоровані дібензофурані
ПЧЛ - приповерхнева частина літосфери
СБО – станція біологічної очистки
СЗВ – синьо-зелені водорості

СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини
ТПВ – тверді побутові відходи
ТХДД – тетрахлордібензодіоксин
УФВ – ультрафіолетове випромінювання
ХЕ – хімічний елемент
ХПК – хімічне споживання кисню
ХФВ – хлорфторвуглеці
ХФВВ – хлорфторвуглеводні
ХОП – хлорорганічні пестициди
ФАР - фотосинтетично активна радіація
ФОП – фосфорорганічні пестициди
ШР – шкідлива речовина

ВСТУП

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.

На конференції ООН по навколишньому середовищу і розвитку (Саміт «Планета Земля»), що проходила в Ріо-де-Жанейро в червні 1992 року, було ухвалено низку важливих документів, серед яких, зокрема «Порядок денний на ХХІ століття» («Agenda 21»), за який проголосували керівники 179 країн світу. Було зазначено, що економічний розвиток не може зупинитися, але він повинен посуватися іншим шляхом, припинивши так активно руйнувати навколишнє середовище. Важливим підсумком конференції стало проголошення концепції сталого розвитку, яка базується на розумінні тісного взаємозв'язку екологічних, економічних і соціальних проблем людства. Всесвітній саміт зі сталого розвитку «Ріо + 10», який проходив у Йоганнесбурзі (26 серпня – 4 вересня 2002 року), підбив підсумки виконання завдань, проголошених десять років тому в Ріо-де-Жанейро, а також був присвячений обговоренню принципових питань подальшого розвитку суспільства та його життєдіяльності в природі.

Збереження людської цивілізації залежить від наших знань про природу і дій, спрямованих на збереження і поліпшення довкілля шляхом розумного втручання, а не руйнування його в процесі нераціонального використання. Проблеми природокористування розглядаються з екологічних, економічних, технічних, географічних, біологічних, законодавчо-правових та інших аспектів. Особливо важливе значення має екологічне обґрунтування раціонального використання природних ресурсів, яке повинно базуватись на уявленнях як класичної (біологічної), так і сучасної екології (неоекології).

Однією 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 збалансованого природокористування. Промислові об'єкти в багатьох регіонах були 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 безпечних 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.

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 ресурсоємних 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.

1 ЕКОЛОГІЯ В СИСТЕМІ ПРИРОДНИЧИХ, СОЦІАЛЬНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ НАУК

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 (НС), 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 древньогрецьких філософів містились відомості екологічного характеру. Однак, чисто екологічні дослідження стали проводитися лише в ХХ столітті, особливо в 1968-1970 рр., коли дуже гостро стали перед людством проблеми забруднення природних середовищ, зростання населення, виробництва продуктів харчування, мінеральних і енергетичних ресурсів та ін. Змінилося і саме поняття терміна «екологія».

Відомо, що екологія походить своїм корінням з біології, але вже вийшла з цих вузьких рамок, оформившись у принципово нову інтегральну дисципліну, яка пов'язує фізико-хімічні і біологічні явища, вивчає розвиток, функціонування та прогнозування процесів сучасної біосфери та антропосфери і створює місток між природничими, соціально-гуманітарними і технічними науками.

Як відмічав *М.Ф. Реймерс* [1, 2], сучасна екологія з суто біологічної науки перетворилася в значний цикл знань, увібравши в себе розділи географії, геології, хімії, фізики, соціології, теорії культури, економіки, навіть теології - по суті справи, всіх відомих наукових дисциплін. Сучасна екологія розподіляється на низку наукових галузей і дисциплін, часом далеких від первинного розуміння екології як біологічної науки, хоч в основі всіх сучасних напрямків екології лежать фундаментальні ідеї біоекології, але основним об'єктом досліджень нині є не окремі біосистеми різних ієрархічних рівнів, а їх взаємодії з абіогенним середовищем, насамперед, взаємодії біоценозів та біотопів.

Структурні підрозділи екології виділяють за такими ознаками: 1) за розміром об'єктів вивчення; 2) по відношенню до предметів вивчення; 3) за середовищем і компонентами; 4) за підходами до предмета; 5) з точки зору на фактор часу [1].

Екологію за розмірами об'єктів вивчення ділять на: аут(о)екологію (організм і його середовище); популяційну екологію або демекологію (популяція і її середовище); синекологію (біотичне угруповання і його середовище); географічну або ландшафтну екологію (великі геосистеми, географічні процеси за участю живої речовини і її середовища); глобальну екологію (мегаекологію, вчення про біосферу Землі).

По відношенню до предметів вивчення екологію поділяють на: екологію мікроорганізмів (прокаріот), грибів, рослин, тварин, людини; сільськогосподарську, промислову (інженерну), загальну екологію (як теоретичну узагальнюючу дисципліну).

За середовищем і компонентами розрізняють екологію суші, водоймищ, морську екологію, екологію Крайньої Півночі, екологію високогір'їв, екологію хімічну (геохімічну, біогеохімічну) і т.д.

За підходами до предмета виділяють аналітичну екологію (вивчає сучасні закономірності взаємовідношень організмів і їх популяцій з природним середовищем) і динамічну екологію (вивчає відношення організмів і їх популяцій з середовищем проживання в динаміко-еволюційному аспекті).

З точки зору на фактор часу розглядають історичну екологію (вивчає різні природні системи в межах часу впливу на них людини) і еволюційну екологію (вивчає екологічні аспекти еволюції).

У системі екології людини виділяють соціальну екологію (взаємовідносини соціальних груп суспільства з їх середовищем життя), яка на відміну від екології індивіда і екології людських популяцій за функціонально-просторовим рівнем рівна синекології, але має ту особливість, що співтовариства людей у зв'язку з їх середовищем мають домінанту соціальної організації [1].

Г.О. Білявським та ін. [3] 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.

Загальна екологія – розділ екології, що досліджує загальні закономірності взаємовідносин біотичних і абіотичних складових екосистем. За М.Ф. Реймерсом [1], загальна екологія – галузь науки про загальні закономірності взаємовідношень організмів і середовища (на думку деяких вчених – лише надорганізмові системи), характерних як для прокаріот, грибів і рослин, так і для тварин (включаючи людину як біологічну істоту).

Деякі фахівці головною складовою загальної екології вважають теоретичну екологію, яка визначає загальні закони функціонування екосистем (ЕС). Цьому допомагають експериментальна та математична екологія (моделювання екологічних процесів, обробка інформації та кількісний аналіз), що входять до складу загальної екології. Загальну екологію слід виділити від низки прикладних екологічних наук як теоретичну, але з умовою, що основу її становить біоекологія з усім колом сучасних проблем [4].

За М.Ф. Реймерсом [1], основними структурними гілками біоекології є: екологія історична, археоекологія, екологія еволюційна, палеоекологія; аутекологія, демекологія, синекологія; екологія тваринного світу, екологія рослин; екологія інших систематичних груп (рис. 1.1).

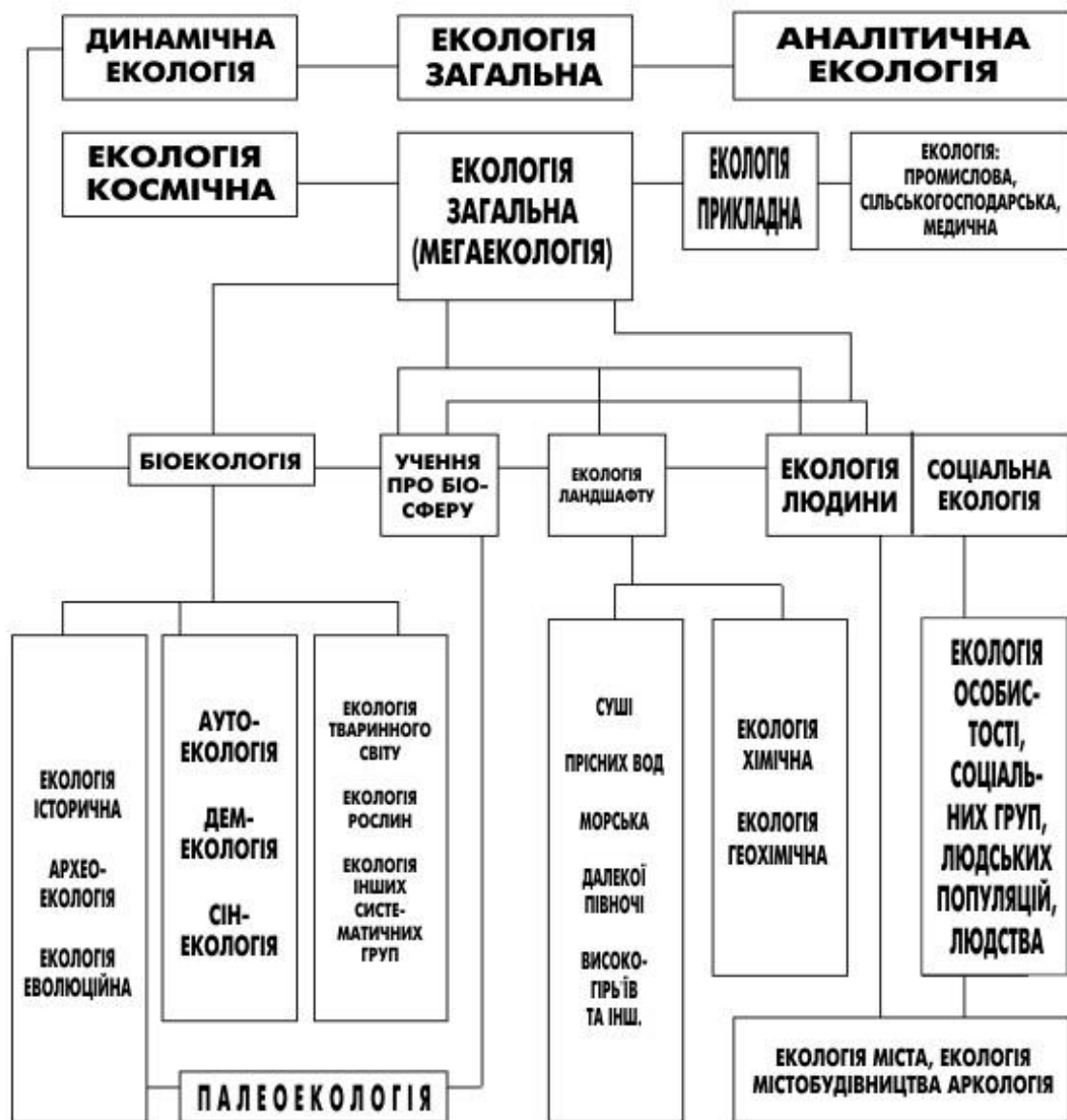


Рис. 1.1 - Підрозділи екології за М.Ф. Реймерсом (1990).

На думку Г.О. Білявського та ін. [4], біоекологія вивчає найзагальніші закономірності взаємовідносин організмів та їх угруповань із зовнішнім середовищем у природних умовах, формує уявлення про екологію як економіку природи на основі вивчення потоків речовин, енергії та інформації в життєдіяльності організмів, їх груп та біологічних систем. Вона є материнським субстратом і головною складовою сучасної екології. У складі біоекології вказані автори виділяють: екологію систематичних груп організмів (аутоєкологія, демєкологія, синєкологія, екологія людини, тварин, рослин, грибів і мікроорганізмів); екологію закритих систем; палеоекологію; основи біоіндикації; екологію клітин і тканин; еволюційну екологію; рекреаційну екологію та заповідну справу; біосферологію. Навряд чи доречно всі ці розділи включати до складу біоекології (наприклад, екологію клітин і тканин – це розділ ендоекології, а біосферологія – це глобальна екологія). В «Екологічному словнику» (2001) наводиться більш лаконічне визначення біоекології – дисципліна, що вивчає відношення організмів

(особин, популяцій, біоценозів) між собою і навколишнім середовищем. Саме це визначення прийняте за основу при визначенні структури окремих розділів цього навчального посібника.

Прикладна екологія вивчає механізми руйнування БС, розробляє методи запобігання йому й способи раціонального ПК. За *Г.О. Білявським* та ін. [4] вона складається з трьох основних блоків - геоекологія, техноекологія і соціальна екологія, але за *М.Ф. Реймерсом* [1], прикладна екологія трактується як наука, що вивчає механізми руйнування біосфери (БС) людиною, способи запобігання цьому процесу і розробки принципів раціонального використання природних ресурсів без деградації середовища життя; прикладна екологія базується на системі законів, правил і принципів екології і природокористування.

Геоекологія вивчає специфіку взаємовідносин організмів і середовища їх існування в різних географічних зонах, дає екологічну характеристику різних географічних регіонів, областей, районів, ландшафтів, розглядає наслідки ендо- й екзогенних геологічних процесів, видобування корисних копалин [4].

Техноекологія пов'язана із такими об'єктами людської діяльності, як енергетика, промисловість, сільське господарство, транспорт, військова справа, космос. Вона визначає обсяги, механізми й наслідки впливів на довкілля та здоров'я людини різних галузей і об'єктів, особливості використання ними природних ресурсів, розробляє регламентацію ПК й технічні засоби охорони природи, опікується проблемами поводження з відходами та відтворення зруйнованих ЕС, екологізацію виробництва.

Соціальна екологія досліджує специфічну роль людини в довкіллі не як біологічного виду, а соціальної істоти, вивчає шляхи оптимізації взаємовідносин людського суспільства з природою, формує екологічну свідомість, екологічну культуру тощо.

Як відмічає *В.П. Кучерявий* [5, 6], екологію можна умовно поділяти на п'ять великих підрозділів: 1) *аутекологія*, або *факторіальна екологія* (вивчає взаємозв'язки представників виду з оточуючим їх середовищем, а також вплив середовища на морфологію, фізіологію та поведінку організмів); 2) *демекологія* (описує коливання чисельності різних видів і встановлює їх причини); 3) *синекоекологія* (аналізує стосунки між особинами, що належать до різних видів даного угруповання організмів, а також між ними і оточуючим середовищем); 4) *біогеоценологія*, або *екосистемологія* (вивчає біогеоценотичний шар земної кулі і, зокрема, конкретні біогеоценози, в яких взаємодіють біоценози і абіотичне середовище); 5) *біосферологія* або *глобальна екологія* (вивчає біосферу як єдине планетарне ціле, з'ясовує закономірності еволюції біосфери).

Існує велика кількість сучасних визначень поняття «екологія», які мають як багато загального, так і принципово відрізняються. Одні автори дотримуються первинного визначення *Е. Геккеля* (1866 р.) і розглядають екологію, як біологічну науку. Наприклад, за визначенням *Д.М. Гродзинського* [7], екологія в класичному розумінні біологічна наука, яка досліджує взаємодії рослин, тварин, грибів, мікроорганізмів та вірусів між собою та навколишнім середовищем. Інші вчені істотно розширили зміст класичної екології (біоекології), аж до надання абсолютно іншого значення самій науковій дисципліні. На думку *Г.О. Білявського* та ін. [4], «сучасна екологія з традиційної екології виросла в комплексну, складну, багатогранну інтегральну науку-лідера, стала філософією виживання людства – екологічною філософією». «...Сучасна екологія – це нова комплексна наука про виживання в довкіллі, завдання якої – пізнання законів розвитку й функціонування біосфери як цілісної системи під впливом природних і, головне, антропогенних факторів, а також визначення шляхів ефективного співіснування техносфери й біосфери».

Сучасна загальна, або «велика» екологія (мегаекологія) трактується як науковий напрям, що розглядає якусь значиму для центрального члена аналізу (суб'єкта, живого об'єкта) сукупність природних і почасти соціальних (для людини) явищ і предметів з точки зору інтересів цього центрального суб'єкта або живого об'єкта. Формується «неоекологія» зі своїм об'єктом дослідження, методами, понятійно-термінологічним апаратом і структурою [8]. Основною передумовою для виділення новітнього етапу в розвитку екологічної науки («неоекології») є зростаючі масштаби антропогенезу (техногенезу). Саме ця обставина і стала причиною розширення меж класичної екології та формування сучасної екології («неоекологія»). Але при цьому необхідно враховувати важливість процесів антропогенного впливу на умови функціонування живих організмів і природних екосистем в цілому, не претендуючи на якусь універсальність цього впливу при вирішенні всіх природоохоронних завдань.

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.

Базовими поняттями в екології є «середовище», «навколишнє середовище», «природне середовище», які характеризуються різноплановістю тлумачення: *середовище* – сукупність всіх умов, що оточують річ, рослину, тварину чи людину і безпосередньо чи опосередковано впливають на них; *навколишнє середовище* (НС) – сукупність абіотичного, біотичного і соціального середовища, що разом справляють вплив на людину (біоту) та її життєдіяльність; *навколишнє природне середовище* (НПС) – сукупність абіотичного, біотичного і соціального середовища, що разом справляють вплив на людей та їх господарство (більш вузьке поняття, ніж НС).

Оскільки *навколишнє середовище* являє собою сукупність фізичних (природних), природно-антропогенних (культурних ландшафтів, населених місць тощо) та соціальних факторів життя людини [1], 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 виходити з принципів антропоцентризму, то за головний і інтегральний показник екологічної обстановки в тому або іншому регіоні можна прийняти стан

здоров'я нащадків з подальшим визначенням патогенної ролі окремих природних і техногенних факторів.

Внаслідок невизначеності поняття «екологія», тісного зв'язку її з енвайронментологією і природокористуванням, поки що 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.

Екологічна діяльність нині обов'язкова, а здебільшого – одна із основних складових будь-якої сфери людської діяльності.

Екологія найтісніше пов'язана з *енвайронментологією* (від англ. *environment* - навколишнє середовище) – комплексною наукою про оточуюче середовище людини (насамперед природного середовища), його якість і охорону, а також з *енвайронменталістикою* - технічним додатком до енвайронментології, включаючи очищення викидів в атмосферу, стічних вод, утилізацію відходів та інших технологічних аспектів охорони і поліпшення середовища. В літературі частіше мова йде про охорону природи або охорону навколишнього середовища, однак під «охороною природи» традиційно мається на увазі введення заборон, а не оптимізація природокористування. *Охорона природи* – система заходів, спрямованих на підтримку взаємодії між діяльністю людини і навколишнім природним середовищем, що забезпечує зберігання і відновлення природних ресурсів, попереджуючих прямий і опосередкований вплив результатів діяльності суспільства на природу і здоров'я людини. Охорона природи – прикладна екологічна галузь знань про збереження систем життєзабезпечення Землі – одним словом може бути визначена як *созологія* (від «созо» – «рятую») [2].

Окрім того, екологія тісно пов'язана з *природокористуванням* - наукою про сукупність впливів людства на географічну оболонку Землі, що розглядається в комплексі (на відміну від галузевих понять водокористування, землекористування, лісокористування та ін.).

В сучасній екології, енвайронментології і природокористуванні, на жаль, домінують принципи *антропоцентризму* (егоцентризму) – світогляду, який трактує людину як центр і найвищу мету світобудови. Чисельні сучасні екологічні імперативи охорони навколишнього середовища та природокористування є відверто антропоцентричними.

У зв'язку з цим екологічна складова сучасної енвайронментології і оптимального природокористування повинна ґрунтуватися на принципах *біоцентризму* (екоцентризму) - погляду, згідно якого будь-яке життя має цінність і вважається центральним критерієм діяльності.

Таким чином, сучасна екологія – це міждисциплінарна, комплексна, інтегрована наука, яка сформувалася і продовжує формуватися на перетині природничих, соціальних і технічних наук. Вона найтіснішими зв'язками пов'язана з енвайронментологією і природокористуванням. Як зазначає М.Ф. Реймерс [1]: «Екологія як така – лише фундаментальна основа для природоохоронного і середовищохоронного 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».

Таким чином, предметом вивчення класичної екології є закономірності взаємовідносин живих організмів між собою та навколишнім середовищем, характерних як для рослин, тварин, грибів, мікроорганізмів та вірусів, так і для людини, а також структурно-функціональна організація екосистем як своєрідних утворень. Предметом вивчення неоекології виступають закономірності розвитку, функціонування

і прогнозування подальшого стану антропосфери (частини біосфери, яка використовується і видозмінюється людьми).

Перші повідомлення екологічного характеру містилися в працях *Геракліта* (530-470 рр. н.е.), *Гіппократа* (460-356 рр. н.е.), *Аристотеля* (384-322 рр. до н.е.), *Теофраста Ерезійського* (372-287 рр. до н.е.), *Плінія Старшого* (23 -79 рр.) та інших філософів.

Другий етап розвитку екологічної науки пов'язаний із великомасштабними дослідженнями в природі шведського природознавця *К. Ліннея* (1707-1778); російських вчених *М. Лєньохіна* (1740-1802), *К.Ф. Рульє* (1814-1858), *М.О. Северцова* (1927-1885), *А.М. Бекетова* (1825-1902); німецького біогеографа *О. Гумбольдта* (1769-1859); англійського вченого-еволюціоніста *Ч. Дарвіна* (1809-1882) та ін. До речі, *О. Гумбольдт* одним із перших став на шлях вияву глибинних зв'язків між людством та природним середовищем.

Третій етап системних екологічних досліджень охоплює кінець XIX – першу половину XX ст. і пов'язаний з іменами російських вчених *В.В. Докучаєва* (1846-1903), *Г.Ф. Морозова* (1867-1920), *В.М. Сукачова* (1880-1967), українських – *Г.М. Висоцького* (1865-1940), *П.С. Погрібняка* (1900-1970), багатьох іноземних дослідників. Помітне місце в розвитку системних екологічних досліджень посідають праці німецьких вчених *Е. Геккеля*, *Р. Гессе*, *В. Кюнельта*, американських *В. Шелфорда*, *Р. Чепмена*, *Г. Кларка*, англійських – *Ч. Елтона*, *А. Тенслі*, швейцарця *К. Шретера* та ін. Розвиток екосистемного аналізу сприяв виникненню вчення про біосферу та ноосферу *В.І. Вернадського*.

Більш детальні уявлення про виникнення і розвиток екологічних знань наведені у підручниках *В.П. Кучерявого* [5, 6] та у багатьох інших джерелах інформації.

У розвитку екології як науки можна виділити декілька основних етапів або періодів [9]:

I період - до 1866 р., тобто до введення *Е. Геккелем* терміну «екологія» і обґрунтування її як самостійної наукової дисципліни; для цього періоду характерна відсутність власного понятійного апарату.

II період - від 1866 до 1936 р. - період формування факторіальної екології, виявлення закономірностей відносин тварин і рослин до різноманітних абіотичних факторів.

III період - з 1936 р. до початку 1970-х років - період сінекологічних досліджень.

IV період - з початку 1970-х років до середини 1980-х років - вивчення екосистем в їх розвитку.

V період - останні роки - становлення системного підходу до вивчення екологічних об'єктів.

Основні етапи розвитку екологічної науки можна пов'язати з *правилом економіко-екологічного сприйняття* (*Дж. Стайкос*, 1970 р.) - проблеми довкілля сприймаються в чотири етапи, яким відповідають певні фази еколого-економічних суспільних відносин:

1) ні розмови, ні дії (економічний розвиток за цілковитого ігнорування екологічних законів);

2) розмови, але бездіяльність (виникнення екологічних обмежень у природокористуванні);

3) розмови і початок діяльності (розвиток суспільства з переважним дотриманням екологічного імперативу);

4) припинення розмов, рішучі природоохоронні дії (максимальна екологізація всіх сфер людської діяльності заради виживання).

Величезне значення в становленні екології як наукової дисципліни мали класичні дослідження *В.І. Вернадського* (1863-1945) – автора вчення про біосферу і ноосферу, засновника геохімії, біогеохімії, радіології та інших наукових напрямків. Він довів наявність широкомасштабного впливу живої речовини на абіотичне середовище, запропонував розглядати біосферу як одну із геосфер, що визначається присутністю живої речовини, оцінив масштаби біогеохімічного кругообігу речовин тощо.

У новітній історії розвитку екології особливо потрібно відмітити деякі віхи: заснування «Римського клубу» - Міжнародної неурядової організації для розробки стратегії з вирішення багатьох глобальних проблем (1968 р.); початок видання журналу «Екологія» в ФРН (1968 р.) і в СРСР (1970 р.); вихід у світ праці *Ю. Одума* «Основи екології» (США - 1970, 1971 рр.); розробка *Дж. Лавлоком* і *Л. Маргуліс* «гіпотези Геї», згідно з якою Земля розглядалася як єдина система з біологічними механізмами регуляції; I Міжнародний конгрес екологів в Гаазі (1974 р.); видання робіт *М.І. Будико* «Глобальна екологія» (1977 р.), *Ф. Рамада* «Основи прикладної екології» (1981 р.) і *Ю. Одума* «Екологія» (1986 р.). Це лише уривчасті відомості про ту величезну і різноманітну діяльність, яка проводиться в останні роки у зв'язку з розв'язанням проблеми охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів - найважливішої проблеми людства.

Перші спроби екологічного підходу до природоохоронної справи України відомі ще з часів *Ярослава Мудрого* (початок XI ст.), коли існувала чітка система правової оцінки використання ПР і передбачалася кара за збитки, заподіяні довкіллю (регламентувалися охорона лісів, полювання, рибальство, бджолярство та садівництво). В часи Гетьманщини (XVI-XVIII ст.) ці природоохоронні традиції зберігалися і розширювалися.

Перший науковий центр екологічних досліджень в Україні був створений у 1930 році при Інституті зоології і ботаніки Харківського державного університету *В.В. Станчинським*. Він за 10 років до *В.Н. Сукачова* (у 1933 р.) підійшов до ідеї біогеоценозу як функціональної єдності біоценозу та абіотичних факторів.

Світове визнання отримали дослідження українських вчених у 1940-1980 рр. - *І.Г. Підоплічка, Ф.А. Гриня, С.М. Стойка, П.С. Погрібняка, Д.В. Воробйова* та інших (принципи раціонального природокористування, типологія лісів на основі едафічних мереж, роботи в екології ландшафтів та ін.).

Широку відомість отримали дослідження штучних лісів України, виконані *О.Л. Бельгардтом* (1917). *А.П. Травлєєв* (1980-1985) є засновником вчення про лісові підстилки та їх екологічну значущість. Праці *М.Г. Холодного* в екології залізобактерій зробили внесок до концепції біогеохімічних циклів; ним же були вперше виявлені фітогенні речовини в атмосфері.

Сучасна екологія, як інтегруюча наука, базується на діалектичних, загальнонаукових, кібернетичних, біологічних, геологічних, географічних та фізико-хімічних законах. Як вважають *В.М. Бровдій* і *О.О. Гаца* [10] всі екологічні закони необхідно класифікувати за функціональними ознаками, а саме, виділити серед них енергетичні, системні (системотвірні), біофізіологічні, геобіохімічні, геофізичні і соціально-економічні. У роботі *Ю. Одума* [11] їх нараховується 66, в словнику *Т.І. Дедю* [12] 58 законів, 40 правил і 36 принципів, в словнику-довіднику *М.Ф. Реймерса* [1] 70 законів, 28 правил і 27 принципів, а загальне число різних законів, правил, принципів, аксіом складає близько 250. Найбільш детально теорії, закони, правила, принципи і гіпотези розглянуті в роботі *М.Ф. Реймерса* [2], які відображають основні закономірності систем «організм – середовище», «популяція – середовище», «біотичне угруповання – середовище», «людина – природа» тощо. Межі цих закономірностей умовні тому, що, наприклад, закономірності системи «популяція – середовище»

необхідно розглядати з урахуванням закономірностей систем «організм – середовище» та «біотичне угруповання – середовище». Так звані «екологічні закони» розповсюджуються на питання охорони навколишнього середовища і природокористування. У відповідних розділах цієї роботи будуть розглядалися деякі гіпотези, закони, правила і принципи, які є теоретичною основою сучасної екології, енвайронментології і збалансованого природокористування.

В залежності від мети екологічних досліджень в сучасній екології використовуються різноманітні *методи досліджень*. Екологічні дослідження вимагають систематичного дотримання чотирьох послідовних етапів: 1) спостереження; 2) формулювання на основі спостережень теорії про закономірність досліджуваного явища; 3) перевірка теорії наступними спостереженнями й експериментами; 4) спостереження за тим, чи правдиві передбачення, основані на цій теорії. В екології використовують три основні групи методів: 1) польові спостереження; 2) експериментальні дослідження в полі і лабораторних умовах; 3) моделювання. Техніка обробки інформації залежить від методики досліджень; частину інформації можна опрацьовувати безпосередньо на об'єкті досліджень, але основну – в камеральних умовах (звичайно за допомогою ПЕОМ) [5]. Широко використовуються математичні (статистичні) методи обробки інформації, методи моделювання (у т.ч. математичного моделювання) та прогнозування.

За даними різних авторів нараховується від 100 до 250 методів оцінки і прогнозу стану природного середовища, які можна об'єднати в три основних методи: 1) експертної оцінки; 2) екстраполяції; 3) моделювання [13].

Метод експертної оцінки. Суть методу в сучасному розумінні зводиться до процедури отримання оцінки проблем на основі думки спеціалістів даної галузі знань (експертів) з метою наступного прийняття рішення. Використовується в тому випадку, коли об'єкти прогнозу не піддаються формалізації повністю або частково. За допомогою методів експертної оцінки можна підвищити надійність прогнозів, отриманих за допомогою інших методів. Одним з видів науково-практичної діяльності, де реалізується метод експертної оцінки, є *екологічна експертиза*, що являє собою систему державних природоохоронних заходів, направлених на перевірку відповідності проектів, планів і заходів в області господарського будівництва і використання природних ресурсів вимогам захисту довкілля.

Метод екстраполяції. *Екстраполяція* - перенесення даних, отриманих в одній точці, на аналогічні площі більшого або меншого розміру, або обчислення подальшого ряду значень якоїсь властивості, виходячи з характеру закономірності її попередньої зміни (продовження відомого ряду на майбутній відрізок часу або на невідомий ще, але передбачуваний аналогічний простір). Інколи до екстраполяції відносять пошук проміжних значень якої-небудь властивості між відомими його значеннями (*інтерполяція*). Метод екстраполяції використовується вибірково для короткострокових прогнозів. Застосовується в тому випадку, якщо розвиток процесів за значний період часу йде рівномірно без значних стрибків. Метод широко використовується при дослідженнях в області моніторингу НС тощо.

Метод моделювання. *Моделювання* – метод дослідження складних об'єктів, явищ і процесів шляхом їхнього спрощеного імітування (натурного, математичного, логічного); ґрунтується на теорії подібності. Спрощені версії реального світу називаються *моделями*. У моделях знаходять відображення найістотніші, найважливіші властивості та функції іноді складного і різноманітного процесу і об'єкту. Наприклад, моделювання процесів поширення домішок в НПС повинно використовувати загальні закони природи, яким надається форма, що відповідає специфічним особливостям досліджуваного явища. Більш широко в екології використовують абстрактні моделі, які

в залежності від апарату дослідження поділяють на: 1) *вербальні моделі* - це суто словесні описи елементів та процесів екосистем; 2) *графічні моделі* - схематичні зображення компонентів системи та зв'язків між ними; 3) *математичні моделі*, які описують ЕС у вигляді математичних виразів. Таким чином модель є: 1) фізична (матеріально-натурна) чи знакова (математична, логічна) звичайно спрощена подібність реального об'єкта, явища чи процесу; 2) зменшена подібність реального об'єкту: діюча модель чи тільки імітуюча форма чого-небудь, макет; 3) схема, зображення чи опис якого-небудь явища чи процесу в природі і суспільстві.

Навіть, якщо модель лише вельми умовно відповідає реальному процесу або об'єкту, вона дуже корисна на ранніх стадіях розробки, оскільки модель виділяє ключові компоненти і взаємодії, що заслуговують на особливу увагу.

Особливе місце займає *система моніторингу довкілля* – система спостережень, збирання, обробки, передачі, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розробка науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень щодо запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки [14].

Методологічною основою екології як науки є *системний підхід* - методологічний напрям в науці, основна мета якого зводиться до розробки методів досліджень і конструювання складно організованих об'єктів – систем різних типів і класів. Нараховується 30-40 визначень «система»: система – сукупність елементів, які знаходяться у відношеннях і зв'язках між собою і утворюють цілісну єдність; система – це впорядковано взаємодіючі і взаємопов'язані компоненти, що утворюють єдине ціле; комплекс взаємодіючих компонентів, або сукупність елементів, які знаходяться у певних взаємовідношеннях з середовищем і т. ін. Наприклад, угруповання дерев (гай) – *надсистема*, дерево – *система*, лист – *підсистема*. На кожному рангу у системи є тільки одна функція. Функції рангів не збігаються між собою. Функцію системи визначають її надсистеми. ЕС – складні ієрархічні структури, в яких при об'єднанні компонентів в більші функціональні одиниці виникають нові якості, відсутні на попередньому рівні (*емерджентні властивості*). Виходячи з принципу емерджентності, для вивчення цілого не обов'язково знати всі його компоненти. Такий метод вивчення системи (система є «чорною скринькою») називають *холістичним*. «*Чорна скринька*» (*black box*) – означає, що невідомі внутрішні закономірності; відомо тільки, що на «вході» і «виході», але це дозволяє вносити зміни у систему, і, відповідно, управляти системою (наприклад, з позицій кібернетики БС, як складова ЕС, описується як «чорна скринька»). «*Біла скринька*» (*white box*) – це система, яка складається із певних компонентів, зв'язаних певним чином, які перетворюють сигнали за певними алгоритмами і законами. Найчастіше застосовують *редукційний метод*, тобто властивості цілого визначають на підставі аналізу його окремих частин або підсистем. Ідеальне вивчення *тричленної ієрархії*: системи, підсистеми і надсистеми. При вивченні ЕС використовують польові спостереження, експерименти в полі і лабораторних умовах, методи моделювання. Уявлення, які складаються щодо будь-яких систем, називаються *моделями*.

Ієрархічний підхід (*ієрархія* - розташування ступінчастим рядом). Ген → органела → клітина → тканина → орган → організм → популяція → угруповання – це головні рівні організації життя; вони розміщені в ієрархічному порядку – від малих біосистем до великих. Отже, екологія досліджує явища, які займають шість рівнів організації живої природи: організму, виду, популяції, біоценозу, біогеоценозу, біосфери. Вивчаючи особину конкретного *виду*, ми досліджуємо, по суті, *організм*. *Популяція* - угруповання особин, які належать до одного виду і заселяють спільну територію (акваторію). *Біоценоз* - сукупність популяції (*угруповань*) рослин, тварин і

мікроорганізмів, які заселяють дану ділянку суші або водного об'єкту. Біоценоз є найвищим щаблем організації живої природи, а біогеоценоз та біосфера – це системні поняття [5].

Як вважає Ю. Одум [11], зміст сучасної екології краще всього визначати з концепції рівнів організації, які складають своєрідний «біологічний спектр». Якщо розташувати основні рівні (шаблі) організації життя в ієрархічному порядку, то на кожному рівні організації (ступені), внаслідок взаємодії з фізичним середовищем (енергією і речовиною), виникають характерні *функціональні системи: біотичні компоненти* (гени → клітини → органи → організми → популяції → угруповання ⊕ *абіотичні компоненти* (речовини, енергія) = *біотичні системи* (відповідно – генетична система → клітинна система → система органів → система організмів → популяційна система → система угруповань або *екосистема*).

Основними ланками екологічної структурної ієрархії є *організми, популяції та угруповання (біоценози)*. Як зазначалось вище, *екологія вивчає головним чином біосистеми надорганізмового рівня*, тобто популяційні системи й системи угруповань (ЕС), розташовані в правій частині «біологічного спектру». Однак кожний рівень у «біологічному спектрі» взаємопов'язаний з іншими рівнями; тут не можна знайти різких меж. Їх немає між організмами і популяцією (групою особин даного виду організму).

Принцип емерджентності. Емерджентність - наявність у системного цілого особливих властивостей, не притаманних його підсистемам і блокам, а також сумі елементів, які не об'єднані системоутвірними зв'язками. Справедливим є стисле античне визначення: ціле більше за суму його частин. Важливим наслідком ієрархічної організації життя є те, що в міру об'єднання компонентів в більш великі функціональні одиниці у цих нових одиниць виникають властивості, відсутні на попередньому рівні організації. Такі якісно нові, емерджентні, властивості екологічного рівня не можна передбачити, виходячи з властивостей компонентів, що складають цей рівень або одиницю. Цей принцип Ю. Одум [11] розглядає, виходячи з поняття про властивості, що наводяться, суть якого полягає в тому, що властивості цілого неможливо звести до суми властивостей його частин.

Питання для самоконтролю:

1. Що таке класична екологія (біоекологія)?
2. Що таке сучасна екологія?
3. Чому сучасна екологія є міждисциплінарною наукою?
4. За якими ознаками виділяються структурні підрозділи екології?
5. Що таке «навколишнє середовище»?
6. З якими науками найтісніше пов'язана сучасна екологія?
7. У чому суть антропоцентризму і біоцентризму?
8. Які основні методи оцінки і прогнозу використовуються в екології?
9. У чому суть системного підходу?
10. У чому суть ієрархічного підходу?
11. У чому суть принципу емерджентності?

2 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОЕКОЛОГІЇ (КЛАСИЧНОЇ ЕКОЛОГІЇ)

2.1 Основні положення аутоекології (факторіальної екології)

Організм в середовищі свого існування перебуває під впливом екологічних факторів. *Екологічний фактор* (ЕФ) – це будь-яка умова *середовища*, що прямо чи опосередковано впливає на організм протягом хоча б однієї з фаз його життя.

ЕФ класифікуються за такими ознаками: 1) *за часом* - еволюційні, історичні, нині діючі; 2) *за періодичністю* - періодичні, неперіодичні; 3) *за черговістю виникнення* - первинні, вторинні; 4) *за походженням* - космічні, абіогенні, біогенні, природно-антропогенні, антропогенні (у т.ч. техногенні забруднення довкілля), антропічні (у т.ч. фактори неспокою); 5) *за середовищем виникнення* - атмосферні, водні, геоморфологічні, едафічні, фізіологічні, генетичні, популяційні, біоцентичні, екосистемні, біосферні; 6) *за характером* - інформаційні, речовинно-енергетичні, фізичні (у т.ч. геофізичні, термічні), хімічні (зокрема, солоності, кислотності тощо), біогенні, комплексні (системотвірні), екологічні, географічні, еволюційні, кліматичні; 7) *за об'єктом дії* - індивідуальні, групові (у т.ч. етологічні, соціально-психологічні, соціальні, соціально-економічні), видові (у т.ч. людський фактор, фактори життя суспільства); 8) *за умовами дії* - які залежать від щільності, які не залежать від щільності; 9) *за ступенем дії* - летальні, екстремальні, лімітуючі (обмежувальні), неспокійні, мутагенні, тератогенні; 10) *за спектром дії* - вибіркової, загальної дії [1].

Організм (живий організм) – будь-яка біологічна система, що складається із взаємозалежних елементів, взаємозв'язки яких та особливості обумовлені їхнім функціонуванням як єдиного цілого. Більшість організмів мають клітинну будову (одноклітинні, багатоклітинні). Усі організми поділяють на *еукаріоти* (вищі організми, клітини яких містять чітко сформоване ядро з оболонкою, що відділяє його вміст від цитоплазми) та *прокаріоти* (організми, які не мають сформованого клітинного ядра - справжні бактерії, архіобактерії).

Середовище – це сума всього, що знаходиться в оточенні якогось живого чи неживого об'єкта, або – сукупність усіх умов, що діють на організм (популяцію, біоценоз), спричиняючи їх відповідну реакцію, забезпечуючи їх існування та обмін речовин і енергії.

Окрім того, розрізняють: *середовище абіотичне* – сили та явища природи, походження яких прямо не пов'язано з життєдіяльністю нині існуючих організмів (включаючи людину), тобто неорганічна фізико-хімічна основа життя; *середовище біотичне* – сили та явища природи, зобов'язані своїм походженням життєдіяльності організмів, що існують нині (наприклад, для ендогенних паразитів та низки мікроорганізмів – це внутрішнє середовище організму хазяїна); *середовище біологічне* – живі організми, в системі яких перебуває організм (об'єкт); *середовище біогенне* – сукупність біологічного та біотичного середовищ; *середовище існування* – сукупність абіотичних і біотичних умов життя організму; *середовище зовнішнє* - сили та явища природи, її речовина і простір, будь-яка діяльність людини, які знаходяться поза об'єктом і суб'єктом, що розглядаються, але необов'язково контактуючи з ним; *середовище екологічне* - те ж саме, що і середовище зовнішнє, але відносно лише до живих організмів чи об'єктів з участю живої речовини; *природне середовище* – це сукупність природних і незначною мірою змінених людською діяльністю абіотичних і біотичних природних факторів; *антропогенне середовище* – прямо чи опосередковано, навмисно чи ненавмисно змінене людьми природне середовище.

Природне і антропогенне середовище підрозділяються на інші типи середовищ. Наприклад, *середовище життя людини* - це сукупність складових природного

середовища навмисно і ненавмисно створених (перетворених) людиною: видозмінені ландшафти (рілля, промислові відвали, зелені насадження тощо), середовище населених місць і житлове середовище, соціально-психологічне і соціально-економічне середовище. Тобто, це комплекс природних, природно-антропогенних та соціально-економічних факторів, що впливають на людину [1].

Суть *принципу єдності організму і середовища* вперше визначив І.М. Сеченов (1861) - організм без зовнішнього середовища, що підтримує його існування, неможливий, тому в наукове визначення середовища повинне входити і середовище, що впливає на нього. Єдність організму і середовища становить основу еволюції органічних форм, яка забезпечується нервовою системою.

Згідно *закону єдності організму та середовища*, між живими організмами і навколишнім середовищем існують тісні взаємовідносини, взаємозалежності і взаємовпливи, які зумовлюють їхню діалектичну єдність. Постійний обмін речовиною, енергією та інформацією між організмом і середовищем матеріалізує і робить пластичною цю єдність. Біологічні системи на будь-якому ієрархічному рівні є відкритими системами. Вони одержують для свого існування з навколишнього середовища речовини (хімічні елементи), енергію (сонячну і хімічну) та інформацію і віддають до довколишнього середовища трансформовані речовини, енергію та інформацію, таким чином активно впливаючи (кількісно) на нього, змінюючи його. У системі організм-середовище найактивнішим є саме організм (жива речовина) - закономірність вперше виявлена і сформульована (у формі біогеохімічних принципів) В.І. Вернадським. Єдність організму та середовища - один з фундаментальних аспектів унікальності біогенної міграції і лежить в основі пізнання функціонування біосфери, що є теоретичним і практичним фундаментом екології.

Усі ЕФ є мінливими, тому організми змушені весь час пристосовуватись до них. Внаслідок цього в живих організмах виникають специфічні пристосувальні механізми і реакції на зміну ЕФ, які називають *адаптацією*. Адаптація – це сукупність реакцій живої системи, що дозволяє підтримувати її функціональну стійкість при зміні умов середовища. Здатність до адаптації – одна із властивостей життя, що забезпечує саму можливість його існування і вона виявляється на всіх рівнях організації живої матерії.

Адаптовані організми реагують на ці ЕФ таким чином, що угруповання організмів немовби пом'якшують їх шкідливий вплив і досягають максимальної ефективності та найбільшої стійкості свого гомеостазу.

Гомеостаз - це стан внутрішньої динамічної рівноваги природної системи, який підтримується регулярним відновленням основних її структур, речовинно-енергетичного складу і постійною функціональною саморегуляцією її компонентів. Гомеостаз характерний і необхідний для всіх природних систем – від космічних до окремого організму і атому, але частіше термін «гомеостаз» використовується для організмового (структурного) рівня організації.

Система *організм (вид, особина) – середовище* є класичним об'єктом вивчення *факторіальної екології (аутекології, аутоекології)*.

Організми здатні пристосовуватись (адаптуватись) до ЕФ. Здатність організму витримувати певну амплітуду коливання ЕФ називають *екологічною валентністю*, але для життя організмів значення має не тільки абсолютна величина сили дії фактора, а й швидкість її зміни.

За параметрами екологічної валентності розрізняють: *еврибіонтів* – організми з широкими пристосувальними можливостями, які можуть існувати в широкому інтервалі факторів середовища (температури, сонячної радіації, вологості тощо), наприклад, горобець, кімнатна муха, таргани, лисиця, морські зірки (можуть існувати лише за солоності не нижче 30 %, тому у Чорному морі відсутні), карась китайський

тощо; *стенобіонти* – організми, які можуть існувати лише за відносно сталих умов середовища (температурі, солоності, вологості, певна їжа тощо), наприклад, ендопаразити, журавель степовий тощо.

Ю. Лібіх (1840) звернув увагу на те, що витривалість організму визначається найслабшою ланкою в ланцюзі його екологічних потреб, тобто можливості життя лімітують ЕФ, кількість і якість яких близькі до необхідного організму або екосистемі мінімуму; подальше їх зниження веде до загибелі організму або деструкції екосистеми (суть *закону мінімуму*). Організм в певній мірі здатний замінити дефіцитну речовину або інший діючий фактор функціонально близькою речовиною чи фактором. Як показав Ю. Лібіх, *лімітуючим фактором* може бути як нестача (мінімум) деяких факторів (тепло, світло, вода, поживні речовини). По імені вченого названа ілюстрація цього закону – «бочка Лібіха». Суть моделі полягає в тому, що вода при наповненні бочки починає переливатися через найменшу дошку в бочці й довжина решти дощок вже не має значення. Висунутий Ю. Лібіхом принцип – «речовиною, що є в мінімумі, управляється врожай і визначається величина і стійкість останнього в часі», Ю. Одум [11] запропонував обмежувати концепцією мінімуму лише для хімічних речовин (N , P , K , Ca , B тощо), які необхідні для росту і розмноження організму. Цей закон враховується в практиці сільського господарства. Наприклад, якщо P в ґрунті лише 20% від необхідної норми, а K – 50% від норми, то обмежуючим фактором буде P ; необхідно в першу чергу внести в ґрунт саме добрива, що містять P . Багато в чому закон мінімуму уточнюється законом толерантності.

Закон толерантності – стійкості живих організмів до дії факторів середовища ввів В. Шелфорд (1913). Діапазон між мінімальними і максимальними ЕФ називають *межею екологічної толерантності*. В основу екологічної характеристики організмів покладена їх *реакція* на вплив ЕФ. Організм здатний вижити лише в діапазоні мінливості даного ЕФ, який ще називають *амплітудою*. Як понад максимальні, так і величини нижче мінімальних значень даного ЕФ є згубними для організму. Порогове значення даного ЕФ, виражене в цифрах кількісними показниками, вище або нижче якого організм не може існувати, називають *критичною точкою*. Між цими критичними значеннями і розташована *зона екологічної толерантності*. В межах зони екологічної толерантності напруженість ЕФ є різною. Поряд з критичними точками розташовані *зони песимуму*, в яких існування організму обмежено дією зовнішніх умов. Далі розташовані *зони комфорту*, в яких спостерігається чітке зростання екологічних реакцій організму. В центрі знаходиться *зона оптимуму*, яка є найсприятливішою для функціонування організму. Схематично залежність між *реакцією організму* і *напруженістю ЕФ* можна представити таким чином: *нижня кардинальна точка (min) - песимум - комфорт - оптимум - комфорт - песимум - верхня кардинальна точка (max)* – рис. 2.1.

Різні організми мають різну міру стійкості, величину 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, як і його нестача (наприклад, врожай зернових може загинути як за дефіциту, так і від надлишку вологи). При цьому, згідно закону мінімуму, нестача будь-якої речовини не компенсується надлишком всіх інших (наприклад, якщо в ґрунті багато N , K та інших біогенних елементів, але спостерігається



Рис. 2.1 - Схема стосунків у діапазоні екологічної толерантності

дефіцит або надлишок P , 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 *принципу еколого-географічного максимуму видів* (стабільності числа видів) для нормального функціонування будь-якої ЕС, в ній повинно існувати стільки і таких видів, скільки і яких необхідно для максимально ефективного використання наявної енергії і забезпечення кругообігу речовини.

У стенотермних видів мінімум і максимум зближені. Навіть невеликі зміни температури, які мало відбиваються на евритермному виді, для стенотермного виду є критичними. Стенотермні організми можуть бути толерантними як до низьких, так і високих температур, або можуть мати проміжні властивості.

Суть *закону сумісної дії факторів Мітчерліха-Бауле* полягає в тому, що величина врожаю залежить не лише від будь-якого (хай навіть лімітуючого) фактора, а від усієї сукупності факторів одночасно. Як показує вивчення комплексного впливу ЕФ, при змінах ЕФ змінюється також і відносний вплив факторів на функцію відгуку, інтервали толерантності, положення зони оптимуму, масштаб і форму конкретних реакцій на кожний з ЕФ. Усе це підкреслює необхідність вивчення залежностей функції відгуку від усієї сукупності факторів.

Загальноприйнятої класифікації ЕФ немає. Звичайно ЕФ поділяють на абіогенні, біогенні і антропогенні, або на абіотичні (кліматичні, ґрунтові) та біотичні (хижацтво, конкуренція, паразитизм). В окремих випадках антропогенні фактори виділяють у самостійну групу факторів, підкреслюючи тим самим надзвичайну дію антропогенного фактора. Таким чином, за походженням ЕФ, що діють на організми, прийнято поділяти на абіогенні, біогенні і антропогенні.

Абіогенні (абіотичні) фактори – умови або сукупність умов неорганічного світу, тобто фактори неживої природи з їх фізико-хімічними властивостями.

Біогенні (біотичні) фактори пов'язані як з прямим, так опосередкованим впливом живих організмів на середовище нині і в минулі епохи. Крім того, виділяють

біологічні фактори - породжені життям, тобто джерелом яких є безпосередньо живий організм або будь-яка їх сукупність (наприклад, взаємовідносини хижака і жертви як фактор скорочення чисельності жертви).

Антропогенні фактори - прямо чи опосередковано пов'язані з різними формами людської діяльності, що є причиною змін природного середовища існування живих організмів (абіотичних і біотичних факторів).

На відміну від них *антропічні фактори* виникають в ході безпосереднього впливу людини на щось.

Існують і інші класифікації ЕФ, огляд яких наводиться, наприклад, у роботах М.Ф. Реймерса [1], В.П. Кучерявого [5,6], М.М. Мусієнка, О.В. Войцехівської [15] та ін.

Враховуючи важливість ЕФ, можна дати ще одне визначення екології, як науки, яка вивчає умови існування живих організмів під впливом абіогенних, біогенних і антропогенних факторів.

2.1.1 Абіогенні (абіотичні) фактори

Абіогенні (фактори неживої природи): *кліматичні* (світло, тепло, волога, тиск тощо); *грунтові або едафічні* (гранулометричний склад, щільність, вологість, склад ґрунтових розчинів тощо); *хімічні* (хімічний склад атмосферного повітря, природних вод, ґрунтів, геологічного середовища тощо). У цілому комплекс абіотичних ЕФ складає важливу інтегральну характеристику природного середовища. Нижче дана стисла характеристика лише деяких абіотичних факторів.

Температура – один із найважливіших кліматичних факторів, є мірою середньої кінетичної енергії речовини. Життя і розмноження кожного виду можливе в певних межах температури (середньої кінетичної енергії середовища): мінімальна – оптимальна – максимальна. Згідно *закону Вант-Гоффа*, з кожним підвищенням температури на 10°C швидкість хімічних (біохімічних) реакцій прискорюється у 2-3 рази. Для більшості видів температурний інтервал існування становить 0-50°C, проте є організми, що можуть існувати при більш високих і низьких температурах. Організми, які пристосувались до певних температур, називаються *стенотермними* (наприклад, теплолюбиві коралові поліпи живуть при температурі не нижче 20°C, а деякі холодолюбиві лососеві риби - при температурі, близькій до 0°C), а до значних коливань температур – *евритермними* (наприклад, вовки, горностаї, азіатська саранча тощо).

Гомойотермні організми (птахи, більшість ссавців) підтримують постійну температури тіла незалежно від температури оточуючого середовища, а *пойкілотермні організми* (безхребетні, риби, земноводні, плазуни) не здатні підтримувати температуру тіла, яка постійно відрізняється від температури середовища, а тому змінюють температуру тіла в залежності від температури оточуючого їх середовища, тобто організми здатні до *терморегуляції*. У рослин і комах протягом осені і зими підвищується стійкість проти холоду (*загартування*). Особливо стійкими проти несприятливих температур є організми, що перебувають в *анабіозі* – стані, при якому різко знижується обмін речовин і відсутні видимі прояви життя (наприклад, деякі ракоподібні впадають в анабіоз при висиханні боліт, а дафнії можуть вмерзати в лід і при відтаюванні оживати). Для уникнення перегрівання у рослин відбувається *транспірація* (випаровування вологи крізь продихи), а для запобігання переохолодження квіти багатьох рослин вночі закриваються. Крім того, у багатьох *пойкілотермних організмів* існують фізіологічні механізми терморегуляції. Зокрема,

квіти ранньовесняних рослин здатні розігріватися на 10-15 °С, комахи можуть піднімати температуру тіла за рахунок активного скорочення м'язів.

Світло є також важливим ЕФ. Основним джерелом світла є сонячне випромінювання. Електромагнітне випромінювання прийнято ділити за частотними діапазонами. Між діапазонами немає різких переходів, вони іноді перекриваються, а межі між ними умовні. Оскільки швидкість поширення випромінювання (у вакуумі) постійна, то частота його коливань залежить від довжини хвилі у вакуумі: 1) *радіохвилі* > 1 мм; 2) *інфрачервоне* випромінювання від 1 мм до 780 нм; 3) *видиме (оптичне)* випромінювання від 780 до 380 нм; 4) *ультрафіолетове* випромінювання від 380 нм до 10 нм; 5) *рентгенівське* випромінювання від 10 нм до 5 пм; 6) *гамма-випромінювання* < 5 пм. В екологічному аспекті особливе значення має *фотосинтетично активна радіація* (ФАР) в діапазоні хвиль 380-710 нм. В приземному шарі енергія електромагнітного випромінювання Сонця і атмосфери перетворюється на *теплову енергію*, дуже невелика частина за рахунок фотосинтезу – на *хімічну енергію*, ще менше – на *механічну* (процеси фізичного вивітрювання гірських порід, термохімічний ефект тощо) і *електричну енергію* (встановлення електричного потенціалу рослин). Для рослин світло є джерелом енергії для фотосинтезу, викликає зміну форм росту та слугує сигналом для переходу від одної фази розвитку до іншої. Для більшості тварин (розвинутих за наявності органів зору) і людини світло забезпечує орієнтацію в просторі, а також синтез вітаміну *D*. Однак існує немало тварин (кроти, ґрунтові комахи, нічні метелики тощо), які пристосувалися жити без світла. Важливе значення мають сила світла і ритміка освітлення (*фотоперіодизм*), що полягає в тривалості світлого та темного періоду доби. Наприклад, в тропічних та субтропічних поясах тривалість світлого періоду складає 12-14 годин (короткий фотоперіод), а в помірних і приарктичних широтах влітку – 18-24 години (довгий фотоперіод). До фотоперіоду чутливі всі організми. У птахів скорочення довжини дня є сигналом до відльоту, а в осілих тварин – підготовки до сплячки; у бобових рослин фотоперіод регулює їх взаємовідносини з бульбочковими бактеріями [16].

Фактори водного середовища. Оскільки без води неможливі процеси метаболізму, то наявність води – необхідна умова як для водних, так і наземних організмів. Вода як ЕФ одночасно належить до групи кліматичних та едафічних факторів, бо багато організмів (особливо рослин) одночасно використовують вологу з атмосфери і ґрунту. Тіла усіх живих організмів обов'язково містять багато води (40-98%). Дегідратація призводить до пригнічення життєдіяльності, а згодом – і до загибелі. Усі наземні організми поділяють на три групи: 1) *гігрофільні* (вологолюбні); 2) *мезогігрофільні* (помірно вологолюбні); 3) *ксерофільні* (сухолюбні). Організми повинні постійно підтримувати баланс між споживанням води і випаровуванням, а також наявністю вологи в оточуючому середовищі і її фактичним надходженням до організму.

Едафічні (від грецьк. *едафос* – ґрунт, земля) або *ґрунтові фактори* – це ґрунтові умови, що впливають на життя і поширення живих організмів (як у родючих ґрунтах, так і скелях, дюнах, териконах, кар'єрах тощо). Едафічний фактор не лише впливає на організми, але одночасно є середовищем існування для багатьох видів мікроорганізмів, рослин і тварин. Окрім того, ґрунт є продуктом динамічної взаємодії між гірською (материнською) породою, кліматом, органічним світом, а також з людським суспільством (особливо в агроєкосистемах). Таким чином, ґрунтові організми разом з абіотичними факторами створюють своє середовище проживання. Едафічний фактор межує з абіотичним і біотичним факторами. Вплив родючих ґрунтів проявляється на життєдіяльності рослин, а також умовах проживання тварин (різноманітних

безхребетних, гризунів тощо) і мікроорганізмів. Тому важливу роль відіграють структура ґрунтів, їх вологість, повітряний і тепловий режим, хімічні властивості тощо.

2.1.2 Біогенні (біотичні) фактори

Біогенні (біотичні) фактори (фактори живої природи): *фітогенні* (рослини), *зоогенні* (тварини), *мікробіогенні* (віруси, бактерії, найпростіші). Біотичні фактори поєднують усю сукупність впливу живих організмів один на одного. Представники кожного виду можуть існувати лише в певному біотичному середовищі. Основною формою зв'язків є трофічні (харчові) взаємовідносини, на базі яких формуються різноманітні ланцюги та мережі харчування. Крім трофічних зв'язків, між організмами виникають просторові зв'язки тощо. Взаємозв'язки і взаємовпливи можуть бути *прямими і опосередкованими*.

Р. Дажо [17] розрізняє два типи взаємодії між організмами, що населяють відповідне середовище:

- *гомотипові* реакції, тобто взаємодія між організмами одного виду (особини бука взаємодіють між собою); до них належать реакції типу *групового ефекту* (пов'язані з безпосередньою взаємодією організмів одного виду у групах), *масового ефекту* (зумовлений змінами у середовищі існування при змінах щільності населення в угрупованнях), *внутрішньовидової конкуренції* (загострюється при ущільненні популяції);

- *гетеротипові* реакції, де взаємодіють особини різних видів (бук і граб в грабово-буковому лісі); вплив особин одного виду на особини іншого може бути нульовим (**0**), сприятливим (+) або ж несприятливим (-).

Звичайно виділяють такі основні типи взаємодій між організмами (видами, популяціями): *нейтралізм, конкуренція, аменсалізм, паразитизм, хижацтво, коменсалізм, протокооперація, мутуалізм*. Нижче наводиться їх стисла характеристика (**0** означає відсутність значних взаємодій, + означає стимулювання життєдіяльності, - означає пригнічення життєдіяльності).

Нейтралізм (0 0). Види (популяції) не взаємодіють між собою, але опосередковано залежать від стану угруповання в цілому (наприклад, заєць і сосни в лісі).

Конкуренція (- -) – це активна боротьба між видами (популяціями) за необхідні ресурси або умови існування.

Розрізняють пряму конкуренцію та непряму конкуренцію. *Пряма конкуренція* (антагонізм) – взаємне пригнічення видів шляхом безпосереднього фізичного знищення одного іншим, або опосередковане виділення специфічних речовин, які пригнічують життєдіяльність іншого виду (явище алелопатії – виділення хімічних речовин рослинами, які пригнічують ріст конкурентів). Найчастіше пряма конкуренція спостерігається за умови середовища (за фізичний простір, світло, температурні умови). Необхідно відрізнити пряму конкуренцію від хижацтва. У даному випадку один вид не є ресурсом для іншого.

Непряма конкуренція (конкуренція за ресурс) – взаємне пригнічення видів при дефіциті загального ресурсу. В результаті непрямой конкуренції види з однаковими потребами в ресурсах, як правило, не існують разом. Пояснення цього дано дослідженнями *Г.Ф. Гаузе* (1932), на підставі яких було сформульовано «принцип конкурентного виключення», або «*принцип Гаузе*». Згідно *принципу конкурентного виключення Г.Ф. Гаузе* два види, які мають однакові екологічні потреби, спільно існувати не можуть – один вид (більш конкурентоспроможний) витісняє інший (менш

конкурентоспроможний). Згідно цього принципу види повинні бути роз'єднані в просторі і в часі (наприклад, жити в різних біотопах і ярусах лісу, одні вести нічний спосіб життя, інші – денний і т.д.).

Аменсалізм (- 0). Аменсальні зв'язки спостерігаються у випадках, коли один із двох видів (популяцій) пригнічується, а другий не зазнає від цього ні шкоди, ні користі (наприклад, світлолюбні рослини пригнічуються при затіненні великим деревом, а дерево не зазнає ніякого впливу; токсичні метаболіти, які виділяють ціанобактерії у воду, є шкідливими для інших гідробіонтів та наземних тварин).

Хижацтво (+ -) виявляється в тому, що один організм (хижак) поїдає іншого (жертву). Якщо конкуренція проявляється у взаємному негативному впливі конкуруючих видів, то *хижацтво* – це однобічний процес, який характеризує стосунки між хижаком і жертвою як між споживачем та ресурсом. Хижаки – організми, які полюють і поїдають жертву зразу або частинами. Типовими хижаками серед ссавців є котяті, вовк, лисиця, горностай, тюлені, моржі; серед птахів – орел, сокіл, яструб, комахоїдні птахи; серед риб – щука, окунь, форель; серед рептилій – крокодил, алігатор, прудка ящірка; більшість амфібій (жаби, тритони) є типовими хижаками. Є групи комах-хижаків (бабки, богомоли, деякі жуки та клопи), ракоподібні і навіть рослини та гриби. Проте, рослиноїдні тварини з точки зору біотичних взаємодій також є хижаками, оскільки харчуються іншими живими організмами.

При збільшенні чисельності жертви, зростає чисельність хижака, і навпаки – зменшення кількості жертви з часом призводить до скорочення популяції хижака. Отже, завдяки зв'язкам «хижак – жертва» між ними встановлюється динамічна рівновага. У процесі еволюції у хижаків виробилися пристосування до нападу, а у жертв – до захисту. Хижаки можуть бути спеціалізованими або споживати різні види жертв. Тому за спеціалізацією серед них розрізняють: *поліфагів* (споживають різноманітні види), наприклад бурі ведмеді, лиси, ворони; *олігофаги* (переважно харчуються певними групами видів), наприклад, з членистоногих комах жук-сонечко, який споживає попелицю; *монофаги* (здатні споживати лише один вид жертви)- більш характерно для рослиноїдних організмів, наприклад, пальмовий гриф – харчується плодами олійної пальми, нектаром; тутовий шовкопряд – лише листям тутового дерева; панда – молодими пагонами бамбука.

Паразитизм (+ -) – форма взаємовідносин організмів один вид (паразит) існує за рахунок іншого (господар) при поселенні всередині або на поверхні тіла організму. Найчастіше паразит має менший розмір тіла, ніж господар. Якщо паразит поселяється всередині тіла господаря, його називають *ендопаразитом* (малярійний плазмодій, круглі черви, віруси); якщо на поверхні тіла господаря – *ектопаразитом* (п'явки, кровосисні членистоногі). Вони перебувають в організмі господаря стаціонарно або тимчасово. Якщо види можуть паразитувати тимчасово, за певних умов переходячи до вільного способу життя – це явище *факультативного паразитизму*. Якщо ні за яких умов паразит не може існувати без свого господаря – це явище *облігатного паразитизму*.

Коменсалізм (+ 0) - це постійні або тимчасові взаємовідносини організмів різних видів, коли для одного організму відносини корисні, а для іншого нейтральні. Такі зв'язки базуються на однобічному використанні одного виду (*господаря*) іншим (*коменсалом*) без заподіяння йому шкоди. Коменсалізм, який ґрунтується на споживанні залишків корму партнера, називається *нахлібництвом* (наприклад, в саванах грифи живляться залишками корму левів). Іншим різновидом коменсалізму є *квартирантство*, за якого один вид використовує інший як місце проживання, розмноження або як транспортний засіб (наприклад, деякі непаразитичні комахи в гнізді птахів або норі лисиці).

Симбіоз – співжиття двох і більше особин різних систематичних груп, в ході якого обидва партнери (симбіонти) або один з них отримує переваги у відношеннях із зовнішнім середовищем. Форма симбіозу, при якій кожний із співмешканців отримує рівну користь, або форма співжиття організмів, при якій партнери або один з них не можуть (не може) існувати один без одного, називається *мутуалізмом* [2] (наприклад, *мікориза* – тісна асоціація деяких грибів і коренів дерев: мікрогриби сприяють поглинанню мінеральних речовин із ґрунту, а самі використовують живильні речовини із коренів дерев; лишайники є взаємовигідною формою співжиття гриба і водорості тощо). Симбіонтами можуть бути рослини, рослини і тварини або лише тварини. Найпростішою формою симбіотичних зв'язків є *протооперація* («первинна взаємодія»), при якій спільне існування є взаємовигідним, або не обов'язковим для організмів (наприклад, зв'язки деяких квіткових рослин з мурахами, які розповсюджують їхнє насіння з масляними придатками; бджоли, які опилують квіти тощо).

Коеволюція означає сумісну еволюцію двох і більше таксонів, які об'єднані тісними екологічними зв'язками, але не обмінюються генетичною інформацією. Еволюція одного таксону частково залежить від еволюції іншого. Тобто більшість різноманітних форм популяційних взаємодій (від хижацтва і конкуренції до мутуалізму і протооперації) належать до коеволюції [18].

Фактори живлення. Від якості і кількості корму залежить плодючість, тривалість життя, розвиток і смертність організмів тощо. Зелені рослини (*автотрофи*) асимілюють неорганічні ресурси і творять «упаковки» органічних речовин, які стають поживою для *гетеротрофів*. Автотрофи, для яких зовнішнім джерелом енергії є сонячне світло (ФАР), називають *фотосинтетиками*. Організми, які синтезують органічні речовини з неорганічних сполук за рахунок енергії окислення NH_3 , H_2S та інших речовин, які є у водах, ґрунтах і підґрунтах, називаються *хемотрофи*. Гетеротрофи, на відміну від автотрофів, неспроможні використовувати енергію абіотичних джерел для синтезу складних органічних сполук; вони одержують енергію й органічні речовини з кормом, який являє собою живу або мертву масу автотрофів та інших гетеротрофів. До них відносяться всі тварини, гриби, переважна більшість бактерій, деякі водорості і безхлорофільні вищі рослини.

Якщо розглядати організми як кормовий ресурс, то можна виділити три шляхи формування *ланцюгів живлення*: 1) *деструкція* (тіла або частинки тіл організмів відмирають і разом з рештками життєдіяльності і секреторними продуктами стають кормовим ресурсом для *деструкторів* – бактерій, грибів, тварин-детритофагів); 2) *паразитизм*; 3) *органофагія* або *хижацтво*.

Організми, які живляться *детритом* (мертвою органічною речовиною, частково мінералізованою) і мікроскопічними рослинами, називаються *детритофагами*. Організми (бактерії і гриби), які перетворюють у процесі своєї життєдіяльності складні органічні речовини на прості неорганічні сполуки, відносяться до *редуцентів*.

2.1.3 Антропогенні фактори

Антропогенні фактори – це різноманітні форми людської діяльності, які змінюють абіотичні і біотичні компоненти природи. Як вважає В.П. Кучерявий [5, 6], антропогенні ЕФ – це вплив людини на екосистеми, що зумовлює у їх абіотичних і біотичних компонентах суттєві відгуки (реакції). Вони можуть бути фізичними, хімічними, біотичними, кліматичними тощо. Вплив на природні компоненти може бути як свідомим, так і стихійним, випадковим. Як правило, роль антропогенних

факторів не враховується або недооцінюється в роботах суто біоекологічного спрямування.

2.2 Основні положення демекології (популяційної екології)

Якщо головним об'єктом досліджень аутоекології є система «організм – середовище», то *популяційна екологія (демекологія)* вивчає стосунки у надорганізмовій системі «популяція – середовище». Досліджує особливості процесу розмноження та смертності в популяціях, їх життєвість, характер онтогенезу (індивідуального розвитку організму), способи підтримання, стійкості тощо через призму впливу ЕФ.

Вид (біологічний) – сукупність близькоспоріднених організмів, що характеризуються морфологічними, фізіологічними та еколого-географічними особливостями. Для всіх особин одного виду характерні єдність філогенетичного (історичного) походження, однаковий тип обміну речовин, плідючість потомства, що походить від схрещування особин цього виду, поширення в межах певної території (суходолу, акваторії), яку називають *ареалом виду*. Кожний вид в природі знаходиться в генетичній ізоляції від інших видів, що виражається в неможливості схрещування та народження плодитих нащадків.

Популяція – сукупність особин будь-якого виду організмів (рослини, тварини, гриби тощо), в якій організми можуть обмінюватися генетичною інформацією, займати певний простір і мають характерні ознаки: чисельність та щільність; народжуваність і смертність; просторова, статева, вікова і ієрархічна структура тощо. Існують також інші визначення терміну «*популяція*»: 1) сукупність особин одного виду, що протягом великої кількості поколінь населяють певний простір; 2) усе населення якоїсь певної території (країни, провінції, будь-якої іншої адміністративної одиниці); 3) особини близьких видів, що разом мешкають на спільній території (акваторії).

Екологічна популяція – особини одного виду, що мешкають у межах одної екосистеми (одного біогеоценозу).

Умови формування, структуру та динаміку розвитку популяцій окремих видів вивчає *популяційна екологія (демекологія)*.

Між рослинами і тваринами існує чимало відмінностей, які проявляються як на рівні окремих організмів, так і на популяційному рівні. Найбільш важливі особливості рослин виходять з їх нерухомого способу життя та відсутності у багатьох рослин чітких меж окремих особин. У тварин, завдяки рухомості, існує можливість вибору місць для мешкання та розмноження (за виключенням колоніальних прикріплених тварин). Екологічних стресів, викликаних несприятливою дією ЕФ, дефіциту ресурсів або локальних переселень, тварини можуть уникати шляхом міграції. Рослини таких можливостей, найчастіше, не мають. Вони реагують на стресові фактори пластичністю розмірів та форм. Для забезпечення розмноження рослини потребують посередників, які забезпечують транспорт як гамет до місць запилення, так насіння до місць їхнього майбутнього проростання. У тварин розмноження є процесом індивідуальним і на цей період материнські особини, навпаки, ізолюються, скорочують екологічну свою нішу. Дуже спрощена ситуація, мабуть, лише для деяких ссавців та птахів [16].

Для опису популяції, характеристики її структури використовують дві групи кількісних показників. Перші – *статичні*, характеризують стан популяції в певний визначений момент часу t . Другі – *динамічні*, характеризують процеси, що протікають у популяції за деякий проміжок часу Δt .

2.2.1 Статичні параметри популяції

Просторова структура популяції - це характер розподілу у популяційному ареалі окремих особин і їхніх угруповань. Такий розподіл залежить від нескінченної розмаїтості зовнішніх умов та біологічних особливостей організмів (рухливість, способи розмноження та особливості розвитку, поведінкові аспекти тощо).

Розподіл особин у популяції може бути: *випадковим*, *рівномірним* (більш регулярним, ніж при випадковому розподілі) і *груповим* (нерегулярним і не випадковим).

Випадковий розподіл має місце тоді, коли організми розподіляються в однорідному середовищі. В цьому випадку сила і напрямок впливу абіотичних і біотичних факторів випадково змінюються в часі і просторі (розподіл визначається схоластичними процесами). Випадковий розподіл зустрічається в природі не дуже часто. Такий випадковий розподіл характерний, наприклад, для членистоногих у лісовій підстилці.

Рівномірний розподіл особин формується за однорідних умов середовища та сильної конкуренції, коли між особинами існує виражений антагонізм, що сприяє рівномірному використанню простору. У природі такий тип розподілу зустріти важко, хоча нерідко можна спостерігати розміщення організмів, що відхиляється від випадкового в бік більшої регулярності. Найчастіше при ілюстрації такого типу розподілу посиляються на розміщення дерев у лісі, де конкуренція за світло настільки висока, що вони ростуть один від одного на більш-менш рівномірній відстані. Регулярний розподіл характерний для штучно створених агроєкосистем, коли найбільш ефективно використовується простір та ресурси.

Найчастіше у природі спостерігається утворення різного роду скупчень особин – формується *груповий тип розподілу*. Однак, якщо особини в популяції мають тенденцію утворювати групи визначеної величини (наприклад, пари у тварин або вегетативні клони в рослин), то й розподіл самих груп може виявитися більш близьким до випадкового або рівномірного. Розуміння типу розподілу важливе при відборі проб з метою характеристики чисельності та щільності популяції.

2.2.2 Чисельність та щільність організмів в популяціях

Упродовж свого існування популяція займає певну територію і зберігає середню статистичну кількість особин. Від кількості особин безпосередньо залежить функціональна значимість популяції в екосистемі.

Чисельність популяції - загальна кількість особин на всій території або в об'ємі (води, ґрунту, повітря), які займає одна популяція. Розрізняють неперіодичні (такі, що рідко спостерігаються) і періодичні (постійні) коливання чисельності популяцій. До перших належать спалахи масового розмноження деяких шкідників рослин, при порушеннях умов середовища проживання (засухи, незвично холодні або теплі зими), непередбачені міграції в нові місця проживання. Другі здійснюються протягом сезону або декількох років (періодичний цикл плодоношення плодових культур, підйому чисельності гризунів та хижаків). Визначити загальну чисельність організмів у природних популяціях досить складно, часто — практично неможливо. Можна лише відносно точно порахувати дерева, кущі, тощо на певній території, проте визначити точно загальну кількість тварин у природних екосистемах зазвичай практично неможливо.

Щільність популяції - середня кількість особин, які припадають на одиницю площі чи об'єму. Розрізняють середню й екологічну щільності. *Середня щільність* — це

кількість особин (або їх біомаса) на одиницю простору (наприклад 400 дерев на 1 га або 0,5 г циклопів в 1 м³ води).

Екологічна щільність — кількість особин (або біомаса) на одиницю заселеності простору (тобто доступної площі або об'єму, які фактично зайняті популяцією). Особливо важливим параметром екологічна щільність є за умов групового розподілу особин в популяції.

Максимальною щільністю особин в популяції є така їх кількість у просторі, яку ще може підтримувати екосистема. Мінімальна щільність особин на певній території є граничною величиною, коли ще є можливість для їх успішного розмноження та підтримання відтворення популяції.

Вікова структура популяції – статистичний параметр, який характеризує співвідношення різних вікових груп організмів у популяції. Вікові групи можуть виділятися як за абсолютним віком (календарним) так і за певними віковими показниками (фізіологічний або екологічний вік). Зокрема, розрізняють три екологічні віки особин: *передрепродуктивний, репродуктивний і пострепродуктивний*. Тривалість цих періодів у різних організмів значно коливається. У первісних людей пострепродуктивний період був набагато коротшим, ніж у сучасної людини. У деяких тварин, особливо в комах, передрепродуктивний період надзвичайно тривалий, репродуктивний період дуже короткий, а пострепродуктивний період відсутній взагалі (наприклад, деякі види одноденок або 17-річна цикада). Якщо умови сприятливі, в популяції присутні всі вікові групи, які забезпечують відносно стабільний рівень її чисельності. Кількісне співвідношення вікових груп в популяції визначає такі важливі динамічні процеси, як інтенсивність відтворення, рівень смертності, швидкість зміни поколінь.

Статеву структуру популяції - це показник представленості у популяції особин, які належать до певної статі. Основним параметром статеві структури є *співвідношення статей* - відношення кількості самців до кількості самок. Співвідношення чоловічої і жіночої статей в популяції має важливе екологічне значення, оскільки воно безпосередньо пов'язане з потенціалом розмноження, а отже, впливом на життєдіяльність усієї екосистеми. Завдяки генетичній детермінації кількість самців і самок у хордових тварин при народженні майже однакова (1:1). Проте у процесі статевого дозрівання співвідношення статей може змінюватися через різне виживання особин певної статі. Слід пам'ятати, що статеву структурою можуть характеризуватися популяції лише роздільностатевих організмів.

Етологічна структура популяції (характерна для тварин) – наявність у популяції особин, які можна згрупувати за особливостями поведінки. Поведінка тварин по відношенню до інших членів популяції залежить передусім від того, поодинокий або груповий спосіб життя властивий виду. За умов спільного існування особини в популяції часто виконують різні функції (розмноження, полювання, охорона тощо). Проте, повністю поодинокого існування організмів у природі не зустрічається, тому що було б неможливим здійснення їх основної життєвої функції - розмноження. Більш ускладненою поведінковою структурою характеризуються популяції, які складаються з родинних груп, зграї, стад або колоній. В міру ускладнення таких відносин виникає злагоджена складна поведінкова організація і кожна особина має свій соціальний ранг.

Генетична структура популяції – співвідношення частот генів та алелів, що мають особини, які складають популяцію. З точки зору генетики, популяція є генетичною системою, яка характеризується історично складеною генетичною структурою. Генетична структура популяції визначається: 1) вихідним співвідношенням алелів (ефект засновника); 2) природним добром; 3) мінливістю (мутації); 4) міграціями. Відповідно закону Харді-Вайнберга - в ідеальній популяції

існує постійне співвідношення частот алелів, яке визначається процесами генетичного розщеплення і не залежить від пристосованості певного генотипу. Звісно, що в природі не існує ідеальних популяцій. В них генетична гетерогенність підтримується за рахунок нових виникаючих мутацій, за рахунок процесів рекомбінації, природного відбору, міграції, випадкових процесів, селективності схрещувань.

Генетична гетерогенність дозволяє популяції і виду в цілому використовувати для пристосування до змінних умов середовища не тільки нові спадкові зміни, а й ті, що виникли дуже давно і існують в популяції у прихованому вигляді (рецесивні алелі, які формують «мобілізаційний резерв» мінливості).

2.2.3 Динамічні параметри популяції

Приріст популяції. Популяція являє собою не тільки просторове угруповання особин, а й певну цілісність, яка існує в часі. Якщо чисельність популяції постійна, то сталість цього параметру є результатом певної динамічної рівноваги процесів, які забезпечують появу та зникнення особин. Причому «поява» особин може відбуватися як шляхом їх розмноження, так і за рахунок їх імміграції з інших областей (інших популяцій). Відповідно «зникнення» - за рахунок загибелі організмів та (або) еміграції їх на інші території. У найзагальнішому вигляді співвідношення процесів, що визначають динаміку чисельності популяцій, можна записати як:

Приріст популяції = (народження особин + імміграція особин) - (смертність особин + еміграція особин).

Величину приросту популяції часто називають *біотичним потенціалом* або *мальтузіанським параметром*, який характеризує можливості стабільного існування популяції та (або) здатність до її експансії. На приріст популяції має вплив віковий склад, питома швидкість росту та величина народжуваності. Таким чином, показники швидкості росту для одного виду можуть бути різними в залежності від структури популяцій.

Народжуваність популяції – число особин (яєць, насіння і т. д.) - ΔNn , що народилися (чи відкладених) у популяції за певний проміжок часу Δt . Для того щоб зручніше було порівнювати між собою популяції різної чисельності, величину $\Delta Nn/\Delta t$ зазвичай відносять до загальної кількості особин N на початку проміжку часу Δt . Отриману величину $\Delta Nn/N\Delta t$ називають *питомою швидкістю росту*. Оскільки протягом досліджуваного проміжку Δt величина народжуваності може змінюватися, цей проміжок намагаються зробити по можливості коротшим.

Розрізняють два основні типи росту чисельності (або щільності) популяцій - *J*-подібний і *S*-подібний, названі так за характером кривих росту. Якщо чисельність особин зростає з відносно постійною швидкістю, то має місце типовий *J*- подібний ріст. *J*-подібний ріст характерний для *опортуністичних популяцій* видів, які мешкають у порушених екосистемах або є піонерними видами (які заселяють нові території). *S*-подібний ріст характерний для популяцій, ріст чисельності яких обмежується щільністю особин, наявністю ресурсу або накопиченням токсичних продуктів у середовищі. На перших етапах відбувається експоненційний ріст у сприятливих умовах. Внутрішньовидові відносини та умови середовища не обмежують ріст. Цей етап фактично відповідає *J*-подібному росту. Такий ріст триває до досягнення величини K - ємкості середовища. *Ємкість середовища* – це максимально можлива чисельність популяції, яку можуть нескінченно довго підтримувати ресурси даного середовища. За таких умов популяція досягає стаціонарної величини чисельності, коли народжуваність відповідає смертності.

Смертність популяції - величина, протилежна народжуваності. Вона може бути визначена як число особин ΔNm , які загинули за час Δt . Так само як і при оцінці народжуваності, смертність зазвичай відносять до загального числа особин в популяції N , а проміжок Δt намагаються брати по можливості коротшим. Величина смертності враховує всіх загиблих особин незалежно від того, померли вони від старості і хвороб, чи були з'їдені хижаками або загинули від будь-яких інших несприятливих впливів (наприклад, отруєні пестицидами).

Для візуалізації динаміки виживання використовують графічне зображення частки особин, які дожили до певного періоду часу, в залежності від часу – *крива виживання*. Криві виживання поділяють на три загальні типи. Сильно опукла крива 1 характерна для таких видів, в популяціях яких смертність до кінця життєвого циклу залишається низькою (наприклад, більшість великих тварин та людини у розвинутих країнах). Інший крайній варіант, сильно ввігнута крива, характеризує популяції, смертність в яких є високою на ранніх стадіях розвитку (двостулкові молюски, великі довговічні дерева). До проміжного типу відносяться криві виживання популяцій видів, у яких виживання кожної вікової групи є постійним і не залежить від віку. Форма кривої виживання залежить від ступеня турботи про потомство та інших способів захисту молоді. Звичайно існує багато інших варіантів, які характеризуються проміжними типами кривих виживання популяцій.

Кожна популяція для виживання і реалізації притаманної їй тенденції до експансії має комплекс властивостей, які забезпечують виживання в різноманітних умовах. Оскільки не можна бути універсальним в усьому, то для реалізації таких потенцій у популяцій є кілька варіантів, які отримали назву *життєвих стратегій*.

В екології найбільш популярним є поділ життєвих стратегій популяцій на *r*- та *K*- *стратегії* (MacArthur, Wilson, 1967). Популяції з *r*-стратегією характеризуються високими значеннями біотичного потенціалу. Таким чином, *r*-стратегами є види з високою плодючістю, швидким досягненням статевої зрілості, коротким життєвим циклом, здатністю до швидкого поширення у нових біотопах та переживанням несприятливих періодів у стані спокою. Прикладами таких організмів є сапротрофні бактерії, рослини-бур'яни, синантропні види комах тощо.

Популяції з *K*-стратегією характеризуються підвищеною стійкістю до змін умов довкілля, захищеністю від хижаків і паразитів, зростанням ймовірності виживання кожного нащадка, розвитком більш досконалих внутрішньопопуляційних механізмів регуляції чисельності та високою конкурентоспроможністю. Прикладами таких організмів є всі великі тварини та рослини, особини яких характеризуються тривалим терміном життя.

В усіх випадках використання біологічних ресурсів (лікарських, сировинних, рибних, мисливських тощо) спирається на здатність природних популяцій до автономної регуляції чисельності. Після вилучення з популяції деякої частини особин, їхня чисельність в популяції поступово відновлюється, а в багатьох випадках веде до збільшення потенціалу її відтворювання. *О.В. Яблоков* [19] підкреслював, що визначення меж відведення особин та біомаси популяцій є центральним завданням природокористування. Популяція є першим акцептором, який сприймає всю різноманітність порушень, що вносить в НПС діяльність людини. Якщо антропогенна діяльність навіть і не направлена прямо на ту чи іншу популяцію, вона опосередковано сприймає такі дії. Перевищення порогів використання популяцій завжди загрожує серйозними наслідками.

2.3 Основні положення синекології (екосистемології)

Поняття «*екосистема*» вперше було вжите англійським вченим А. Тенслі (1935), який запропонував таке визначення: «*екосистема* = *біотоп* + *біоценоз*». Екосистема (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-наслідкових зв'язків, що існували між окремими компонентами. Сукупність живих організмів ЕС називають *біоценозом*. *Біотоп* – сукупність елементів абіотичного середовища (фактори фізико-географічного середовища) [7].

У ЕС жива та косна (нежива) речовини пов'язані між собою обміном речовин. Поняття ЕС 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.

Термін «*біогеоценоз*» увів російський вчений В.М. Сукачов у 1940 р. У первинному визначенні – це сукупність однорідних природних елементів на певній ділянці поверхні Землі. Усі інші варіанти визначення зводяться до того, що *біогеоценоз* (БГЦ) – це ділянка земної поверхні з відносно однорідною рослинністю, тваринним світом, кліматичними і ґрунтовими умовами. Отже, БГЦ – це еволюційно сформована, територіально однорідна природна система живих організмів і абіотичних компонентів, пов'язаних між собою обміном речовин, енергії й інформації. За своїм змістом поняття БГЦ збігається з географічним терміном «*ландшафт*» - природний територіальний чи аквальний комплекс, що є генетично однорідною ділянкою з однотипною геологічною будовою, рельєфом, гідрокліматичним режимом, поєднанням ґрунтів і біоценозів.

Найчастіше терміни «*біогеоценоз*» і «*екосистема*» вживають як синоніми. Приблизно цим поняттям відповідають «*біокосне тіло*», «*біокосна система*», «*голоцен*», «*холон*» [11]. Незважаючи на те, що БГЦ і ЕС можна розглядати як синоніми, окремі дослідники вкладають у ці поняття різний зміст. 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, гідросферними, педосферними і літосферними 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. З одного боку, БГЦ мають певну просторову (вертикально-горизонтальну) структуру, а з іншого боку вони часто не мають чітких меж між собою. Е.М. Лавренко і М.В. Диліс (1968) запропонували дуже влучне визначення: «*біогеоценоз – екосистема в межах фітоценозу*». Межі БГЦ проводяться по межах конкретного рослинного угруповання, в той час як ЕС є більш широким і менш окресленим поняттям, бо відноситься як до краплі води зі ставка, так і до БС загалом.

Біогеоценологія – це наука про закономірності формування, структуру, поширення, розвиток і функціонування БГЦ та їхньої сукупності. *Екосистемологія* - розділ загальної екології, який вивчає ЕС, їх походження, закономірності формування, структурно-функціональні особливості, поширення, еволюцію, антропогенну динаміку, способи використання і охорону. *Синекологія* – розділ екології, що вивчає угруповання різних видів (популяцій) рослин, тварин, мікроорганізмів, їхніх трофічних груп, шляхи їх формування та біотичні взаємодії тощо; базується на положенні, що організми взаємодіють між собою, формуючи певні угруповання [7].

Таким угрупованням і виступає *біоценоз*, утворюючи цілий блок (підсистему) ЕС. Німецький біолог *К. Мебіус* (1877), який запропонував цей термін, розумів під ним організовану групу популяцій організмів, пристосованих до сумісного проживання в межах певного об'єму простору. *Р. Дажо* [17] вважає синонімом біоценозу такі терміни як *асоціація*, *угруповання*. Таким чином, біоценозом можна назвати сукупність рослин (*фітоценоз*), тварин (*зооценоз*), грибів (*мікоценоз*) і мікроорганізмів (*мікробіоценоз*), які заселяють дану ділянку суші або водоймища і характеризуються певними стосунками між собою, пристосованістю до оточуючого середовища. Як зазначає *М.Ф. Реймерс* [2], сталося змішання понять «угруповання» і «біоценоз». Біотичне угруповання може складатися з одних продуцентів (фітоценоз), консументів (зооценоз) або мікроорганізмів (мікробіоценоз), але біоценоз у класичному розумінні - системно-функціональна сукупність продуцентів, консументів і редуцентів, тобто екологічно багатокомпонентне утворення (таким є навіть біоценоз мишачої нори або болотної купини).

Отже, *біоценоз* - це конкретна сукупність живих організмів на певному просторі суші або акваторії. Цей простір з конкретними умовами місцезростання і є *біотопом* – середовищем існування біоценозу. Угруповання можна назвати біоценозом лише тоді, коли воно відповідає таким критеріям: має характерний видовий склад; має необхідний набір видів; характеризується певною тривалістю в часі; має свою територію і межі [5]. Перехід від одного біоценозу до іншого може бути поступовим, однак у всіх випадках існує перехідна зона (наприклад, перехід від поля до лісу, вкритий чагарником; між лісом і степом; між степом і пустелею; між озером і лісом і т.д.). Цю перехідну зону називають *екотоном*.

Абіотичне середовище, з яким взаємодіє біоценоз або його окремі елементи, створює інший блок (підсистему) – *біотоп*, тобто неорганічний субстрат, на якому розвиваються організми (угруповання організмів) або ділянка земної поверхні (суші або водоймища) з однотипними умовами середовища, зайнята певним угрупованням організмів - біоценозом. Сукупність подібних біотопів утворює *біохору*, які об'єднуються в *біоцикли* – великі підрозділи біосфери (море, суша і внутрішні водоймища).

Ю. Одум [11] деталізує структуру ЕС, виділяючи в ній такі компоненти:

- 1) *неорганічні речовини* (C, N, CO₂, H₂O та ін.), які включаються до кругообігу;
- 2) *органічні сполуки* (білки, вуглеводи, ліпіди, гумінові речовини тощо);
- 3) *кліматичний режим* (температура та інші фізичні фактори);
- 4) *продуценти* – автотрофні організми, головним чином зелені рослини, здатні в процесі фотосинтезу створювати харчовий ресурс (фітомасу) з простих неорганічних сполук;
- 5) *макроконсументи* або *фаготрофи* (від грецьк. *fagos* – той, що поїрає), гетеротрофні організми, головним чином тварини, які споживають інші організми або частинки органічної речовини;
- 6) *мікроконсументи* або *сапротрофи* (від грецьк. *sapro* - розкласти) – гетеротрофні організми, переважно бактерії і гриби, які розкладають складові сполуки відмерлої речовини, поглинають деякі продукти розкладу і вивільнюють неорганічні поживні речовини, придатні для використання продуцентами, а також прості органічні речовини, які слугують джерелом енергії, інгібітором чи стимулятором для інших біотичних компонентів ЕС.

Дуже важливим поняттям біоекології є *екологічна ніша* - місце популяції певного виду в ЕС, яке визначає не лише положення її у просторі, а й функціональну роль у біотичному угрупованні, відношення до комплексу абіотичних (температура, освітлення, вологість тощо) і біотичних чинників, тобто ступінь біологічної

спеціалізації, включаючи функціональні зв'язки з іншими компонентами біотичного угруповання.

Місце кожного виду (організму) в ЕС є невипадковим, а його роль у функціонуванні структури відповідає видовим властивостям та пристосуванням до довкілля. Під місцем розуміють як буквально часове та просторове положення виду, так і його розташування по відношенню до інших компонентів екосистеми (порівняйте - місце людини у суспільстві). Якщо місце оселення – це «адреса» виду, то екологічна ніша – його «професія». Термін «екологічна ніша» ввів Р. Джонсон (1910), Дж. Грінелл (1917) запропонував поняття «просторова ніша», Ч. Елтон (1927) – «трофічна ніша». Сучасні уявлення про екологічну нішу пов'язані з дослідженнями Дж. Хатчинсона (1957), який запропонував поняття багатовимірної ніші. У такому розумінні екологічна ніша – певний об'єм у багатовимірному фізичному просторі, що займає популяція будь-якого виду в ЕС, де кожний вимір відповідає градієнту одного з екологічних чинників, необхідних для життя виду. Це означає, що на формування екологічної ніші впливає комплекс екологічних чинників, амплітуда коливання яких відповідає зоні толерантності виду за кожним з них (згідно закону толерантності Шелфорда) [7].

У зв'язку з тим, що кожний організм взаємодіє з іншими членами біоценозу, і ця взаємодія найчастіше відбувається за типом конкуренції, то його потенційні можливості ніколи не співпадають з реальними умовами існування в ЕС.

За структурою екологічні ніші поділяють на: 1) *топічні* – параметри існування організму у просторі, в тому числі і просторі екологічних чинників (місце мешкання, просторове розташування особин, просторове розташування відносно зміни екологічних чинників); *трофічні* – характерні особливості живлення виду; 3) *термальні* – відношення виду до температурного фактору; 4) *часові* – зміна фізіологічної активності або переміщення особин у просторі та часі; 5) *багатомірні ніші* – враховують діапазон всіх умов існування виду та його популяцій.

завжди менша від фундаментальної. Вона деформована завдяки впливу обмежуючих факторів, перш за все – біотичної природи (конкуренція, мутуалізм).

Правило обов'язкового заповнення екологічної ніші – не існує виду без ніші, не існує ніші без виду. Всі екологічні ніші в екосистемі є зайнятими. При випадінні (вимиранні) одного виду, його ніша буде зайнята або поділена іншими. На це може піти багато часу. Часто на перший погляд порожні екологічні ніші насправді зайняті видами, які є нетиповими користувачами таких ніш. Наприклад, у бамбукових лісах Сахаліну немає дрібних хижаків – їх функцію виконують сірі щури (пацюки), які ведуть хижацький спосіб життя. Якщо вид зникає, може залишатися невикористаним ресурс (але не ніша!), який або зберігається та накопичується в екосистемі, або транспортується в сусідні (формуються потоки речовини та енергії).

З правила обов'язкового заповнення ніші витікає два поняття:

Екологічне дублювання – займання звільненої екологічної ніші іншим видом, здатним виконувати подібні функції, що і зниклий вид. Можна наперед змоделювати, який вид потенційно є дублером. Наприклад, появу СНІДу було спрогнозовано за 10 років до його відкриття як «грипоподібне захворювання з високою летальністю».

Екологічна диверсифікація – явище розділення екологічної ніші в результаті зростання спеціалізації видів та конкуренції між ними при їх сумісному мешканні. Таке розділення ніші послаблює міжвидову конкуренцію і виступає як один з механізмів видоутворення.

Екологічна ніша характеризується двома основними параметрами:

Ширина екологічної ніші – відносний параметр організму, який оцінюють шляхом порівняння з екологічною нішою інших видів (еврибійонти та стенобійонти).

Перекриття екологічних ніш – використання різними видами при сумісному існуванні одних ресурсів (умов). Перекриття може бути за одним або кількома екологічними факторами. Як наслідок перекриття ніш, види конкурують за певний ресурс (фактор).

У межах власної екологічної ніші кожна популяція є найбільш сильним конкурентом. За таких умов відбувається найбільш ефективно використання наявних ресурсів. Тому двом різним видам з близькими нішами уживатися важко. З цього твердження випливає один з основних екологічних принципів:

Принцип конкурентного виключення (принцип Гаузе) – кожний вид (популяція) може мати лише одну нішу. Якщо два види «співіснують» то вони мають розділені ніші хоча б за одним параметром. Інакше, конкурування за певним фактором призвело б до зникнення одного з видів.

Принципу конкурентного виключення суперечать дані високого видового різноманіття планктонних угруповань та тропічних лісів. «Планктонний парадокс» – співіснування багатьох видів дрібних планктонних організмів (перш за все – водоростей) у верхніх шарах водойм. Значне видове різноманіття не відповідає низькому різноманіттю умов середовища та наявних ресурсів. Це можна пояснити високою динамічністю параметрів середовища, незначним часом існування планктонних організмів та їх надзвичайною плодючістю. В результаті у кожний конкретний момент часу перевагу отримує певний вид, який миттєво реагує спалахом чисельності, але потім поступається місцем наступному. Тропічні ліси, навпаки, характеризуються стабільними умовами існування та надзвичайним видовим різноманіттям (на 1 га припадає до 200 видів тільки дерев!). Вважають, що в такому випадку конкуренція між особинами одного виду є більш вираженою, ніж між окремими видами. Завдяки стабільним умовам, екологічні ніші організмів є сильно диференційованими та щільно «упаковані». Більшість видів тропічних лісів є вузькими стенобіонтами. Як наслідок, жоден з видів не може стати домінантом, оскільки сам себе обмежує у ресурсах. Така «щільна» упаковка ніш призводить до того, що навіть незначні зміни умов довкілля (особливо, внаслідок антропогенної діяльності) є катастрофічними для ЕС тропічних лісів.

Динаміка ЕС полягає у взаємодії біотичного і абіотичного блоків, через які протікають речовина і енергія, творячи біогеохімічні кругообіги й енергетику ЕС.

2.3.1 Особливості кругообігу речовин в екосистемах

Нескінченна взаємодія абіотичних і біотичних компонентів ЕС супроводжується безперервним кругообігом речовини між біотопом і біоценозом у вигляді чергування то органічних, то мінеральних сполук. Існування у кожному угрупованні продуцентів, консументів та деструкторів, метаболізм (обмін речовин) яких є взаємопов'язаним, обумовлює повторний кругообіг основних елементів, необхідних для формування *живої речовини* (ЖР).

У кожній ЕС кругообіг речовини відбувається внаслідок взаємодії автотрофів і гетеротрофів. Такі хімічні елементи, як *C, H, O, N, S, P* й ще близько 30 простих речовин, необхідних для створення ЖР, 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: розчиняючись у континентальних (поверхневих) водах, виносяться у моря або надходять до атмосфери. Між цими середовищами відбувається постійний обмін речовиною. У зв'язку з цим, як

правило, говорять про *біологічний кругообіг атомів* (БКА). Не зупиняючись поки що на особливостях кругообігу окремих біогенних елементів, можна зазначити у чому полягає суть БКА (рис. 2.2).



Рис. 2.2 - Біологічний кругообіг атомів (БКА)

Утворення ЖР та розкладання органічної речовини – дві сторони одного процесу - БКА. У ході БКА атоми поглинають живі організми і синтезують з них сполуки, які накопичують енергію у вигляді хімічних зв'язків. За рахунок біогенної енергії відбувається багато хімічних реакцій. БК може бути різних масштабів і різної тривалості - від швидкого кругообігу, що протікає в конкретному ґрунті, річці, озері до тривалого, охоплюючого усю біосферу. БКА оборотний не повністю, частина речовин постійно виходить з кругообігу й акумулюється у товщі осадових порід (стратисфері) у вигляді органогенних вапняків, гумусу, торфу та ін. Внаслідок кругообігу біосфера не повертається до початкового стану: для БС характерний поступовий рух, тому для БКА більш справедливим символом є не коло, а циклоїда. Відповідно до *закону Вернадського* міграція хімічних елементів у БС відбувається за безпосередньої або непрямої участі живої речовини - за участю головного геохімічного агента БС.

2.3.2 Особливості 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 з найважливіших факторів функціонування БС.

Сонячна енергія проявляє себе в різних формах (кінетичній, потенційній, радіоактивного розпаду, електромагнітного випромінювання, морських хвиль, органічного палива та ін.) і в певних умовах переходить з одного виду до іншого (потенційна - до кінетичної, енергія випромінювання - до теплової тощо).

Перш за все необхідно пригадати, що властивості енергії визначаються законами термодинаміки. Згідно з *першим законом термодинаміки* 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 з концентрованої форми у розсіяну, тобто деградує (наприклад, тепло гарячого предмета доволіно 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 доволіного перетворення кінетичної енергії на потенційну (наприклад, сонячного світла в енергію хімічних сполук) завжди менше ніж 100%.

Під *екологічною ентропією* розуміється безповоротне розсіювання 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 неупорядкованості системи; чим більша ентропія, тим більша неупорядкованість і навпаки). Низька ентропія досягається постійним і ефективним розсіюванням енергії (наприклад, енергії світла і їжі) й перетворенням її на енергію, яка витрачається на роботу (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 законів термодинаміки. Усі перетворення в ЕС завжди відповідають термодинамічній моделі незамкненої системи. Дію двох законів термодинаміки можна продемонструвати на прикладі перетворення сонячної енергії на енергію поживних речовин (наприклад, вуглеводів) у процесі фотосинтезу. Для опису «поведінки» енергії в ЕС підходить поняття *«потік енергії»*, оскільки, на відміну від біогеохімічних кругообігів, перетворення енергії відбувається в одному напрямку (рис. 2.5).

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.). Рослини фіксують шляхом фотосинтезу лише близько 1% енергії сонячного випромінювання, що надходить до поверхні Землі. Причому, лише 10% цієї енергії, яку отримують рослини, трансформується на біомасу. Тобто *коефіцієнт корисної дії* (ККД) фотосинтезу є дуже низьким (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

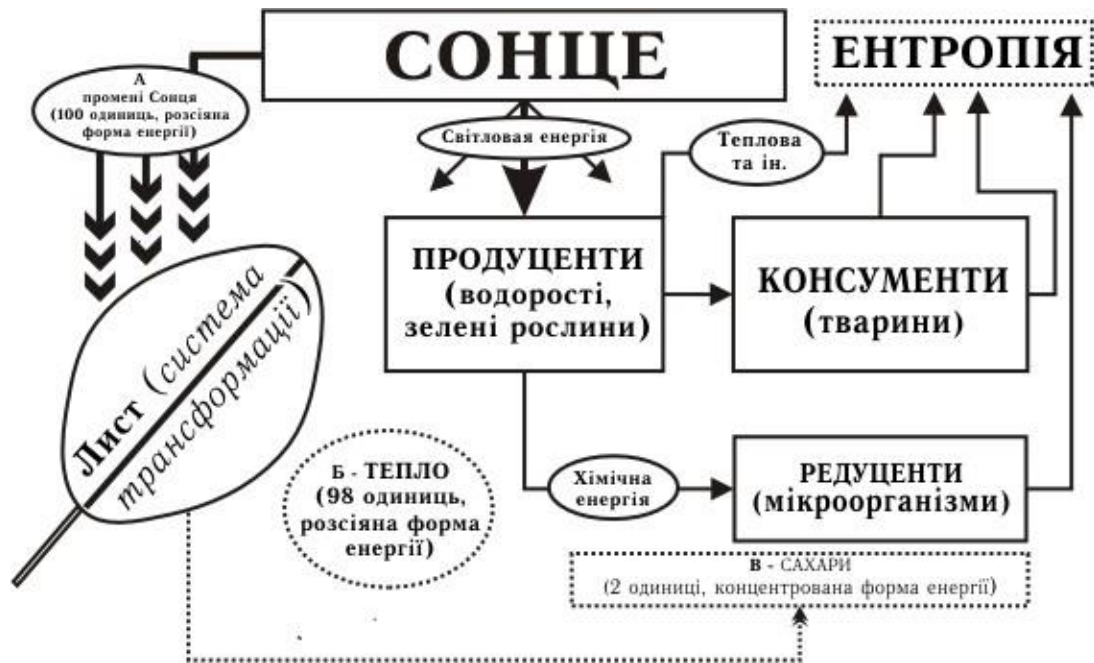


Рис. 2.3 - Схема спрямованості і трансформації потоку енергії.

(60 - 70%) витрачається на дихання, достатньо значна кількість (30 - 40%), не проникаючи у листя, відбивається від поверхні рослин.

У зв'язку з низькою ефективністю засвоювання енергії біосистемами, зміни енергетики природної ЕС у межах 1% можуть вивести її з 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 надходить до поверхні нашої планети.

Антропогенні зміни, що перевищують допустиму межу, здатні викликати негативні наслідки у природних ЕС. Отже, правило 1% необхідно 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 рослинну масу, яка слугує для живлення гетеротрофних організмів (консументів та редуцентів). *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.

Трофічний ланцюг: продуценти - рослиноїдні (консументи I-го порядку) - м'ясоїдні (консументи II-го порядку), насправді більш складний. Так, до м'ясоїдних консументів додаються паразитуючі види, хижаки, які можуть споживати інших хижаків (консументи III-го порядку). Крім того, у кожній екосистемі існує багато паралельних трофічних ланцюгів, які утворюють єдину трофічну мережу, у вузлах якої розташовані види, які слугують ресурсом для різних організмів. Щодо редуцентів, 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 називається

трофічним рівнем. Організми одного трофічного рівня характеризуються певною формою споживання та утилізації енергії.

Якось «осторонь» опиняються редуценти, які можуть скласти трофічний рівень, починаючи з другого (безпосередньо розкладаючі тіла продуцентів). На кожному наступному трофічному рівні енергія, накопичена рослинами в процесі фотосинтезу, розсіюється. Будь-який рослиноїдний консумент 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, спожитий травоядними, перетворюється на тваринні тканини. Якщо кількість калорій, спожитих консументами, прийняти за 100%, то 60-70% цих калорій потрапить до шлунку, і з 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 не більше 10% енергії. Консументи не просто пасивні споживачі, що входять до трофічного ланцюгу. 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 біогенних речовин до ґрунту. Завдяки цьому, в дощовий сезон посилюється відновлення трави і збільшення її продукції. Краби, риючи ґрунт, посилюють циркуляцію води навколо коріння рослин, якими вони харчуються, вносять до анаеробної зони кисень і необхідні для росту речовини, постійно переробляючи багаті органікою відклади, вони поліпшують умови для зростання і розвитку продуцентів.

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.

Поняття про екологічні піраміди. Як уже відзначалось, процес безперервної трансформації енергії супроводжується її розсіюванням, втратами, зростанням ентропії, які компенсуються постійним надходженням сонячної енергії (1 г сухої умовної фітомаси в середньому містить 18,7 кДж енергії). В ЕС утворюється і руйнується органічна речовина, що дозволяє оцінювати їх продуктивність як швидкість утворення органічної речовини.

Виділяють наступні види продукції. *Валова первинна продукція* ЕС – це кількість речовини (енергії), яку виробляють продуценти за певний період часу. Найзручніше для оцінки продуктивності використовувати масові показники, виражені у т на одиницю площі за період часу (найчастіше, т/га за рік). У зв'язку з тим, що більша частина отриманої енергії витрачається самими продуцентами, для наступного трофічного рівня доступною є лише її певна частка. Ця частка отримала назву *чиста первинна продукція* – це кількість накопиченої речовини (енергії) на трофічному рівні з урахуванням витрат для підтримання життєдіяльності (головним чином - дихання). Як вже було зазначено, чиста первинна продукція не перевищує 10% загальної кількості спожитої речовини та енергії. Проте, консументи не здатні повністю засвоїти навіть всю наявну чисту продукцію продуцентів і перехід на наступний трофічний рівень призведе до втрати значної частки енергії. Підрахунки показали, що при передачі від кожної попередньої ланки наступній ланці трофічного ланцюга втрачається близько 90-99% енергії. Тобто, якщо рослинами створено на 1 м² земної поверхні 84 кДж енергії, то продукція

первинних консументів буде гарантовано нижчою 8,4 кДж, а вторинних - не більше 0,84 кДж.

Крім первинної продукції в ЕС відбувається формування вторинної продукції. *Вторинна продукція* – біомаса (енергія), синтезована гетеротрофними організмами всіх трофічних рівнів за одиницю часу на величину площі (об'єму). Величина вторинної продукції визначається рівнянням: *вторинна продукція = асимільована енергія – дихання*.

Враховуючи описану вище ефективність передачі енергії буде очевидним зменшення біомаси кожного наступного трофічного рівня ЕС. Співвідношення поміж продуцентами, консументами (першого, другого порядків) та редуцентами в ЕС, яке відображене 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 біомаса продуцентів (як на одиницю площі, так і абсолютна) завжди більша, ніж вага консументів, консументів першого порядку - більша ніж консументів другого порядку і т.д., тому графічна модель звичайно має вигляд піраміди. Проте, у деяких водних ЕС, які відрізняються високою біопродуктивністю продуцентів, *піраміда біомас може бути переверненою*, тобто біомаса продуцентів в них є меншою, ніж консументів, а іноді і редуцентів. У цілому ж екологічні піраміди відображують зменшення видового різноманіття, кількості біомаси та енергії від більш низьких до більш високих трофічних рівнів, тобто відображують основну спрямованість трансформації енергії в ЕС. Відповідно до закону *піраміди енергії* (Р. Ліндеман, 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). Це дозволяє зробити деякі еколого-економічні підрахунки (необхідної земельної площі для забезпечення населення продовольством і т.д.).

Найбільша первинна валова продукція характерна для ЕС тропічних лісів та коралових рифів. Проте, слід пам'ятати, що їх чиста первинна продукція практично дорівнює нулю – вся речовина, що синтезується у межах таких ЕС, швидко споживається самою екосистемою. Такі ЕС характеризуються високим ступенем закритості, де відбувається практично повний кругообіг речовини та енергії. Низька первинна валова продукція характерна для екосистем хвойних лісів або боліт. У той же час, ці екосистеми формують надзвичайно велику чисту первинну продукцію, що пов'язано з несприятливими умовами повного засвоєння та розкладу рослинних решток. У зв'язку з цим в цих ЕС формуються потужні відклади торфу та рослинних решток. Слід пам'ятати, що людина може певною мірою використовувати продукцію ЕС лише за умов не перевищення видобутку чистої первинної продукції. Використання валової первинної продукції призводить до знищення ЕС. Тобто, будь-яке використання у господарських цілях ЕС тропічних лісів або коралових рифів призводить до їх руйнування.

Слід зазначити, що на вершині екологічної піраміди знаходиться людина. *Автотрофність людства* - поняття, що відповідає можливості перетворення людиною енергії Сонця та її похідних видів (енергії вітру, води) на енергію органічних речовин, які можна використовувати як харчові продукти або здійснювати їх подальшу переробку. Проте, на сьогоднішньому етапі розвитку технології ефективність таких способів споживання енергії Сонця є набагато меншою, ніж використання природних

процесів фотосинтезу шляхом вирощування та споживання продукції культурних рослин.

Енергетичний потенціал ЕС нерівномірно розподіляється по поверхні Землі. Навіть у межах 10% оброблюваної поверхні суходолу продуктивність агроєкосистем значно відрізняється. У цьому полягає важлива проблема існування людства, оскільки найбільша густота населення не завжди пристосована до ландшафтів, де продуктивність органічного матеріалу максимальна.

2.3.3 Структура екосистем

Екосистеми являють собою відкриті системи, які обмінюються зі своїм довкіллям речовиною та енергією. Проте, в межах ЕС зазвичай інтенсивність процесів передачі та трансформації речовини та енергії набагато вища, ніж такі процеси між сусідніми ЕС. Разом з тим, ЕС не являє собою абсолютно однорідну систему у просторі і часі.

1) *Просторова структура.* Для будь-якої системи є характерною значна просторова гетерогенність та зміна її структурних і функціональних параметрів у часі. За просторовою гетерогенністю в ЕС розрізняють вертикальну неоднорідність – *ярусність*, та горизонтальну гетерогенність - *мозаїчність*. Основним фактором, який створює градієнт вертикального розчленування ЕС, є кількість світлової енергії, що надходить у різні яруси. Для водних ЕС процеси поглинання та розсіювання сонячного світла є визначальним фактором розшарування біоценозу. Незважаючи на надзвичайні розміри Світового океану, його найбільш продуктивні ЕС утворюють тоненьку плівку, яка не проникає глибше 200 м (так званий «еуфотичний шар»). Товща океану та його дно на великих глибинах являють собою «океанську пустелю», де життя є дуже розпорошеним або існує у вигляді «океанських оазисів».

Проникнення сонячних променів у ЕС суші також має визначальний характер, проте його градієнт залежить від розвитку рослинності й особливо проявляється в лісових біоценозах (хоча така ярусність прослідковується від тундри – до пустелі). При спільному існуванні різних за висотою рослин, фітоценоз має чітку ярусну структуру. Причому, гетерогенність розподілу автотрофного компоненту призводить до нерівномірного розподілу і гетеротрофів. Існують спеціалізовані види тварин, які мешкають в різних ярусах – від підстилки лісу, до крон дерев.

Горизонтальна неоднорідність ЕС, або *мозаїчність*, пов'язана передусім з неоднорідністю геологічного середовища: неоднорідність рельєфу (пониження та підвищення), хімічного складу (збіднені та збагачені біотопи). Наявність мозаїчності має важливе значення для життя угруповання. Мозаїчність дозволяє більш повно використовувати різні типи мікробіотопів. Це веде до збільшення чисельності та різноманітності видів у біоценозі, сприяє його стійкості і життєздатності.

2) *Видова структура біоценозу.* Як результат відбору на сумісне співіснування за умов тривалої еволюції ЕС у її біоценозі формується власний, часто унікальний видовий склад. Для характеристики видового складу найчастіше використовують два не тотожних параметри, які слід чітко розрізняти: 1) видове багатство, 2) видове різноманіття.

Видове багатство - це загальне число видів живих організмів біоценозу, що мешкають в даному біотопі. Чим вищим є видове багатство, тим стійкішим є біоценоз, і навпаки.

Видове різноманіття - враховує як кількість видів, так і відносну їх представленість в біоценозі (частку від видового багатства). Для розрахунку видового різноманіття використовують різноманітні математичні показники.

Популяції різних організмів у складі угруповань мають неоднакову роль для функціонування екосистем. Є види, які мають структурну роль, які визначають особливості функціонування ЕС. Саме за розташуванням у просторі таких популяцій визначають межі окремих ЕС. У наземних екосистемах такими видами найчастіше є рослини. У водних екосистемах – колоніальні організми (губки, коралові поліпи) та організми, які утворюють щільні скупчення (водорості, молюски). Такі угруповання з одним або кількома центральними видами називаються *консорції*. *Консорція* (від лат. *consortio* - співучасть, спільність) – багатовидове угруповання, що формується навколо центрального члена, який визначає та регулює біотичні зв'язки та формує специфічне середовище існування. Центральним членом такого угруповання є *вид-детермінант* або *вид-едифікатор*.

3) *Трофічна структура біоценозу*. В залежності від типу первинного джерела енергії ЕС можуть характеризуватися різними типами організації трофічної структури. Біоценоз ЕС може складатися з *пасовищних трофічних ланцюгів* та *детритних трофічних ланцюгів*. Пасовищні трофічні ланцюги становлять таку послідовність живих організмів: продуценти (*P*) – первинні консументи (*C₁*) – вторинні консументи (*C₂*) – третинні консументи (*C₃*). У кожному конкретному випадку ланка консументів може бути багатоскладовою. Так, в морських ЕС пасовищні трофічні ланцюги можуть бути представлені: фітопланктон (*P*) – зоопланктон (*C₁*) – риби, які харчуються планктоном (*C₂*) – риби-хижаки або рибоїдні птахи (*C₃*). У детритних трофічних ланцюгах первинним джерелом енергії виступають відмерлі рештки та продукти життєдіяльності продуцентів та консументів, які споживаються редуцентами. У свою чергу, редуценти стають здобиччю для консументів різних порядків. Так, в морських екосистемах детритний ланцюг абісальних ЕС можна представити таким чином: сапротрофні мікроорганізми (*R*) - фільтратори та детритофаги (*C₁*) – риби, які харчуються донними тваринами (бентофаги) (*C₂*) – хижі риби (*C₃*). Подібно до морських ЕС, детритні ланцюги присутні і в наземних екосистемах (бактерії, ґрунтові безхребетні, ґрунтові хижаки). Зазвичай, детритні ланцюги коротші та менш розгалужені, оскільки продуктивність ЕС, основним джерелом енергії в яких виступає детрит, є незначною. Пасовищні та детритні трофічні ланцюги найчастіше представлені в екосистемах одночасно, але майже завжди один з них домінує.

Завдяки різноманіттю трофічної структури в екосистемах здійснюється трансформація речовини та енергії і розподіл їх між видами (популяціями). Чим багатшим є видовий склад біоценозу, тим різноманітніші напрями і швидкість потоку речовин і енергії. Відповідно, тим стабільнішою є екосистема.

Кількість трофічних рівнів в ЕС зазвичай не більше 3 – 4 (продуценти - первинні консументи - вторинні консументи - редуценти), оскільки біомаса на подальшому трофічному рівні на 90 - 99% менша, ніж на попередньому. Наприклад, якщо на 1 га біомаса продуцентів дорівнює 1000 кг, то біомаса трав'янистих консументів буде не більша 100 кг, а біомаса м'ясоїдних - не більша за 10 кг.

Проте, стан незмінності природних екосистем, які існують начебто нескінченно довго, насправді є квазістаціонарним. Стабільні ЕС знаходяться у стані динамічної рівноваги, що називається *гомеостазом екосистеми*. Такий стан є можливим завдяки здатності ЕС до авторегуляції свого складу та функцій при зміні параметрів середовища за умов, що такі зміни не виходять за межі зони толерантності виду-едифікатора (популяції, угруповання). Така здатність до авторегуляції виникає в результаті взаємодії та взаємозалежності кругообігів речовини та енергії, наявності сигналів «зворотного зв'язку» між окремими підсистемами ЕС. Крім того, стійкість ЕС забезпечується надлишковістю її функціональних компонентів. Наприклад, якщо в угрупованні є декілька видів автотрофів, кожен з яких характеризується своїм

температурним діапазоном функціонування, то швидкість фотосинтезу угруповання в цілому може залишатися незмінною, незважаючи на коливання температури.

Штучні малокомпонентні ЕС, без досконалої системи зворотних зв'язків та процесів кругообігу речовини і потоків енергії не є стабільними і не здатні до авторегуляції. Тому такі ЕС (наприклад, агроєкосистеми та урбоєкосистеми) потребують штучного регулювання, часто вимагаючи значних витрат речовини та енергії для підтримання стаціонарного стану та високих показників продуктивності.

2.3.4 Динаміка екосистем

Будь яка ЕС, незважаючи на достатню стабільність структури, є динамічною єдністю. В ній постійно відбуваються зміни стану і життєдіяльності компонентів, їх взаємовідносин. Всі зміни в ЕС можна віднести до двох типів: циклічні, або періодичні; неперіодичні.

Циклічні, або періодичні, зміни. Відображають добову, сезонну та багаторічну періодичність зміни зовнішніх умов. Ця періодичність обумовлена циклами у природі, які пов'язані з космічними явищами. Циклічні зміни можуть бути добовими, сезонними та багаторічними. Добові зміни пов'язані зі зміною сили екологічних факторів середовища (температура, вологість, освітленість тощо) при зміні дня і ночі, яка відбувається внаслідок обертання Землі навколо своєї осі. Добові зміни спостерігаються у всіх географічних зонах, навіть там, де немає зміни дня і ночі. Вони призводять до зміни активності організмів: одні активні вдень, а пасивні вночі, інші - навпаки. Часто спостерігаються добові міграції (планктон, ґрунтові організми).

Сезонні зміни пов'язані зі зміною сили екологічних чинників при зміні сезонів, що обумовлена обертанням Землі навколо Сонця. Сезонні зміни більше виражені в напрямку від екватора до полюсів. Багаторічні зміни обумовлені періодичністю локальних та глобальних змін клімату, які пов'язані зі зміною загальної циркуляції атмосфери, посиленням або послабленням сонячної активності. Так, періодично посушливий рік змінюється мокрим, теплий-холодним і т.д. Це призводить до досить значних змін як якісних, так і кількісних характеристик ЕС.

Однак всі перераховані вище циклічні зміни, незалежно від ступеня їх вираженості, не змінюють саму сутність ЕС, і, відповідно, не призводять до зміни її структури та функціонування.

Неперіодичні зміни – це зміни, які не мають закономірного повторення в часі. За характером вони поділяються на *випадкові* та *поступальні*. Випадкові зміни викликаються різкою зміною сили екологічних чинників внаслідок природних катаклізмів (повінь, ураган, землетрус та ін.) та антропогенних чинників. Вони непередбачувані і не мають закономірностей протікання, тому мають ознаки катастрофи. Такі зміни призводять *біоценотичної кризи* – низки подій, в результаті яких відбувається порушення сталих міжвидових зв'язків в угрупованнях, що призводить до руйнування стабільності ЕС. Біоценотичні кризи внаслідок катастрофічних подій неодноразово відбувалися на Земній кулі. Зокрема на початку протерозою (2,5 млрд. років), після появи ціанобактерій, діяльність яких призвела до накопичення кисню у повітрі та у воді, більшість живих організмів, їх угруповань та ЕС за їх участю, які існували до цього моменту, повністю зникли. Це явище отримало назву «киснева катастрофа».

Поступальні зміни в ЕС відбуваються в одному напрямку, у зв'язку з тим, що рушійною силою є односпрямована зміна сили екологічних факторів в бік їх посилення або послаблення. В кінцевому підсумку вони призводять до зміни одного біоценозу іншим і, відповідно, формуванню нової ЕС. Закономірний історичний процес

послідовної зміни одного біоценозу іншим в результаті спрямованої зміни абіотичного оточення має назву *сукцесія*. Ряд нестійких біоценозів, які змінюють один одного в часі, називається *серією*, а самі біоценози – *серіальними стадіями*. Термінальна, стабільна стадія сукцесії ЕС називається *клімаксною стадією* або просто *клімаксом*.

Теоретично ЕС у стані клімаксу здатна підтримувати існування необмежено довго. У клімакській ЕС річна продукція врівноважується річним споживанням. Уявлення про те, що в ході сукцесії екосистема неминуче приходить до стабільного стану, однозначно прийняте всіма екологами. Однак, щодо його інтерпретації, існує два погляди. Згідно традиційних поглядів (концепція моноклімаксу), у певній фізико-географічній області можливий лише один клімакс. Тобто, незалежно від початкової стадії, розвиток всіх ЕС призводить до формування однакових умов та угруповань. Згідно з більш реалістичною концепцією поліклімаксу, не слід очікувати, що всі ЕС в даній кліматичній області в результаті свого розвитку будуть виглядати однаково. Найчастіше, у зв'язку з гетерогенністю геологічного середовища, особливостей руху атмосферних мас та гідрологічних процесів, утворюється велике різноманіття умов, в яких формуються різні клімакські ЕС. Більш того, процеси сукцесії є дуже тривалими – часто кілька сотень років, протягом яких відбуваються глобальні зміни кліматичних, геологічних, гідрологічних факторів, в результаті чого ЕС після свого порушення не може повернутися до початкового клімаксного стану.

Виділяють два основних типи сукцесії:

Первинні сукцесії починаються на місці, позбавленому життя (скелі, піщані дюни, вулканічна лава, наноси річок і т.д.). Вони включають кілька етапів: 1) виникнення середовища, позбавленого життя (наприклад, внаслідок катастрофічного руйнування середовища); 2) міграція до середовища організмів або стадій їх розселення; 3) приживання організмів, утворення біоценозу; 4) конкуренція їх між собою і витіснення окремих видів; 5) перетворення біоценозом свого біотопу, поступова стабілізація умов і відносин. При первинних сукцесіях швидкість зміни біоценозів, як правило, невелика. Серіальні стадії змінюють одна одну протягом значного проміжку часу, і досягнення клімаксного стану займає дуже багато часу (століття і тисячоліття).

Вторинні сукцесії – це сукцесії, які починаються на місці зруйнованої ЕС. В сучасних умовах вони спостерігаються повсюдно. Зміна серіальних стадій одна одною і досягнення клімаксного стану тут відбувається значно швидше, ніж при первинних сукцесіях. Це пов'язано зі збереженням середовища – збереженням ґрунту, водних ресурсів, наявністю зачатків (діаспор) попереднього біоценозу.

Залежно від причин, які викликають сукцесії, вони поділяються на два типи: *ендогенні (автогенні)* та *екзогенні (алогенні)*.

Ендогенні сукцесії викликаються внутрішніми причинами. Наприклад, внаслідок життєдіяльності біоценозу змінюються умови середовища, що впливає на пристосованість окремих видів, протікання процесів кругообігу речовини та потоків енергії. Або через появу нового виду (вселення або еволюційних змін) відбувається зміна структури біоценозу і, відповідно, всієї ЕС.

Екзогенні сукцесії викликаються зовнішніми причинами. В залежності від характеру причини вони поділяються на такі види: а) *антропогенні* – викликаються діяльністю людини; б) *зоогенні* – викликаються тваринами (наприклад, перевипас); в) *кліматогенні* викликаються зміною клімату (наприклад, зміна степових типчакових фітоценозів на сірополинні при збільшенні вологості); г) *едафогенні* – викликаються зміною властивостей ґрунту (наприклад, засолення, закислення, виснаження); д) *геологічні* – викликаються тектонічними процесами (опускання або піднімання поверхні земної кори, вулканічна діяльність).

Поміж сусідніми ЕС встановлюються певні зв'язки і обмін, але менш важливі, ніж між біоценозами однієї системи. Про це можна говорити на прикладі двох суміжних ЕС – лісу та озера. У лісовій ЕС існує низка зв'язків між складовими біоценозу (продуценти - рослиноїдні - м'ясоїдні і т.д.). Те ж саме можна спостерігати і в озері: фітопланктон споживається зоопланктоном, останнім харчуються риби, хижі риби поїдають більш дрібних і т.д. Отже, у обох ЕС відзначаються свої трофічні ланцюги. На перший погляд між ними немає зв'язку. Однак восени частина листя, що опало, потрапляє до озера, де воно розкладається і стає їжею для деяких гідробіонтів. Личинки комах мешкають у воді, але дорослі особини покидають водне середовище і оселяються у лісі.

2.3.5 Приклади екосистем і принципи їх класифікації

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

Коралові рифи - своєрідні угруповання мілководних морських організмів тропічної зони Світового океану, що представляють собою симбіоз мадрепорових коралів і одноклітинних водоростей (дінофлагелатів). Для них характерне високе видове різноманіття, багатство екологічних форм організмів. 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, прозорості водної товщі і високій насиченості її киснем. У мадрепорових коралів окремою особиною є поліп, який живе всередині вапнякової чашки, яку сам і будує, вилучаючи з морської води CaCO_3 і поживні речовини. У процесі фотосинтезу дінофлагелати виділяють O_2 , необхідний для дихання, а корали виділяють CO_2 та NO_3^- , які потрібні водоростям. Коралові рифи відрізняються високою біологічною продуктивністю і використовують речовини, що надходять з інших угруповань в мінімальних кількостях, але які майже нічого не втрачають. *Агроекосистеми* відрізняються від природних ЕС, які працюють на сонячній енергії, тому що одержують допоміжну енергію, у вигляді добрив та пестицидів, механічної оранки поверхні ґрунту. *Агроценози* (угруповання живих організмів, створені людиною для одержання сільськогосподарської продукції) характеризуються збідненим біорізноманіттям, вони нестійкі, без підтримки людиною деградують і трансформуються в природні порушені біоценози (рудеральні та сегетальні біоценози). Компоненти початкових біоценозів звичайно зникають, чи то зберігаються лише у вигляді реліктів. Основу агроекосистеми складає культурний фітоценоз (багаторічні і однорічні трави, зернові, просапні тощо), який поповнюють угруповання комах, тварин і птахів. Агроекосистеми займають близько 10% всієї поверхні суші (1,2 млрд. га) і дають людству близько 90% всіх харчових ресурсів. 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 за рахунок країн Азії, Африки і Південної Америки); 2) інтенсивні механізовані, з великими енергетичними дотаціями у вигляді роботи машин, агрохімікатів тощо.

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,

матеріалів тощо), більш потужним і більш отруйним потоком відходів (багато з 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 [20, 21].

Незважаючи на незначну площу (1-5% у різних регіонах) суші, яка зайнята містами, останні значно впливають 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 прилеглий сільській місцевості. Навіть віддалені від міст райони можуть піддаватися їх впливу, тому що з 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 харчових ресурсів, не очищають повітря, не повертають до кругообігу воду, деякі хімічні елементи та інші неорганічні речовини [11].

Міста відрізняються високою густотою заселення (у Лондоні, Нью-Йорку та Токіо вона дорівнює 10-12 тис. чол. на 1 км²). 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. У містах переважають споруди трьох типів: виробничі, адміністративні та побутові. У 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 [16].

Єдиної класифікації ЕС немає. ЕС розрізняються: 1) за *генетичними ознаками* (природні, напівприродні, штучні); 2) за *розмірами* (мікро-, мезо-, макро-, глобальні); 3) за *типом енергетичного забезпечення* (автотрофні, гетеротрофні) тощо.

Ю. Одум [11] 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).

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 [11] виділяє наступні типи ЕС.

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 продуктивність. 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 до обороту 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 продуктивність 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 і 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 таку ж кількість сонячної енергії.

3. *Субсидовані людиною ЕС, які отримують енергію від Сонця.* Приклади: агроєкосистеми, підводні плантації (аквакультури). 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 агроєкосистем, 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». Найпродуктивніші типи цих ЕС рівноцінні 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 розподілі потоку енергії.

4. *Промислово-міські ЕС, які отримують енергію палива.* Приклади: міста, передмістя, індустріалізовані зелені зони. У цих ЕС генеруються багатства людства, але в них утворюється й основна кількість забруднюючих речовин. Головним джерелом енергії слугує паливо (органічне, ядерне), а не сонячна енергія. Ці ЕС 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 вища за той потік енергії, який підтримує життя у природних та напівприродних ЕС, які споживають сонячну енергію. З цієї причини безліч людей можуть жити на невеликій площі промислово-міських ЕС. Величина енергії, яка щорічно витрачається на 1 м² 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.

Питання для самоконтролю:

1. Що є об'єктом вивчення аутоекології?
2. Що таке екологічний фактор?
3. За якими ознаками класифікуються екологічні фактори?
4. Що таке середовище і які існують типи середовищ?
5. У чому полягає суть закону єдності організму та середовища?
6. Що таке адаптація?
7. Які типи організмів виділяються за екологічною валентністю?

8. В чому суть закону мінімуму Ю. Лібіха?
9. В чому суть закону мінімуму В. Шелфорда?
10. В чому суть закону сумісної дії факторів Мітчерліха-Бауле?
11. Які основні групи екологічних факторів?
12. Які специфіка абіогенних (абіотичних) факторів?
13. Які особливості біогенних (біотичних) факторів?
14. Які основні типи взаємодій між організмами?
15. У чому суть принципу (закону) Г.Ф. Гаузе?
16. Які основні фактори живлення?
17. Дати визначення антропогенних факторів.
18. Що є об'єктом вивчення демекології?
19. Що таке популяція?
20. Які параметри використовують для характеристики популяцій?
21. Які основні типи структур популяції?
22. Що є показниками динаміки популяцій?
23. У чому полягає прикладний аспект демекологічних досліджень?
24. Яка різниця між поняттями «екосистема» і «біогеоценоз»?
25. Дайте визначення понять «біотоп», «біоценоз».
26. Що таке екологічна ніша?
27. Які компоненти виділяються в структурі екосистеми?
28. У чому суть біологічного кругообігу атомів (БІК)?
29. Що таке екологічна ентропія?
30. Сформулюйте правила 1% і 10%.
31. Що таке автотрофи і гетеротрофи?
32. Що таке продуценти, консументи і редуценти?
33. Які існують типи екологічних пірамід?
34. Що називається гомеостазом?
35. Що таке сукцесія? Які існують види сукцесії?
36. За якими ознаками розрізняються екосистеми?
37. Наведіть біомну класифікацію екосистем.
38. Які виділяються екосистеми за джерелом енергії?

3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОСФЕРОЛОГІЇ (ГЛОБАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ)

3.1 Загальні уявлення про біосферу

Термін «*біосфера*» (БС) утворений з грецьких слів «*bios*» - життя і «*sphaira*» - куля. Найбільш близько до сучасного поняття підійшов французький дослідник *Ж.Б. Ламарк* у 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 поверхнями, 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 БС, *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.), створив узгоджене вчення 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 значною мірою визначається діяльністю організмів. Суть вчення 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. Янин, 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 50°C . Оптимальна температура, за якою проявляється найвища активність організмів відповідає межах $0 - 30^{\circ}\text{C}$ [5, 6].

Верхня межа БС, за *В.І. Вернадським*, є променевою (зумовлена наявністю короткохвильового ультрафіолетового проміння, від якого життя на Землі захищає озоносфера), а *нижня* – термічною (наявністю високих температур). Межі БС звичайно визначаються від рівня 20-22 км над земною поверхнею до понад 11 км в глибину океану. 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°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. Вассоевичем*), 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 праця «*Хімічна будова БС і її оточення*» (М., 1965), видана більш ніж через 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 фізико-хімічних процесів, які відбуваються в них, 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'язків 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 БГЦ (ЕС) 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 БГЦ (ЕС), але це цілісне утворення, в якому формуються властивості, відсутні у складових його частинах (принцип емерджентності). Однак багато з таких властивостей самих складових є результатом саморозвитку БС як органічного цілого.

Як зазначає *Ф. Рамад* [22], «біосферу можна зобразити як частину планети, яка включає сукупність живих істот і у якій можливе постійне життя».

Для численних характеристик БС основоположними є: 1) завжди є присутньою вода в рідкому стані; 2) в БС постійно проникає сонячна радіація, яка являє собою основне джерело енергії; 3) існують постійні та різноманітні форми життя.

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 БС, парабіосферні зони, тропосфера + стратосфера і верхня частина літосфери складають *екосферу*. *Ю. Одум* [11] вважає, що поняття «екосфера» і «біосфера» – це синоніми.

Основними типами речовин БС за *В.І. Вернадським* 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) *косна (нежива) 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, кора вивітрювання, мули, ґрунти), співвідношення між живими і неорганічними компонентами в біокосній речовині варіює в широких межах;
- 5) *радіоактивна речовина*;
- 6) *розсіяні атоми*;
- 7) *космічна речовина* (метеорити, космічний пил).

Як зазначає *О.І. Перельман* [23], 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 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 «Деякі слова про ноосферу» (1944 р.) він відзначав, що не розуміє, як думка, не будучи матерією, викликає великі зміни. Характеризуючи БС, 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 *негентропійні* (антиентропійні) – що призводять до збільшення складності, різноманітності, упорядкованості, накопичення інформації [23]. Наприклад, у прокаріотів, які не мають оформленого клітинного ядра і типового хромосомного апарату, спадкоємна інформація реалізується і передається через ДНК, а у еукаріотів, які мають оформлене клітинне ядро, генетичний матеріал міститься у хромосомах – складноорганізованих нуклеопротейдних структурах.

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 можливі зміни внаслідок порушення природно-історичної рівноваги під впливом антропогенних факторів.

Таким чином, виходячи із вчення *В.І. Вернадського* про БС можливі такі висновки:

1. *Принцип цілісності*. Можливо говорити про все життя, про всю живу речовину як про єдине ціле у механізмі БС. Вузькі фізико-хімічні межі існування життя – підтверджують принцип цілісності.

2. *Принцип гармонії біосфери та її організованості*. В БС усе враховується й усе пристосовується з тією ж точністю, з тією ж механічністю і з тим же підпорядкуванням міри і гармонії, яку ми бачимо в струнких рухах небесних світил і починаємо бачити у системах атомів речовини.

3. *Роль живої речовини в еволюції біосфери*. На земній поверхні немає хімічної сили, більш постійно діючої, а тому більш потужної за кінцевими наслідками, ніж живі організми у цілому. Лик Землі фактично сформований життям.

4. *Космічна роль біосфери в трансформації енергії.* В.І. Вернадський підкреслював важливе значення енергії і називав живі організми «механізмами перетворення енергії».

5. *Космічна енергія викликає тиск життя, який досягається розмноженням організмів.* Розміри популяції зростають до тих пір, поки середовище здатне витримувати її подальше зростання, після чого досягається рівновага. Чисельність коливається біля рівноважного рівня.

6. *Розтікання життя є проявом його геохімічної енергії.* Дрібні організми розмножуються значно швидше, ніж великі організми. Швидкість передачі (розмноження) залежить від щільності живої речовини.

7. *Поняття автотрофності.* Автотрофними називають організми, які беруть усі необхідні їм для життя хімічні елементи із оточуючої їх косної матерії і не вимагають для будови свого тіла готових сполук іншого організму.

8. *Життя визначається, уцілому, полем стійкості зелених рослин, а межі життя – властивостями фізико-хімічних сполук, що будують організм, їх незруйнованістю за певних умов середовища.* Максимальне поле життя визначається крайніми межами виживання організмів. Верхня межа життя обумовлюється променистою енергією, присутність якої виключає життя й від якої охороняє озоновий щит. Нижня межа пов'язана з досягненням високої температури.

9. *Життя залишалось протягом геологічного часу постійним, змінювалися лише його форми («кількість життя» також значно змінювалась протягом геологічної історії; фактично його кількість є незмінною лише з середини мезозою, а це лише третина геохронологічної шкали).*

10. *Повсюдність життя в біосфері.* Життя поступово, повільно пристосовувалось, захоплювало біосферу, і це захоплення не закінчувалось.

11. *Форми знаходження хімічних елементів:* гірські породи і мінерали; магма; розсіяні елементи; жива речовина. Згідно із законом бережливості у використанні живою речовиною простих хімічних тіл, організм вводить в себе тільки необхідну кількість хімічних елементів.

12. *Постійна кількість живої речовини в біосфері.* Кількість живої речовини і кисню в атмосфері приблизно одного порядку (для значних відрізків геологічного часу). Жива речовина є посередником між Сонцем і Землею.

13. *Будь-яка система досягає стійкої рівноваги, коли її вільна енергія дорівнює або наближається до нуля, тобто коли вся можлива в умовах системи робота виконана.*

За *структурою* БС являє собою якісно різномірне і відносно кількісного вмісту компонентів асиметричне утворення. Виділяють такі види неоднорідності БС [24].

1) *агрегатна* (складається із взаємодії трьох агрегатних станів - твердого, рідкого і газоподібного);

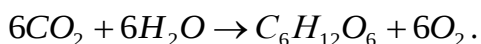
2) *просторова* (полягає в нерівномірності розподілу речовини і структур);

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);

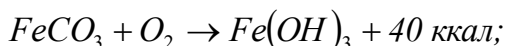
5) *зональна* (нерівномірне по широтних зонах розселення органічних форм і відкладення продуктів їх життєдіяльності).

Верхня частина БС, куди проникає сонячне світло і де можливий фотосинтез, називається *фітосферою*. Відомо, що у процесі *фотосинтезу* із CO_2 , H_2O та мінеральних елементів відбувається утворення органічних субстанцій, необхідних для життя. Схематично реакцію фотосинтезу можна представити таким чином:



Щорічно в процесі фотосинтезу засвоюється близько 200 млрд. т CO_2 і виділяється близько 145 млрд. т вільного O_2 . Фотосинтез здійснюють не тільки водорості і наземні 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, а утворення біомаси з мінеральних сполук (хемосинтез) істотного значення не має. Цю область підземних глибин материків з ізотермами понад 100°C та значних (темних) глибин морів і океанів іменують *редусферою* [23]. Понад 100 років тому С.М. Виноградський винайшов хемосинтез - процес синтезу органічних речовин із CO_2 , але не за рахунок сонячної енергії, як під час фотосинтезу, а за рахунок енергії, яку одержують при окисленні NH_3 , H_2S та інших відновних неорганічних сполук, який здійснюється бактеріями-хемосинтетиками (азото-, сірко- або залізобактеріями) у ході їх життєдіяльності. Процес отримання енергії при хемосинтезі йде за такими схемами:



Як джерело енергії використовуються неорганічні сполуки, головним чином, H_2S та CH_4 , а як джерело вуглецю – CO_2 . Високотермальні витоки приурочені до активних вулканічних ділянок серединно-океанічних хребтів і до зон *спредингу* (розходження літосферних плит). Окрім того, в різних частинах Тихого океану виявлені холодні витоки, також позбавлені O_2 й збагачені CH_4 і H_2S . Ці дані розширюють межі БС.

Асиметричність структури БС проявляється у нерівномірному розподіленні морських та континентальних ландшафтів.

«*Центром*» БС, тобто такою її частиною, яка має провідне значення і визначає своєрідність БС, вважаються лісові ландшафти, в 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 вирізняються «згустки» життя (наприклад, коралові рифи). Можливо, що «центром» БС можна вважати й верхні горизонти океану, тобто фітосферу в цілому.

Складні й тісні взаємодії між кліматом, живими організмами та фізичним субстратом призводять до утворення характерних регіональних угруповань або великих системно-географічних підрозділів в межах ґрунтово-кліматичних зон, тобто *біомів*. Найбільш значні біоми: тундра, хвойні ліси, листяні ліси, степи, чапаралі (райони з м'якою дощовою зимою й довгим спекотним 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. 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.

3.2 Жива речовина і її роль в біосфері

Жива речовина (ЖР) перетворює енергію сонячних променів в потенційну, а потім – в кінетичну енергію біохімічних процесів.

Живу речовину БС утворюють близько 1,7 млн. описаних (систематизованих) видів організмів (комахи – 950 тис., рослини – 250 тис., молюски – 150 тис., павукоподібні – 75 тис., гриби – 70 тис., хребетні – 45 тис. тощо), але прогностична оцінка припускає існування від 5 до 100 млн. видів. Найбагатшими на біорізноманіття є лісові ЕС, в першу чергу тропічні, в яких зосереджено 90% всіх видів БС. Біорізноманіття БС на видовому рівні ще недостатньо вивчено [7].

За останніми оцінками ЖР складає $18 \cdot 10^{11}$ тонн [16]. 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 по поверхні Землі, то вона утворила б плівку товщиною лише 5 мм. Однак, жива речовина надто нерівномірно розподілена в різних частинах БС. Незважаючи на порівняно невелику біомасу, у порівнянні з масою атмосфери, літосфери чи гідросфери, ЖР відіграє величезну роль у планетарних процесах. Це знайшло відображення в працях *В.І. Вернадського* в області біогеохімії, які набули практичного значення у наш час, бо є прикладною частиною вчення про БС. Сукупність і біомаса живих організмів в БС, або сукупність організмів усієї БС або будь-якої її частини, які виражаються в одиницях маси, енергії та інформації, слідом за *В.І. Вернадським* звичайно 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 потужної 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 екології та охорони довкілля. До робіт *В.І. Вернадського* роль ЖР була недооціненою, тому що маса її складає зовсім малу частину порівняно із масою інших складових БС. Великий норвезький учений, один із засновників геохімії, *В.М. Гольдшмідт* (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 (0,4536 кг), маса атмосфери відповідала б вазі мідної монети, а маса ЖР – масі 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* [23] 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. Базілович* (1971) уточнив цю величину (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - 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%
	Усього	$2,42 \cdot 10^{12}$ т	100%
Світовий океан	Зелені рослини	$0,0002 \cdot 10^{12}$ т	6,3%
	Тварини і мікроорганізми	$0,003 \cdot 10^{12}$ т	93,7%
	Усього	$0,0032 \cdot 10^{12}$ т	100%
Загальна біомаса організмів Землі		$2,4232 \cdot 10^{12}$ т	

Елементний склад ЖР відрізняється великою різноманітністю, але із великого числа (стабільних - 92) хімічних елементів (ХЕ) домінують (% від ваги): *O* - 70%, *C* - 18%, *H* - 10,5%, *Ca* - 0,5%, *N* - 0,3%, *K* - 0,3%, *P* - 0,07%, *S* - 0,05%, *Mg* - 0,04%, *Si*, *Na*, *Cl* - по 0,02%, *Fe* - 0,01%. На долю *O*, *C* та *H* 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 *ультрамікроелементи* (*U*, *Os* та інші).

Серед мікроелементів розрізняють дві основні групи: 1) які беруть участь у процесах клітинного метаболізму (*Cu*, *Zn*, *Co*, *Mn*, *Fe* тощо); 2) які не приймають участь в процесах клітинного метаболізму (*Hg*, *Sn*, *Pb* тощо). ХЕ першої групи необхідні для життєдіяльності людини, а другої – являються токсикантами. Деякі органи накопичують мікроелементи селективно (*Cd*, *Hg*, *Mn* – в нирках, *Sn* – в кишкових тканинах, *V* – у волоссі і нігтях тощо).

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* (*O*, *C*, *H*, *N*, *S*, *P*) 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.

В.І. Вернадський уперше відзначив величезну роль ЖР в геохімічних процесах. Міграція хімічних елементів в БС відбувається при безпосередній участі живої речовини (біогенна міграція) або при її непрямій участі. Це положення *О.І. Перельман* запропонував іменувати *законом Вернадського*. Завдяки цьому, хімічний склад живих організмів відображує їх місце у процесах біогеохімічного кругообігу і відображує еволюційне пристосування до їх існування у певному середовищі.

Кожний вид фіто- і зооценозу має свій хімічний склад. Це такий же видовий показник, як морфологія або біогеографічна зональність. Організми мають вибіркову здатність накопичувати ХЕ. Концентрації елементів у різних видах одного і того ж біоценозу різні. Наприклад, бурі водорості акумулюють *I* в концентраціях в 1000 разів більших, ніж інші компоненти біоценозу, синьо-зелені водорості активніше акумулюють *U*, *P* і т.д. Високі утворення біогенного генезису (каустобіоліти) часто збагачені означеними елементами (вугілля – *Ge*, нафта – *V* та *Ni*, горючі сланці – *P* та *U* 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 *Hg*, *Cd*, *Ra*, *U* та ін., менш токсичним є Fe^{2+} порівняно із тривалентним і т.д. Деякі організми пристосувалися до існування в умовах, згубних 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 ХЕ з оточуючих природних середовищ (ґрунтів, підґрунтів, вод, інколи повітря) дозволяє розглядати їх як *біогеохімічні індикатори* або *біомонітори*.

Біомоніторинг – комплексний метод оцінки параметрів навколишнього середовища або його окремих компонентів за змінами властивостей та параметрів певного виду організму у природних умовах, які дозволяють кількісно оцінити наявність забруднення середовища або іншого стресового фактору. Таким чином, будь-який фізіологічний або біохімічний параметр організму, який характеризується чітким відгуком на дію зовнішнього фактору, можна використовувати з метою моніторингу забруднення. Зокрема, підвищення вмісту певної хімічної сполуки в організмі-

біоіндикаторі може свідчити про надлишкове надходження цієї сполуки з довкілля, і відповідно дозволяє кількісно оцінити ступінь його забруднення. На відміну від організмів-біоіндикаторів, біомонітори повинні характеризуватися значною еврібонтністю і стійкістю до досліджуваного фактору (наприклад, забруднення довкілля важкими металами).

Методи біомоніторингу широко застосовують при пошуках родовищ деяких металевих і неметалевих корисних копалин (солей, руд та ін.), при контролюванні стану НПС. Наприклад, деякі види рослин накопичують важкі метали пропорційно їх кількості у ґрунті – безбар’єрні рослини, Наприклад, береза накопичує *Fe* та *Cu*; сосна та ялівець – *U*; полин – *Zn*, *Pb* тощо. Молюски, завдяки відсутності досконалих механізмів осморегуляції та здатності пропускати через мантийну порожнину величезні обсяги води, накопичують важкі метали, органічні забруднювачі та радіонукліди, кількість яких відображує ступінь забруднення компонентів довкілля.

3.3 Особливості біогеохімічних циклів

Кількість відомих на теперішній час ХЕ у періодичній системі *Д.І. Менделєєва* – 118, а природно існуючих у БС складає 92 (в т.ч. 286 стабільних довгоживучих ізотопів). Розповсюдженість їх в живій речовині, атмосфері, гідросфері й літосфері є неоднаковою. Як уже зазначалось, у живій речовині основну роль відіграють *O* (70%), *C* (18%), *H* (10,5%) та інші біогенні елементи. В атмосфері домінують *N*, *O*, *Ar*, *C*, тобто ХЕ, які утворюють основні інградієнти атмосферного повітря. Природно, що основними компонентами гідросфери, включаючи її підземну частину (гідрогеосферу), є водень та кисень, але H_2O є природним розчинником великого комплексу мінеральних і органічних компонентів. Найбільш складний елементний склад має літосферна частина БС. Для кількісної оцінки величини розповсюдження використовують величину – *кларк*, що являє собою середню концентрацію ХЕ в земній корі (термін «*кларк*» запропонований *О.Є. Ферсманом* на честь американського геохіміка *Ф.У. Кларка*, який вперше оцінив середні значення ХЕ у земній корі).

За даними *О.П. Виноградова*, найбільш високі кларки (% від ваги) характерні для таких ХЕ: *O* – 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 ХЕ: 1) *інертні 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* та інші – усього 44 ХЕ); 4) *розсіяні елементи* – *Li*, *J*, *Br*, *Rb* та інші (усього 11 ХЕ); 5) *сильно радіоактивні елементи* – *Po*, *Re*, *Ra*, *Th*, *U* та інші (усього 8 ХЕ); 6) *рідкісноземельні елементи* – *La* та інші (усього 13 ХЕ).

Із цих шести груп особливе значення для БС мають *циклічні* ХЕ, 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 (*O*, *H* та інші водорозчинні ХЕ); 2) кругообіг елементів переважно в газовій фазі (*C*, *O*, *N*); 3) кругообіг елементів переважно в осадовій 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 [22].

Кругообіг води. Розглядаючи кругообіг води, необхідно нагадати, що вода виступає у ролі розчинника мінеральних, органічних і газових компонентів. Крім того, природні води є складними природними фізико-хімічними розчинами мінеральних, органічних і газових компонентів. До процесів водообміну залучається широкий спектр ХЕ 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 найбільш негативних наслідків призводить зневоднення людського організму (середній вміст води у ньому складає 63%).

Сумарні запаси води на Землі у незв'язаному стані складають 1386 млн. км³, в тому числі на долю Світового океану припадає 1338 млн. км³, тобто 96,5% (О.А. Спенглер, 1980). За даними В.І. Вернадського деяка кількість води знаходиться у зв'язаному стані у магмі в глибинних частинах нашої планети, однак перехід її у вільний стан відбувається дуже повільно, приблизно зі швидкістю 0,3 км³ на рік (за даними

О.П. Виноградова, 1967). Отже, частка магматогенних (ендогенних, ювенільних) вод у складі гідросфери є незначною. За даними американського дослідника Х.Л. Пенмана (1970), якщо воду рівномірно розподілити по поверхні земної 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 й 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 в 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 щільності рослинного покриву зменшується і транспірація. У той же час, стік лісових водозборів на 50-95% вищий за стік відкритих водозборів. Таким чином, рослинний покрив відіграє найважливішу роль у рівновазі елементів кругообігу води у БС.

Кругообіг вуглецю. У кругообігу вуглецю найважливішу роль відіграють CO та CO_2 , введення і виведення яких здійснюється за участю природного кругообігу. Це найбільш 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 (CO_2), який є циркулюючою формою неорганічного вуглецю; 3) особлива форма органічного вуглецю – каустобіоліти (вугілля, горючі сланці та ін.); 4) вуглецевмісні сполуки, які входять до складу живої речовини.

Незважаючи на незначну концентрацію CO_2 в атмосфері (0,03% за об'ємом), саме за рахунок цього компоненту рослини суші здійснюють первинне продукування органічної речовини у процесі фотосинтезу. Споживання CO_2 відбувається в результаті його асиміляції рослинами у процесі не лише фотосинтезу, але й розчинення природними водами. 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 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 CO_2 у результаті дихання гетеротрофів, розкладання останків організмів повертається в атмосферу (рис. 3.1).



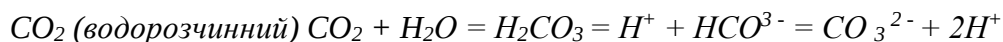
Рис. 3.1 - Принципова схема кругообігу вуглецю у біосфері.

При неповній мінералізації біомаси утворюються гумус та каустобіоліти. При взаємодії 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 CO_2 повертається в атмосферу. Важливим регулювальником вмісту CO_2 у атмосфері є океан. Кількість CO_2 , розчиненого в океанічних водах, у 50 разів більша за його вміст у атмосфері.

Обмін між атмосферою, гідросферою та літосферою описується такими реакціями:

CO_2 (атмосферний)



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 CO_2 антропогенного генезису, що призводить до порушення природного коливного стаціонарного стану O_2/CO_2 .

Викиди CO і 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 CO_2 , що видихається, майже повністю компенсував кількість CO_2 , який видаляється з атмосфери в процесі фотосинтезу (це справедливо лише для останніх тисячоліть).

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 вивільняє (виділяє) O_2 й, навпаки, поглинає CO_2 , а в процесі дихання вночі рослини поглинають O_2 й виділяють CO_2 , тобто рослини і споживають, і виробляють O_2 (рис. 3.2).

Середня концентрація O_2 в атмосферному повітрі становить 20,9%, що складає лише 0,05% від загальної кількості кисню у БС.

Основні запаси кисню зосереджені в карбонатах, в оксидах металів, у деяких типах органічної речовини. Кругообіг кисню ускладнений його здатністю утворювати численні сполуки, представлені у різних формах. У деякому відношенні кругообіг кисню нагадує зворотний кругообіг CO_2 , оскільки рух одного відбувається у зворотному напрямку іншого.

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, в основному кругообіг кисню відбувається між атмосферою й живими організмами. Процес продукування органічних сполук й виділення O_2 під час фотосинтезу протилежний процесу його споживання гетеротрофами під час дихання, який супроводжується

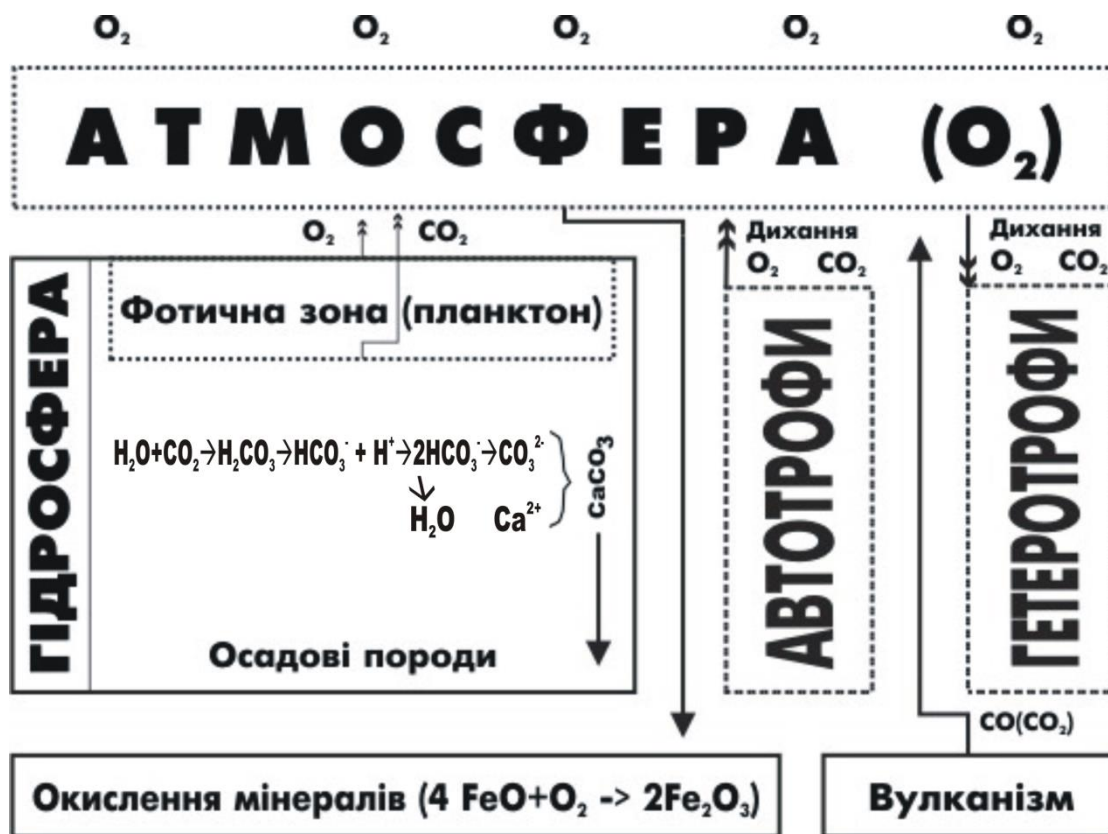


Рис. 3.2 - Принципова схема кругообігу кисню у біосфері.

руйнуванням органічних сполук, взаємодією кисню з воднем, що відщеплюється від субстрату, й утворенням води. Споживання O_2 та його надолужування первинними продуцентами здійснюється доволі швидко, але повільніше ніж CO_2 . Підраховано, що для повного поновлення усього атмосферного O_2 потрібно 2000 років, у той час як для повного поновлення атмосферного CO_2 потрібно лише 300 років [18].

Кругообіг азоту. Азот складає лише 0,3% від ваги ЖР, але в атмосферному повітрі є суттєвим 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 в атмосфері внаслідок електричних розрядів під час гроз, але цей процес не відіграє такої істотної ролі як діяльність нітрифікуючих бактерій. Однак самими активними споживачами молекулярного 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 і знову перетворюватись на азот протеїнів (білків). Денітрифікація, що відбувається у ґрунтах, призводить до нестачі нітратів (рис. 3.3).



Рис. 3.3 - Принципова схема кругообігу азоту у біосфері.

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. т зв'язаного азоту, у той час як втрати його внаслідок денітрифікації складають 83 млн. т, тобто приплив азоту дорівнює 9 млн. т [18]. Це та кількість азоту, яка затримується в ґрунтах, річках, озерах, ставках та океанах. Основна частина біогеохімічного циклу азоту здійснюється у ґрунтах.

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 осадову 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 біоценозів ЕС. Поглинаючи сульфати, рослини їх поновлюють і виробляють сірковмісні амінокислоти. Відмерла речовина біоценозів розкладається бактеріями, які перетворюють їх на сульфіді.

Наприклад, донні відклади 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 сполук цього елементу в анаеробних умовах за присутності іонів заліза та інших металів: $H_2S + Fe^{2+} \rightarrow FeS \rightarrow FeS_2$. 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 до БС у процесі вулканічної діяльності, але в набагато менших кількостях. Особливо слід відзначити надходження сірки у вигляді SO_2 , який є одним із основних забруднюючих інгредієнтів, що поступає до атмосфери при використанні каустобіолітів, особливо сірчистих типів.

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 вилугується водами; він надходить до континентальних ЕС і поглинається рослинами, які за його участю синтезують органічні сполуки та включають фосфор до трофічних ланцюгів. Потім органічні фосфати разом із залишками, відходами і виділеннями організмів повертаються до ґрунту, де піддаються впливу мікроорганізмів й перетворюються на мінеральні ортофосфати. Мінеральні форми фосфору є погано розчинними і тому складно піддаються засвоєнню автотрофами. Як результат, у більшості природних ЕС спостерігається дефіцит даного ХЕ.

3.4 Суть глобального біологічного контролю

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 опосередковано контролюють функціонування ЖР. Його думка різко відрізнялася від уявлень *Ч. Дарвіна*, згідно яких, 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 речовиною 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 відкладів значною мірою визначається активністю морських організмів (так, сульфатредуючі бактерії перетворюють сульфати на сульфіді); 2) рослини, які ростуть на піщаній дюні, поступово утворюють 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 pH , сприятливу для життєдіяльності різноманітних мікроорганізмів; без цього величина pH була б різко кислою [11].

Весь хід розвитку БС свідчить про те, що організми, особливо мікроорганізми, разом з абіотичним середовищем створюють складну систему регулювання, підтримуючи на Землі умови, сприятливі для життя. 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 інтенсивність сонячної радіації зросла на 30-50%. Дж. Лавлок розглядає повітря як «...складову частину самого життя, зроблену живими істотами для підтримки життя». Згідно гіпотези 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 УФВ на живі організми. Для порівняння можна зазначити, як різняться сучасний та добіосферні фізико-хімічні параметри атмосфери Землі порівняно зі атмосферою Марса і Венери (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Порівняльна характеристика складу атмосфери Землі і Марса (за Дж. Лавлоком, 1979) [11]

Параметри	Земля у наш час	Земля до появи біосфери	Марс	Венера
CO_2 , %	0,03	98,0	95,0	98,0
N_2 , %	79,0	1,9	2,7	1,9
O_2 , %	21,0	Сліди	0,13	Сліди
$t_{\text{поверхні}}$, C	≈13	290±50	-53	477

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, порушує глобальну рівновагу. 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 БС пристосуватися, щонайменше, до деякої кількості не зосереджених у одній точці забруднень, наприклад, забруднення CO , NO_x , SO_x , «теплом» і т.д. [11]. Збільшуючи рівень забруднення, людина повинна зберігати цілісність і масштабність буферної системи життєзабезпечення, тобто підтримувати функцію біологічного контролю стану довкілля.

3.5 Схема еволюції біосфери

Довготермінова еволюція БС під впливом екзогенних факторів, таких як геологічні і кліматичні зміни, а також ендогенних процесів, обумовлена активністю живих компонентів. За різними джерелами вік БС коливається від 4,3 до 3,5-3,0 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% H_2O , 10% CO_2 , 5-7% H_2S , 0,5-1% H_2 , N_2 та CO , сліди CH_4 , HCl , інертні гази). За іншою схемою вміст CH_4 повинен бути значно вищим. Безперечним є те, що серед компонентів атмосфери не було вільного O_2 . Доказом цього є наявність в палеорічкових відкладах (вік 2,5 млрд. років) ураніту (UO_2) і піриту (FeS_2), які б окислились, якби палеоатмосфера містила вільний O_2 . Невелика кількість кисню, утворювалися в результаті фотолізу молекул H_2O під дією жорсткого ультрафіолетового випромінювання, повністю витрачалися на окислення NH_3 , CO , CH_4 та H_2S , які постійно виділялися внаслідок активної вулканічної діяльності. 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 у подальший геологічний час. Через відсутність кисню не існувало озонового шару – екрану, який захищає живі організми від згубного впливу ультрафіолетового випромінювання. Але, як не парадоксально, вважається, що саме ультрафіолетове випромінювання призвело до виникнення таких складних органічних сполук як амінокислоти, що послужили «блоками» для розбудови перших примітивних біосистем. Відомо, що під дією короткохвильового випромінювання, O_2 перетворюється на O_3 . Невелика кількість кисню могла утворитися при дисоціації водяної пари під дією ультрафіолетового випромінювання. Але поки в атмосфері було мало O_2 й O_3 , примітивні форми життя могли розвиватися під захистом шару води.

Першими живими організмами були *дріжджоподібні анаеробні мікроорганізми*, які отримували необхідну для дихання енергію шляхом бродіння (бродиння – біохімічний процес розкладання органічних речовин без використання кисню).

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. Живлення прокаріотів, напевно, відбувалось за рахунок органічних речовин, які повільно опускалися на дно, містилися у розчиненому вигляді в океанічній воді, і які постійно синтезувалися під дією сонячної радіації у верхніх частинах водного шару. Осередком життя могли бути придонні частини невеликих континентальних водоймищ і мілководних морів, які живились термальними джерелами, багатими на різноманітні хімічні речовини.

Поступове збільшення у воді кількості кисню за рахунок життєдіяльності організмів та його дифузія до атмосфери 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 йшла шляхом створення усе більш складних і різноманітних систем, які контролювали склад атмосфери та містили 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 «озеленення» суші. Аеробне дихання зробило можливим розвиток складних багатоклітинних організмів. Вважається, що за вмісту кисню близько 8 % (в протерозої – початку кембрію) з'явилися перші багатоклітинні організми (губки, корали, молюски, черви, предки хребетних, предки насінних рослин і т.д.). Протягом порівняно короткого часу (590 млн. років), тобто в палеозойську, мезозойську і кайнозойську ери, життя поширилося не тільки на морські, але й на континентальні ландшафти.

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 *коливальним 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 аеробне життя (архей, 3,5 млрд. років тому); 2) точка формування озоносфери – досягнення кількості O_2 в атмосфері 10% від сучасного (архей – кембрій, 3,0 - 2,6 млрд. років тому). Мабуть, доцільно говорити і про *третю точку*, яка відповідає приблизно сучасному вмісту O_2 в атмосфері (близько 20%), коли стало можливе життя на суші (девон, 0,41 млрд. років тому).

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 середовище, у якому вона існує. Достатньо зазначити, що організми контролюють навіть склад атмосфери Землі [11].

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 впливі 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 БС 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, 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* [25], *соціосфера* – сфера наукової та виробничої діяльності людини.

Підкреслюючи роль людини як «могутнього геологічного фактора», *В.І. Вернадський* висунув концепцію, згідно якої БС 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 є достатніми 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*. В сучасному розумінні, *техногенез* – процес зміни природних комплексів під впливом виробничої діяльності [1]. Техногенез має велике значення, особливо при формуванні БС, під час розгляду питань забруднення й охорони довкілля. 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 ХЕ, які ніколи не існували в земній корі (нептуній, плутоній, кюрій і інші трансурани). Використання елементів залежить від їх кларків (середніх концентрацій у земній корі), технології вилучення і т.д. У межах БС відбувається грандіозне переміщення ХЕ, їх розсіювання і концентрування. 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 ХЕ 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 БС й призводить до ще більшої нерівноважності. Частина енергії, що використовується, проводить роботу, частина у відповідності з другим законом термодинаміки, неминуче втрачається 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 БС, але й добуває елементи, які давно вийшли з біологічного кругообігу атомів (при добуванні з надр каустобіолітів та їх використанні).

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

Щоб запобігти усім небажаним наслідкам антропогенної діяльності, потрібні засоби, засновані на розумінні законів БС. На даному етапі розвитку продуктивних сил можлива оптимізація БС, коли, з одного боку, отримується найвищий економічний ефект, з іншого – не відбувається забруднення ЕС і вичерпування природних ресурсів вище певного рівня,

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».

3.6 Основні причини порушення стійкості біосфери

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 природні ресурси (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 згублено катастрофічними пожежами ще у палеоліті (близько 1 млн. років тому). Величезні лісові масиви були знищені в тропічних і помірних широтах, де вогонь використовували для ловлі і загання дичини і т.д. Трохи пізніше, з появою землеробства 10 тис. років тому, 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).

Внаслідок такої діяльності людини відбулася *перша антропогенна екологічна криза* – палеолітична криза консументів. Яскравою ознакою якої було знищення мамонтової фауни (близько 100 видів велетенських ссавців). Прості розрахунки показують, що вторинна продукція мамонтів за рік оцінюється у 4000 кг/100 км². Їстівна частина складала близько 40% = 2500 кг/100 км². М'ясний добовий раціон мисливця – 650 г/доба. Група кроманьйонців у 25 осіб споживає 5930 кг/рік або 14800 кг/рік живої маси, що відповідає 6 дорослим мамонтам. Загальна чисельність кроманьйонців оцінюється у 2,5 млн. які за 10 років повинні з'їсти 6 млн. мамонтів та інших великих ссавців.

В результаті першої антропогенної кризи відбулася *неолітична сільськогосподарська революція* – перехід до сільського господарства, перш за все зрошувального рослинництва та пасовищного скотарства. Як наслідок, з початку неоліту лісові біоми стали замінюватися пасовищами, потім ланами сільськогосподарських культур. Прискорила модифікація фітоценозів та зооценозів. Розвиток сільського господарства супроводжувався повним викорінюванням первинного рослинного покриву; заміщенням 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 не високий рівень гомеостазу. В результаті відбувся занепад більшості давніх річкових цивілізацій (Єгипту, Міжріччя), які не володіли здатністю до саморегуляції під час порівняно незначних зміни умов середовища. Відбулася *друга антропогенна екологічна криза (криза продуцентів)*, появу якої найчастіше пов'язують із засоленням ґрунтів та перевипасанням худоби. Як наслідок, відбулася *друга сільськогосподарська революція*, продовження якої відомо як «зелена революція». Внаслідок цієї революції людство перейшло до незрошувального (богарного) рослинництва, виведення стійких та високопродуктивних сортів, застосування добрив, пестицидів, генно-модифікованих організмів тощо. У тваринництві відбувся перехід від пасовищного до стійлового скотарства.

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. Почали накопичуватись відходи, що не піддаються біологічному руйнуванню, які, перемішуючись з токсичними залишками, стали порушувати життєдіяльність деструкторів. На даний момент людство на порозі *третьої антропогенної кризи (кризи редуцентів)*. Стрімке накопичення відходів та побічних продуктів виробництва починає виступати обмежуючим фактором самого виробництва та нормальної життєдіяльності людини.

Ці процеси прогресують з кожним роком і для сучасного суспільства характерні такі особливості:

1) скорчується видова та функціональна різноманітність біоценозів у середовищах, що експлуатуються людиною;

2) порушується кругообіг речовин, оскільки значна частина відходів виробництва та споживання майже не розкладаються деструкторами;

3) людина запозичує із земної кори різні ХЕ, 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 [22]. Така експансія можлива лише за умов надзвичайних енергетичних витрат та залучення величезної кількості речовини.

Жодний 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 більше 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 екологією і не бажаючих розуміти, що людина – сама частина БС.

Одним із найважливіших факторів деградації БС є збільшення чисельності населення. Динаміка чисельності населення Землі схематично можна представити таким чином: 1 млрд. чол. – 1804 р.; 2 млрд. чол. – 1927 р.; 3 млрд. чол. – 1960 р.; 4 млрд. чол. – 1974 р.; 5 млрд. чол. – 1987 р.; 6 млрд. чол. – 1999 р.; 7 млрд. чол. – 2011 р. На 11 липня 2012 р. (Всесвітній день народонаселення) кількість жителів Землі складало 7 млрд. 57 млн. 608 тис. чол. Прогноз на 2050 р. – 9,5 млрд. чол.

Аж до 1970-х років чисельність світового населення зростала за експоненціальним законом, але в теперішній час спостерігається тенденція уповільнення темпів зростання населення Землі. У 2009 р. чисельність міського населення (3,4 млрд. чол.) вперше за всю історію людства зрівнялася з чисельністю сільського населення і далі очікується, що все більша частина світового населення буде представлена городянами.

Різке демографічне зростання - характерна риса ХХ сторіччя, названого епохою *демографічного вибуху*. 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 антропогенного навантаження на ЕС, зокрема на агроєкосистеми.

При відповідній технології і господарюванні Земля може забезпечити мінімальний раціон для 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 1,5 – 2,0 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 (1992 р.), Каїрі (1994 р.) і Йоганнесбурзі (2000 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.

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 у популістських заявах. Як сказав *М. Ганді*: «Ресурсів Землі достатньо, щоб задовольнити потреби кожного із нас, але не жадібність кожного із нас».

Виробництво продуктів харчування в цілому в світі збільшується, але зростає повільніше за ріст населення Землі, тобто не відповідає вимогам демографічного зростання. Якщо казати про всю продуктивність Землі, то у наш час вдається «зняти» з агроєкосистем не більше 60-70% їх потенційних можливостей (врожайність 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 за співвідношенням між рекордними і середніми врожайми ряду основних сільськогосподарських культур можна припускати, що виробництво їх може бути збільшено в 3–4 рази: кукурудзи – у 3,9 рази; пшениці – у 7,0; сої – 3,9; картоплі – 3,5; рису – 5,8; цукрового буряку – 2,4. Природно, що такий приріст можливий за умови вирощування високоврожайних та стійких 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 культивация є неможливою. Розширення орних земель за рахунок опанування пустельних та напівпустельних територій економічно є недоцільним.

Неважко зрозуміти, 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* [22], 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 терміново необхідно шукати шляхи стабілізації чисельності населення.

Як вважав *Ф. Рамад* [22], сучасні агроєкосистеми не спроможні витримати навантаження у 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 кризі і збереження довкілля перетворюються на головну мету: виживання людства. Розв'язання ресурсно-екологічної кризи ускладнюється «ефектом екологічного і економічного бумеранга», суть якого полягає в тому, що безмежна економіка руйнує природу, а руйнування природи підриває економіку [26, 27].

Природні фактори стосовно людини виконують функції, які умовно можна поєднати в чотири основні групи [27]: *фізіологічні функції* підтримують життя людини як біологічного організму («біо-людина»); *соціальні функції* забезпечують формування людини як особистості («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 дуже 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 [27]: 1) діяльність людини не повинна переходити межі самовідновлення природних ЕС; 2) у випадках перевищення природних можливостей самовідновлення, виробництва повинні 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, 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 природо-заповідного фонду) заради збереження можливості в разі необхідності повернути втрачені властивості.

В економічному плані фізіологічні, соціальні та екологічні функції безцінні. Вартісну оцінку можуть отримати тільки економічні функції природи. Природні фактори можуть виконувати функції капіталу, бо вони здатні приносити дохід тім, 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 [27].

Як відмічають В.С. Крисаченко, М.І. Хилько [28], антропогенна діяльність стала причиною непоправних змін БС і її складових, які знаходяться в стані *екологічної кризи*, що характеризується:

1) атрибутивними ознаками природних ЕС, зміщених до межі, біля якої виникає загроза втрати їх ідентичності; 2) зростанням потужності людства як геологічної сили; 3) критичним станом ЕС різної об'єктної визначеності та розмірності (видові, локальні, тотальні, глобальні).

Видові (компонентні) екологічні кризи виникають унаслідок того, що відповідний стан ЕС зумовлюється зникненням певних її компонентів чи інших видів. *Локальні (репрезентативні) екологічні кризи* обумовлюють руйнування цілих ЕС, яким не завжди вдається відновитися. *Тотальні (панойкуменні) екологічні кризи* приводять до суцільного руйнування всієї або переважної більшості ЕС високого ієрархічного рівня, охоплюють значні еколого-ландшафтні зони. *Глобальні (біосферні) екологічні кризи* порушують системну цілісність всієї БС.

Населення всієї Землі і кожного її жителя окремо зачіпає глобальна екологічна проблема – охорона довкілля і раціонального природокористування. Існує багато екологічних питань різного масштабу і різної значущості, але основні екологічні проблеми сучасності [2] можна систематизувати таким чином.

I. Геокліматичні проблеми: зміна клімату та геофізичних параметрів Землі на основі посилення теплого ефекту викидів метану і інших газових домішок, аерозолів, легких радіоактивних газів, зміни концентрації O_3 в тропосфері та стратосфері; загальне зниження вмісту стратосферного O_3 , утворення великої «озонової діри» над Антарктидою, малих «дір» над іншими регіонами планети; виснаження поверхневих вод суші, континентальних водоймищ, підземних вод, порушення балансу між поверхневими і підземними водами; утворення техногенних пустель в нових регіонах планети, розширення вже існуючих пустель, поглиблення самого процесу утворення пустель (загальна площа пустель і напівпустель 48,4 млн. км², з них на частку антропогенних припадає не менше ніж 10 млн. км²); перетворення геологічного середовища та ландшафтів (штучні водосховища, дамби та греблі, відкриті геологічні розробки та підземні копальні, штучні гори та рівнини тощо).

II. Геохімічні (біогеохімічні) проблеми: засмічування (контамінація) та інше забруднення найближчого космічного простору; забруднення атмосфери з утворенням кислотних опадів, сильно токсичних і згубно діючих ЗР внаслідок повторних хімічних реакцій, в тому числі фотохімічних (в цьому одна з основних причин руйнування озонового шару, на який впливають ХФУ, пари H_2O , NO_x , малі газові домішки); забруднення Світового океану, поховання в ньому (дампінг) отруйних і радіоактивних речовин, насичення його CO_2 з атмосфери, надходження в нього антропогенних нафтопродуктів, інших ЗР, особливо важких металів і складних органічних сполук, підкислення мілководь за рахунок забруднення SO_x і NO_x атмосфери, розрив нормальних екологічних зв'язків між океаном і водами суші в зв'язку з будівництвом

дамб на ріках; забруднення поверхневих вод суші, континентальних водоймищ, підземних вод; радіоактивне забруднення локальних ділянок і деяких регіонів, особливо в зв'язку з поточною експлуатацією атомних пристроїв, чорнобильською аварією і випробуванням ядерної зброї; зміна геохімічних характеристик окремих регіонів планети в результаті, наприклад, переміщення важких металів і концентрування їх на поверхні землі при нормальній дисперсності в літосфері; накопичення отруйних та 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.

III. *Біоценологічні проблеми*: 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; 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); звільнення і утворення в ході вищезгаданого процесу нових екологічних ніш і заповнення їх небажаними організмами, шкідниками, паразитами, збудниками нових захворювань рослин, тварин, включаючи людину; абсолютне перенаселення Землі і демографічний вибух в окремих регіонах; створення нових видів, сортів та штамів, у тому числі внаслідок маніпуляцій зі спадковою інформацією; погіршення середовища життя людини внаслідок комплексних змін довкілля (збільшення шумового забруднення, психологічних стресів та невротизації, забруднення повітря та харчових продуктів, виникнення «смуtku нових міст», дискомфорту знеособленого будівництва, напруженого темпу міського життя і втрати соціальних зв'язків між людьми, виникнення «психологічної втоми» тощо.

Питання для самоконтролю:

1. Що таке біосфера?
2. Які основні типи речовин у складі біосфери?
3. Які межі біосфери?
4. Що являють собою «парабіосферні зони»?
5. Які основні висновки витікають із вчення Вернадського про БС?
6. Що являє собою біосфера за структурою?
7. Що таке «жива речовина»?
8. Які біогенні елементи входять до складу живої речовини?
9. Що таке біоіндикатори і біоіндикація?
10. Які хімічні елементи віднесені до групи «циклічних»?
11. Що таке біогеохімічний кругообіг (цикл)?
12. Які основні типи біогеохімічних кругообігів?
13. Опишіть суть кругообігу води.
14. У чому суть кругообігу вуглецю?
15. У чому суть кругообігу кисню?
16. У чому суть кругообігу азоту?
17. Опишіть кругообіги сірки і фосфору.
18. Що таке антропогенна частина біогеохімічних кругообігів?
19. У чому полягає суть «гіпотези Геї»?
20. Які основні етапи еволюції біосфери?
21. Що таке «точки Пастера»?

21. Які основні уявлення про ноосферу?
22. Що таке техногенез?
23. Що таке біотехносфера?
24. Яка головна причина деградації біосфери?
25. Які основні показники впливу людини на стан довкілля?
26. Які негативні наслідки «демографічного вибуху»?
27. Перелічить основні глобальні екологічні проблеми.

4 АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ЙОГО НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ

4.1 Загальні уявлення про антропогенний вплив

Антропогенний вплив – прямий чи опосередкований вплив людства на навколишнє середовище і його компоненти внаслідок господарської діяльності. Під впливом антропогенних факторів відбуваються зміни як окремих природних компонентів, так і в цілому ландшафтно-природних комплексів.

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 оцінок 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 [27].

Антропогенні процеси, що виникають у довкіллі й зумовлені або істотно активізовані різними видами господарської діяльності людини, поділяють на *прямі* (наприклад, знищення природних і утворення штучних форм рельєфу) й *опосередковані* (розорювання схилів, активізацій ерозійних процесів тощо), а також на *позитивні* (науково обґрунтоване осушення, зрошення, розсолювання ґрунтів, рекультивация земель, терасування крутих схилів, створення дамб, обвалування та ін.) та *негативні* (карстоутворення, суфозія, зсуви, антропогенна ерозія, підтоплення, засолення ґрунтів, виснаження природних ресурсів тощо).

Забруднення – привнесення або утворення у середовищі нових, звичайно нехарактерних для нього фізичних, хімічних, інформаційних чи біологічних агентів, або перевищення в досліджуваній період часу природного середньобаторічного рівня (у межах його граничних коливань) концентрації перелічених агентів у середовищі, що нерідко призводить до негативних наслідків [2].

Будь-яка *забруднювальна речовина* (ЗР) може бути поглинута живими організмами завдяки багатогранним метаболічним процесам. Таким шляхом ЗР

включається до трофічних ланцюгів, беручи участь у кругообігу речовин в ЕС, 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.

Згідно з *законом максимізації енергії* (Г. та 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 (консументи), які знаходяться на вершині трофічної (екологічної) піраміди, є найбільш забрудненими токсичними речовинами.

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, метаболітичної активності живих організмів (специфічні токсини), розкладу рослин та тварин і т.д. Антропогенні домішки утворюються в результаті спалювання горючих корисних копалин, промислових та побутових відходів, під час ядерних вибухів, різних аварій і т.д. Деякі ЗР надходять до НПС 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 використовувати три критерії: кількісний фактор, фактор часу і токсичність речовин, які виникають внаслідок антропогенної діяльності [29]. 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 1,0- 1,5 млрд. років, тобто 0,004 % в 200 - 300 тисяч років, в той час як вміст антропогенного CO_2 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 сполук, 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 більший, чим вища відносна вологість повітря. При взаємодії біосферних середовищ відбувається перерозподіл ЗР.

Існує декілька класифікацій типів забруднень і шкідливих впливів на біосферні середовища. Як приклад можна навести класифікацію Ф. Рамада [22]:

- *фізичні забруднення* (радіоактивні елементи, випромінювання; нагрів або теплове забруднення; шуми і низькочастотна вібрація, інфразвук);
- *хімічні забруднення* (газоподібні і рідкі сполуки вуглецю; миючі засоби; пластмаси; пестициди та інші синтетичні органічні речовини; похідні сірки; похідні азоту; важкі метали; фтористі сполуки; тверді домішки; нестійкі органічні речовини);
- *біологічні забруднення* (надходження до екосистем або створення сприятливих умов для існування живих організмів, не характерних (чужорідних) для даного типу ЕС, що призводить до порушення сформованих біотичних зв'язків, виснаження ресурсів, забруднення довкілля продуктами їх життєдіяльності);
- *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 [30]: забруднення класифікують таким чином:

- *інгредієнтне забруднення* як сукупність мінеральних, органічних і органо-мінеральних речовин, кількісно або якісно чужорідних для біоценозів (продукти згоряння органічного палива, відходи виробництва і споживання і ін.);
- *параметричне забруднення*, пов'язане із зміною якісних параметрів навколишнього середовища (теплове, шумове, світлове, радіаційне, електромагнітне);
- *біоценотичне забруднення*, що полягає у впливі на склад і структуру популяції живих організмів (порушення балансу популяції, інтродукція адвентивних видів і так далі);
- *стаціонально-деструкційне забруднення*, що являє собою зміну ландшафту морфо-фізичних властивостей біотопу ЕС в процесі природокористування (вирубка лісових насаджень, ерозія ґрунтів, осушення земель і інше); *стація* - місце мешкання популяції або ділянка, яка характеризується сукупністю умов для існування даного виду тварин; *деструкція* – руйнування.

Розрізняють *матеріальні* і *енергетичні забруднення*. *Енергетичні* забруднення включають в себе промислові теплові викиди та всі види випромінювання – світлове, акустичне, електромагнітне та іонізуюче. Енергетичні забруднення мають ряд властивостей: із збільшенням відстані від джерела їх дія послаблюється; негативно впливають на стан довкілля тільки в момент їх генерації, тобто вони не накопичуються в НПС (за виключенням теплових викидів), але негативні наслідки можуть проявлятися тривалий період на організмах.

Здійснюючи класифікацію процесів порушення природного середовища, звичайно використовують два основні підходи. Згідно з компонентним принципом [1], процеси розглядають стосовно порушених природних компонентів (атмосфери, гідросфери, літосфери, біоти тощо). Однак цей підхід комбінується з функціональним, де екодеструктивні процеси групуються за однорідністю змісту заподіяних змін [27]:

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).

Звичайно розрізняють фізичне, хімічне та біологічне забруднення довкілля.

4.1.1 Особливості фізичного забруднення довкілля

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

Температурні зміни позначаються на погіршенні режиму земної поверхні і водних об'єктів, на посиленні негативних наслідків 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 нервові виснаження, 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 *інфразвуками*, а з частотою більше за 20000 Гц - *ультразвуками*. 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.

Допустимі рівні шуму на територіях різного господарського призначення не повинні перевищувати показників санітарних норм. Згідно з [31], значення еквівалентного рівня шуму (дБА) такі: селищні зони населених місць - 55 (з 7 до 23 год.) ÷ 45 (з 23 до 7 год.); для житлової забудови, що реконструюється - 60 ÷ 50; території житлової забудови поблизу аеродромів і аеропортів - 65 ÷ 55; зони масового відпочинку і туризму - 50 ÷ 30-35; санітарно-курортна зона - 40-45 ÷ 30-35; території заповідників і заказників - до 25 ÷ 20.

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 понад 1000 вольт на метр. Найбільш чутлива нервова система, порушення якої призводить до зміни інших систем організму. Останнім часом з'явився ще один вид електромагнітного забруднення атмосфери – «електронний смог», який полягає у збільшенні інтенсивності мікрохвильового випромінювання у зв'язку з ростом кількості радіостанцій, працюючих в ультракоротких хвильових діапазонах та здатних погіршувати здоров'я людини. Небезпечним є також вплив і електромагнітних випромінювань від мереж електропередач та інших джерел. Наприклад, напруженість змінного електричного поля частотою 50 Гц (промислової частоти) не повинна перевищувати 500 В/м (вольт на метр) у місцях постійного проживання людей, а напруженість магнітного поля також частотою 50 Гц – не більше 0,2 мкТл (мікротесла).

Особливості радіоактивного забруднення довкілля. Однією із найактуальніших проблем сучасної екології є вплив радіації на людину і оточуюче її середовище. Радіоактивність разом із іонізуючим випромінюванням існувала на Землі задовго до зародження БС. Іонізуюче випромінювання супроводжувало Великий вибух, з якого почалось існування нашого Всесвіту близько 20 млрд. років тому назад. Радіоактивні елементи ввійшли до складу геосфер. Навіть людина характеризується певною величиною радіоактивності, через те, що в її тканинах містяться деякі радіоактивні ізотопи.

Як відомо, число протонів у ядрі атома одного елементу завжди є постійним, а число нейтронів може відрізнятися, 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 є нестабільним 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 різною мірою: ^{234}Pa - 1,18 хв., ^{238}U - 4,5 млрд. років, ^{214}Po - 0,000164 с 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) - *бекерель* (Бк) дорівнює 1 розпаду за секунду. Різні види випромінювань супроводжуються вивільненням різної кількості енергії і мають різну проникну здатність, тому вони справляють неоднаковий вплив на тканини живих організмів:

1) *α -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 *α -частинками* менш небезпечне; небезпека виникає при проникненні *α -випромінюючих ізотопів* всередину організму при диханні або з їжею);

2) *β -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 - до 2,5 см;

3) *γ -випромінювання* являє собою потік квантів, тобто це електромагнітне випромінювання з дуже короткою довжиною хвилі (γ -промені глибоко проникають в організм людини і являють 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 *поглинутою 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 поглинутої дози *α -випромінювання* у 20 разів безпечніше за *β -* або *γ - випромінювання*, то дозу слід помножити на коефіцієнт, який віддзеркалює здатність даного виду випромінювання 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 випромінювання виникнення раку легенів більш імовірне, 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 є 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 випромінювання за весь час його дії, то це буде очікувана (повна) *колективна еквівалентна доза*.

Природні та антропогенні джерела радіації. Основну частину радіації населення нашої планети отримує від природних джерел. Зовнішньому опромінюванню (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 опромінювання.

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

У гірських породах зустрічаються здебільшого ^{40}K і ^{87}Rb . Основне населення планети проживає у містах, де за рік доза зовнішнього опромінювання від гірських порід та ґрунту складає 0,3-0,6 мЗв/рік. Але у деяких районах відзначаються радіо-геохімічні аномалії: Бразилія, на північ від Сан-Паулу – до 250 мЗв/рік; південний схід Індії - у 50 разів вище за середнє; Іран (м. Рамсер) – 400 мЗв/рік тощо. Райони розвитку гранитоїдів на Кавказі мають більш високий радіаційний фон. Приблизно 2/3 ефективної дози опромінювання, яку людина одержує від природних джерел, надходить від радіоактивних речовин з повітрям, водою та їжею. Із них більша частина космічного, менша – земного походження. Найбільша частина серед внутрішніх джерел опромінювання припадає на ряд ^{238}U і ^{232}Th . Нукліди ^{210}Pb і ^{210}Po надходять з їжею; вони концентруються у рибах, молюсках. Мешканці Далекої Півночі, які харчуються м'ясом оленів (а ті мохами, лишайниками, збагаченими ^{210}Po), отримують у 35 разів більше середнього рівня радіоактивності.

Однак найбільш небезпечним видом радіоактивного опромінювання є внутрішнє опромінювання тканин організму. Це пов'язано з тим, що в такому випадку радіоактивне випромінювання безпосередньо поглинається тканинами, без ослаблення за рахунок поглинання середовищем, як це відбувається у випадку зовнішнього опромінювання. Тому, найбільший внесок у дозу внутрішнього опромінювання мають ізотопи, які вивільнюють достаньо важкі, але високоенергетичні частинки – α та β .

Основними шляхами надходження радіоактивних ізотопів до організму людини є: 1) через легені при диханні; 2) у складі їжі; 3) шляхом абсорбції через шкіру. Основний внесок до величини поглинутої дози опромінювання людини створює природний ізотоп ^{40}K , частка якого складає 0,019% від стабільного ^{39}K . Цей ізотоп є присутнім у всіх сполуках калію. В тілі людини масою 70 кг в середньому міститься 140 г калію, з яких на радіоактивний калій припадає близько 0,02 г. За рахунок розпаду ^{40}K (близько 90% ядер якого розпадаються за β -випромінюванням) доза опромінювання людини становить 0,36 мЗв/рік. Іншим важливим ізотопом є радіоактивний вуглець ^{14}C , який постійно утворюється внаслідок радіохімічних процесів поглинання нейтронів первинного космічного випромінювання атомами атмосферного азоту. Цей β -випромінюючий ізотоп визначає дозу опромінювання людини у 0,2 мЗв/рік.

Разом із повітрям, що вдихається, особливо у непровітрюваних помешканнях, до легень надходить радон – важкий газ, який у 7,5 разів важчий за повітря. ^{222}Rn є дочірнім продуктом радіоактивного розпаду ^{238}U , а ^{220}Rn - продуктом розпаду ^{232}Th . Радон вивільнюється із земної кори повсюдно, але найбільш високі його концентрації

відзначені у зонах розломів, де часто зосереджуються відклади 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 вивітрюється, тому надходить до організму лише з сирою водою і швидко виводиться із організму. Джерелом радону в помешканнях також є будівельні матеріали, особливо з підвищеними концентраціями радіонуклідів (зокрема гранітний щебінь та бутовий камінь).

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 і 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 не виправдано високим. У наш час частота таких досліджень у багатьох країнах істотно поменшала. Здійснюється перехід на метод комп'ютерної томографії, опромінення, що не пов'язані з використанням іонізуючого випромінювання. 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 50 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 Франція та Китай 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 зазвичай на тій же широті, а основна частина надходить до стратосфери і протягом багатьох місяців повільно опускається та розсіюється по всій поверхні Землі. Дози від різних радіонуклідів різні, тому що вони мають різні періоди піврозпаду та енергію випромінювання. Більшість радіонуклідів розпадається швидко. Сумарна очікувана колективна ефективна еквівалентна доза від всіх ядерних випробувань, проведених в 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. 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»). При отриманні ядерного палива із концентратів на спеціальних заводах також утворюються газоподібні і рідкі відходи, але дози опромінювання від них незначні. В атомних реакторах в результаті реакцій ядерного розпаду палива відбувається накопичення радіоактивних ізотопів, найбільш важливими з яких є довго існуючі: ^{239}Pu , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{99}Tc та ^{129}I . Після використання відпрацьоване ядерне паливо піддають повторній переробці для отримання ^{239}Pu (використовують для виробництва ядерної зброї та зрідка – як ядерне паливо). Але переробка відпрацьованого ядерного палива вимагає значних енергетичних витрат та супроводжується значним ризиком забруднення довкілля. Тому, в світі переробляється не більше 15% всього відпрацьованого ядерного палива. Основним методом поводження з ядерними

відходами є захоронення в ізолюваних частинах геологічного середовища на суші, на дні океану і під морським дном. Проте, на даний момент не існує технологічної можливості, яка б гарантувала збереження герметичності таких сховищ протягом періоду, що перевищує 50 років.

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

Вплив іонізуючої радіації на живі організми. Вже перші дослідження радіоактивних елементів (в 1896 р. А.А. Бекерель, в 1898 р. Марія та П'єр Кюрі) показали їх згубну дію на організм людини (А.А. 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 їх проникаючої та іонізуючої здатності. Організм людини пристосований до певних доз іонізуючого випромінювання, оскільки протягом життя зазнає опромінення радіоактивними елементами від природних джерел. Високі дози опромінення призводять до руйнування тканини червоного кісткового мозку, 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 їх складі. Але за великих доз радіація пошкоджує спадкову інформацію клітин і призводить до неможливості їх поділу. Цю властивість радіовипромінювання використовують при руйнуванні ракових пухлин (променева терапія). Але значне опромінення порушує клітинний розподіл у всіх тканинах, особливо таких, які інтенсивно ростуть та оновлюються. В результаті не відбувається нормального оновлення крові, епідермісу шкіри, епітелію кишківника тощо і через декілька днів променева хвороба призводить до летального наслідку. У низьких дозах іонізуюча радіація впливає на ДНК як мутагенний фактор. Збільшення частоти мутацій призводить до підвищення ймовірності канцерогенного переродження опромінених клітин.

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 нащадках. 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 кровотворної системи є найбільш вразливими і припиняють нормально функціонувати вже при дозах 0,5 – 1,0 Гр. У дітей сповільнюється ріст кісток, відзначаються аномалії скелету, втрата пам'яті і т.д. Вразливі легені, нирки. Ризик є тим більшим, чим вища доза опромінення. Вважається, що опромінення прискорює процеси старіння і скорочує тривалість життя. Внутрішнє опромінення людей є більш небезпечним, оскільки протягом року приблизно 19% припадає на зовнішнє опромінення, 76% - на їжу, 1% на повітря, що вдихається, і 4% на питну воду.

Відносно низьких доз радіації немає єдиної точки зору. Відомо, що малі дози отруйних речовин можуть мати стимулюючий ефект для організму – явище *гормезису*. Такий стимулюючий ефект виявлений за умов впливу низьких доз радіоактивного опромінення на лабораторних модельних об'єктах – *«радіаційний гормезис»*. Проте, на даний час загальновизнаним є шкідливість для людини будь-яких доз іонізуючої радіації. Нижча межа шкоди для людини – величина природного радіоактивного фону,

до якої є пристосованими наші *системи репарації* (біохімічні системи відновлення пошкоджень спадкового матеріалу) [32].

4.1.2 Особливості хімічного забруднення довкілля

Хімічне забруднення – це збільшення кількості хімічних компонентів певного середовища, а також надходження в середовище ЗР, 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 7,0 до 8,6 млн. хімічних сполук, причому ця кількість щорічно збільшується [33]. З мільйонів відомих ЗР 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.

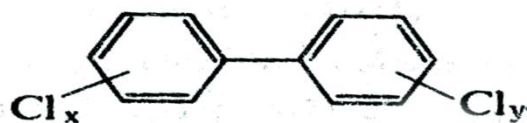
При характеристиці хімічного забруднення довкілля вживаються такі поняття, як *полютанти*, *ксенобіотики*, *екотоксиканти* та ін. *Полютанти* - речовини, що забруднюють компоненти навколишнього середовища, тобто забруднювачі. *Ксенобіотики* – чужорідні для живих організмів шкідливі сполуки, не властиві природному середовищу (пестициди, препарати побутової хімії і ін.), які попадають в значних концентраціях до природного середовища і призводять до загибелі організмів, а також порушують нормальний хід природних процесів в ЕС. Близьким по значенню є поняття *екотоксиканти* – речовини, надходження яких до НПС призводить до негативних наслідків для живих організмів. Екотоксикантами можуть бути як полютанти, так і ксенобіотики. Вони рідко зустрічаються самостійно, 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 злоякісних новоутворень, *мутагенні* ЗР викликають різкі спадкові зміни, *тератогенні* ЗР призводять до пошкодження зародків з виникненням аномалій і вад розвитку.

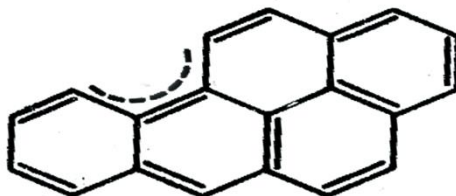
Особливу небезпеку представляють близько 200 речовин, серед яких можна відмітити: бензол, азбест, бенз(а)пірен, пестициди (ДДТ, елдрин, ліндан і ін.), важкі метали, різноманітні барвники і харчові добавки. Цілий ряд речовин антропогенного походження мають таку рухомість, що проникають майже всюди. До таких речовин відносяться фталати, хлорвуглеводні, поліхлоровані біфеніли (ПХБ), поліхлоровані дібензофурані (ПХДФ), поліциклічні ароматичні вуглеводні, пентахлорфенол, кадмій і ін.

Розповсюдженими ЗР в природних середовищах є *важкі метали* (ВМ) до яких звичайно відносять метали, які мають відносну атомну масу більше заліза (Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Sn, Sb, W, Hg, Pb, Bi); вони утворюють амфотерні оксиди і гідрооксиди.

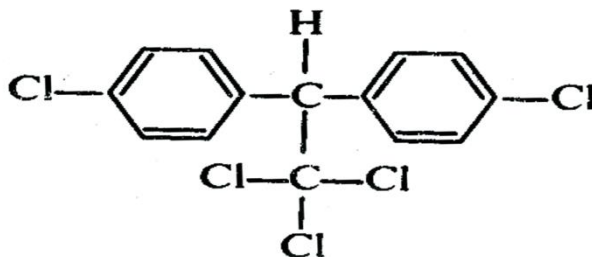
Надзвичайно небезпечними екотоксикантами, що не мають природних аналогів, є *діоксини*, які можуть поширюватись повсюдно в навколишньому середовищі і не мають природних аналогів. До діоксинів – поліхлорованих дібензодіоксинів (ПХДД) належить велика група ароматичних трициклічних сполук, які містять від 1 до 8 атомів хлору. Крім того, до діоксиноподібних речовин відносяться ПХБ і ПХДФ. Усього нараховується майже 300 діоксинів і діоксиноподібних речовин (75 ПХДД, 135 ПХДФ, 80 ПХБ), які характеризуються мутагенними, канцерогенними і тератогенними властивостями. Однак, найбільш небезпечними є 12, а найтоксичнішою сполукою вважається 2,3,7,8-тетрахлордібензодіоксин (ТХДД) - рис. 4.1.



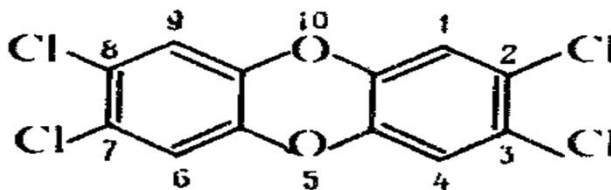
поліхлорбіфеніл (ПХБ)



Бенз(а)пірен



діхлордіфенілтрихлоретан (ДДТ)



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

Рис. 4.1 - Хімічна структура деяких екотоксикантів.

Діоксини і діоксиноподібні речовини використовуються в складі захисних покриттів, в пластмасах, фарбах, ізолюючих і мастильних матеріалах, діелектриках, гідравлічних рідинах, хлорорганічних отрутохімікатах тощо, а також утворюються у процесі спалювання твердих побутових відходів, оббілювання паперу, на нафтохімічних, металургійних та інших виробництвах. В організм людини вони потрапляють в основному з продуктами тваринного походження. При надходженні до водойм, вони акумулюються в тканинах водних безхребетних і риб. Діоксини і діоксиноподібні речовини накопичуються в основному в жировій тканині. Наприклад, вміст ПХБ в м'ясі, рибі, молочних продуктах допускається не вище 5 мг/кг, в яйцях – 0,5 мг/кг. Джерелом діоксинів є також корене- та бульбоплоди, оскільки основна частина їх накопичується в коренях рослин.

Акумуляція (біонакопичення) хімічних речовин у живих організмах зростає на кожному наступному трофічному рівні: фітопланктон → зоопланктон → ракоподібні та риби-мікрофаги → риби-хижаки → баклани - (в морських ЕС); продуценти →

рослиноїдні консументи → м'ясоїдні первинні консументи → м'ясоїдні вторинні консументи (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⁻¹). ДДТ є ліпофільною речовиною, тому його накопичення, на нашу думку, пов'язане не з акумуляцією у трофічному ланцюзі, а зі збільшенням відносного вмісту жиру в організмі.

4.1.3 Особливості біологічного забруднення довкілля

Під біологічним забрудненням розуміють привнесення в середовище нових, не властивих йому раніше, біологічних агентів або створення сприятливих умов для надмірного збільшення їх чисельності (біомаси), що перевищує норму в природних умовах, в тому числі внаслідок набуття ними нових властивостей.

Основними факторами, що спричиняють біологічне забруднення є:

- *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 нечисленні приклади успішного вселення адвентивних видів, коли вони не призводили до значного руйнування природних екосистем, але найчастіше адвентивні види (інтродуценти) призводять до пригнічення інших видів та викликають порушення сталого існування ЕС (в Чорному морі молюск рапана витіснив устриць, а реброплав мнемопсис став виїдати зоопланктон та підривати кормову базу риб);

- *антропогенна зміна середовища мешкання*, яка сприяє непомірному розмноженню окремих видів або набуттю ними нових властивостей (наприклад, синантропних тварин – тарганів, клопів, пацюків і ін., причетних до середовища мешкання людини);

- *відходи виробництва* (підприємств біосинтезу, тваринницьких комплексів) і *життєдіяльності людей* (звалища побутових відходів і т.д.).

Екологічно небезпечні *мікотоксини* – токсичні метаболіти пліснявих грибів, які є причиною хронічних токсикозів у багатьох країнах. Нині відомо 250 видів різних мікроскопічних грибів, що продукують майже 500 токсичних метаболітів, які не лише токсичні, але й мають мутагенні, тератогенні і канцерогенні властивості. Щорічно світові збитки від розвитку мікроскопічних грибів на продуктах харчування перевищують 30 млрд. доларів США [34].

Дуже важливе значення має безпека *генетично модифікованих організмів* (ГМО). ГМО – організми, до геному яких за допомогою методів генної інженерії інтродуковано функціонуючі сторонні гени або ділянки ДНК. Тварини, рослини, мікроорганізми і віруси, які піддавалися генетичній трансформації, називаються *трансгенними організмами*. Наприклад, *трансгенні рослини* – це рослини, у яких за допомогою методів генетичної інженерії, штучно змінений геном. При їх практичному використанні можуть виникнути наступні екологічні проблеми: при схрещуванні трансгенних рослин з близькими дикими видами гібридне потомство може виявитися більш життєздатним і конкурентноздатним і буде витісняти природні рослини; трансгенні сільськогосподарські рослини, за рахунок більшої стійкості до захворювань і шкідників, можуть витісняти інші господарсько-цінні види (тобто, вони стануть бур'янами); через токсичність або алергенність трансгенні рослини можуть бути прямою загрозою для людей та тварин.

Хоча перші ГМО були створені на основі тварин, найпоширенішими в 1990-х рр. були трансгенні рослини – кукурудза, соя, ріпак, бавовник. У 2004 р. площа трансгенних рослин у світі перевищала 80 млн. га. Наприклад, у США генетично

модифікована кукурудза займає 40%, соя – 81%, ріпак – 65%, бавовник – 75% від загальної площі їх посіву. Генетично модифікована соя домінує в Бразилії (80%), Аргентині (90%).

Економічні переваги вирощування трансгенних рослин незаперечні тому, що створюється їх нове покоління, стійкіше до змін абіотичних і біотичних факторів, з високою якістю продукції, зокрема вмістом вітамінів, цінних білків. Отримано понад 50 видів трансгенних рослин. Набувають поширення і генетично модифіковані тварини. За таких умов особливо важливою стає проблема біобезпеки, враховуючи досить великі ризики для довкілля і здоров'я людини в разі необережного застосування ГМО. Реакція на продукти харчування із ГМО в різних країнах як позитивна, так і негативна. Противники продуктів з ГМО (яких в Європі 30%, у США 13%) вважають, що ці технології є не тільки ризикованими, але й аморальними. В більшості країн розпочався рух за створення зон, вільних від ГМО. В 2000 р. було схвалено Картахенський протокол про біобезпеку, який на початок 2006 р. ратифікували понад 76 країн (у 2002 р. ратифікувала Україна). Основна мета Картахенського протоколу – міжнародні правила щодо перевезення, обробки та використання ГМО. Переваги і недоліки, що пов'язані з ГМО, широко обговорюються як в науковій і науково-популярній літературі, так і в засобах масової інформації. Наводяться переконливі докази як прихильників, так категоричних противників використання ГМО. Не зупиняючись на деталях переваги або недоліків створення і використання ГМО, можна лише зауважити, що досвід показує – будь-яке вторгнення в природні процеси призводить до негативних наслідків.

4.1.4 Особливості забруднення довкілля відходами

Слід нагадати, що особливістю будь-якої ЕС є накопичення ресурсів і позбавлення від відходів, що є показником нормального функціонування ЕС будь-якого генетичного типу. Чим менше споживається ресурсів і більше виробляється корисної продукції (за умови високої ефективності процесів утилізації відходів), тим триваліше підтримується рівноважний стан ЕС. Наприклад, цим умовам відповідають природні ЕС типу коралових рифів, тропічних дощових лісів і ін. Наявність трофічних зв'язків між складовими біоценозів (продуцентами, консументами і редуцентами), коли продукти життєдіяльності одних організмів утилізуються іншими, забезпечує біогеохімічну циклічність і «безвідходне біологічне виробництво».

У природно-техногенних системах вищезгадані умови нормального функціонування порушуються і прагнення до організації «безвідходного виробництва», що суперечить другому початку термодинаміки, розглядається лише в ідеалі. Різноманітні форми антропогенної діяльності можна представити такою схемою: *речовина + енергія + інформація → корисний продукт → відходи виробництва і споживання*. Кожна складова залишає за собою певні негативні наслідки. У більшій мірі це стосується завершального елементу процесу антропогенної діяльності, що призводить до імпактного накопичення твердих і рідких відходів на поверхні землі та в геологічному середовищі, викидів в атмосферу і скиданню у водні об'єкти різноманітних шкідливих речовин. Оскільки здатність природних систем до самоочищення є обмеженою, то для зменшення кількості відходів необхідно знизити відходоутворення в процесі виробництва і споживання або ефективно здійснювати рециклінг відходів, що містяться в них. Окрім соціально-економічної вигоди при цьому зменшується навантаження на природні екосистеми і їх біотичну структуру речовин, які, як правило, не піддаються процесам біодеградації.

Промислове підприємство можна розглядати як «промисловий організм» або техносистему. Аналогічно до живих організмів (біосистем), «промислові організми» (техносистеми) також мають подібні характеристики [35]. Живі організми (біосистеми) мають такі характеристики: 1) спроможні здійснювати незалежні дії, хоча вони і розрізняються за ступенем незалежності; 2) використовують енергію і матеріальні ресурси, а залишки енергії і речовин надходять у навколишнє середовище; 3) здатні до відтворення собі подібних, хоча час життя і кількість потомства значно коливається; 4) реагують на зовнішні впливи (фізико-хімічні умови, доступність ресурсів, потенційних партнерів і т.д.); 5) усі багатоклітинні організми утворюються з однієї клітини і проходять деякі стадії росту; 6) мають обмежену тривалість життя.

«Промислові організми» (техносистеми) також мають аналогічні характеристики: 1) здійснюють незалежні дії (отримують ресурси, переробляють їх і т.д. з допомогою людини); 2) витрачають енергію на переробку різних матеріалів і нові форми, які придатні для використання, а залишки енергії і відходи виробництва надходять в навколишнє середовище; 3) розробляються і створюються не для цілей відтворення, але для створення промислової продукції або подоби «промислового організму»; 4) швидко реагують на такі зовнішні фактори, як доступність ресурсів, потенційні споживачі, ціни тощо; 5) відносно росту аналогія дуже умовна, хоча лише окремі підприємства («промислові організми») не змінюються протягом свого існування; 6) мають обмежену тривалість життя.

Забруднення відходами лише умовно можна віднести до *механічного забруднення* тому, що відходи спричиняють не тільки негативний механічний вплив, а супроводжуються також негативними фізико-хімічними ефектами.

Відходи – це будь-які речовини і предмети, що утворюються в процесі виробництва і життєдіяльності людини, або внаслідок природних чи техногенних катастроф, які не мають свого подальшого призначення за місцем утворення і підлягають видаленню, або переробці з метою забезпечення захисту навколишнього середовища і здоров'я людей, чи з метою повторного їх залучення в господарську діяльність, як матеріально-сировинних або енергетичних ресурсів (*Державний класифікатор відходів України - ДК 005-96*):

Доцільно також навести витяг з *Закону України «Про відходи»* (05.03.1998 р.): *відходи* – це будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються в процесі людської діяльності і не використовуються потім за місцем утворення або виявлення, від яких їх власник позбавляється, має намір або зобов'язаний позбавитися шляхом їх утилізації або видалення.

Небезпечні відходи – відходи, фізичні, хімічні та/або біологічні характеристики яких створюють (чи можуть створити) значну небезпеку для навколишнього природного середовища і здоров'я людини і які вимагають спеціальних методів і способів поводження з ними.

Поводження з відходами – дії, спрямовані на попередження утворення відходів, їх збирання, перевезення, зберігання, обробку, утилізацію, видалення, знешкодження і поховання, включаючи контроль за цими операціями і нагляд за місцями видалення.

Збирання відходів – діяльність, пов'язана з вилученням, накопиченням і розміщенням відходів в спеціально відведених місцях або об'єктах, включаючи сортування відходів з метою подальшої утилізації або видалення.

Зберігання відходів – тимчасове розміщення відходів в спеціально відведених місцях або об'єктах (до їх утилізації або видалення).

Обробка (переробка) відходів – проведення будь-яких технологічних операцій, пов'язаних із зміною фізичних, хімічних або біологічних властивостей відходів, з метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення або видалення.

Перевезення відходів – транспортування відходів від місць їх утворення (чи зберігання) до місць або об'єктів обробки, утилізації або видалення; *утилізація відходів* – використання відходів як вторинних матеріальних або енергетичних ресурсів.

Видалення відходів – проведення операцій з відходами, які не приводять до їх утилізації.

Знешкодження відходів – зменшення або ліквідація небезпеки відходів шляхом механічної, фізико-хімічної або біологічної обробки.

Поховання відходів – остаточне розміщення відходів у спеціально відведених місцях або об'єктах таким чином, щоб довготривала шкідлива їх дія на НС і здоров'я людини не перевищувала встановлених нормативів.

Об'єкти поводження з відходами – місця (чи то об'єкти), які використовуються для збирання, зберігання, обробки, утилізації, видалення, знешкодження і поховання відходів.

Спеціально відведені місця або об'єкти - це місця видалення відходів, полігони, комплекси, споруди, ділянки надр і т.д., на використання яких одержано дозвіл спеціально уповноважених органів на видалення відходів або проведення інших операцій з ними.

Для вибору найприйнятніших методів переробки, утилізації і видалення відходів необхідно їх класифікувати.

Класифікація відходів – процес впорядкування даних про відходи, що включає: 1) ідентифікацію відходів відповідно до їх стану, складу і властивостей; 2) співвідношення з певним процесом утворення і видом економічної діяльності; 3) віднесення до будь-яких інших діючих систем групування або переліків (забруднень, вторинних ресурсів, токсикантів і т.д.), категорій речовин, матеріалів і інших об'єктів; 4) віднесення до певних видів переробки, утилізації і видалення відходів.

Як видно з визначення, залежно від цілей, задля яких створюється класифікатор, класифікацій відходів може бути достатньо багато.

Класифікація здійснюється за наступними параметрами: за місцем утворення; за видами діяльності підприємств; за стадіями виробничого циклу; за операціями; за агрегатним станом; за класом токсичності; за ступенем збитку, що завдається НС і здоров'ю населення тощо.

Наприклад, класифікація за *місцем утворення відходів*: 1) *виробничі* (промислові; сільськогосподарські); 2) *побутові* (комунальні); 3) *відходи споживання*; 4) *радіоактивні*.

Виробничі відходи – це різноманітні за складом і фізико-хімічними властивостями залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що утворилися при виробництві продукції або виконанні робіт.

Токсичні – різновид небезпечних відходів; вони при проникненні всередину організму через органи дихання, травлення або шкіру завдають отруйної дії, можуть викликати затяжні або хронічні захворювання, включаючи захворювання на рак.

Радіоактивні відходи – речовини ядерних реакцій та радіоактивні матеріали, використання яких не передбачає подальшого господарського та промислового використання.

Відходи споживання – різні вживані вироби і речовини, відновлення яких економічно є недоцільним. Наприклад, зношені або морально застарілі машини, вироби виробничого призначення (відходи виробничого споживання), а також застарілі вироби домашнього вжитку і особистого споживання, що прийшли в непридатність (відходи побутового споживання).

Сукупність відходів виробництва і споживання, які можуть бути використані як сировина для випуску корисної продукції, називається *вторинними матеріальними*

ресурсами (ВМР). Виходячи з можливості використання ВМР, їх можна розділити на реальні і потенційні ресурси. *Реальні ВМР* – ті ресурси, для використання яких створені ефективні методи і потужності для переробки, а також забезпечений ринок збуту. *Потенційні ВМР* – всі види ВМР, що не входять до групи реальних.

Класифікація за *галузями промисловості*: відходи хімічної промисловості; відходи металургійної промисловості; відходи електротехнічної промисловості тощо.

Класифікація по *видах виробничої діяльності*: відходи сірчаноокислотного виробництва; відходи автоскладального виробництва; відходи підшипникового виробництва тощо.

Перелік видів *агрегатного стану* відходів: рідкі; тверді; шламоподібні (пастоподібні); газоподібні; змішані; невизначені.

Всі промислові відходи можна розділити на два види: *нетоксичні* і *токсичні*. Оцінка небезпеки речовини здійснюється тільки експериментально. При класифікації враховується реальна і потенційна небезпека відходів.

Реальна небезпека визначається можливістю розвитку отруєння і оцінюється за значеннями експериментально встановлених показників за допомогою дослідів на модельних об'єктах.

Потенційна небезпека визначається вірогідністю потрапляння екотоксину в організм при вдиханні, з їжею або при нанесенні на шкіру.

З існуючих класифікацій відходів по токсичності найбільший інтерес представляє класифікація, вживана в гігієнічній практиці. Виділяється чотири класи небезпеки, на підставі середньолетальних доз (ЛД₅₀) і ГДК речовин: 1-й клас небезпеки – *надзвичайно небезпечні*; 2-й – *високо небезпечні*; 3-й – *помірно небезпечні*; 4-й – *мало небезпечні*.

Клас небезпеки відходів встановлюється залежно від вмісту в них високотоксичних речовин розрахунковим методом або згідно переліку відходів, наведеного в Державному класифікаторі відходів (ДК 005-96).

Основні методи поводження з ТПВ за кінцевою метою можна умовно розділити на три групи: 1) *ліквідаційні* (вирішують, в основному, санітарно-гігієнічні задачі); 2) *утилізації* (вирішують задачі економічні – використання вторинних ресурсів); 3) *змішані*. За технологічним принципом методи поводження з ТПВ розділяють на: біологічні, термічні, хімічні, механічні, змішані. Найбільшого поширення в Україні набули такі технології утилізації: складування на полігонах або звалищах (ліквідаційної біолого-механічної), спалювання (ліквідаційної термічної), компостування (біологічної утилізації).

Основною причиною несприятливої ситуації є відсутність в Україні системи управління промисловими відходами, заснованої на принципах раціонального природокористування і екологічного благополуччя екосистем в цілому, і людини, як їх складової частини, що базується на сучасних технологіях.

Система управління промисловими відходами – це частина загальної системи управління (у масштабі країни, регіону, промислового комплексу або його структурного підрозділу), до складу якої входять організаційна структура, діяльність з планування, обов'язки і відповідальність, практика, процедури, процеси і ресурси для формування, впровадження, досягнення, аналіз і актуалізація політики у сфері поводження з відходами.

У системі управління відходами доцільно виділити: адміністративні, економічні, інформаційні методи. *Адміністративні методи* визначають, як саме повинен діяти суб'єкт при поводженні з відходами для дотримання встановлених норм, вимог і правил. Крім того, передбачають пряме регулювання і обов'язковість виконання встановлених розпоряджень, тобто, носять примусовий характер. З допомогою

економічних методів здійснюється непряме регулювання. Діяльність суб'єктів господарювання спрямована на створення відповідних умов. Інформаційні методи не є самостійними, але сприяють пошуку нових шляхів і засобів управління сучасними технологіями створення баз даних. Всі методи не виключають один одного, а взаємно доповнюють [36].

4.2 Антропогенний вплив на атмосферу та його негативні наслідки

Атмосфера – найбільш динамічна оболонка Землі; вона легко піддається впливу антропогенних факторів. Середній склад сухого атмосферного повітря над незабрудненою територією (на рівні моря) на рубежі XX і XXI ст. (об'ємний вміст,%): N_2 – 78,084, O_2 – 20,95, Ar – 0,93, CO_2 – 0,036, Ne – $18 \cdot 10^{-4}$, He – $5,24 \cdot 10^{-4}$, Kr – $1,14 \cdot 10^{-4}$, N_2O – $0,53 \cdot 10^{-4}$. Склад атмосферного повітря і тиск змінюються з висотою, що можна продемонструвати на прикладі O_2 : 0 км – 20,95% (101 кПа), 5 км – 20,95% (54 кПа), 10 км – 20,99% (22 кПа), 20 км – 18,10% (5,5 кПа), 100 км – 0,11% (0,009 кПа). Присутність в атмосфері газів, пари, твердих частинок і рідких речовин природного і антропогенного генезису, що змінюють фізико-хімічні властивості і склад, пригнічуюче діють на біосистеми, є показником забруднення атмосфери.

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

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 м². У забруднених містах помітно знижується прозорість повітря. Від техногенних джерел щорічно в атмосферу надходить 350 млн. т CO, 145 млн. т SO₂, 20 млн. т NO_x та інших ЗР (табл. 4.1). Навіть за значного вмісту природних домішок вони не справляють такого сильного негативного впливу на НПС, як домішки антропогенного походження.

Таблиця 4.1- Порівняльна характеристика викидів забруднюючих речовин природного і антропогенного генезису в атмосферу [29]

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

4.2.1 Основні речовини, що забруднюють атмосферу, та їх трансформація

Основна частина ЗР припадає на газоподібні речовини (приблизно 90%), які формуються внаслідок хімічних реакцій (наприклад, окислення руд, випалювання нерудної мінеральної сировини). При спаленні органічного палива утворюється

величезна кількість газів (CO_2 , CO , SO_x , NO_x), сполук важких металів, радіоактивних речовин тощо. Могутнім джерелом газоподібних сполук є хімічні реакції розкладу (виробництво фосфорних добрив), електрохімічні процеси (виробництво алюмінію), випаровування, дистиляція [37]. Приблизно 10% газоподібних викидів припадає на тверді частинки та близько 1% на рідкі ЗР, що утворюються при конденсації парів, розливі рідин, внаслідок хімічних реакцій та інших процесів.

Завислі речовини. Пил – завислі в повітрі тверді частинки діаметром більше за 1 мкм. Аерозолі - колоїдні системи (0,1 – 0,001 мкм), що містять не тільки тверді, але і рідкі краплі (нерідко з розчиненими в них ЗР); звичайно до аерозолів відносять крапельки діаметром 0,1 – 1,0 мкм, тоді як частинки такого ж розміру вважаються пилом. Рідкі аерозолі – тумани, тверді аерозолі – дими. 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 частинок рослин і мікроорганізмів.

Частинки діаметром менше за 5 мкм не вимиваються дощами і тривалий час перебувають в повітрі, тому легко проникають до легень і бронхів. Силікатний пил (3 мкм) може викликати *силікоз*, а азбестовий (голки довжиною більше за 5 мкм) представляє канцерогенну небезпеку. Небезпечні пил і аерозолі, що містять сполуки екологічно небезпечних металів (Pb , Cd , Zn , Al , Be , Mo , Ti , V і ін.). 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 поверхні листків рослин 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 згори, утворюючи завихрення з підвітряного боку. Потрібно відмітити велику роль лісових ЕС: 1 га ялинового лісу збирає на рік 32 т пилу, соснового - 36,4 т, букового - до 68 т [38].

Одним з основних газоподібних ЗР є *оксид вуглецю (CO)* – постійний компонент атмосфери (0,01-0,90 мг/м³; причому в північній півкулі його концентрація у 3 рази більша, ніж у південній). Природними джерелами CO виступають неповне згоряння органічної речовини, виділення живими організмами, вулканічні і болотяні гази, лісові та степові пожежі, окислення CH_4 в тропосфері тощо. Антропогенні джерела 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 – протягом року пробіг автомобіля супроводжується викидами більше ніж 500 кг CO , який становить 12% маси вихлопних газів, що містять крім цього понад 200 інших хімічних сполук. Тривалість перебування в атмосфері складає близько 2 місяців. Досягаючи стратосфери, CO окислюється до CO_2 , а при взаємодії CO з гідроксильними радикалами утворює формальдегід і бере участь у відновленні HNO_3 в NO_2 . Окис вуглецю поглинається мікроорганізмами і грибами, які окислюють його до CO_2 . Деякі морські водорості нагромаджують його до 5%. Проте, близько 90% емісії CO є наслідком природних

процесів. Зокрема, вулканічна діяльність, процеси окислення гумусу та пожежі, життєдіяльність біоценозів наземних та океанічних ЕС також супроводжуються виділенням CO . Він справляє токсичний вплив на дихальний цикл клітин, він легко сполучується з гемоглобіном і утворює карбоксігемоглобін ($COHb$). У великих містах вміст CO варіює від 1 до 250 млн $^{-1}$ (середнє 20 млн $^{-1}$).

Оксиди азоту (NO_x). Значна кількість NO_x утворюється в процесі горіння при високій температурі та тиску ($N_2 \Rightarrow NO \Rightarrow NO_2 \Rightarrow N_2O_4$), передусім – у двигунах внутрішнього згорання. Діоксид азоту – стійкий газ, що зберігається в атмосфері близько 3 діб. Сполучившись з парами води, сприяє утворенню кислотних опадів ($NO_2 + H_2O \Rightarrow HNO_2 \Rightarrow HNO_3$), взаємодіючи з вуглеводнями в присутності сонячного світла утворює *пероксиацетилнітрат* (ПАН) і інші фотохімічні окислювачі (O_3 і ін.) – складові фотохімічного смогу.

Оксиди сірки (SO_x) утворюються в основному при спалюванні органічного палива, що містить сірку (вугілля, нафтопродукти і ін.). Під впливом ультрафіолетових променів SO_2 окислюється з утворенням сірчаного ангідриду ($2SO_2 + O_2 \Rightarrow 2SO_3 + 185 \text{ кДж}$), а при контакті з водяною парою утворюється сірчиста, а потім і сірчана кислота ($SO_2 + H_2O \Rightarrow H_2SO_3 \Rightarrow H_2SO_4$).

Під дією сонячної енергії *озон* і багато інших фотохімічних окислювачів утворюються при хімічній взаємодії між NO_x і вуглеводнями. Під дією сонячної енергії NO_2 розпадається на NO і атом O , а той, сполучаючись з O_2 , утворює молекулу O_3 ($NO_2 \Rightarrow NO + O + O_2 \Rightarrow O_3$). Якщо відсутні інші фактори, то процес буде оборотним ($O_3 + NO \Rightarrow NO_2 + O_2$). Отже, NO_2 зв'язується і відбувається накопичення озону ($NO_2 \Rightarrow NO + O + O_2 \Rightarrow O_3$).

Вуглеводні (BB , C_nH_m) утворюються в результаті анаеробного окислення органічних речовин в ґрунтах та водоймах, неповного окислення в двигунах внутрішнього згорання, а також при витоку з газосховищ, газопроводів, нафтопроводів, автозаправних станцій, ємностей с вуглеводневою сировиною (ВВС) тощо. Серед ВВ розрізняють алканові, цикланові, аренові та гібридні. Наприклад, алканові ВВ можуть бути газоподібними ($CH_4 - C_4H_{10}$), пароподібними ($C_5H_{12} - C_8H_{18}$), рідкими ($C_9H_{20} - C_{18}H_{38}$), твердими ($C_{19}H_{40} - C_{35}H_{72}$). Найбільш екологічно-небезпечними є аренові (ароматичні) ВВ та продукти їх трансформації. Прикладом є бенз(а)пірен ($C_{20}H_{12}$), який утворюється при неповному згоранні ВВС (двигуни внутрішнього згорання, коксохімічне виробництво і т.д.). Він накопичується в жирових тканинах, сироватці чоловічої крові та провокує розвиток злоякісних пухлин. При взаємодії ВВ з оксидами азоту утворюються пероксиацетилнітрати: $C_nH_m + NO_x \Rightarrow \text{ПАН}$.

Нерівномірний нагрів атмосфери та ґрунту 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 в атмосфері в природних умовах і їх надходження перевищує лише фонові концентрації. До них відносяться CO , NO_2 , SO_2 , 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 у 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 стосується малоактивних летючих синтетичних речовин і інертних газів.

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

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_2 окислюється у SO_3 , який, реагуючи з водяною парою, утворює H_2SO_4 ; NO_x , вступаючи в реакцію з вуглеводнями, утворюють ПАН). Майже у всіх випадках ЗР атмосфери рано чи пізно розчиняються у водах або поглинаються ґрунтами, а потім трансформуються рослинами або мікроорганізмами в інші речовини. Так, CO окислюється до CO_2 ґрунтовими організмами. H_2S 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 до океану, де течії закінчують їх розсіювання. Відбувається надходження ЗР до природних середовищ, контактуючих та пов'язаних з атмосферою.

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 ін.

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* [2], *ГДК* – норматив, кількість шкідливої речовини в навколишньому середовищі, яка при постійному контакті або при впливі протягом певного проміжку часу практично не впливає на здоров'я людини і не викликає несприятливих наслідків у її потомства.

Останні дослідження привели до висновку про відсутність нижніх безпечних порогів, а отже *ГДК*, при впливі канцерогенів антропогенного походження (наприклад, ПХБ, діоксини і ін.) і іонізуючої радіації. Будь-яке перевищення ними звичних природних рівнів (фону) небезпечне для живих організмів.

Відповідність якості довкілля цим стандартам контролюється відповідними органами нагляду. Таким чином, повинно виконуватися таке співвідношення між концентрацією (C) і *ГДК* (обидві мають розмірність - mg/m^3):

$$C \leq ГДК \quad (4.1)$$

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 сумачії*. При наявності в атмосфері декількох (n) шкідливих речовин, що справляють сумарну дію, їх безрозмірна сумарна концентрація не повинна перевищувати одиниці:

$$C_1/ГДК_1 + C_2/ГДК_2 + \dots + C_n/ГДК_n \leq 1 \quad (4.2)$$

Ефектом сумачії 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* ($ГДК_{мр}$), *середні добові* ($ГДК_{сд}$) і *робочої зони* ($ГДК_{рз}$).

$ГДК_{мр}$ – відноситься до 20-30 хвилинного інтервалу осереднення, встановлюється для попередження рефлекторних реакцій людини (відчуття запаху, світлочутливість) і не викликає змін біоелектричної активності головного мозку.

$ГДК_{сд}$ – 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. $ГДК_{рз}$ – 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 забруднювальних речовин наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Гранично допустимі концентрації деяких забруднювальних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів

ЗР	$ГДК_{мр}$	$ГДК_{сд}$	$ГДК_{рз}$	Клас небезпеки
Діоксид азоту	0,02	0,04	5,0	3
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* (бенз(а)пірен, сполуки свинцю, барію, ртуті, хрому, озон, гексахлоран, ціановодень, оксид ванадію, ДДТ тощо); 2) *високо небезпечні* (сірчана кислота, сірководень, кофеїн, феноли, бензол, хлор, оксиди марганцю тощо); 3) *помірно небезпечні* (діоксид сірки, діоксид азоту, тютюн, бутиловий спирт, пил, сажа тощо); 4) *мало небезпечні* (оксид вуглецю, етиловий спирт, аміак, нафталін, ацетон, скипидар тощо).

4.2.2 Основні джерела антропогенного забруднення атмосфери

Головними техногенними джерелами забруднення атмосфери є: 1) теплові електростанції (ТЕС) і теплоелектроцентралі (ТЕЦ) та інші об'єкти теплоенергетики; 2) складові транспортної (переважно автотранспортної) системи); 3) підприємства чорної і кольорової металургії; 4) підприємства машинобудування; 5) підприємства хімічного виробництва; 6) об'єкти видобутку і переробки мінеральної сировини; 7) відкриті джерела (виробки, сільськогосподарська рілля, будівництво).

Теплові електростанції і теплоелектроцентралі, що спалюють тверде (торф, вугілля, горючі сланці), рідке (нафта, мазут) і газоподібне (газ) паливо, відносяться до найбільш поширених і потужних джерел викидів шкідливих ЗР до атмосфери. Основними ЗР, що надходять до атмосфери при спаленні палива, є тверді частки (попіл, сажа), SO_x , NO_x , CO . Оксиди сірки (SO_x) утворюються при спалюванні сірчастого вугілля і нафтопродуктів. Утворення оксидів азоту (NO_x) залежить від температури спалювання, надлишку повітря, вмісту азоту в горючій масі; спочатку утворюється NO , який окислюється за високої температури і надлишку кисню повітря до NO_2 і N_2O_4 . За неповного згоряння палива у викидах утворюються CO , вуглеводні

типу C_nH_{2n+2} і C_nH_{2n} , поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), токсичні сполуки типу бенз(а)пірену і пентаоксиду ванадію (V_2O_5) та ін. Серед хімічних канцерогенів провідне місце займають ПАВ, що утворюються при спалюванні палива і його термічної переробки. Разом з викидами до атмосфери надходять також сполуки вельми токсичних металів (Be , As , Se , V , Cd , Hg і ін.) і радіонукліди (^{236}U , ^{232}Th , ^{40}K), які можуть бути джерелами несприятливих впливів на природне середовище та людину.

Транспорт є одним з найважливіших джерел забруднення атмосфери. Баланс викидів транспорту є наступним: автомобільний – 70%, сільськогосподарський – 9,4%, повітряний – 7,3%, водний – 4,1%. Понад 300 млн. автомашин щодня викидають у 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 у довкілля 3250 кг CO_2 , 530 кг CO , 27 кг NO_x , 10 кг гумового пилу. За даними П.М. Канило та ін. [39] у вихлопних газах ідентифіковано понад 400 ЗР. До складу вихлопних газів входять CO , NO_x , SO_x , C_nH_m (в т.ч. ПАВ), альдегіди, сполуки Pb тощо. У великих містах автотранспортом викидається близько 90% CO , 70% C_nH_m та 90-98% Pb . При спалюванні бензину в повітря надходять сполуки свинцю, який входить до антидетонаційної добавки - $(C_2H_5)_4Pb$ або $(CH_3)_4Pb$. Транспорт є джерелом пилу, а також шуму і вібрації. Кількість ЗР, 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 ході, при роботі в режимі великих навантажень. 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 супроводжується виділенням твердих і газоподібних ЗР. Джерелом викиду твердих частинок в металургії є виробництво чавуну, сталі, феросплавів. Кольорова металургія є джерелом пилу і потужних викидів SO_2 , оксидів As , Pb , Sb і Cu .

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

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

При видобутку і переробці мінеральної сировини атмосфера забруднюється пилом і частинками самої корисної копалини в процесі збагачення природних і штучних матеріалів. При окисленні і газифікації вуглистих порід териконів в атмосферу надходять CO_2 , CO , SO_2 , H_2S , CH_4 та ін.

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 до атмосфери твердих часинток (карбонати і оксиди кальцію, шлак, цемент тощо) є цементні заводи, установки з виробництва магнезиту, печі з випалення цегли, кар'єри, підприємства по

випуску ізоляційних матеріалів, керамічні заводи, установки по виробництву асфальту тощо. Найбільша кількість газоподібних ЗР утворюється під час виробництва цементу. При випалюванні цегли можуть виникнути викиди сполук фтору і діоксиду сірки, у скляній промисловості – викиди фтору і оксидів азоту.

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

Техногенні джерела забруднення розрізняються: 1) *за призначенням* (технологічні, вентиляційні викиди); 2) *за місцем розташування* (високі, незатінені, такі, що знаходяться у зоні дії вітрового потоку; затінені, низькі, розташовані нижче за будинки; наземні); 3) *за геометричною формою* (точкові, лінійні та площинні); 4) *за режимом роботи* (безперервні, періодичної дії, залпові і миттєві); 5) *за дальністю поширювання* (внутрішньоплощинні й позаплощинні).

Таким чином, основна маса ЗР 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 попелу на рік (великі ТЕС можуть викидати до тис. т на добу). За даними *І.В. Давиденко* (1982) після спалювання протягом одного року 2,1 млрд. т кам'яного вугілля і 0,8 млрд. т бурого вугілля до довкілля викидається 225 тис. т As (для порівняння: річне виробництво As в світі – 40 тис. т), 255 тис. т Ge (виробництво – 100 т), 153 тис. т Co (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 ЗР є сірка та 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.

4.2.3 Негативні наслідки забруднення атмосфери

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. Смог (від англ. *smoke* – дим, *fog* - туман). Розрізняють смог лондонського (вологий), лос-анджелеського (сухого антициклонального клімату) та аляскінського (льодяного) типів.

Смог лондонського типу – це поєднання газоподібних твердих домішок з туманом, що є результатом спалювання великої кількості сірчаного вугілля або мазуту за підвищеної вологості повітря. Описано вперше в грудні 1952 р., коли над всю Англією протягом декількох днів зберігалася зона високого тиску і безвітря (звідси ще одна назва – «смог антициклонічного типу»), яка супроводжувалася туманом. Внаслідок виникнення в атмосфері температурної *інверсії* (збільшення температури з висотою в деякому шарі атмосфери замість звичайного пониження, що порушує вертикальну циркуляцію повітряних мас) були створені умови для забруднення повітряного басейну Лондона. Від підвищеного вмісту сажі, SO₂ (до 10 мг/м³), CO, NO_x та інших ЗР загинуло приблизно 4 тис. чол., причому найвищий рівень смертності був в перший день смогу (5 грудня 1952 р.), а потім вона знизилася до звичайного рівня. Найбільш уразливими були люди віком старше 50 років, страждаючі хворобами

легенів і серця, а також діти віком до 1 року.

До речі, проблема задимлення повітряного басейну Лондона існувала ще в середні XIII століття, тому у 1273 р. англійський король Едуард I видав указ, що забороняв використовувати вугілля, яке при спалюванні виділяло багато диму (сажі). У 1952 р. викиди ЗР за рахунок опалювальних систем будинків в декілька разів перевищувало викиди ЗР від промислових підприємств (розвиток останніх у межах столиці законодавчо гальмувалося). Після трагічних подій 1952 р. у 1956 р. був прийнятий закон про чисте повітря, тому у 1970 р. викиди сажі (причина температурної інверсії) знизились у викидах з опалювальних систем будинків у 13 разів і у 6 разів – у складі промислових викидів. Але і на сьогоднішній день проблема забруднення SO_2 , CO , NO_x та іншими ЗР атмосфери Лондона та інших мегаполісів збереглася. В останній раз смог накрив Лондон влітку 2006 р. через сильну спеку та інтенсивну роботу автотранспорту.

Смог лондонського типу може формуватися при поєднанні певних природних і антропогенних факторів і в умовах великих промислових міст України, наприклад, у приморській зоні південних регіонів.

Смог лос-анджелеського типу вперше був зафіксований в Лос-Анджелесі. Інше визначення «*фотохімічний смог*» вказує на те, що в його утворенні значну роль відіграють фотохімічні процеси в атмосфері, тобто хімічні реакції, які відбуваються під дією енергії сонячного випромінювання. Для виникнення такого процесу (явища) необхідні поєднання наступних умов: низька вологість повітря, відсутність вітру, що сприяє застою великих мас повітря, а також наявність значних концентрацій ЗР, насамперед оксидів азоту і незгорілих (напівзгорілих) вуглеводнів. ЗР переважно надходять у повітряний басейн у складі вихлопних газів численних автомобілів. На утворення і стійкість фотохімічного смогу впливають температурна інверсія в атмосфері, негативні форми рельєфу і інші фактори, які ведуть до звуження розповсюдження ЗР і збільшення їх концентрації в приземній частині атмосфери. Так, в Мехіко і Лос-Анджелесі оточуючі гори перешкоджають горизонтальному переміщенню ЗР, а температурна інверсія – їх вертикальному переміщенню. Для формування фотохімічного смогу необхідно, щоб первинні ЗР поступали в значній кількості (наприклад, разом з вихлопними газами автомобілів) і досить активно протікали фотохімічні реакції. За умов фотохімічного смогу спостерігається погіршення видимості, що пов'язане з наявністю в атмосфері аерозольних частинок, які являють собою органічні речовини – продукти окислення вуглеводнів.

За певних умов ці первинні ЗР трансформуються в більш екологічно-небезпечні вторинні ЗР, або так звані «оксиданти» («фотооксиданти»): пероксиацетилнітрати (ПАН), озон (O_3) тощо. Основним вторинним компонентом фотохімічного смогу є O_3 , тому доцільно ще раз розглянути принципову схему його утворення. В двигунах внутрішнього згоряння внаслідок безпосереднього сполучення азоту з киснем утворюється NO : $N_2 + O_2 \Rightarrow NO$ (1). Далі NO частково окислюється з утворенням NO_2 : $2 NO + O_2 \Rightarrow NO_2$ (2). Аналогічний процес відбувається з також з NO , який надходить в повітря. Під впливом сонячного випромінювання NO_2 піддається фотодисоціації: $NO + h\nu (\lambda < 400 \text{ нм}) \Rightarrow NO + O$ (3). Атомарний кисень і може вступати в реакцію з молекулярним киснем: $O + O_2 + M \Rightarrow O_3 + M^*$ (4), де M – молекули повітря, що поглинають енергію. Озон бере участь у багатьох окислювальних процесах, у т.ч. – на окислювання NO до NO_2 : $NO + O_3 \Rightarrow NO_2 + O_2$ (5).

Для порівняння можна навести типові концентрації домішок ЗР в незабрудненому повітрі (перша цифра) і при фотохімічному смогу (друга цифра): NO_x 0,01–0,1 млн⁻¹; CO 0,05–40 млн⁻¹; SO_2 0,01–0,2 млн⁻¹; CH_4 1–3 млн⁻¹; O_3 0,01 – 0,5 млн⁻¹. Крім того, типовий вміст альдегідів при фотохімічному смогу

складає $0,6 \text{ млн}^{-1}$, а ПАН – $0,01-0,05 \text{ млн}^{-1}$ (млн^{-1} – число об'ємів домішки на 1 млн. об'ємів повітря).

За типового для міських повітряних басейнів відношення $\text{NO}_2/\text{NO} = 3$, концентрація O_3 повинна бути $0,5 \text{ млрд}^{-1}$, а ні $0,02 \text{ млн}^{-1}$ (або $0,5 \text{ млн}^{-1}$ при фотохімічному смогу). Каталізаторами утворення O_3 є вуглеводні в забрудненому повітрі, насамперед алкени.

Якщо стратосферний O_3 захищає живі організми від УФВ, то тропосферний O_3 («хімічна речовина не на своєму місці») впливає негативно на живі організми і матеріали. При концентрації O_3 $0,1 \text{ млн}^{-1}$ в повітрі виникає сухість у горлі, подразнення дихальних шляхів, зниження стійкості до бактерій, а при концентрації $0,3 \text{ млн}^{-1}$ – порушення дихання, спазм грудної клітки, запаморочення. Тривалий контакт із забрудненим повітрям призводить до захворювання і навіть до загибелі людей, особливо осіб похилого віку і дітей. Концентрація ПАН $0,01 \text{ млн}^{-1}$ викликає сльозотечу, а при $0,25 \text{ млн}^{-1}$ спостерігаються приступи астми, кашель, головний біль тощо. Фотохімічний смог негативно впливає на рослинність, прискорює корозію металів та руйнування гумових та інших матеріалів.

Фотохімічний смог характерний не тільки для Лос-Анджелеса, але і для Нью-Йорка, Чикаго, Бостона, Детройта, Мехіко, Токію, Рима, Афін та інших місць, де відбувається поєднання природних і антропогенних факторів його формування.

Смог аляскинського типу (льодяний) формується при поєднанні шкідливих газів, пиловатих частинок і замерзлих крапель туману та пари з опалювальних систем. Характерний для деяких північних населених пунктів. Формується в умовах холодного і вологого клімату за достатньо високого рівня антропогенного навантаження.

Кислотні опади. 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 обумовлена її глобальним характером внаслідок того, що кислотні опади (дощ, туман, сніг), 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 сірковмісних каустобіолітів (вміст сірки може сягати 5%) до атмосфери надходить близько 150 млн. т SO_2 , який утворює сірчисту кислоту: $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_3 + 76 \text{ кДж}$. У забрудненій атмосфері відбувається також реакція: $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$, що призводить до утворення сірчаної кислоти. Навколо промислових зон атмосферні опади звичайно в 10-1000 раз кисліші за нормальні. SO_2 , який надходить до атмосфери, зазнає низки 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 SO_2 – до 40-50 км, зона впливу $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{MeSO}_4$ – до 300 км, зона окислення опадів з $\text{pH} < 5$ – до 2000 км). 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 атмосферою 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 2,0-1,5). Кислі опади містять у великій кількості іони SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , H^+ , а також ВМ.

Кислотні опади вимивають біогени з ґрунтів, призводять до деградації лісів,

погіршують якість природних вод, негативно позначаються на умовах мешкання гідробіонтів. Закислення водних об'єктів проявляється не тільки в зміні кислотності, а й іонного складу (наприклад, домінування HCO_3^- змінюється на домінування SO_4^{2-}). Найбільше реагують на кислотні опади малопотужні ґрунти з низькою концентрацією буферних речовин, які формуються на безкарбонатних породах; з них вимиваються значні кількості Ca , Mg і K , зменшується величина pH , що призводить до збільшення розчинності і рухливості Mn , Fe , Al , Pb , Cu , Cd , Ni , Zn , Hg . При $\text{pH} < 4,5$ в ґрунтових водах різко збільшується концентрація металів. У підкислених ґрунтах зменшується кількість корисної мікрофлори, уповільнюється процес гумусоутворення, зменшується його родючість. Але у деяких випадках кислотні опади можуть бути корисними. Зокрема, вони збагачують ґрунти азотом і сіркою, в районах поширення карбонатних та лужних ґрунтів вони знижують лужність, збільшуючи рухливість живильних елементів та їх доступність для рослин. Серед дерев найчутливішими до підвищеної кислотності є хвойні породи. Кислотні опади негативно впливають на фотосинтез рослин, знижують їх стійкість до заморозків, хвороб і шкідників. Кислотні опади руйнівні діють і на інженерні споруди. Так, мармурові будівлі Риму, 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 ($\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$), внаслідок чого величина pH стає близькою до 7. Однак буферна ємність знижується, що призводить до деградації ЕС. Для запобігання кислотним опадам і зниження їх негативного впливу необхідно: 1) скорочення викидів кислотоутворюючих речовин (заміною високосірчистого вугілля і мазуту на низькосірчисті; застосування рідких фільтрів-скрубєрів – газоподібні продукти згоряння пропускають через розпилений розчин CaCO_3 і SO_2 реагує з нею, утворюючи гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); створенням електростанцій на альтернативних джерелах палива); 2) усунення симптомів впливу кислотних опадів (вапнування ґрунтів і водоймищ тощо); 3) використання альтернативних джерел енергії.

Деградація озонового шару. Озоновий шар має велике екологічне і біологічне значення тому, що майже в 6,5 тис. разів послаблює дію ультрафіолетового спектру електромагнітного випромінювання Сонця. Частка ультрафіолетового електромагнітного випромінювання (УФВ) складає приблизно 9% від загального сонячного випромінювання. За біологічним ефектом у діапазоні близького УФВ виділяють 3 області:

1) УФВ-А ($\lambda = 320\text{-}400$ нм) – позитивно впливає на все живе; під його впливом виробляється вітамін D , який відіграє ключову роль в кальцієвому обміні в організмі людини; дефіцит вітаміну D є причиною рахіту, старечій крихкості кісток; загар і пігментація шкіри також пов'язані з УФВ-А;

2) УФВ-В ($\lambda = 290\text{-}320$ нм) – при малих дозах вона також активізує обмін речовин, поліпшує загальний стан людини, але при великих дозах (особливо при $\lambda = 297$ нм) визиває злоякісні новоутворення на шкірі (саркоми, меланоми);

3) УФВ-С ($\lambda = 200\text{-}290$ нм) – надає найбільш шкідливого впливу; активно діє на ДНК і РНК, білки, знищує клітини, має бактерицидні властивості (на цьому базується дезінфекція води).

В спектрі сонячного випромінювання, що досягає земної поверхні, поряд з видимим спектром і інфрачервоним випромінюванням (ІЧВ) присутні лише УФВ-А та сильно ослаблене УФВ-В. Випромінювання в діапазоні УФВ-С затримуються озоном та іншими газами.

Озоновий шар - частина стратосфери на висоті від 12 до 50 км (в тропічних широтах 25-30, в помірних 20-25 та в полярних 15-20 км). Озон є малою

домішкою в земній атмосфері ($10^{-6} \div 10^{-5}\%$ від об'єму). Його загальна маса складає приблизно $3 \cdot 10^9$ т, тобто лише $0.64 \cdot 10^{-6}$ маси всієї атмосфери. Приблизно 90% O_3 знаходиться в стратосфері на висотах від 10 до 50 км. Найбільша кількість O_3 зосереджена на висоті 26-27 км в тропіках, на висоті 20-21 км в середніх широтах та на висоті 15-17 км в полярних областях. Середній час життя молекули O_3 в області максимуму його концентрації становить 0,5-3 місяці.

В якості одиниці вимірювання загального вмісту озону (ЗВО) прийнята так звана «одиниця Добсона», яка відповідає товщині озонового шару, зібраного окремо і приведенного до нормального атмосферного тиску (760 мм рт. ст.) і нормальної температури (0°C). Одна одиниця Добсона (о.Д.), відповідає 0,01 мм товщини озонового шару. З екваторіальної області повітряні течії навесні переносять O_3 в середні і високі широти, влітку перенесення припиняється. У середніх широтах Північної півкулі найбільше значення ЗВО (до 500-700 о.Д.) спостерігається навесні, найменше - восени (близько 300 о.Д.). Нормальним вважається значення 340-360 о.Д.

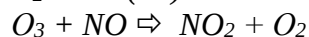
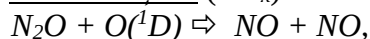
O_3 - активна хімічна сполука - сильний окислювач. Він окислює майже всі метали (за винятком, *Au*, *Pt*, *Ir*). Як токсичний забруднювач атмосфери за високих концентрацій озон має виражений негативний вплив на здоров'я людини, тварин і рослинність. ГДК_{мр} в атмосферному повітрі населених місць – 0,16 мг/м³, ГДК_{сд} - 0,03 мг/м³, ГДК_{рз} - 0,10 мг/м³.

Механізм (реакції) утворення і руйнування озону був запропонований С. Чепменом (1930): $O_2 + h\nu \rightarrow 2O$; $O_2 + O \rightarrow O_3$.

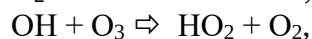
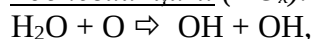
Фотоліз молекулярного кисню відбувається в стратосфері під впливом УФВ ($\lambda = 175\text{--}242$ нм). Озон витрачається в реакціях фотолізу і взаємодії з атомарним киснем: $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$; $O_3 + O \rightarrow 2O_2$.

Крім реакцій, що входять до механізму С. Чепмена, є цілий ряд інших реакцій, що призводять до розкладу озону. Ці реакції являють собою каталітичні цикли, тому їх також називають відповідними циклами.

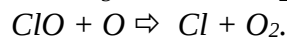
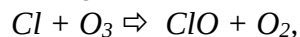
Азотний цикл (NO_x):



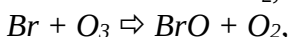
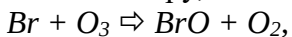
Водневий цикл (HO_x):



Хлорний цикл (ClO_x):



Процеси руйнування озону прискорюються у присутності не тільки сполук азоту, водню і хлору, але і сполук бромі:



Основними озоноруйнуючими речовинами (ОРР) є хлорфторвуглеці (ХФВ), які використовуються як холодоагенти, розчинники, препарати гасіння, для розпилення лаків і барвників в аерозольних упаковках. Досягнувши озоносфери, ХФВ під дією УФВ руйнуються; відривається атом хлору, а радикали, що залишилися, легко окислюються. Атом хлору і молекула ClO є каталізаторами, а руйнуються атоми кисню

і молекули озону. ХФВ – малотоксичні, не утворюють вибухонебезпечні суміші з повітрям, але при фотодисоціації утворюють сполуки хлору і фтору, які спричиняють руйнування озонового шару. Ці речовини визнані небезпечними для озонового шару Монреальським протоколом про речовини, що руйнують озоновий шар, прийнятим у 1987 р. на розвиток Віденської конвенції про охорону озонового шару 1985 р. та з подальшими поправками до нього. Озоноруйнуюча здатність деяких речовин згідно Монреальського протоколу наведена в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Озоноруйнуюча здатність деяких речовин

Назва речовини (аббревіатура)	Хімічна формула	Озоноруйнуюча здатність
ХФВ-11	$CFCl_3$	1,0
ХФВ-12	CF_2Cl_2	1,0
ХФВ-113	$C_2F_3Cl_3$	0,8
ХВВ-114	$C_2F_4Cl_2$	1,0
ХВВ-115	C_2F_5Cl	0,6
Хлордифторметан	CF_2ClH	0,05
Метилхлороформ	$C_2H_3Cl_3$	0,10
Чотирихлористий вуглець	CCl_4	1,06
Галон -1211	C_2F_2BrCl	3,0
Галон -1301	C_2F_3Br	10,0
Галон -2402	$C_2F_4Br_2$	6,0

Хлорфторвуглеводні і бромфторвуглеводні викликають виснаження озонового шару. Хлорфторвуглеводні (ХФВВ) викликають слабке виснаження озонового шару у середніх широтах, де основний внесок мають фторвуглеводні. Проте в умовах полюсів до 50 % внеску до руйнування озону мають хлорфторвуглеводні, та до 40 % – бромфторвуглеводні. Крім викидів вище перелічених ОРР, факторами руйнування озонового шару є запуск ракет, польоти реактивних літаків, випробування ядерної і термоядерної зброї, знищення лісів тощо.

Природні причини зменшення вмісту стратосферного O_3 включають: великі пожежі і певні морські біотопи (постачають певні сполуки хлору), великі виверження вулканів (викидається велика кількість дрібних твердих частинок і аерозолів, які підвищують ефективність руйнівного впливу хлору на озон). Однак аерозолі сприяють руйнуванню озонового шару тільки тоді, коли в ньому присутні ХФВ.

Є думка, що природні джерела галогенів, наприклад вулкани або океани, більш значущі для процесу руйнування O_3 , ніж діяльність людини. Не ставлячи під сумнів внесок природних джерел до загального балансу галогенів, необхідно відзначити, що в основному вони не досягають стратосфери з огляду на те, що є водорозчинними і вимиваються з атмосфери, випадаючи у вигляді дощів на землю. Також природні сполуки менш стійкі, ніж ХФВ, наприклад метилхлорид (CH_3Cl) має атмосферний час життя всього 1 рік, в порівнянні з десятками і сотнями років для синтетичних ХФВ. Тому їх внесок в руйнування стратосферного O_3 досить малий. Навіть рідкісне за своєю силою виверження вулкана Пінатубо (Філіппіни) в червні 1991 р. викликало падіння рівня O_3 не за рахунок галогенів, що вивільняються, а за рахунок утворення великої маси аерозолів SO_4^{2-} , поверхня яких прискорила реакції руйнування O_3 , але вже через 3 роки практично вся їх маса була видалена з атмосфери.

Таким чином, ОРР атмосфери каталізують розпад O_3 . Концентрації їх незначні: $CFCl_3$ (ХФВ-11) - 0,226 млн⁻¹, CF_2Cl_2 (ХФУ-12) - 0,392 млн⁻¹, $C_2H_3Cl_3$ (метилхлороформ) - 0,139 млн⁻¹ тощо. Однак деякі руйнівники озонового шару

присутні в більш високих концентраціях: N_2O - 307 млн⁻¹, CH_4 - 1638 млн⁻¹, CO - 103 млн⁻¹.

При подальшому зростанні ХФВ в 2050 р. 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 УФВ може викликати у вищих організмів пошкодження ДНК, порушення генетичного коду, імунної системи. Зменшення щільності озонового шару на 50% збільшує руйнівну функцію УФВ у 10 разів.

Ділянки зниження захисних функцій озонового шару стратосфери, тобто з помітним зниженням концентрації O_3 на 40-50%, порівняно з фоновими значеннями, отримали не наукову назву «озонова діра». Фактично, це райони зниження вмісту O_3 у стратосфері.

Постійні глобальні спостереження за озоновим шаром було розпочато у 1928 р. винахідником спектрофотометричного методу визначення атмосферного озону британським фізиком Гордоном Добсоном. Вперше у 1985 р. англійські вчені виявили у озоносфері над південним полюсом «озонову діру», діаметром 1000 км та площею 20 млн. км². У 2001 р. вчені заявили, що її площа скоротилася, але ці відомості були спростовані в 2005 р., коли її розмір досяг 27 млн. км². Озонова діра над Антарктикою є непостійною, у вересні - жовтні (перший та другий місяць весни в Південній півкулі) вона з'являється, а в березні - квітні (перші місяці осені в південній півкулі), коли кількість УФВ зменшується, вона практично повністю зникає. У 1992 р. було зафіксоване зниження O_3 приблизно на 50% над Антарктидою і прилеглими просторами Південної Америки (Аргентина, Чилі). Невеликі «озонові діри» відмічалися над північними районами Канади, Великобританії, Скандинавським півостровом (пониження O_3 на 10-40%). Зниження кількості O_3 в Арктиці завжди було виражено значно менше, ніж в Антарктиді. В 1994-1995 рр. виявлено зниження вмісту O_3 на 30%, але взимку і навесні 2010-2011 рр. таке зниження досягло рівня 40% (для порівняння в Антарктиді до 50% -60%).

Вчені вважають, що появі озонової діри сприяють кілька чинників: підвищене вироблення NO_x внаслідок зміни сонячної активності в атмосфері (11-річний цикл; активність в останньому циклі була підвищеною) з подальшим перенесенням від озонового шару; винесення озону з полярної області за рахунок зміни циркуляції атмосфери; збільшення кількості ХФВ і інших ОРР; надходження з рифтових зон Світового океану метану та інших природних джерел (вулкани тощо) ОРР.

«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 ХФВ та знищення лісів як продуцентів кисню), але й природне походження «озонових дір» [40].

В Австралії розроблено замітник фреонів в 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 ($C_2H_3Cl_3$), який відносно слабо активний в руйнуванні озону. Замітник ХФВ (фреонів, хладонів) в аерозолях є суміш пропану і бутану. Але для холодильних установок знайти замітник ХФВ з подібними технологічними властивостями складніше. Кращим замітником фреонів на даний момент залишається аміак, однак він значно токсичніший і гірший від них за фізичними параметрами. Зараз досягнуті непогані результати з пошуку нових заміників, але поки що проблема остаточно не вирішена через значну їх вартість.

Спостереження за озоновим шаром проводиться на 6 станціях України (Київ, Одеса, Бориспіль, Богуслав, Львів, Феодосія). З 1980 р. відзначається зменшення ЗВО,

що вказує на послаблення захисних функцій озонового шару.

Україна є країною Монреальського протоколу щодо речовин, які руйнують озоновий шар, з 1988 р. З 1 січня 1996 р. Україна зобов'язана була 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. Україна досі не виконала своїх зобов'язань. З огляду на важкий економічний стан України у 1995 р. під час Сьомої зустрічі сторін Монреальського протоколу щодо речовин, які руйнують озоновий шар, було ухвалено рішення № 7/19, яким надано Україні відстрочку виконання зобов'язань до 2000 р. та рекомендувала Глобальному екологічному фонду надати фінансову підтримку Україні для переходу на озонобезпечні речовини.

Парниковий ефект. Поверхня Землі та атмосфера поглинають значну кількість випромінювання Сонця в діапазоні коротких хвиль (УФВ), що призводить до їх нагрівання. Одночасно вони випромінюють еквівалентну кількість енергії в діапазоні ІЧВ ($\lambda = 1000 \text{ мкм} - 780 \text{ нм}$) 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 і досить ефективно відбивають ІЧВ назад на поверхню Землі. Це явище називають природним *парниковим ефектом*. Якщо б не цей ефект, то середня температура земної поверхні не перевищувала б мінус $6-18^\circ\text{C}$ і життя в сучасному вигляді не існувало. Проте, завдяки парниковому ефекту середня температура приземного шару повітря становить $+15^\circ\text{C}$. Тобто атмосфера Землі відіграє роль «ковдри», утримуючої тепло аналогічно склу (плівці) парника (оранжереї).

Парникові гази (ПГ) - газоподібні складові атмосфери природного або антропогенного походження, які поглинають і перевипромінюють ІЧВ. Антропогенне зростання концентрації ПГ в атмосфері призводить до підвищення приземної температури та зміни клімату. Перелік ПГ, які підлягають обмеженню згідно Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату (1992 р.) визначений у Додатку А до Кіотського протоколу (1997 р.), включає: CO_2 , CH_4 , N_2O , $ХФВ$, $ХФВВ$, SF_6 . Водяна пара (H_2O) - найпоширеніший ПГ - виключений з даного розгляду, оскільки немає даних про зростання його концентрації в атмосфері (тобто пов'язана з ним небезпека не проглядається).

Діоксид вуглецю (CO_2) - найважливіше джерело кліматичних змін, на частку якого припадає близько 64% глобального потепління. Основними джерелами викиду CO_2 в атмосферу є виробництво, транспортування, переробка та споживання викопного органічного палива (86%), знищення тропічних лісів і спалювання біомаси (12%) і інші джерела (2%), наприклад, виробництво цементу і окислення CO . Кількість часу, при якому приблизно 63% CO_2 виводиться з атмосфери, називається ефективним періодом перебування (50 - 200 років).

Метан (CH_4) має як природне, так і антропогенне походження. В останньому випадку він утворюється в результаті виробництва палива, травної ферментації (наприклад, у худоби), рисівництва, знищення лісів (головним чином, внаслідок горіння біомаси та розпаду надлишкової органічної субстанції). На частку CH_4 припадає приблизно 20% глобального потепління. Викиди CH_4 являють собою значне джерело ПГ.

Геміоксид азоту (N_2O) - третій за значимістю парниковий газ Кіотського протоколу. Природними джерелами виступають анаеробні процеси розкладання азотовмісних сполук у ґрунті. Антропогенними джерелами є виробництво та застосування мінеральних добрив, хімічна промисловість, сільське господарство і т.п. На нього припадає близько 6% глобального потепління.

ХФВ, ХФВВ - на них припадає менше 1% глобального потепління.

Гексафторид сірки (SF₆) - використовується як електроізоляційний матеріал в електроенергетиці. Викиди відбуваються при його виробництві і використанні. Надзвичайно довго зберігається в атмосфері і є активним поглиначем ІЧВ. Тому ця сполука, навіть за відносно невеликих обсягів викидів, має потенційну можливість впливати на парниковий ефект протягом тривалого часу у майбутньому.

Потенціал глобального потепління характеризує розігрівуючий вплив молекули ПГ відносно молекули CO₂, прийнятого за одиницю. Для CH₄ = 21, N₂O = 310, ХФВ = 6500 - 9200, ХФВВ = 1300, SF₆ = 23900, тобто 1 т того чи іншого газу дає більший ефект, ніж 1 т CO₂.

Починаючи з 1900 р. відмічено зростання концентрацій основного ПГ (CO₂): 1900 р. – 290 млн⁻¹; 1970 р. – 321 млн⁻¹; 1990 р. – 360 млн⁻¹; 2000 р. – 380 млн⁻¹; 2013 р. – 400 млн⁻¹; 2030 р. (прогноз) – 450-600 млн⁻¹; 2050 р. (прогноз) – 700-750 млн⁻¹.

Середня температура в Північній півкулі зросла на 0,4°C з 1880 по 1940 рр., а в період до 2030 р. вона може підвищитися ще на 1,5-4,5 °С. Це дуже небезпечно для островних країн та територій, розташованих нижче рівня моря. Є прогнози, що до 2050 р. рівень моря може підвищитися на 25-40 см, а до 2100 р. - на 2 м, що призведе до затоплення 5 млн. км² суші, тобто 3% суші і 30% всіх врожайних земель планети.

Середня температура в Україні за останні 10 років зросла приблизно на 0,3-0,6 °С, у той час як за останні 100 років – на 0,7 °С. Як відзначає *Я.П. Дідух* (2009), підвищення температури лише на 1,0 °С може викликати зсув природних зон на 160 км, тому в разі прогнозованого зростання температури на 3,0 °С відбудуться катастрофічні екологічні і соціально-економічні наслідки.

Парниковий ефект в атмосфері - явище, поширене і на регіональному рівні. Антропогенні джерела теплоти (ТЕС, транспорт, промисловість), створюють навколо міст простір радіусом 50 км і більше з підвищеною на 1-5°C температурою повітря та високою концентрацією ЗР. Ці зони (куполи) над містами добре проглядаються з космічного простору. Вони руйнуються лише при інтенсивних рухах мас атмосферного повітря.

Забруднення ПГ атмосфери призводить до негативних наслідків у планетарному масштабі. Змінюється енергетичний баланс планети у зв'язку зі зміною альбедо через забруднення атмосфери, збільшується відбита сонячна радіація від частинок пилу в атмосфері і зменшується відбиття від заплених льодовиків, що спричиняє їх танення. Щорічно в оточуючому природному середовищі розсіюється 14,2·10¹⁶ 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 зв'язується в процесі фотосинтезу і поглинається Світовим океаном.

Можливі наслідки зміни клімату: зміна частоти та інтенсивності опадів; підвищення рівня моря; загроза для природних екосистем і біорізноманіття; танення льодовиків; проблеми функціонування сільського господарства, водоспоживання і водопостачання, вплив кліматичних змін на здоров'я людини тощо.

Рамкова Конвенція ООН про зміну клімату наголошує на тому, що невідкладним заходом щодо запобігання негативним наслідкам очікуваних змін клімату є розробка глобальної стратегії реагування. Зокрема, важливим елементом такої стратегії є спільний пошук шляхів «стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері на такому рівні, який не допускав би шкідливого антропогенного впливу на кліматичну систему». На початку грудня 1997 р. в японському місті Кіото відбулася третя сесія Конференції Сторін Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату, яка стала визначною міжнародною подією. У роботі Конференції брали участь 2200 офіційних делегатів та кілька тисяч представників недержавних організацій та засобів масової

інформації. Українська делегація також брала участь у роботі 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 ПГ принаймні на 5% 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. У 2012 р. під час проведення 18-ї Конференції ООН щодо змін клімату було досягнуто домовленості про продовження дії Кіотського протоколу до 2020 р. Проте діючу редакцію протоколу підтримали лише представники 37 країн, частка яких у внеску глобальних викидів не перевищує 15%. Основні країни, виробники ПГ, у тому числі Україна, намагалися взагалі заблокувати дію Кіотського протоколу.

Протокол передбачає запровадження ряду механізмів, що сприятимуть досягненню кінцевої мети Конвенції - забезпечити дотримання їх кількісних зобов'язань щодо обмеження та скорочення викидів ПГ. Це, зокрема, реалізація проектів спільного виконання зобов'язань, запровадження «механізму чистого розвитку», встановлення міжнародного режиму торгівлі квотами на викиди.

Викиди всіх ПГ були перераховані в еквівалентний викид вуглецю з урахуванням коефіцієнтів глобального парникового потенціалу. Сумарний викид ПГ у вуглецевому еквіваленті станом на 1990 р. становив 232,88 млн. т. 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 ПГ у 1994 – 1996 рр. складали до 70% від викидів 1990 р. Це пояснюється загальним падінням рівня виробництва та споживання промислової продукції в державі. Розрахунки викидів ПГ 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 ПГ. За базовим сценарієм розвитку економіки України рівень викидів ПГ 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% [41].

Країни, які підписали Кіотський протокол, зобов'язались до 2012 р. зменшити на 5,2% викиди ЗР. За базовий рівень беруться обсяги викидів за 1990 рік. У 1990 р. викиди ПГ в Україні склали 867,1 млн. т CO_2 -еквівалента (спалювання органічного палива – 76,4%, енергетика – 15,1%, сільське господарство – 5,4%, промислові процеси – 3,7%), а депонування за рахунок лісних ЕС - 5,9%. На CO_2 припадало 74,2%, CH_4 – 22,6%, N_2O – 3,2%. Україна ратифікувала Кіотську угоду 4.02.2004 р. і сьогодні має приблизно вдвічі менші викиди ПГ в атмосферу. Україна має значний потенціал впровадження засобів ринкових механізмів у першому періоді дії Кіотського протоколу. За п'ять років дії Кіотського протоколу Україна може отримати приблизно \$ 8,5 млрд. США в якості компенсації та плати за продаж надлишків квот на ПГ [42].

Вплив забруднювальних речовин атмосфери на живі організми.

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 діб, 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 в основному через органи дихання. Близько 50% частинок діаметром 0,02 - 0,20 мкм, які проникають у легені, осідають 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; сполуки свинцю руйнують еритроцити крові; аренові вуглеводні є канцерогенами; дрібні частинки пилу подразнюють слизову оболонку, а азбестовий пил може викликати фіброз легенів і рак. Оксид вуглецю за тривалої дії викликає безплідність. У природних умовах концентрація CO дуже незначна - не більше $0,2 \text{ млн}^{-1}$. Концентрація CO , значно вища гранично допустимих ($ГДК_{\text{мр}} - 5 \text{ мг/м}^3$, $ГДК_{\text{сд}} - 3 \text{ мг/м}^3$), призводить до фізіологічних змін в організмі, а концентрація понад 750 млн^{-1} - до летального наслідку. Ступінь впливу залежить не лише від концентрації, але й від тривалості впливу CO . Щороку в атмосферу надходить близько 380 млн. тонн CO , який може знаходитись в атмосфері 2-4 місяці. Однак концентрація CO в атмосфері не збільшується завдяки ґрунтовим мікроорганізмам, які розкладають CO , і, меншою мірою, через атмосферне окислення CO до CO_2 . 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 небезпечними для рослин є сірчаний газ (SO_2), фторвмісні сполуки і смоги усіх типів. Рослини по-різному сприйнятливі до забруднення повітря (найбільш чутливі - жито, пшениця, ячмінь, яблуня, береза, груша, сосна; більш стійкі - вишня, бузок, дуб тощо).

4.2.4 Основні напрями охорони атмосфери

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 понад 18 млн. м^3 повітря, що у 3-10 разів більше, ніж культивовані польові рослини на аналогічній площі. Крім того, 1 га лісу щодобово виділяє до атмосферного повітря 2-4 кг фітонцидів, 30 кг яких досить для знищення хвороботворних мікроорганізмів у великому місті. Крони дерев не тільки поглинають ЗР і здійснюють їх детоксикацію,

але й сприяють їх розсіюванню в атмосфері, що впливає на характер потоків у приземному шарі повітря. Виявлено, що коренева система рослин може виділяти деякі ЗР, що були поглинені їх наземною частиною (наприклад, сполуки сірки).

Задля більш ефективної охорони атмосферного повітря необхідна реалізація комплексу заходів, який включав би перехід на екологічно чисті джерела енергії (сонячні, водні, вітрові, геотермальні та ін.), конструктивно-технологічні засоби для вилучення викидів, покращення складу палива, удосконалення транспорту тощо. Однак, як окремі технічні рішення, так і нові технології можуть вирішити лише частину проблем запобігання забрудненню. Важливу роль відіграє раціональне розміщення промислових об'єктів, виходячи з конкретних умов місцевості, впровадження замкнених технологічних циклів. Поки горючі корисні копалини будуть використовуватися досить широко, слід застосовувати 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 і від усіх газів. Вартість таких установок складає 40% від загальної вартості самих ТЕС.

Боротьба із викидами в 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) від використання в промисловості екологічно прийнятних матеріалів і ресурсів, заміни ХФУ та інших руйнуючих озонів шар речовин більш безпечними, істотного зниження відходів, а також встановлення устаткування, контролюючого забруднення середовища.

Згідно Закону України «Про охорону атмосферного повітря» (1992 р.), у повітря не повинні викидатися речовини, характер дії яких на здоров'я населення є невизначеним.

Спостереження за забрудненням атмосферного повітря проводяться на стаціонарних постах і станціях транскордонного переносу. За даними про забруднення атмосфери визначаються величини концентрації домішок: разові, середньомісячні, середньорічні. На всіх постах здійснюються систематичні спостереження (*NO₂, SO₂, CO, тил, свинець, бенза(а)пірен, формальдегід*).

У повітрі багатьох міст України контролюється вміст специфічних ШР, які характерні для промислових викидів підприємств, розташованих на їх території. Основний внесок до забруднення атмосферного повітря в Україні дає теплоенергетика, промисловість і автотранспорт. 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 NO_x, а 85% викидів SO₂ 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 є загрозою для здоров'я не тільки нинішнього, а й наступних поколінь.

Скорочення обсягів промислового виробництва в Україні в 1990-х рр. зменшило загальний обсяг викидів ЗР в атмосферу від стаціонарних джерел. Проте, починаючи з 2001 р., знову спостерігається тенденція до збільшення забруднення.. Це зумовлено зростанням обсягів виробництва в умовах недостатнього впровадження нових екологічно безпечних технологій. Обсяги викидів ШР від підприємств склали 10 т/ км² територій країни, на душу населення – 85 кг. За цими показниками Україна перевищує розвинуті країни у декілька разів. Вагомий вплив на стан атмосфери мали викиди ЗР у повітря від рухомих джерел, і зокрема автотранспорту. Від автомобілів протягом 2002 р. в повітря надійшло 2,0 млн. т ШР, що на 25 тис. т (на 1,2%) більше, ніж в 2001 р. [42].

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

4.3 Антропогенний вплив на гідросферу та його негативні наслідки

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 кругообігу води в природі. Переважна частина вод припадає на океани та моря, які займають близько 71% земної поверхні і в яких зосереджено $1,4 \cdot 10^9$ км³ або 96,5% усього об'єму. Велику частину поверхні суші (78%) складають периферійні області, сполучені зі Світовим океаном, а 22% припадають на частку областей внутрішнього замкненого стоку, волога яких потрапляє до Світового океану з потоками атмосферної вологи.

Водні ресурси - це всі природні води Землі, які представлені водами річок, озер, водосховищ, боліт, льодовиків, підземних горизонтів, океанів і морів. Згідно «*Водного кодексу України*» (1995) *водні ресурси* – це «обсяги поверхневих, підземних і морських вод відповідної території», а згідно *ДСТУ 3041-95* – це «придатні для використання людиною в будь-яких формах і потребах запаси поверхневих вод, також вода льодовиків, вода пари атмосфери, ґрунтова волога».

Усі галузі господарства за відношенням до водних ресурсів поділяються на водоспоживачів і водокористувачів. *Водоспоживачі* забирають воду, використовують її для виготовлення промислової та сільськогосподарської продукції або побутових потреб населення, а потім повертають до водного об'єкту, але вже в іншому місці, в меншій кількості і з іншими якісними характеристиками. *Водокористувачі* використовують воду як середовище (водний транспорт, рибальство 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 р.) залишилося одне поняття «*водокористування*» – використання вод (водних об'єктів) для задоволення потреб населення і галузей економіки. Використання води в

залежності від цілей можна поділити на господарсько-питне, комунальне, сільськогосподарське, промислове, транспортне і т.д.

Поверхневі водні об'єкти України вкривають 24,1 км² (4,0% загальної території (603,7 тис. км²) держави. Найбільша кількість водних ресурсів зосереджена в річках басейну Дунаю у прикордонних районах України. Найменш забезпечені водними ресурсами Донбас, Криворіжжя, Крим і південні області України. У загальному обсязі забору води водозабір з річок, озер, водоймищ становить 11,6 млрд. м³, підземних джерел – 2,6 млрд. м³, безпосередньо з морів – 0,9 млрд. м³. Водоспоживання на одного міського жителя становить 262 дм³/д. За обсягами використання води в галузевому розрізі виділяється промисловість – 4,9 млрд. м³ (48%). Обсяги води у комунальному та сільськогосподарському господарствах становлять відповідно 2,8 млрд. м³ - 28% та 2,4 млрд. м³ - 24% [42].

4.3.1 Екологічні проблеми поверхневих вод суші

Дефіцит води.

Вода – найбільш важливий і широко вживаний ресурс. Антропогенний водозабір всіх джерел світу оцінюється у 4 тис. м³/рік. Обсяги інших природних ресурсів, таких як вугілля або нафта – на три порядки менше. Водні ресурси на суходолі розподілені нерівномірно. У Європі та Азії, де проживає понад 70% населення світу, зосереджено лише 39% прісної води. Росія за ресурсами займає провідне місце у світі: оз. Байкал містить 1/5 всіх світових запасів прісної води.

Україна за запасами прісної води посідає 87 місце поряд з Суданом та Іраком. Причому, кількість доступної води розподілена нерівномірно: у південних областях кількість води на особу втричі менше, ніж на північному заході. Лише 7% орних земель України зволожується у достатній мірі.

Конкуренція за водні ресурси у майбутньому може призвести до міжнародних конфліктів. Наприклад, на даний момент протягом останніх десятиліть розвивається конфлікт між Єгиптом та Суданом, Ефіопією, Угандою, Танзанією й Руандою.

Вода – локальний ресурс, який важко транспортувати. Тому видобування, використання та утилізація водних ресурсів відбувається поблизу від місця споживання. Це значною мірою зумовлює екологічні проблеми гідросфери.

Зарегулювання стоку.

Якщо у певному регіоні потреби у водних ресурсах починають перевищувати величину річкового стоку, а інших джерел прісної води немає, застосовують регулювання річкового стоку. Зарегулювання стоку проводять шляхом будівництва гребель, які штучно регулюють кількість води, яка пропускається нижче. Найдавніші греблі відомі у Єгипті за 3 тис. років до н.е. Як результат, більшість річок у світі має зарегульований стік: Дніпро – 6, Волга – 11, у басейні р. Колумбія (США) – 160 гребель. Всього в Україні побудовано 1087 водосховищ. На даний момент світові можливості великомасштабного гідротехнічного будівництва вичерпані і не відповідають критеріям економічної доцільності.

Зарегулювання річкового стоку у свою чергу призводить до виникнення низки екологічних проблем:

а) *Затримка завішених мінеральних речовин – замулення водосховищ.* Час існування водосховища обмежений процесами заповнення ложа водосховища річковими наносами. В результаті водосховища на рівнинних річках мають проектний час експлуатації від 100-120 до 500 років. Наприклад, через замулювання з 1972 р. по 2000 р. глибина Нурекського водосховища (р. Вахш, Таджикистан) зменшилася на 75

м. За оцінками, експлуатаційний термін цього водосховища станом на 2012 р. становить 15-20 років.

б) *Зміна стоку біогенних речовин.* Як наслідок, відбувається розростання вищої водної рослинності. Площа водного дзеркала водосховища зменшується, прогресує замулення, виникають заморні явища внаслідок дефіциту кисню.

в) *Збільшення випаровування* – посилює дефіцит води, змінюються гідрохімічні показники (зокрема, жорсткість та загальна мінералізація).

г) *Підвищення ерозії берегів* – внаслідок абразивних та обвальних процесів відбувається посилення замулювання ложа водосховищ, змінюється форма берегів та прилеглих ландшафтів.

д) *Перешкодження проходу мігруючих видів гідробіонтів* – греблі виступають штучними бар'єрами на шляху міграційних коридорів, по яких здійснювали пересування нерестові стада анадромних видів риб (здійснюють нерест у прісних водоймах, нагул – у морях). Затоплення прибережних ділянок, зникнення заплави річки призводить до зникнення нерестовищ.

е) *Поява адвентивних видів гідробіонтів* – зміна гідрологічного та гідрохімічного режиму водосховища дає можливість розселенню та бурхливому розвитку багатьох чужорідних видів гідробіонтів. Зокрема, ряд двостулкових молюсків (наприклад *Dreissena*) поширилися у водосховищах Північної півкулі завдяки гідротехнічному будівництву. У дніпровських водосховищах реєструються солоноводні види гідробіонтів (морський молюск *Hydris* просунувся до Кременчуцького водосховища, пухлощока риба-голка зустрічається вище Києва).

Забруднення.

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

Фізичне забруднення поверхневих вод створюється скидом у них тепла і радіоактивних речовин. Теплове забруднення пов'язане, головним чином, з використанням води 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 понад 5°C, а багато річок Франції перестали замерзати взимку. У межах Москви на Москва-ріці тепер рідко можна побачити льодинки, а на притоках в районі скидів ТЕЦ спостерігаються ополонки з зимуючими на них качками. На деяких річках промислового сходу США іще наприкінці 1960-х років вода нагрівалася до 38-48°C.

Радіоактивне забруднення гідросфери може викликатися як природними джерелами (виходами підземних та пластових вод в районах природних радіоактивних аномалій), так і штучними джерелами (скиди радіоактивних речовин, випробування ядерної зброї).

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 стоках яких містяться нафтопродукти, феноли, складні органічні сполуки, хлор, кольорові метали та ін. 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. В 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. В Україні на даний момент законодавчо не обмежене використання, ввезення та продаж фосфатовмісних миючих засобів. Як результат, станом на 2012 р. всі без виключення поверхневі води на території України є забрудненими фосфатами. У Європі та багатьох інших країнах світу понад десятиліття діє обмеження або ж повна заборона використання фосфатовмісних миючих засобів. Надходження фосфатів до водойм призводить до інтенсивного розвитку водної рослинності, цвітіння річок, зниження вмісту водорозчинного кисню, паралізації діяльності мікроорганізмів та, відповідно, до припинення процесів біологічної самоочистки.

Органічні речовини, які потрапляють до водойм можуть бути як природного, антропогенного так і змішаного походження. За здатністю до мікробіологічного руйнування їх поділяють на *нестійкі* та *стійкі органічні* забруднюючі речовини. Нестійкі органічні ЗР легко окислюються сапротрофними мікроорганізмами, які при цьому споживають з води розчинений кисень. Тому, кількість таких органічних сполук оцінюють з величиною *біохімічного споживання кисню (БСК)*. БСК визначається як кількість кисню, що споживається мікроорганізмами при окислюванні органічних речовин, які містяться в одиниці об'єму води, за визначений період часу. На практиці БСК оцінюють за п'ять діб (БСК₅) та за двадцять діб (БСК₂₀). Зазвичай БСК₂₀ трактують як повне БСК (БСК_{повн}), ознакою якого є початок процесів нітрифікації в пробі води. БСК є оцінкою загального забруднення води органічними речовинами.

Стойкі органічні ЗР характеризуються токсичними властивостями, які проявляються навіть при незначній кількості у воді, виявляють стійкість до мікробіологічного розкладання. Вони характеризуються біоаккумуляційними властивостями, для них властивий транскордонний перенос по повітрю, воді та мігруючими організмами. Вони накопичуються в екосистемах суходолу, і, особливо, водних біоценозах. Для характеристики їх вмісту у воді використовують величину *хімічного споживання кисню (ХСК)*. ХСК визначається як кількість хімічного окислювача у перерахунку на кисень, необхідну для окислювання органічних і мінеральних речовин, що містяться в одиниці об'єму води. При визначенні ХСК використовують біхромат калію ($K_2Cr_2O_7$). ХСК як і БСК не дає інформації про склад забруднення, проте дозволяє оцінити загальні обсяги такого забруднення.

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 ін.), 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 кишківника 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 характеризують за допомогою таких показників: *колі-тітр* – це найменший об'єм води, який припадає на одну кишкову паличку; *колі-індекс* – це абсолютна кількість кишкових паличок в 1 дм³ води. Крім того, використовуються додаткові санітарно-показові організми: протей (мікроб гниття), термофільні (до 80°C) мікроорганізми, бактеріофаги, гідробіологічні одноклітинні і багатоклітинні організми тощо.

При визначенні гідроекологічних умов, орієнтуються на стан гідробіонтів, ступінь сапробності і трофності та інші критерії.

Сапробність – це ступінь насичення води органічними речовинами, які, як правило, не мають токсичної дії.

Трофність – ступінь первинної біологічної продуктивності водних екосистем, який визначається вмістом у воді фосфору, азоту і інших біогенних елементів та комплексом гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних і інших факторів.

Гідробіонти поділяються на: 1) *бентос* (мешканці дна водойми чи водотоку); 2) *планктон* – дрібні мешканці товщі води, які не здатні до активного переміщення у товщі води (дрібні ракоподібні, одноклітинні водорості); 3) *нейстон* (організми, які мешкають у поверхневій плівці води); 4) *пагон* (найпростіші, коловертки, черви, молюски, ракоподібні та ін., які зиму проводять у льоду в стані анабіозу, а весною оживають і продовжують планктонний чи бентосний спосіб життя); 5) *перифітон* – група гідробіонтів, що живуть на межі фаз вода – твердий субстрат, який може бути дуже різним за походженням (каміня, бетон, деревина, твердий покрив тварин, вищі водорості тощо); 6) *нектон* – активно плаваючі пелагічні часто великі за розміром тварини, переважно хижаки.

Гідробіонти мають санітарно-індикаторне значення. При оцінці води за шкалою сапробності (система *Р. Кольквіца – М. Марсона*) враховують наявність у водоймі певних видів організмів. За наявністю специфічних організмів, які здатні мешкати у воді, збагаченій розчиненими органічними речовинами, виділяють наступні зони сапробності: I – *полісапробна* (зона дуже сильного забруднення); II – *α-мезосапробна* і *β-мезосапробна* (зони середньої забрудненості); III – *олігосапробна* (зона чистої води) [43].

ЗР у водні об'єкти надходять такими шляхами: зі стічними водами населених пунктів, міст, промислових і сільськогосподарських підприємств; з дощами і талими водами в результаті змиву з поверхні ґрунту побутового бруду, НП, добрив, отрутохімікатів та інших речовин; від водного транспорту і споруд на берегах; безпосередньо з атмосферними опадами, в яких містяться розчинені ЗР від викидів до повітряного басейну тощо.

Зворотна вода – це вода, що повертається за допомогою технічних споруд і засобів із господарської ланки кругообігу води до його природних ланок у вигляді скидної, дренажної і стічної води (ДСТУ 3041-95):

- *скидна вода* – вода, що відводиться із зрошуваних сільськогосподарських угідь і поливних забудованих територій, а також вода, відведена від ділянок, на яких застосовується гідромеханізація;

- *дренажна вода* – вода, яка профільтрувалась у дренаж із тіла гідротехнічної споруди чи її основи, а також із осушуваного (зрошуваного) земельного масиву;

- *стічна вода* – вода, що зібралась у процесі господарсько-побутової та виробничої діяльності чи при відведенні наслідку опадів із забудованих територій.

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 сукупність ЗР.

Господарсько-побутові стоки містять в собі велику кількість органічних і мінеральних речовин в розчиненому і завислому стані. Згідно з нормами [44] 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/дм³) вказаних ЗР залежить від норми скиду в даному населеному пункті і визначається за формулою:

$$C = a / (n \cdot 1000), \quad (4.3)$$

де: a - норма забруднення, г/доба на 1 мешканця;

n - питома норма скиду, дм³/доба на 1 мешканця [44].

Промислові стоки відрізняються великою різноманітністю складу і концентрації 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 слугують для поглинання і транспорту нерозчинних дисперсних домішок і частково розчинних солей, 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, стічні води підприємств поділяються [43]: 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 0,5-5,0, концентровані - 5-30, дуже концентровані - понад 30 г/дм³); 4) *за агресивністю* (сильно кислі $pH < 3,0$; кислі $pH = 3,0-5,0$; слабко кислі $pH = 5,0-6,5$; нейтральні $pH = 6,5-7,5$; слабко лужні $pH = 7,5-8,0$; лужні $pH = 8,5-9,5$; сильно лужні $pH > 9,5$).

Поверхневі стічні води промислових підприємств і населених пунктів формуються за рахунок дощових, талих і поливних вод. Об'єм поверхневого стоку визначається: інтенсивністю опадів і їх тривалістю; загальною площею міської території і характером її забудови; рельєфом місцевості. Концентрація і склад ЗР у стічній воді залежить від галузевої приналежності підприємств. Загалом переважають завислі речовини (0,1-11,3 г/дм³), органічні речовини, НП, ВМ.

Сільськогосподарські стічні води. У стічних водах тваринницьких комплексів переважають органічні речовини, азот, фосфор; розчинені речовини становлять 20-35%, завислі - 65-80% від загального об'єму. До складу поверхневих стічних вод, 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, за тривалого застосування високих доз мінеральних добрив до ґрунтових вод надходить до 20% внесеного азоту і 1,5 – 2,0% – 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).

Шахтні і рудникові води мають високу мінералізацію, $pH < 7$, і містять велику кількість рудних елементів, які знаходяться як в рідкій фазі, так і у зависі. Істотним джерелом забруднення водоймищ є поверхневі стічні води 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/дм³. Характеристикою небезпечності речовини для людини і живих організмів є *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 ступеню очистки стічних вод від ЗР враховують їх адитивну дію. Для речовин тієї ж *ЛОШ* повинно витримуватись співвідношення:

$$\sum_i^n (C_i / ГДК_i) \leq 1, \quad (4.4)$$

де C_i та $ГДК_i$ – відповідно концентрація i -ої речовини в очищених стічних водах і її *ГДК*, мг/дм³.

Гранично допустимий скид (ГДС) – кількість ЗР у стічних водах, максимально допустима 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 (м³) фактичного періоду їх випуску. Концентрація речовин приймається мг/л або мг/м³, а величина *ГДС* розраховується в грамах на годину (г/год). *ГДС* визначається за формулою:

$$ГДС = q_{ст} \cdot C_0, \quad (4.4)$$

де $q_{ст}$ – витрата стічних вод (м³/год);

C_0 – допустима концентрація речовини в стічних водах (мг/м³).

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

Основними факторами забруднення поверхневих вод України є: 1) недостатньо очищені чи зовсім неочищені комунально-побутові і промислові стічні води, що містять органічні речовини, іони ВМ та інші ЗР; 2) НП, які надходять з промислових майданчиків та територій міської забудови; 3) зливні й талі води, що містять аналогічні ЗР; 4) змив з сільськогосподарських угідь продуктів мінеральних добрив і отрутохімікатів.

Обсяги скидання на території України зворотних вод в річки басейнів Чорного і Азовського морів у 2011 р. склали 7692 млн. м³ (в т.ч. неочищених – 270 млн. м³, недостатньо очищених – 1766 млн. м³). При цьому не враховано надходження ЗР з транзитними водами р. Дніпро, Дністер і Кілійського гірла Дунаю.

Евтрофікація.

Зворотні 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.

Основною причиною евтрофування («цвітіння») водних об'єктів (річок, водоймищ, озер, водосховищ, ставків, морів) є масове утворення синьо-зелених водоростей (СЗВ). Із 3400-4100 видів фітопланктону біля 300 (7%) здатні до створення масових скупчень. Масовий розвиток СЗВ обумовлюють такі фактори: 1) *фізичні* (горизонтальна неоднорідність водної маси; вертикальна стратифікація; висока сонячна активність; оптимальна температура води; вітри, течії, припливи; опріснення води); 2) *хімічні* (високий вміст біогенів, розчинених і завислих органічних речовин); 3) *біотичні* (відсутність або зменшення харчування фітопланктоном та зоопланктоном); 4) *антропогенні* (забруднення водних об'єктів біогенними речовинами).

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 *pH*, спостерігається дефіцит кисню, виникають заморні явища і т.д.). Якість води погіршується при концентрації сирової біомаси СЗВ до 50-250 г/м³ води, а екологічно небезпечними є концентрації від 250-500 г/м³ і більше. В результаті «цвітіння» водних об'єктів: 1) завдається шкода стану гідробіоценозів і здоров'ю населення, господарському використанню водних ресурсів; 2) отруюються і гинуть дикі і домашні тварини, деякі гідробіонти; 3) руйнуються природні і напівштучні (аквакультури) ЕС, порушується біологічна різноманітність гідробіоценозів; 4) завдається значний економічний збиток (наприклад, негативні наслідки евтрофування північно-західної частини Чорного моря).

4.3.2 Принципи оцінки якості поверхневих вод

Якість води – характеристика складу води і властивостей води як компонента водної екосистеми і життєвого середовища гідробіонтів, а також в контексті придатності її для конкретних цілей водокористування [7]. Говорячи про якість вод, мають на увазі їх стан, про який судять по набору показників. *Показники якості води* – сукупність фізичних, хімічних та біологічних характеристик води. Набір показників якості для різних користувачів може бути різним і залежить від вимог, які висуває кожен користувач до складу й властивостей вод.

Таким чином, якість води – характеристика складу і властивостей води, яка визначає придатність її для конкретних видів водокористування; її стан, представлений набором показників, який відображає потреби користувачів у складі й властивостях вод.

Комплексна оцінка якості вод використовується у випадках, коли необхідно простежити тенденцію просторово-часової зміни стану вод під впливом природних і антропогенних процесів, може бути використана також для порівняння стану водного середовища різних водних об'єктів.

Як приклад, можна розглядати визначення якості поверхневих вод за

допомогою *індексу забруднення вод* (ІЗВ), який розраховується за шістьма показниками (NH_4^+ , NO_2^- , НП, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, O_2 , БСК₅) згідно з формулою [47].

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (4.6)$$

де C_i – середнє арифметичне значення показника якості води; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація.

У формулі (4.6) для O_2 ГДК ділиться на середнє значення його концентрації.

Модифікований ІЗВ [47] розраховується теж за шістьма показниками: БСК₅ і O_2 є обов'язковими, а інші чотири показники беруть за найбільшими відношеннями до ГДК зі списку: SO_4^{2-} , Cl^- , ХСК, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Fe загальне, Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , As^{3+} , НП, СПАР.

Критерії оцінки якості вод за ІЗВ наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Критерії оцінки якості вод за ІЗВ [47]

Клас якості води	Характеристика класу	Значення ІЗВ
<i>Для поверхневих вод суші</i>		
I	Дуже чиста	$\leq 0,30$
II	Чиста	0,31 – 1,00
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50
IV	Забруднена	2,51 – 4,00
V	Брудна	4,01 – 6,00
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0
VII	Надзвичайно брудна	$> 10,0$
<i>Для морських вод</i>		
I	Дуже чиста	$\leq 0,25$
II	Чиста	0,26 – 0,75
III	Помірно забруднена	0,76 – 1,25
IV	Забруднена	1,26 – 1,75
V	Брудна	1,76 – 3,00
VI	Дуже брудна	3,01 – 5,00
VII	Надзвичайно брудна	$> 5,00$

До *I класу* відносяться води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Значення їх гідрохімічних і гідробіологічних показників близькі до природних значень для даного регіону.

Для вод *II класу* характерні певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги.

До *III класу* відносяться води, які знаходяться під значним антропогенним впливом, рівень якого є близьким до межі стійкості екосистем.

Води *IV – VII класів* – це води з порушеними екологічними параметрами і їхній екологічний стан оцінюється як екологічний регрес.

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 екологічної класифікації 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; 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 [48].

Існує багато інших методів оцінки якості природних вод, детальний огляд яких наведений в роботах С.І. Сніжка [47], С.М. Юрасова та ін. [49].

4.3.3 Особливості 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 збирачем усякого роду відходів. Скид до нього надто великої кількості шкідливих речовин, пестицидів, добрив, зростає 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 ЗР, що застосовуються в сільському і лісовому господарствах; навмисне поховання ЗР в морі; втрати різних ЗР у процесі суднових операцій; аварійні викиди з суден або підводних трубопроводів; розробка корисних копалин на морському дні; перенесення ЗР крізь атмосферу [29].

У моря виноситься величезна кількість різноманітних речовин як у результаті природних, так і антропогенних процесів. Лише внаслідок природних процесів до Світового океану щороку надходять приблизно 25 млн. т заліза, 300-400 т марганцю, по 180 тис. т міді і цинку.

Нафта і НП – найбільш розповсюджені ЗР. Значну частку нафти (НП) до океану постачає суша за допомогою атмосферних опадів, річкового і зливого стоку. Близько 1/3 нафти (НП) потрапляє до океану при морських перевезеннях. З неї більше половини припадає на експлуатаційні зливи суден (0,4% від перевезеного обсягу). Крім того, джерелами забруднення нафтою (НП) є аварії танкерів, морські нафтові промисли (1-2%) і природне просочування нафти з морського дна (10%). Всього до океану за різними оцінками щорічно надходить від 5-6 до 10 млн. т нафти (НП). Океан не здатний нейтралізувати всю нафту (НП), що надходить внаслідок антропогенної діяльності. 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 *отрутохімікатами* (особливо в пригирлових частинах морів) багатьма ученими розглядається як найбільш імовірна загроза необоротної деградації у майбутньому морських ЕС. Заборона ДДТ, інших найбільш стійких та токсичних отрутохімікатів у деяких країнах не призвела до корінного вирішення цієї проблеми, хоча в цілому кількість ДДТ, що надходить до морських вод, дещо скоротилась (близько 27-28 тис. т/рік).

До 1972 р. скид радіоактивних відходів здійснювався без будь-якого міжнародного контролю. За цей час з 1946 р. США захоронили в океані 2,5 тис. т відходів, Великобританія з 1949 р. – 47664 тис. т (виступає основним забруднювачем, до 75% всіх скидів). Всього у Світовому океані є затопленими 6 атомних підводних човнів, 9 атомних реакторів (корабельні, супутникові), 50 ядерних боєприпасів (аварії при запусках ракет). Металеві контейнери, які використовуються для захоронення твердих радіоактивних відходів, починають руйнуватися через 10 років, бетонні – через 30 років. Крім того, значний внесок у забрудненні гідросфери мають випробування ядерних зарядів. Всього з 1945 року було проведено понад 2084 ядерних вибухів. Продукти розпаду, незалежно від виду вибуху, в результаті перерозподілу та міграції на даний час зосереджені саме у гідросфері.

Забруднення морського середовища відбувається внаслідок *дампінгу* – поховання в морі відходів, видалення відходів або інших предметів з штучних морських споруд, суден і літальних апаратів, навмисне знищення морських платформ, літальних апаратів, суден тощо. З 1967 р. проводилися 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. Дампінг радіоактивних відходів призвів до підвищення радіоактивності деяких районів (Ірландське море, Японське море, північно-східна частина Атлантики, тихоокеанське узбережжя США та ін.). Законодавчі акти більшості держав містять категоричну заборону дампінгу без дозволу державних органів. Виняток становить легальне складування на певних ділянках морського ґрунту, вилученого під час проведення днопоглиблювальних робіт (наприклад, у морських портах та судноплавних каналах). Ділянки дампінгу вибирають таким чином, щоб завдати якнайменшої шкоди водному середовищу і біологічним ресурсам.

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 залежить від географічної широти, температури води, розміру хвилювання на поверхні моря і т.д. Так, за низької температури розкладання НП, які потрапили у морську воду, відбувається повільніше, що призводить до їх накопичення і більш шкідливого впливу. Дуже широко в морських водах розповсюдились отрутохімікати, половина яких надходить із повітря, а решта виноситься із агроекосистем поверхневим стоком.

До основних джерел і видів антропогенного впливу на ЕС Чорного моря відносяться [46]: 1) *ріки* (скорочення стоку, винесення до моря різних ЗР); 2) *сільське господарство* (винесення до моря добрив, отрутохімікатів, частинок ґрунту); 3) *промисловість* (винесення до моря ВМ, СПАР, НП); 4) *населенні пункти* (надходження неочищених або недостатньо очищених стічних вод, патогенних мікроорганізмів, СПАР, НП); 5) *атмосферні опади* (потрапляння фосфатів, нітратів,

ртуті, свинцю, пилу); 6) *судноплавство* (надходження НП, екзотичних видів, 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 донних відкладів); 11) *рекреація* (мікробне забруднення моря, засмічення прибережної зони відходами, які довго не руйнуються, некерований видобуток «дарів моря»).

Багато які ЗР (органічні і мінеральні сполуки, НП, радіонукліди і т.д.) надходять до Чорного моря разом зі стоком рік. Разом з річковим стоком надходять неочищені або недостатньо очищені промислові, сільськогосподарські і комунально-побутові стоки. Безпосередньо у Чорне море у 2003 р. скинуто 239,3 млн. м³ (в т.ч. 84,5 млн. м³ неочищених і 112 млн. м³ недостатньо очищених) стічних вод [42].

4.3.4 Особливості 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 та енергії в ПВ, який в результаті спричинює ризик для здоров'я людини, шкоду живим ресурсам та водним ЕС, або заважає використовувати воду в інших законних цілях. Прямий скид - внесення до підземних вод ЗР без фільтрації крізь родючий ґрунт чи підґрунт (ґрунт); непрямий скид - внесення до підземних вод 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 до водоносних горизонтів 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 в забруднених водах зустрічаються Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , F^- , NO_3^- , нафтові вуглеводні, феноли, органічні сполуки, важкі метали. Серед антропогенних хімічних забруднень ПВ найбільш поширеними є нафтове, хлоридне, нітратне; забруднення ВМ. Хімічне забруднення інколи супроводжується зміною органолептичних властивостей і температури води [50].

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 за фазовідособлену частину («лінзу») і за її межами утворює з водою двофазну суміш у вигляді емульсії. Нарешті, найбільш розчинні нафтові вуглеводні (в основному арени) утворюють з водою розчин. Розміри площ, які зайняті емульгованими й водорозчинними нафтовими ВВ у багато разів ($n \cdot 10$) 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 ін.

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 тому здатні поширюватися на значні площі.

Забруднення важкими металами. ВМ займають одне з провідних місць серед ЗР; найбільш поширеними є іони *Pb*, *Cu*, *Zn*, *Cd* та їх сполуки. Забруднення ВМ пов'язане з деякими промисловими відходами, викидами автотранспорту, отрутохімікатами тощо. Їх накопичення у ПВ має місце при забрудненні атмосфери, ґрунту, поверхневих вод. ВМ у катіонній формі добре сорбуються, тому їх гідрогеохімічні аномалії мають обмежені розміри. ВМ відносять до стійких ЗР.

Нітратне забруднення. Нітратний азот є кінцевим продуктом у ланцюзі послідовного окислювання азоту: $NH_3 (NH_4^+) \Rightarrow NO_2^- \Rightarrow NO_3^-$). Процес нітрифікації, у результаті якого NO_2^- переходить у NO_3^- триває до 1,0-1,5 місяця (NO_2^- - свідчить про «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 на значну відстань.

Бактеріальне забруднення. Під бактеріальним забрудненням (мікробним) розуміють збільшення вмісту у ПВ порівняно з природним фоном санітарно-показових мікроорганізмів. Особливе значення для мікробіологічної характеристики води має загальна кількість бактерій і кількість кишкової палички. 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/дм³ (СПАР, миючі засоби) і НП навіть сприяє розмноженню бактерій. Бактеріальне забруднення звично носить тимчасовий і локальний характер.

Теплове забруднення. Виявляється у підвищенні температури ПВ порівняно з фоном. Зміна 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 витоки речовин із ємностей, трубопроводів та ін.; 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. Основним антропогенним джерелом забруднення ПВ є населений пункт у цілому (гідрогеохімічна аномалія, «тепловий острів»).

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

Усі джерела за їх конфігурацією у просторі поділяються на: 1) місцеві – площа (F) < 100 км², довжина (L) < 20 км; 2) обмежено-регіональні – $F = 100-1000$ км², $L = 20-200$ км; 3) регіональні – $F > 1000$ км², $L > 200$ км.

Джерела забруднення поділяють 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 [50].

Існує взаємозв'язок забруднення ПВ із забрудненням атмосферних опадів, вод поверхневого стоку і ґрунтів. У багатьох випадках родючі ґрунти і породи зони аерації (1-3 м) є головним вмістилищем всіх ЗР, що надходять до атмосфери (викиди теплоенергетики, автотранспорту, промисловості тощо) 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 за низьких фільтраційно-ємнісних властивостей порід зони аерації і досить великих глибинах їх залягання.

Високий ступінь господарського освоєння територій відзначається за найбільшої густоти населення, що створює об'єктивні передумови для забруднення всіх складових навколишнього природного середовища, включаючи ПВ. Підприємства гірничодобувної, металургійної, хімічної і нафтової галузей промисловості, 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.

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 води* (мінералізація менше 1 г/дм³), 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/дм³, туман – 165 мг/дм³), які містять ЗР.

Зміна якості ГВ може виражатись у збільшенні їх мінералізації, жорсткості, вмісту типових макро- (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+}) і мікрокомпонентів (J , Br^- , F^-), 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 санітарними нормами та правилами [51], які поряд з показниками епідеміологічної безпеки питної води, санітарно-хімічними показниками безпеки та якості питної води та радіаційними показниками безпеки питної води, висувають вимоги до фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води.

Зміна якості прісних вод зони активного водообміну під впливом техногенних дій може виразитися у збільшенні їх мінералізації, вмісту *макро-* (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+}), *мезо-* (Fe^{2+} , Fe^{3+}) та *мікрокомпонентів* (J , Br , B , F і ін.), у появі в підземних водах невластивих їм речовин антропогенного генезису (СПАР, пестициди та ін.), у зміні температури, pH , Eh , у появі специфічного запаху, кольору і т.д.

При наявності у воді деяких ЗР (за винятком F^- , NO_3^-) сума їх концентрацій не повинна перевищувати 1, тобто:

$$C_1/C'_1 + C_2/C'_2 \dots + C_n/C'_n \leq 1, \quad (4.5)$$

де $C_1, C_2 \dots C_n$ - виявлені концентрації речовин, мг/дм³;
 $C'_1, C'_2 \dots C'_n$ - ГДК цих же речовин, мг/дм³.

Техногенне (антропогенне) забруднення ПВ неоднакове за інтенсивністю і масштабами. Вплив процесів техногенезу відбивається не лише у зміні хімічного складу, але й підвищенні температури («острів тепла» у містах), у зміні бактеріологічного складу тощо.

Основне навантаження ЗР, що надходять з поверхні землі, припадає 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 інших галузей промисловості.

4.3.5 Негативні наслідки антропогенного забруднення природних вод та їх охорона

Під впливом антропогенної діяльності відбуваються якісні та кількісні зміни водних ресурсів. Використані людиною природні води, крім тих, що випарились, представляють собою стічні води, які містять різні відходи. У колишньому СРСР із 150 км³ стічних вод 40 км³ скидалося без будь-якого очищення. У річки та водойми

України в 1990 р. скидалось 3,2 км³ забруднених стічних вод. Якщо вважати обов'язковим розведення у 30 разів, то для цього буде потрібно 96 км³ 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% ВМ.

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

Процеси антропогенного евтрофування північно-західної частини Чорного моря почалися у зв'язку зі збільшенням вмісту фосфатів і нітратів у річковому стоці в 1970-х роках. Якщо в 1960-1970-х роках вміст фосфатів становив 10,5 мг/дм³, нітратів 22,5 мг/дм³, то 1976-1980 рр. - відповідно 198 і 189 мг/дм³, що було наслідком «зеленої революції». Це привело до бурхливого розвитку фітопланктону, кількість якого збільшилася від 670 мг/м³ в 1950-і роки, до 30000 мг/м³ в 1980-і роки. Велика кількість фітопланктону сприятливо вплинула на розвиток біомаси 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 ускладнило процеси фотосинтезу і призвело до загибелі водоростей на глибинах 20-60 м. З цієї ж причини площа філофорного поля з 11 тис. км² і біомаси з 10 млн. т в 1950-х роках скоротилися до 0,5 тис. км² за площею і 0,2 млн. т за біомасою в 1980-х роках, що призвело до деградації «філофорного біоценозу». Через евтрофування 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 у донних відкладах від 2-3 г/м² за добу на глибині 10 м в 1950-х роках до 150 г/м² за добу у 1980-і роки. Значна витрата кисню, необхідного для розкладання мертвого планктону, була причиною *гіпоксії* і навіть *аноксії* (повна відсутність кисню) і мору риби та інших донних тварин. Протягом 1973-1990 рр. втрати в межах північно-західної частини Чорного моря склали 60 млн. т (в т.ч. 5 млн. т риби). Антропогенне евтрофування було причиною загибелі мідій і інших фільтраторів, що призвело до ще більшого забруднення морських вод (1 м² площі, заселеної мідіями, фільтрує за добу 15-20 м³ води). Загалом, ситуація у 1990-і роки дещо поліпшилася, а замори стали спостерігатися рідше і на менших площах [42].

Теплове забруднення впливає на гідробіонтів; риби задихаються і гинуть, тому що їх потреба 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 ЗР, зокрема важких металів. Навіть під час нормальної роботи ядерних реакторів до охолоджуючих поверхневих вод можуть потрапити нейтрони, під дією яких молекули води і домішки (продукти корозії) стають радіоактивними. Окрім того, захисні цирконієві оболонки тепловидільних елементів можуть мати мікрошпаринки, крізь які у водне середовище можуть надійти продукти ядерних реакцій (⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs 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 донних відкладах – 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, вони 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 НП згодом опускаються на дно і забруднюють відклади. На відміну від забруднень НП, забруднення фенолами відбувається в менших обсягах. Феноли використовуються для дезінфекції, виготовлення клеїв і фенолформальдегідних пластмас; вони входять до складу вихлопних газів двигунів внутрішнього згоряння, 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 забруднюючих речовин у питній воді прийняті на рівні 0,5 мкг/дм³. До числа продуктів, розпад яких іде уповільнено і триває більше 2 діб, відносяться хлоровані вуглеводні (ПХБ, хлорорганічні отрутохімікати і ін.), які можуть надходити як з антропогенних джерел, так і утворитися у воді, коли хлорована вода реагує з продуктами розпаду гумусу (при цьому утворюється трихлорметан). Хлоровані вуглеводні є вельми токсичними і значною мірою здатні до біологічного накопичення.

СПАР або детергенти використовуються як миючі засоби, які знижують поверхневий натяг води. Їх використання призводить до утворення великої кількості піни у водних об'єктах, а їх токсичність призводить до масової загибелі риби. Незначної концентрації СПАР (0,05-0,1 мг/дм³) у річковій воді достатньо для активізації токсичних речовин в донних відкладах і в ґрунтових водах. Для зниження негативного впливу СПАР необхідне використання таких миючих засобів, які під впливом біохімічних процесів розпадалися б швидко і повністю.

З проблемою недостатнього розпаду відходів доводиться зустрічатися у разі використання речовин не тільки органічного, але і неорганічного походження. Насамперед, це стосується забруднення вод хлоридами, мінеральними добривами, сполуками важких металів і кислотами. Підвищена концентрація хлоридів у водах робить їх непридатними для питних і іригаційних цілей. Іони K^+ і Ca^{2+} є практично нешкідливими, 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 потрапляють у воду у зв'язку з діяльністю цілого ряду галузей промисловості, а також з побутовими відходами [38]. Сполуки ВМ, що потрапили у воду, порівняно швидко розповсюджуються по великому об'єму. Частково вони випадають в осад у вигляді карбонатів, сульфатів або сульфідів, частково – адсорбуються на відкладеннях поверхні зависів та накопичуються у донних відкладах. Внаслідок хімічних реакцій, сполуки ВМ розчиняються у воді або ліпідах, проникаючи до організму і включаючись у трофічну мережу. Екологічне значення ВМ можна продемонструвати на прикладі ртуті – першого металу, для якого було виявлене явище 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 відмічено 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 риб (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).

Головну загрозу для морського середовища мешкання створюють 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 розведенню. Але при цьому чисті природні води (у тому числі прісні питні) стають забрудненими. Розведення промислових стічних вод і, тим більш, розчинів добрив та пестицидів з територій агроєкосистем відбувається часто у самих водних об'єктах. Якщо водоймище є непроточним або слабопроточним, то скид в нього органічних речовин і мінеральних добрив веде до надлишку поживних речовин, і, як наслідок, - евтрофікації й заростання (наприклад, Дністровський, Хаджибейський і інші лимани Одеського регіону). Спочатку накопичуються поживні 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_2 . Тобто в умовах, непридатних для життєдіяльності більшості гідробіонтів; в анаеробних умовах починається бродіння з виділенням CH_4 і H_2S . 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, Дніпро в наш час являє собою скоріше каскад водосховищ – штучних ставків, ніж річкову екосистему. У результаті прискорюється процес забруднення, гинуть гідробіонти, порушується звична міграція риб, затоплюються пасовища та орні землі і т.д. Аналогічна картина характерна і для Дністра та Південного Бугу. Якщо взяти до уваги, що ГЕС на цих і інших ріках відіграє незначну роль в енергетичному балансі (за різними даними в Україні виробляють лише 4-8% 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 стічні води 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, покращенням 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 подальшого забруднення через скидання неочищених або недостатньо очищених стічних вод.

В самих загальних рисах, очистка стічних вод здійснюється за двоступеневою схемою: механічна, біологічна очистка, а потім доочистка або глибока очистка, яка полягає у: 1) *попередній очистці* (видаляється сміття і пісок механічним способом); 2) *первинній очистці* (видаляються тонкодисперсні частинки 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 коловертки); 4) *доочистці* (шляхом дистиляції або фільтрації; обходиться дорого, тому, наприклад, фосфати видаляють шляхом додавання CaCO_3); 5) *дезінфекції* (знищуються патогенні мікроорганізми). Такі схеми досить дорогі, але дають можливість здійснення ефективних оздоровчих заходів [20].

На станціях біологічної очистки (СБО) *механічна очистка* здійснюється на решітці, пісковловлювачах і первинних відстійниках. Якщо треба, то нафтопродукти і масла відділяють у спеціальних вловлювачах. Інтенсифікація процесів механічної очистки здійснюється із застосуванням преаерації, тонкошарового відстоювання, а також фізико-хімічних методів. Необхідний ступінь вилучення завислих частинок – до 150 мг/дм^3 .

Біохімічна очистка стічних вод здійснюється на біологічних фільтрах або аераційних спорудах з активним мулом (мікроорганізмами, найпростішими, грибами, водоростями). На біологічних фільтрах органічні ЗР вилучаються біоценозом, прикріпленим до субстрату, 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 на мікроорганізми з метою досягнення біологічного розкладу 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 –вилучається до мулонакопичувачів. В результаті повної біохімічної очистки стічні води мають концентрацію завислих домішок $15\text{-}20 \text{ мг/дм}^3$ і БСК_5 – $15\text{-}20 \text{ мг } \text{O}_2/\text{дм}^3$. Очищені міські стічні води можуть бути використані на підприємствах, а також в сільському господарстві для зрошення. До 50% органічних речовин каналізаційних стоків включаються до мулу-сирця, 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 в анаеробних умовах (CH_4 складає близько 60-70%).

Після біологічного очищення вода нарівні із залишками органічних речовин, містить нітрати 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, УФВ або комплексній дезінфекції [38].

Перед скидом очищених стічних вод до водного об'єкту, їх знезаражують хлором або озоном. Застосування газоподібного хлору дешевше, але він небезпечний

для людини при транспортуванні і токсичний для водних організмів навіть у невеликій концентрації. Частина хлору мимоволі вступає в реакцію з органічними сполуками (у тому числі – природного походження), в результаті чого утворюються токсичні хлоровані вуглеводні. Озон також згубний для патогенів; розпадаючись, O_3 утворює O_2 , 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. Крім того, після розкладання озону, вода може зазнавати вторинного зараження, оскільки озон є нестійкою сполукою. Для знищення патогенів, на воду впливають також УФ-променями. Пропонується після хлорування на воду впливати SO_2 (можна з викидів), який реагуючи з Cl_2 , утворить неактивні малошкідливі 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 сполук; 2) стічні води, забруднені сполуками органічного походження [52].

В залежності від того, до якої групи відноситься основна маса ЗР в стічних водах, вибирається відповідний метод очищення води.

Основними методами обробки промислових стічних вод є: 1) *усереднення концентрації, механічні методи* (затримання нерозчинних великих часток на ситах, ґратах, фільтрах, відстоювання); 2) *фізико-хімічні методи* (кристалізація, випарювання, евапорація, екстракція, іонний обмін, сорбція, аерація); 3) *хімічні методи* (нейтралізація, коагуляція); 4) *біологічні методи* [43].

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 заходи 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 ЗР 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.

4.4 Антропогенний вплив на педосферу та його негативні наслідки

4.4.1 Загальні відомості про педосферу

Педосфера - ґрунтовий шар Землі, який займає проміжне положення між приземним шаром атмосфери (аеробіосферою), фітобіосферою та літобіосферою. Педосфера відіграє роль глобального фіксатора та акумулятора сонячної енергії, яка в процесі фотосинтезу накопичується продуцентами.

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 [1]. 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 поживних елементів, яких може вистачити, навіть без новонадходження на 200-1000 рр. 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 до ґрунту вноситься органічна речовина, а атмосфера поповнюється киснем, звідти він надходить у ґрунт (зону аерації) в газоподібному і водорозчинному стані. Безпосередньо з фотосинтезом рослин вміст кисню в ґрунті не пов'язаний. 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 (ґрунтопідстеляючої) породи. Процес еволюції ґрунтів закінчується при досягненні рівноваги ґрунту з рослинністю і кліматом, яка може порушуватися під впливом природних і антропогенних факторів. Так, у тропічних зонах вирубка 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 зв'язувати різні поживні елементи, впливає на їх доступність для рослин, тобто контролює родючість ґрунтів.

Багато організмів мешкають у ґрунті і сприяють змінам 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 [18]. Завдяки сукупній дії ґрунтових організмів, хімічним та біохімічним реакціям, рослини мають можливість жити 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. Як було сказано вище, згідно закону мінімуму, кожний із цих елементів необхідний не лише у мінімальній кількості, але й є обов'язковим за умови збереження рівноваги: від великої кількості декількох поживних речовин буде замало користі, якщо будь-яка інша необхідна речовина відсутня або її кількості недостатньо. Окрім того, надлишок поживних речовин може бути шкідливим. Наприклад, *NaCl* 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 поживної речовини, замінюючи її близькою за своїми властивостями.

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

речовини, яка використовується численними широкими колами 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.

Штучно створені угруповання організмів (культурні рослини, а також бур'яни, мікроорганізми, травоядні тварини, комахи тощо), для яких родючі ґрунти є біотопом, утворюють *агроценоз*. Культивовані рослини сумісно з оброблюваними ґрунтами утворюють несталу систему – *агроекосистему*, яка має певний склад, структуру і режим.

4.4.2 Основні причини деградації ґрунтового покриву

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 тощо.

Основними антропогенними факторами забруднення і вилучення землі є: 1) технічне перетворення (підземне будівництво, видобуток корисних копалин); штучна ерозія (осушення боліт, оголення землі та ін.); 2) хибне господарювання (порушення гідрологічного режиму, неефективне сільськогосподарське виробництво, випалювання рослинності, винищування лісів); 3) забруднення (теплоенергетичне, транспортне, комунально-побутове, промислове, сільськогосподарське); 4) 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 призводить до негативних наслідків: дегуміфікації, фізичної деградації, переущільнення, розвитку водної та вітрової ерозії, забруднення ґрунтів токсичними речовинами і т.д. Внаслідок цього відбувається поступове зниження родючості та втрати земель. Підраховано, 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 літобіосфері 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); 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.).

Виділяють *нормальну ерозію* (природну, на непорушених господарської діяльністю землях) і *прискорену ерозію* (антропогенну, що пов'язана з активізацією природних ерозійних процесів у результаті виконання агротехнічних заходів без урахування потенційної небезпеки виникнення ерозії).

Водну ерозію спричиняють дощові, талі і іригаційні води. Під їх впливом відбувається процес розмивання або змивання ґрунтів і гірських порід. Водна ерозія в

Україні поширена на площі 13,3 млн. га, вітрова ерозія в окремі роки – на 5 млн. га. З кожного гектару орних земель щороку втрачається до 15 т/га найродючішого шару ґрунту. Площа еродованих земель збільшується на 80-100 тис. га. Відповідно урожай сільськогосподарських культур зменшується на 30-40%, а збитки становлять \$ 10 млрд. *Вітрова ерозія (дефляція)* виникає під дією сильних вітрових потоків і залежить від властивостей ґрунту та агротехнічних (протиерозійних) засобів. *Агротехнічна ерозія* виникає внаслідок виконання на схилах агротехнічних заходів, які спричиняють механічне переміщення ґрунту від верхньої межі схилу до тальвегу улоговини. Найбільшої шкоди завдає *яружна ерозія*, яка виникає при перетворенні за певних умов струменевих розмивів на яри.

Оскільки ерозія є найважливішим фактором деградації ґрунтів, то сформувалась окрема наукова дисципліна - ерозієзнавство, що розглядає водну ерозію ґрунтів як процес, її наслідки для навколишнього середовища та господарської діяльності [53].

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 інтенсивності забруднення). Найбільш згубний вплив справляють кислотні дощі, які руйнують структуру ґрунтів, нищать мікроорганізми, привносять у ґрунти ЗР або змінюють їх рухливість. Значну шкоду ґрунтам наносить забруднення важкими металами, найбільш небезпечними з яких є *Hg, Pb, Cd, Ni, Cu, Cr*. Забруднення ВМ і іншими ЗР внаслідок виробничої діяльності людини призводить до утворення антропогенних геохімічних аномалій навколо промислових центрів і вздовж автомагістралей. Сvineць 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 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 т *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 квадратний метр ґрунтів щорічно поглинає із атмосфери 6 кг шкідливих речовин, що призводить до концентрування цих компонентів у ґрунтах та зміни їх фізико-хімічних властивостей.

У розвинених країнах відбувається зростання сільськогосподарської продукції на 50-60%, яке зумовлене інтенсивним застосуванням *агрохімікатів*. До них включають органічні, мінеральні і бактеріальні добрива, хімічні меліоранти, регулятори росту рослин та інші речовини, що застосовуються для підвищення родючості ґрунтів, урожайності сільськогосподарських культур і поліпшення якості рослинницької продукції. Використання добрив 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 сполук 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, лужні ґрунти – гіпсом. Оскільки мінеральні добрива застосовують у неочищеному вигляді, то разом з ними до ґрунтів 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 поглинають із ґрунту мінеральні солі, необхідні для побудови клітин (при наявності сонячної енергії і води), і тим самим здійснюють вертикальний транспорт частини хімічних елементів.

Необхідно знати, яка кількість біогенних елементів дістається з ґрунту, щоб повернути йому ідентичну кількість з добривами. Лише такий підхід забезпечує постійність виробничої спроможності ґрунту. Якщо у лісах під час листопаду повертається до ґрунту більша частина вилучених поживних речовин (*Ca, K, P, N*), то деякі польові рослини (злакові, картопля і ін.) за певний період часу вилучають 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 (містять симбіотичні бактерії), які дозволяють фіксувати азот у ґрунті. Використовуючи біологічну культивування, до ґрунту повертають елементи в органічній формі, вилучені урожаєм, а, отже, відпадає необхідність внесення мінеральних добрив і знижується можливість забруднення ґрунтів.

Хімічне 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 (комахи) та мікроорганізмів. Згідно з офіційним документом [54], 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 поділяють на такі групи: *гербіциди* – засоби знищення бур'янів; *інсектициди* - засоби для боротьби зі шкідливими комахами; *нематоциди* - засоби для знищення фітогельмінтів (шкідливих нематод); *фунгіциди* - засоби для боротьби з грибними і вірусними захворюваннями, *бактерициди* - засоби для винищення збудників бактеріальних хвороб тощо.

Отруйні препарати, що застосовують задля обкурювання сільгоспугідь, тваринних дворів і побутових споруд, називають *фумігантами*, а речовини, які відлякують тварин - *репелентами*. Окрім того, застосовують *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 високотоксичні препарати різного призначення.

Для характеристики токсичності пестицидів використовують *токсикологічний показник LD₅₀* – *доза середня летальна ефективна*, яка спричиняє загибель у 50% особин стандартної групи тварин при певному терміні такого спостереження. При введенні токсикантів до травної системи сильнодіючими речовинами вважають при *LD₅₀ < 50* мг/кг, високотоксичними – 50-200 мг/кг, помірно токсичними – 200-1000 мг/кг, малотоксичними – більше за 1000 мг/кг.

Пестициди є типовими екотоксикантами. У цей час в світі зареєстровано понад 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 (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-Т - 0,1-0,4 роки, для фосфорорганічних інсектицидів 0,02-0,2 року і т.д.).

Докладна інформація щодо токсичних властивостей пестицидів наведена в роботі *Л.О. Федорова і О.В. Яблокова* [55].

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. Сорбційні властивості ґрунту залежать від його складу, вогкості 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 до ґрунту при їх плановому внесенні із застосуванням тих або інших технічних засобів, при використанні посадкового матеріалу, заздалегідь обробленого пестицидами, або внаслідок аварій при їх транспортуванні чи зберіганні. Надалі пестициди попадають в поверхневі водотоки і донні відклади, де вони акумулюються. При переміщенні по трофічному ланцюгу концентрації їх в процесі біоаккумуляції зростають.

Хімічний склад орних ґрунтів регламентується законодавством в усіх країнах. В основу регламентації покладена небезпека переходу токсичних речовин та хімічних елементів до сільськогосподарської продукції та створення небезпечної концентрації у харчових продуктах. 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.

4.4.3 Наслідки забруднення ґрунтового покриву та його охорона

У наземних трофічних ланцюгах, які сприяють 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 до атмосфери. Крім того, часто ЗР до атмосфери надходять із літобіосфери (еманації).

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, попелу, шлаку і т.д. Одними із найнебезпечніших токсичних речовин є сполуки *Hg*, *Pb*, які добре адсорбуються ґрунтами (особливо верхнім гумусовим шаром) і погано вимиваються із них. Сполуки та іони *As* і *Cd* адсорбуються гірше. *Zn* та *Cu* є більш мобільними, особливо в еродованих ґрунтах.

Пошук максимальної продуктивності при індустріальній експлуатації земель призводить до перенасичення ґрунтів мінеральними добривами. При цьому часто забувають, що підвищення урожайності має тенденцію до уповільнення, в міру того, як росте кількість добрив, що вносяться. Лише 50% добрив, які вносять до агроєкосистем США, засвоюються рослинами. Зловживання мінеральними добривами погіршує якість продуктів. Наприклад, шпинат має природну властивість накопичувати нітрати, а його споживання призводить до метгемоглобінемії (метгемоглобін крові не здатний утримувати кисень із повітря). Під час взаємодії з бактерійною флорою кишківника нітрати перетворюються на дуже токсичні нітрити, а останні в ще більш токсичні нітрозаміни ($NO_3 \rightleftharpoons NO_2 \rightleftharpoons R1R2NNO$). При використанні добрив порушується кругообіг 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). 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 забруднення харчових продуктів - поглинання і накопичення пестицидів рослинами - не викликає сумнівів, то про шляхи проникнення пестицидів до 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 знищити. Окрім того, застосування пестицидів призводить до таких біоценотичних наслідків: зменшується рослинна і тваринна біомаса агроєкосистем, відбувається збіднення вод зоопланктоном, зникають конкуруючі види і т.д.

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 забруднення довкілля пестицидами 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. Забруднення пестицидами (нарівні з іншими чинниками) сприяло тому, що за 25 років у 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 1970-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. застосовували

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 з модифікаціями їх нараховується понад 10 тис. препаратів. У 1980 р. світове виробництво пестицидів складало більше 2 т на рік. На відміну від інших ЗР, пестициди людиною навмисно розсіюються у біосферних середовищах.

Більшість пестицидів не мають вибіркової дії тільки на організми, проти яких вони застосовуються, а впливають на все живе, тому називаються *біоцидами*. Застосування інсектицидів має таку історію. Спочатку (кінець XIX ст. початок XX ст.) застосовували інсектициди першого покоління (сполуки As, Hg тощо). З 1920-х рр. почали впроваджувати інсектициди другого покоління - хлорорганічні та фосфорорганічні пестициди (ДДТ, хлорофос, карбофос, гексахлоран, альдрин, дільдрин). Так, в 1939 р. П. Мюллер показав ефективність використання ДДТ. У 1980-х рр. на заміну застарілих інсектицидів впроваджують препарати третього покоління - синтетичні аналоги природних інсектицидів біологічного походження. Авермектини - високоактивні інсектициди мікробіологічного походження. Неонікотиніоїди - синтетичні алкалоїди групи нікотину. Піретроїди - синтетичні аналоги рослинних піретринів. На даний час починають успішно застосовуватися інсектициди четвертого покоління - регулятори розвитку членистоногих (аналоги ювенільного гормону, інгібітори синтезу хітину тощо).

Прибутки від продажу пестицидів у 1970 р. в США склали \$ 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 популяцій 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%).

Замість екологічно небезпечних пестицидів пропонується використовувати природні речовини (діатоміти, порошок з панцирів крабів та інших ракоподібних, настій із суміші зеленого перцю, часнику й тютюну тощо), які мають властивості пестицидів, а також впроваджувати методи біологічного захисту рослин.

Біологічний спосіб захисту рослин полягає у використанні одних організмів для боротьби з іншими, шкідливими для сільськогосподарських культур. Перевага цього способу в тому, що він не спричиняє шкідливого впливу на оточуюче середовище. Такі відносини між організмами існують у природі, й наше завдання - їх посилити. З організмів, які використовуються для біологічного захисту, найбільш поширені хижі комахи, комахоїдні птахи, паразитичні комахи, мікроорганізми. Найбільш поширеним з біологічних способів захисту рослин є застосування спорових та неспорових бактерій, вірусів.

Серед основних негативних екологічних наслідків застосування пестицидів слід виділити наступні: 1) здатність їх накопичуватися у ґрунті та переноситися живими організмами по трофічному ланцюгу; 2) зменшують біологічну продуктивність і нормальне функціонування ґрунтових мікробіоценозів; 3) знижують інтенсивність процесів самоочищення ґрунту; 4) здатні накопичуватися у річках, морях та ґрунтових водах; 5) пригнічують біохімічні процеси і перешкоджають природному відновленню родючості; 6) викликають втрату харчової цінності та смакових якостей сільськогосподарської продукції.

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 [56].

Ще сто років тому все сільськогосподарське виробництво було «органічним». Калійна селітра була єдиним мінеральним добривом, що застосовували в невеликих дозах. Захист культур від комах здійснювали за допомогою вапна, сірки та попелу. Ідея *органічного землеробства* полягає у повній відмові від застосування ГМО, антибіотиків, пестицидів та мінеральних добрив. Це призводить до підвищення природної біологічної активності у ґрунті, відновлення балансу поживних речовин, підсилюються відновлювальні властивості, нормалізується робота живих організмів, відбувається приріст гумусу, і як результат – збільшення урожайності сільськогосподарських культур. Результатом органічного землеробства є екологічно безпечна продукція, вільна від генетично-модифікованих компонентів та невластивих продуктам харчування хімічних елементів. Ідея органічного землеробства є популярною у багатьох країнах світу, в т.ч. у Європі.

Відходи тваринництва призводять до забруднення ґрунтів нітратами, а ґрунтових вод – 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 низько розчинних сполук фосфору призводить до накопичення його в ґрунтах. Застосування калійних добрив (KCl) призводить до накопичення в ґрунтах іонів хлору. Внаслідок неповного згоряння органічного палива утворюється канцерогенний бенз(а)пірен, який нагромаджується в ґрунтах і переміщується по трофічних ланцюгах. Велику небезпеку представляє забруднення ґрунтів ВМ. Джерелом забруднення ґрунтів служать звалища промислових і побутових відходів. Забруднюють ґрунти довго живучі техногенні радіонукліди (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu та ін.).

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 дренованих 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.

Тривале надмірне розорювання, дефіцитний баланс речовин, низький рівень культури землеробства, висока забур'яненість полів, відсутність програм з підвищення родючості ґрунтів – все це зумовило зниження вмісту гумусу в ґрунтах орних земель з 3,5 (1961 р.) до 3,2% (1981 р.) - на 9%. За останнє століття зменшення змісту гумусу в ґрунтах орних земель України сягає 25-30% [42].

Ущільнення ґрунту і погіршення його фізичних властивостей відбувається через навантаження сільськогосподарською технікою. Так, трактори здатні ущільнювати чорноземи до 1,5 г/см³ в шарі 0-20 см і сприяти ущільненню до глибини 60-70 см.

Із забрудненням ґрунтів необхідно боротися шляхом виключення надходження цих забруднень, створення безвідходних і маловідходних технологій, утилізації відходів, конструювання виробництв із замкненим циклом, проведення раціонального комплексу меліоративних робіт. З ерозією ґрунтів необхідно боротися шляхом використання організаційно-господарських (безпечне 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.).

Порушеними вважаються ґрунти, що втратили свою родючість і цінність у 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.

Причинами втрати ґрунтів є: неправильна оранка, надмірна експлуатація пасовищ (без урахування ємкості 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 агро екосистемах можна використовувати тільки п'ять способів: чергування сільськогосподарських культур на полі – сівозмінна; відведення ріллі під переліг; введення чистих парів; травосіяння; органічні та мінеральні добрива [16].

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 заходів.

Головними компонентами *інтенсифікації сільськогосподарського виробництва* є: використання добрив; широке застосування пестицидів; зрошення; перехід на продуктивні 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.

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. Інтенсифікація різко збільшила відходність (залишкова кількість добрив, залишкова кількість пестицидів, гній та рідкі стоки тваринництва). «Виорювання» на ріллі, перевипаси на пасовищах, ущільнення ґрунту та інші негативні наслідки охопили всю агросферу планети.

Екологічні збитки призвели 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, біоорганічне, біодинамічне та екологічне землеробство [16].

При сільськогосподарському виробництві відбувається забруднення ґрунтів мінеральними добривами, пестицидами, мікробами і т.п. Внаслідок інтенсифікації врожайність сільськогосподарських культур зростає приблизно в 2,0-2,5 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.

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, золівідвалів, 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).

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 сільськогосподарську техніку; скоротити перевезення продуктів харчування тощо.

4.5 Антропогенний вплив на геологічне середовище та його негативні наслідки

4.5.1 Загальні відомості про геологічне середовище

Всі природні компоненти тісно пов'язані з літосферою, яка є матеріальною основою БС. Гірські породи є мінеральним субстратом, на якому формуються родючі ґрунти і біогенні ландшафти. Літосферні процеси та явища прямо або опосередковано впливають не тільки на геобіонтів (живі організми, що існують в геологічному середовищі), а також на організми, які розвиваються в інших природних середовищах.

Геологічні процеси змінюють склад, структуру оболонок Землі, формують рельєф поверхні і визначають глибинну будову Землі. Геологічні процеси поділяються на природні (екзогенні, ендегенні) і штучні (антропогенні, техногенні).

Ендегенні процеси (процеси внутрішньої динаміки) спричинені внутрішніми силами Землі. Зумовлені енергією, яка виділяється у надрах Землі, дією гравітаційних сил, а також сил, які утворюються при обертанні Землі (мантія, ядро, нижня частина земної кори). З ендегенними процесами пов'язані такі явища, як виникнення і розвиток материків, океанічних западин і гірських високостей. До них відносяться вулканізм та інші прояви магматичної діяльності. Вони проявляються у струсі земної кори, в складчастих і розривних порушеннях й інших деформаціях речовини кори, у коливальних рухах. З ними пов'язані зміни у складі і структурі гірських порід, які об'єднуються терміном *метаморфізм*. З ними також пов'язані землетруси, які проявляються на окремих ділянках земної поверхні у вигляді короткострокових поштовхів або струсів. У випадках, коли поштовхи виникають близько від населених пунктів, землетруси завдають значного лиха: загибель людей, зрушення будівель тощо.

Екзогенні процеси (процеси зовнішньої динаміки) впливають на поверхню Землі та найбільш верхні частини земної кори. Зумовлені головним чином енергією сонячної радіації, силою тяжіння і життєдіяльністю організмів. Екзогенні процеси підпорядковуються силам, які зумовлені переважно зовнішнім впливом. Ці зміни виражаються в безперервних переміщеннях водних і повітряних мас в атмосфері, на поверхні і всередині Землі, у хімічних і фізичних перетвореннях речовини під впливом цих сил, в порушенні, переміщенні та вторинному відкладенні гірських порід, в життєдіяльності організмів тощо. Ця діяльність відбувається на стику основних геосфер (літосфери, гідросфери, біосфери і атмосфери) в кінцевому рахунку фіксується в змінах літосфери. Процеси зовнішньої динаміки можна розглядати як діючі і діаметрально спрямовані процеси: вивітрювання (зрушення гірських порід, які утворилися раніше), седиментогенез (стадія утворення осада) і послідовне формування гірської породи.

Антропогенні (техногенні) процеси зумовлені технічною діяльністю людини в геосферах. Як наголошував В.І. Вернадський, антропогенні процеси можуть бути віднесені до геологічних, тому що безпосередній вплив людини на навколишній світ набув значущості геологічної сили.

Під *геологічним середовищем* (ГС) розуміється верхня частина літосфери, що розглядається як багатокомпонентна система, яка перебуває під впливом інженерно-господарської діяльності людини і, у свою чергу, певною мірою визначає цю діяльність [57]. Не дуже вдале визначення наведено в «Екологічній енциклопедії» [7], де ГС - багатокомпонентна динамічна, складно організована природна система (гірські породи, ґрунти, донні відклади, підземні води, природні гази), яка характеризується наявністю геофізичних і геохімічних полів, взаємодіє з елементами ландшафту, атмосфери й

поверхневими водами і зазнає впливу техногенної діяльності. При такому визначенні: 1) до складу ГС включаються родючі ґрунти «ґрунти»; 2) до складових ГС включені лише природні гази, а не вуглеводневі флюїди взагалі; 3) ГС «взаємодіє з елементами ландшафту, атмосфери», але приземна частина атмосфери є складовою ландшафту.

Еколого-геологічна оцінка територій передбачає розгляд функціональних зв'язків в системі «літосфера – біота», «техногенно змінена літосфера – біота», або «літосфера – інженерна споруда – біота», тобто прямі і зворотні зв'язки між абіотичними і біотичними підсистемами, найчастіше вплив абіогенних факторів на живі організми, які існують і функціонують в літосфері або безпосередньо на її поверхні.

З верхньою межею ЕГС питання не менш складне, тому що до поняття «геологічне середовище» багато дослідників включають не тільки гірські породи, але також родючі ґрунти, поверхневі води і біоту. Тому *В.Т. Трофімов та ін. [58]* замість терміну «геологічне середовище» ввели поняття «*приповерхнева частина літосфери*» (ПЧЛ), виключивши з неї приповерхневі води, а за певної ситуації і родючі ґрунти. У їхньому трактуванні верхня границя ПЧЛ зазвичай проходить по підшві гумусового шару родючого ґрунту. Однак, якщо ґрунти розглядати як геохімічний бар'єр на шляху міграції техногенних забруднюючих речовин (ЗР), то вони є частиною ГС. Якщо підходити до родючого ґрунту як до мінерально-органогенної породи, що виконує роль першого геохімічного бар'єру на шляху міграції техногенних ЗР або середовища розвитку екзогенних процесів, то вона повинна входити в об'єкт екологічної геології, а якщо розглядати педосферу (ґрунтову оболонку Землі) як відокремлюючу оболонку - акумулятор та джерело енергії для біонтів, то, як правило, родючі ґрунти випадають зі складу ЕГС (слід зазначити, що родючі ґрунти є субаеральними, а донні відклади – субаквальними утвореннями, але питання щодо віднесення останніх до ГС звичайно не виникає). Поверхневі води та атмосфера з позицій екологічної геології розглядаються в ранзі суміжних середовищ, інформація з яких використовується при вирішенні функціональних еколого-геологічних завдань [59].

Можна погодитися з необхідністю використання і таким тлумаченням поняття «приповерхнева частина літосфери», але оскільки навіть найбільш глибокими свердловинами ще не розкрита верхня частина верхньої мантії, а глибина техногенного впливу звичайно складає кілька чи десятки сотень метрів (наприклад, в промислових агломераціях), тому з позицій техногенезу фактично мова йде про вплив на «приповерхневу частину земної кори», тобто на «геологічне середовище». Але при оцінці еколого-геологічного стану територій необхідно враховувати літосферні та мантіїні процеси.

Таким чином, верхньою границею ГС є денна поверхня, нижня межа ГС неоднорідна по глибині в різних областях Землі. Вона визначається глибиною техногенного впливу в ході різних видів господарської діяльності. До складу ГС іноді включаються родючі ґрунти і верхні шари гірських порід (породи зони аерації і зони насичення), які розглядаються як багатокомпонентні системи. Необхідно відзначити, що межі ГС змінюються не тільки в просторі, але й у часі в міру розвитку техногенних процесів і техногенезу в цілому. Зовнішніми середовищами, що відносяться до ГС, є атмосфера, поверхнева гідросфера (поверхневі води), поверхневі біоценози і власне техносфера, що включає усі види інженерних споруд і господарських об'єктів. Внутрішніми складовими частинами ГС є: 1) родючі ґрунти і штучні (техногенні) ґрунти, будь-які гірські породи, що складають масиви тієї чи іншої структури і розглядаються як багатокомпонентні динамічні системи; 2) рельєф і геоморфологічні особливості розглянутої території; 3) підземні води, газоподібні наповнення гірських

порід; 4) геологічні та інженерно-геологічні процеси і явища, які розвинуті на даній території. У речовинному відношенні особливість ГС як підсистеми полягає в тім, що поряд із природними, поширені речовини техногенного генезису, які є продуктами функціонування технічних систем чи речовинами об'єктів техносфери [60].

ГС в цілому, так само як будь-яку його частину, геологічне тіло, можна розглядати як систему. Системи, елементи яких повинні повністю або в основному бути представлені твердими, рідкими або газоподібними компонентами ГС, називаються *геологічними системами*, які поділяються на *природні* і *природно-техногенні системи* [61].

Під *еколого-геологічними умовами* слід розуміти сукупність конкретних властивостей (функцій) літосфери (ГС), що відображають умови існування живих організмів у даному обсязі літосфери (ГС) як неживу основу їхнього перебування.

Екологічна властивість літосфери (ГС) - одна зі сторін літосфери, її екологічно значимий атрибут, обумовлений природою її речовинного складу, геодинамічних, геохімічних і геофізичних полів і органічно зв'язаний з життєзабезпеченням біоти, умовами її існування і еволюції.

4.5.2 Основні екологічні функції геологічного середовища

Функції ГС розглядаються з позицій життєзабезпечення й еволюції біоти і, головним чином, людського суспільства. Усе різноманіття функціональних залежностей між ГС і живими організмами зводяться до наступних груп: ресурсна, геодинамічна, геохімічна і геофізична [58, 62].

Ресурсна екологічна функція геологічного середовища визначає роль мінеральних, органічних і органо-мінеральних ресурсів, а також її геологічного простору для життя і діяльності біоти як біоценозу, так і людського співтовариства як соціальної структури.

Ресурси літосфери, необхідні для існування біоти (включаючи людину) мають бути представлені: 1) гірськими породами з біогенними елементами (C, H, O, N, Ca, S, P, Na, K, Mg, Cl і ін.); 2) *кудюритами* (від алтайського слова «кудур», тобто солончак) – мінеральними речовинами кудюрів. Епізодично (1-2 рази на рік) вони вживаються консументами (літофагами) з метою регуляції сольового складу організму; до них відносяться цеоліти, бентоніти, глауконіти, діатоміти – стимулятори росту багатьох живих організмів; 3) кам'яною (кухонною) сіллю і підземними водами, які також є основою існування живої речовини. Важливу роль відіграють мінеральні речовини літосфери в харчуванні рослин; наприклад, при підвищеному вмісті підземного CO₂ (активні тектонічні розломи, нафтогазоносні і вугленосні площі) відзначається більш «пишна» рослинність.

Мінеральні ресурси, необхідні для життя і діяльності людського суспільства. Існує п'ять основних категорій мінеральних ресурсів: 1) паливно-енергетичні (нафта, конденсат, палийний газ, вугілля, бітумінозні сланці, торф, уран тощо); 2) чорні і легуючі метали (руди Fe, Mn, Cr, Ti, V, W і Mo); 3) кольорові метали (руди Cu, Co, Pb, Zn, Sn, Al, Sb і Hg); 4) неметалічні корисні копалини (сірка, флюорит, каолін, барит, графіт, магнезит, галіт, будівельні матеріали і т. д.); 5) ПВ різного призначення.

Крім того, виділяють *ресурси геологічного простору* які використовуються як для розселення й існування живих організмів (землерийні тварини, мікроорганізми, мешканці печер і ін.), так і діяльності людини на урбанізованих територіях, а також для розміщення об'єктів інженерно-господарської діяльності (у т.ч. для розміщення відходів).

Геодинамічна екологічна функція геологічного середовища – функція, що відображує властивості літосфери впливати на стан біоти (біоценоз), безпеку і комфортність проживання людини через природні й антропогенні процеси і явища. З цих позицій можна виділити дві групи геологічних процесів для існування живих організмів (біонтів): несприятливі і катастрофічні.

Власне небезпечні процеси («повзучі катастрофи») через деградацію екосистеми (ЕС) призводять до людських жертв, чи до необхідності відселення людей на інше місце проживання (це, наприклад, посухи і дефляція).

Катастрофічні процеси не обов'язково призводять до людських жертв, хоча є причиною екологічного нещастя (наприклад, «чорні землі» у Калмикії, де через надмірний випас худоби і дефляції за 5-10 років майже цілком деградований гумусовий шар). Іноді дефляція супроводжується процесом засолення ґрунтів і деградацією ЕС, що призводить до різкого погіршення умов життя населення (наприклад, райони південного Приаралля).

Катастрофа означає раптову подію, швидкоплинний процес, що призводить до важких наслідків, руйнувань і жертв; це різка зміна структури системи (ЕС), що призводить до руйнування якої-небудь її області [63]. Таке визначення стосовно геологічних процесів досить суб'єктивне для людини, тому що для різних територій, що відрізняються рівнем господарського освоєння, чисельністю населення і типом інженерних споруджень, той самий процес рівної потужності (інтенсивності) може класифікуватися як катастрофічний і несприятливий. Наприклад, повільноплинні процеси (регресія чи трансгресія моря, опустелювання та ін.), що виявляються на великих територіях протягом багатьох років, не спричиняють катастроф, як і сильні землетруси в малонаселених районах з легкими переносними житлами. За даними ЮНЕСКО більш 0,5 млрд. людей проживає в районах з частою повторюваністю катастрофічних землетрусів.

Несприятливі геологічні процеси негативно впливають безпосередньо на комфортність проживання людини і біоти чи на необоротні компоненти середовища їх проживання, але не становлять безпосередньої загрози їх життю і місцю існування (наприклад, заболочування, карст, абразія, суфозія, яружна ерозія і т.д.). Понад 25% населення світу живе в районах, підданих значному ризику від стихійних лих. Щорічно відбувається в середньому 50 ураганів, 15-20 великих повеней, 20 сильних землетрусів і т.д. Процеси і явища, що представляють безпосередню загрозу існуванню біоти (у тому числі й людині) утворюють наступний ряд (за зменшенням негативного впливу): землетруси - виверження вулканів - цунамі - зсуви - селі - лавини - обвали, провали.

Процеси і явища, що не несуть безпосередньої загрози існуванню біоти, але негативно відбиваються на умовах життєзабезпечення людини: новоутворення і деградація мерзлоти - дефляція - заболочування – термокарст - водяна ерозія площинна - суфозія.

Планетарні і регіональні структури земної кори, зв'язані з зонами глибинної тріщинуватості, високою проникністю і деформованим станом середовища, називаються *геодинамічними зонами* [64]. З цими зонами пов'язані пояси мінеральних ресурсів, геохімічні і геофізичні поля, тобто вони мають полігенний вплив на біоту. Геодинамічні зони за наслідками, які вони викликають, поділяються на два блоки: 1) геодинамічні аномалії, які активізують природні геологічні процеси, що впливають на біоту *безпосередньо*; 2) геодинамічні аномалії, в яких високоградієнтні короткоперіодичні тектонічні рухи впливають на біоту через руйнування інженерних споруд *опосередковано*.

Сучасні *геодинамічні аномалії* – це локальні ділянки земної кори з аномальними за інтенсивністю й імпульсивністю проявами геодинамічних процесів.

Оцінка впливу геологічних, других природних і техногенних процесів на ЕС у цілому і людину зокрема може оцінюватися за комплексом критеріїв: 1) критерії і геодинамічні показники, що оцінюють масштаб і інтенсивність розвитку геологічних процесів; 2) критерії і показники, що характеризують несприятливі зміни абіотичних компонентів ландшафту і його літогенної основи в результаті активно діючих геологічних процесів; 3) критерії і біологічні показники, що характеризують зміну різних представників біоти і їх комплексу в цілому; 4) критерії і соціально-економічні показники [59, 62].

Геохімічна екологічна функція геологічного середовища визначає властивості геохімічних полів природного і природно-техногенного походження впливати на стан біоти в цілому і людське співтовариство зокрема. Об'єктом і предметом геохімічної складової функції, що розглядається, є речовинний склад літосфери, питання міграції рухливих форм ХЕ, взаємодія гірських порід з атмосферою, гідросферою, техносферою і живою речовиною (ЖР). Легко розчинні сполуки ХЕ (K, Na, Ca, Mg і ін.) формують біомасу, включаючи скелетні утворення організмів, а ХЕ, що лише частково переходять у розчини (Ni, Zn, Pb, Cu, Co і ін.) також входять (у незначних кількостях) до складу біомаси, але вони є активними регуляторами біохімічних процесів. Практично нерозчинні ХЕ (Al, Ti і ін.) у природних умовах, під впливом процесів техногенезу можуть переходити в хімічно активні форми, утворюючи водорозчинні сполуки з органічними речовинами, що є ксенобіотиками. Як надлишок, так і дефіцит ХЕ впливають на ендемічні захворювання живих організмів (геохімічні ендемії).

Середній вміст ХЕ в земній корі називають *кларком*. Для кожного регіону ця величина може відрізнятися, тобто кожний ХЕ може створювати свій *регіональний фон*. Якщо вміст ХЕ вище регіонального фону, то він утворює *геохімічну аномалію*, яка може бути як природною так і техногенною. Але, рівновага між ХЕ локально порушується або природним шляхом, або в результаті техногенної діяльності людини.

Геохімічна аномалія – ділянка території, у межах якої хоча б в одному з природних тіл, що її складають, статистичні параметри розподілу ХЕ відрізняються від геохімічного тіла (середньої величини природної варіації вмісту ХЕ). Частина техногенної геохімічної аномалії, у межах якої ЗР досягають концентрації, що робить несприятливим вплив на живі організми, називається *зоною забруднення* [65].

В.Т. Трофімов та ін. [58] пропонують геохімічні аномалії, пов'язані з природними процесами, називати «*геопатогенними геохімічними аномаліями*», а з техногенезом – «*технопатогенними геохімічними аномаліями*».

Геохімічні неоднорідності можуть бути обумовленими як підвищеним вмістом ХЕ щодо фону (*позитивні аномалії*), так і заниженим вмістом ХЕ в порівнянні з фоном (*негативні аномалії*). У залежності від компонентів НПС, що депонують *геохімічні аномалії*, можна виділити:

1) *літогеохімічні*, обумовлені складом гірських порід, ґрунтів і донних відкладів, техногенних ґрунтів; 2) *гідрогеохімічні* – складом підземних вод; 3) *газогеохімічні* – газовим складом ґрунтів, гірських порід, підземних вод; 4) *сноухімічні* – складом снігового покриву; 5) *біогеохімічні* – складом живої речовини. Найбільш стабільними в часі є літогеохімічні аномалії. Хімічні елементи надходять у живі організми повітряним, водним і трофічним шляхами. В останньому випадку відзначається біологічне концентрування токсикантів в міру переміщення на більш високий трофічний рівень. Фіксуються зв'язки в системах «гірські породи – біота», «підземні води – біота», «ґрунти – біота».

Не зупиняючись на аналізі особливостей впливу природних геохімічних аномалій різного типу на біоценози і здоров'я населення, слід особливо зазначити вплив біогеохімічних аномалій на формування біогеохімічних ендемій. *Біогеохімічні ендемії*

- захворювання рослин, тварин і людей, спричинені дефіцитом чи надлишком (дисбалансом) ХЕ в природних середовищах [66]. Особливо негативно на біоту впливають техногенні геохімічні поля й аномалії вищезазначених типів.

У зоні формування техногенних геохімічних аномалій токсиканти включаються до біогеохімічних циклів, що веде до виникнення патогенних для живих організмів і небезпечних для здоров'я людей провінцій: *гіпомікроелементози* (*Cu* – хвороба Менкеса з важкою поразкою центральної нервової системи, *Zn* – уроджені пороки розвитку, *Mn* – діабет і ін.); *гіпермікроелементози* (*Pb* – свинцева енцефалопатія, *Cd* – кадмієві риніти, нефропатія, кардіоміопатія, *Hg* – хвороба Мінамату, енцефалопатія та ін.)

Патогенні геохімічні аномалії – ділянки території з відхиленнями концентрації і характеру розподілу ХЕ від геохімічного фону, що значно відрізняються від санітарно-гігієнічних норм і приводять до патології флори, фауни і людського організму [58].

Патологічні зміни в біоті можливі як при підвищеному вмісті ряду ХЕ (*As*, *Hg*, *Sr*, *P* і ін.), так і при зниженому вмісті *F*, *I*, *Ca* та інших ХЕ, а також при дисбалансі *Sr/Ca*, *Ca/P* і ін. Для характеристики біогенної міграції ХЕ запропоновані різні показники (біофільність, коефіцієнт біологічного поглинання, біогеохімічна активність виду, ряд біологічного поглинання, рослинно-грунтовий коефіцієнт, рослинно-водний коефіцієнт і ін.).

Було розраховано середній вміст ХЕ в рослинності і, використовуючі їх кларки в гранітному шарі земної кори, визначили значення *коефіцієнта біологічного поглинання* ($K_{БП}$). Виявилась сильна диференціація хімічних елементів під дією живої речовини: інтенсивність біологічного поглинання елементів змінюється у межах шести порядків (від 0,05, до 10 000).

Всі ХЕ можна розділити на дві групи. До першої групи відносяться ХЕ, вміст яких в золі (зольний залишок, що утворюється при спалювання ЖР) збільшується в порівнянні з земною корою. Коефіцієнт біологічного поглинання цих елементів більше 1. Вони акумулюються в масі живої речовини. Серед цієї групи, в свою чергу можна виділити підгрупу ХЕ, вміст яких в золі збільшується не більше ніж в 10 разів, і підгрупу елементів з більш високою концентрацією, коефіцієнт біологічного поглинання яких більший 10, інколи навіть більший 100. До першої групи відносяться *Ca* ($K_{БП} = 7,2$), *K* ($K_{БП} = 5,2$), *Mg* ($K_{БП} = 3,3$), *Mn* ($K_{БП} = 6,9$), *Sr* ($K_{БП} = 3,5$), *Mo* ($K_{БП} = 9,2$), *Cu* ($K_{БП} = 7,30$). До другої підгрупи належать *S* ($K_{БП} = 120$), *P* ($K_{БП} = 50$), *Cl* ($K_{БП} = 50$), *B* ($K_{БП} = 50$), *Zn* ($K_{БП} = 14,7$), *Ag* ($K_{БП} = 12,5$), *I* ($K_{БП} = 12,0$).

Для багатьох ХЕ характерне відносно слабе біологічне поглинання. Їх вміст в золі менший ніж в земній корі. Серед них теж можливо виділити дві підгрупи. Коефіцієнт біологічного поглинання для елементів однієї підгрупи коливається від 0,9 до 0,1. Представником цієї групи є *Na* ($K_{БП} = 0,7$), *Ba* ($K_{БП} = 0,7$), *Fe* ($K_{БП} = 0,1$) та інші важкі метали. Вміст елементів другої підгрупи зменшується більше ніж в 10 разів. Приклад *Al* ($K_{БП} = 0,08$), *Ga* ($K_{БП} = 0,05$) та інші.

Рослини і мікроорганізми є прекрасними організмами-біомоніторами вмісту токсикантів у компонентах ГС. Фізіологічні і морфологічні зміни рослин нерідко обумовлені токсичністю окремих металів. Хімічний склад донних відкладів є важливим для процесів міграції та перерозподілу ХЕ у водних ЕС і має вплив на здоров'я людини (донні відклади - гідробіонти - людина). Знижена концентрація ХЕ в ґрунтах позначається на здоров'ї тварин і людини (*Co* – схуднення й анемія домашніх тварин, *Cu* - виснаження домашніх тварин, *I* – базедова хвороба, *Fe* – анемія у людини, *Se* – м'язова дистрофія у ягнят, млявість серцевого м'язу у людини), а підвищені концентрації *As* призводять до затримки росту рослин, *Cd* – цирозу печінки, *Pb* – порушенню діяльності нирок і нервової системи і т.д. [67].

Геофізична екологічна функція геологічного середовища визначає властивості геофізичних полів природного і техногенного генезису впливати на стан біоти і здоров'я людини.

Геофізичні поля (неоднорідності) – це природні фізичні поля космічного і земного генезису, а також техногенні фізичні поля, що діють у межах літосфери, перетворені і розподілені нею.

Геофізична аномалія – відхилення значень фізичного поля від нормального, зумовлене розходженням фізичних властивостей гірських порід і неоднорідністю їх складу і будови.

На природні поля накладаються техногенні геофізичні, що є побічним продуктом сучасних технологій і є одним з екологічних факторів. Зміни, внесені техногенними фізичними полями обмежуються глибиною антропогенного впливу на літосферу (зазвичай 50-300 м). Техногенні геофізичні поля за рівнем у декілька разів, а іноді і на декілька порядків перевершують природні (фонові) рівні (

З геофізичними аномаліями (магнітними, гравітаційними, геотермічними, електричними, вібраційними, акустичними) пов'язані осередки підвищеної захворюваності і прояву функціональних розладів живих організмів [68].

Наприклад, магнітні поля діють на нервові клітини мозку. Сильні електричні поля негативно впливають на центральну нервову систему. Вібраційні поля приводять до підвищеної стомлюваності, до гальмування рухових реакцій, координації руху і т.д. При землетрусах і релаксації сейсмічних напруг виникають акустичні поля; ультразвукові хвилі викликають у людини галюцинації, а інфразвукові - страх і паніку. Причому такі ситуації можливі не тільки у випадку сильних землетрусів, але і при постійному впливі слабких землетрусів (до 2-3 балів), як це має місце в зоні глибинних (сейсмогенних) розломів.

Природні і техногенні геофізичні поля досить тісно взаємодіють один з одним у верхній частині літосфери. Деякі з них взаємодіють з космічними полями, зокрема, з полями іоносферного походження. Розглядаючи питання про взаємодію природних геофізичних, техногенних та іоносферних полів, слід підкреслити вплив таких взаємодій на організм людини [69].

Геомагнітне поле (ГМП) Землі - середовище існування усіх живих організмів. Людина, з її розвинутим, багатофункціональним мозком і тонкою організацією вищої нервової діяльності, найбільш чутливо реагує на збурення ГМП, особливо, якщо ці збурення ускладнюються впливами інших полів, зокрема, техногенних.

З моменту виникнення клітини природне ГМП стало тим інформаційно-енергетичним стаціонарним полем, в якому і відбувалися процеси життєдіяльності. Саме ГМП в однаковій мірі з істотно кисневою атмосферою Землі - середовище існування людини. Процеси саморегуляції, збереження гомеостазу у різних стаціонарних системах людини спираються не тільки на фізико-хімічні процеси, що протікають в її організмі, але й на розвинену систему вищої нервової діяльності. Тому людина володіє великим числом ступенів свободи, більш гнучким пристосуванням до змін середовища існування, в тому числі і ГМП. Втім, саме зміни природного ГМП переносяться нею найбільш важко.

Наявність сильного *гравітаційного поля* не тільки дозволяє Землі утримувати навколо себе потужний газовий шар (атмосферу) і водну оболонку (гідросферу), забезпечувати кругообіг води і рух льодових мас по поверхні планети, але також є одночасно одним з основних факторів, що визначають активність геологічних і біологічних процесів, які забезпечують існування життя. Гравітаційна залежність живих організмів оцінюється за характером їх реакції на зміну величини і напрямку вектора поля тяжіння. Гравітаційний вплив стає потенційно значущим вже для

тканинних клітин та мікроорганізмів, розміри яких перевищують 10 мкм. Однак для комах, для інших дрібних біологічних об'єктів фізіологічне значення гравітації неістотне, оскільки вони без видимих наслідків здатні переносити стократні перевантаження. Для великих представників тваринного світу, в тому числі і для людини, зміни величини та напрямку дії поля тяжіння є дестабілізуючими чинниками. Так, при значному збільшенні поля сили тяжіння зменшується рухова активність, знижується кількість рідини, що виводиться з організму, а також змінюється вміст азоту і калію.

Що стосується малих доз радіації, то вони призведуть до онкологічних захворювань і до генетичних відхилень, а великі дози радіації руйнують клітини, ушкоджують тканини органів і можуть бути причиною променевої хвороби з летальним результатом [68]. Прихильники теорії *радіаційного гормезису* вважають, що малі дози радіації (у межах природного тіла) необхідні і навіть корисні для живих організмів [32].

Виникнення стійких патологічних змін у живих організмів, зумовлене геологічними, геофізичними, геохімічними та іншими чинниками називається *геопатогенез*. Поява порушень у розвитку живих організмів, як відповідь на комплексне відхилення від нормальних екологічних умов, спостерігається у регіонах, де є природні або техногенні аномалії. Області або локальні ділянки земної поверхні, у межах яких проявляється геопатогенез, називаються гепатогенними зонами [7].

Геопатогенні зони (ГПЗ) – області або локальні ділянки земної поверхні, у межах яких проявляється негативна дія токсичних ХЕ і різних полів земного та космічного походження. Є різні гіпотези стосовно природи ГПЗ. Згідно з одними, на цих ділянках виявляються взаємодії електромагнітних, електростатичних, магнітних чи гравітаційних полів. Інші гіпотези передбачають наявність поряд з щільною складовою матерії, тонкої матерії, або геоінформаційних полів, які також можуть справляти негативний вплив. Німецькі вчені у 1930-х рр. виявили, що над поверхнею землі є серія геоактивних смуг різних напрямів та ширини, перетин їх може формувати ГПЗ. У поєднанні з підземними потоками такі геоактивні смуги можуть стати причиною захворювання живих організмів (геопатогенезу), а також негативно впливати на закладені в їхніх межах інженерно-технічні споруди. При класифікації ГПЗ для практичних цілей виділяють зони природних геохімічних аномалій, підвищеної радіоактивності та ін. ГПЗ можна виявити за допомогою біоіндикаційного, біогеохімічного, геофізичного, біофізичного картування, яке використовують для пошуків родовищ корисних копалин, рекомендацій щодо поліпшення екологічних ситуацій [7].

Серед різноманітних ГПЗ можна виділити два основних типи: 1) пов'язані із наявністю токсичних ХЕ, підвищеним виділенням радону та інших ендегенних газів, поширенням патогенних мікроорганізмів; 2) пов'язані з локальними геофізичними аномаліями. Оскільки ГПЗ можуть негативно впливати на живі організми, їх варто відносити до осередків підвищеного екологічного ризику.

Розміри ГПЗ коливаються від кількох сантиметрів до десятків і більше метрів. На природні аномалії, які зумовлюють виникнення ГПЗ, накладаються поля від зовнішніх джерел, створених людиною. Останні формують аномалії, які отримали назву *технопатогенних зон* (ТПЗ), що пов'язані зі штучними джерелами електромагнітного випромінювання. Сумарна напруженість геофізичних полів зросла на 2-5 порядки порівняно з їх природним фоном.

ГПЗ і ТПЗ особливо цікавлять науковців у зв'язку з їх безпосереднім впливом на здоров'я людини, а також на тварин і рослини. Особливо сильно на живі організми діють імпульсні електромагнітні поля, в походженні яких істотну роль відіграють

джерела, розташовані в літосфері, тобто природні імпульсні електромагнітні поля Землі [70]. Більш детальна інформація про антропогенний вплив на геологічне середовище та його негативні наслідки наведені в роботі [71].

Питання для самоконтролю:

1. Що розуміється під поняттями «антропогенний вплив» і «забруднення»?
2. За якими ознаками розрізняють забруднення?
3. Що таке «ефект бумеранга»?
4. У чому специфіка фізичного забруднення довкілля?
5. Які особливості радіоактивного забруднення довкілля?
6. Що таке хімічне забруднення довкілля?
7. Що таке «полютанти», «ксенобіотики» та «екотоксиканти»?
8. Що таке канцерогенна, мутагенна і тератогенна дія речовин?
9. Які основні причини біологічного забруднення довкілля?
10. Що таке генетично модифіковані організми?
11. Що таке відходи?
12. Які принципи класифікації відходів?
13. Що таке поводження з відходами?
14. Що таке система управління промисловими відходами?
15. Які основні забруднюючі речовини атмосфери?
16. Яка схема трансформації основних забруднюючих речовин атмосфери?
17. Які основні джерела антропогенного забруднення атмосфери?
18. Що таке ГДК речовини в атмосфері?
19. Які причини утворення основних типів смогу?
20. Яким чином утворюються кислотні опади?
21. Які основні причини деградації озонового шару?
22. Які основні причини парникового ефекту?
23. Яку небезпеку для довкілля і здоров'я людини створюють забруднюючі речовини антропогенного походження?
24. Які є шляхи поліпшення повітряного середовища?
25. Які наслідки використання водних ресурсів водокористувачами?
26. Як розрізняють види забруднення водних об'єктів суші?
27. У чому специфіка фізичного, хімічного і біологічного забруднення поверхневих вод суші?
28. Що таке зворотні води?
29. Що таке процес самоочищення?
30. Яка специфіка фізичного, хімічного і біологічного забруднення підземних вод?
31. Які основні причини забруднення морських вод?
32. Які основні фактори евтрофікації водних об'єктів?
33. Що таке педосфера?
34. Які основні причини деградації ґрунтів?
35. Які причини хімічного забруднення ґрунтів?
36. У чому полягає екологічна небезпека агрохімікатів і пестицидів?
36. Які основні методи захисту агроєкосистем?
37. У чому суть органічного землеробства?
38. Що таке рекультивація земель?
39. Що таке геологічне середовище?
40. У чому суть ресурсної функції геологічного середовища?
41. У чому суть функцій геологічного середовища?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Реймерс Н.Ф.* Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия молодая, 1994. 367 с.
2. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 639 с.
3. *Білявський Г.О.,* Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології. К.: Либідь, 1995. 368 с.
4. *Білявський Г.О.,* Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екології: Підручник. К.: Либідь, 2004. 408 с.
5. *Кучерявий В.П.* Екологія: Підручник. Львів: Світ, 2000. 500 с.
6. *Кучерявий В. П.* Загальна екологія: підручник. – Львів: Світ, 2010. 520 с.
7. *Екологічна енциклопедія: У 3 т. /* Редколегія: А.В. Тостоухов (головний редактор) та ін. К.: ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2006. Т.1, 2007. Т.2, 2008. Т.3.
8. *Некос В.Е.* Основы общей экологии и неозологии. Часть 1. 1999; Часть 2001. Харьков: ХГУ.
9. *Розенберг Г.С.* О периодизации в экологии. Экология, 1992, № 4. С. 3 – 19.
10. *Бродвій В.М.,* Гаца О.О. Закони екології. Навч. пос. К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2003. 178 с.
11. *Одум Ю.* Экология (в 2-х томах). М.: Мир, 1986.
12. *Дедю И.И.* Экологический энциклопедический словарь. Кишинев, 1990. 408 с.
13. *Беккер А.А.,* Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. 288 с.
14. *Моніторинг довкілля: Підручник/* Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В.Б. та ін. За ред. В.М. Боголюбова, А.А. Сафранова. Херсон: Грінь Д.С., 2011. 530 с.
15. *Мусієнко М.М.,* Войцехівська О.В. Загальна екологія: навчальний посібник. К.: Сталь, 2010. 379 с.
16. *Злобін Ю.А.* Основи екології. К.: Лібра, 1998. 248 с.
17. *Дажо Р.* Основы экологии. М.: Прогресс, 1975. 416 с.
18. *Агесс П.* Ключи к экологии. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 97 с.
19. *Яблоков А.В.* Популяционная биология. М.: Высшая школа, 1987. 303 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. *Рамад Ф.* Основы прикладной экологии. Воздействие человека на биосферу. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 543 с.
23. *Перельман А.И.* Геохимия биосферы. М.: Наука, 1973. 168 с.
24. *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.
25. *Голубець М.А.* Від біосфери до соціосфери. Львів: Видавництво «Поллі», 1997. 256 с.
26. *Буркинський Б.В.,* Степанов В.Н., Харичков С.К. Природопользование: основы экономико-экологической теории. Одесса: ИПРЭЭИ НАН Украины, 1999. 350 с.
27. *Мельник Л.Г.* Екологічна економіка: Підручник. - Суми, ВТД «Університетська книга», 2002. 346 с.
28. *Крисаченко В.С.,* Хилько М.І. Екологія. Культура. Політика: Концептуальні засади сучасного розвитку. К.: Знання України, 2002. 597 с.

29. *Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г.* Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 424 с.
30. *Стадницкий Г.В., Родионов А.И.* Экология. М.: Химия, 1997. 240 с.
31. *Державні будівельні норми України (ДБН 360-92).* К.: 2002.
32. *Кузин А.М.* Природный радиационный фон – зло или благо? Наука и человечество, 1990. М.: Знание, 1990. С.157-165.
33. *Вронский В.А.* Прикладная экология. Учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 1996. 512 с.
34. *Димань Т.М., Мазур Т.Г.* Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів. К.: ВЦ «Академія», 2011. 520 с.
35. *Гридел Т.Е., Алленби Б.Р.* Промышленная экология. М.: «Юнити-Дана», 2004. 528 с.
36. *Управління та поводження з відходами: Підручник/ Шаніна Т.П., Губанова О.Р., Клименко М.О. та ін. За ред. Т.А. Сафранова, М.О. Клименка.* Одеса: ТЕС, 2012. 272 с.
37. *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.
38. *Фелленберг Г.* Загрязнение окружающей среды. Введение в экологическую химию. М.: Мир, 1997. 232 с.
39. *Канило П.М., Бей И.С., Ровенский.* Автомобиль и окружающая среда. Харьков: Прапор, 2000. 304 с.
40. *Данилов А.Д., Кароль И.Л.* Атмосферный озон - сенсации и реальность. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. 119 с.
41. *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.
42. *Оцінка стану виконання підсумкових документів Всесвітнього саміту зі сталого розвитку (Йоганнесбург, 2002) в Україні / Л.Г Руденко, Г.О. Білявський, І.О. Горленко та ін.* К.: Акдемперіодика, 2004. 208 с.
43. *Хільчевський В.К.* Водопостачання і водовідведення. Гідроекологічні аспекти. – К.: ВЦ «Київський університет», 1999. 319 с.
44. *Канализация. Наружные сети и сооружения (СНиП 2.04.03-84).* М., 1985.
45. *Водоснабжение. Наружные сети и сооружения (СНиП 2.04.02-84).* М., 1985.
46. *Зайцев Ю.П.* Самое синее в мире/ Черноморская экологическая программа ГЭФ. Издательство ООН. Нью-Йорк, 1998. 142 с.
47. *Сніжко С.І.* Оцінка та прогнозування якості природних вод. К.: Ніка-Центр, 2001. 262 с.
48. *Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін.* К.: Символ – Т, 1998. 28 с.
49. *Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В.* Оцінка якості природних вод: Навчальний посібник. Одеса: «Екологія», 2012. 168 с.
50. *Гольдберг В.М.* Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 248 с.
51. *Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (ДСанПіН 2.2.4-171-10 – К., 2010.*
52. *Сучасні технології очистки стічних вод/О.А. Василенко, В.О. Терновцев, Л.О. Василенко та ін.* К.: ДПМК Мінекобезпеки України, 1998. 62 с.
53. *Світличний О.О., Чорний С.Г.* Основи ерозієзнавства: підручник для студентів вищих навчальних закладів . Суми: Університетська книга, 2007. 266 с.

54. *Пестициди*. Терміні та визначення. ДСТУ 3180-95. Держстандарт України, Київ, 1996.
55. *Федоров Л.А., Яблоков А.В.* Пестициды - токсический удар по биосфере и человеку. М.: Наука, 1999. 461 с.
56. *Яблоков А.В.* Сельское хозяйство без пестицидов. В кн.: Экологическая альтернатива. М.: Прогресс, 1990. С. 49-52.
57. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология – наука о геологической среде. - Инженерная геология. 1979. № 1. С. 1- 9.
58. *Теория и методология экологической геологии/ Трофимов В.Т. и др.* Под ред. В.Т. Трофимова, Зилинг Д.Г. Экологическая геология. Учебник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. 415 с.
59. *Королев В.А.* Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.
60. *Адаменко О.М., Рудько Г.І.* Екологічна геологія. К.: Манускрипт, 1997. 348 с.
61. *Экологические функции литосферы/ В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабошкина и др.* Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000. 432 с.
62. *Экология, охрана природы и экологическая безопасность/ Под ред. В.И. Данилова-Данильяна.* Кр. 1. М., 1997. 424 с.
63. *Стадник Е.В., Колмогорова Л.Г.* Ослабленные участки литосферы Земли как структуры формирования поясов минеральных ресурсов и сопряженных поясов экологических возмущений. Геоинформатика, 1998. №3. С. 71-73.
64. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
65. *Ковалевский В.В.* Геохимическая среда и жизнь. М. Наука, 1982. 282 с.
66. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Строчков П.С.* Принципы классификаций заболеваний биогеохимической природы //Архив патологии. М., 1983. №9. С. 3-13.
67. *Вартанян Г.С.* Современные проблемы экогеологии// Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1993. №2. С. 33-36.
68. *Летников Ф.А.* Синергетика среды обитания человека // Земля и Вселенная, 1998. №5. С.17-25.
69. *Вступ до медичної геології/ За редакцією Г.І. Рудько, О.М. Адаменко.* К.: Вид-во «Акдемпрес», 2010. Т.1. 736 с.
70. *Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище: Підручник/ Т.А. Сафранов, О.В. Чепіжко, Є.Г. Коніков та ін.* За ред. Т.А. Сафранова. Одеса: «Екологія», 2012. 272 с.
71. *Сафранов Т.А.* Загальна екологія та неоекологія. Конспект лекцій. К.: КНТ, 2005. 188 с.
72. *Сафранов Т.А., Губанова О.Р., Лукашов Д.В.* Еколого-економічні основи природокористування: навчальний посібник. Львів: Новий Світ – 2000, 2013. 350 с.